



# FACULTAD DE INGENIERIA

Universidad de Buenos Aires

## CARRERA DE ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS EMBEBIDOS

MEMORIA DEL TRABAJO FINAL

### Sistema de notificación de alarma de incendio

**Autor:**  
**Ing. Daniel Marquez**

Director:  
Mg.Ing. Wilmer Sanz (UC)

Jurados:  
Dr.Ing. Adrián Stacul (UTN)  
Esp.Ing. Diego Fernández (FIUBA, DEBMEDIA)  
Esp.Ing. Santiago Salamandri (FIUBA)

*Este trabajo fue realizado en las Ciudad Autónoma de Buenos Aires,  
entre marzo de 2020 y diciembre de 2020.*



## *Resumen*

La presente memoria describe la implementación de un sistema de monitoreo de alarmas de incendio, con el objetivo de satisfacer la necesidad detectada por la firma Isolse SRL; brindar a sus clientes la posibilidad de conocer de forma remota el estado de su instalación de detección de incendio.

El sistema se elabora utilizando conocimientos de programación de microcontroladores e ingeniería de software, para el desarrollo de un sistema modularizado y respaldado con control de versiones. Se basa en el desarrollo de aplicaciones en sistemas operativos Linux, protocolos de comunicación, diseño de circuitos impresos, manejo de bases de datos y micro-servidor web.



## *Agradecimientos*

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



# Índice general

<b>Resumen</b>	I
<b>1. Introducción general</b>	1
<b>2. Introducción específica</b>	3
<b>3. Diseño e implementación</b>	5
3.1. Sistemas complejos de detección de incendios . . . . .	5
3.2. Criterios de diseño . . . . .	5
Criterios fundamentales . . . . .	6
3.3. Arquitectura general del sistema . . . . .	6
3.3.1. Dispositivo primario . . . . .	7
3.3.2. Dispositivo secundario . . . . .	7
3.3.3. Aplicación en sistemas de detección complejos . . . . .	8
3.4. Hardware . . . . .	9
3.4.1. Hardware del dispositivo primario . . . . .	9
Módulo de monitoreo de contactos secos . . . . .	9
Módulo de comunicación nrf24l01+ . . . . .	10
Módulo de notificación visual . . . . .	10
3.4.2. Hardware del dispositivo secundario . . . . .	11
Módulo de comunicación nrf24l01+ con amplificador de po- tencia . . . . .	11
Módulo de notificación visual . . . . .	11
Módulo de alimentación . . . . .	12
3.5. Software . . . . .	12
<b>4. Ensayos y Resultados</b>	13
4.1. Validación de componentes . . . . .	13
4.1.1. Uso del Nrf24l01+ . . . . .	13
4.1.2. Pruebas de alcance . . . . .	15
4.1.3. Características de la biblioteca RF24Mesh . . . . .	16
4.2. Hardware . . . . .	17
4.2.1. Prototipo: dispositivo secundario. . . . .	17
4.2.2. Dispositivos primario y secundario. . . . .	19
4.3. Pruebas unitarias . . . . .	20
4.3.1. Estado local. . . . .	20
4.3.2. Sistema con un dispositivo secundario. . . . .	20
4.3.3. Sistema con dos dispositivos secundarios. . . . .	21
4.3.4. Sistema con tres dispositivos secundarios. . . . .	22
4.3.5. Protocolo de recuperación . . . . .	23
4.4. Prueba de sistema . . . . .	24
Interfaz web . . . . .	24
Aplicación Android . . . . .	25

Histórico de eventos como base de datos . . . . .	25
Estado de red de dispositivos en base de datos . . . . .	26
Estado de red de dispositivos en base de datos . . . . .	27
<b>5. Conclusiones</b>	<b>31</b>
5.1. Conclusiones generales . . . . .	31
5.2. Próximos pasos . . . . .	32

# Índice de figuras

3.1. Ejemplo de sistema de detección de incendio complejo. . . . .	6
3.2. Esquema de conexión entre dispositivo de monitoreo y central de alarma de incendio. . . . .	7
3.3. Arquitectura del dispositivo primario. . . . .	8
3.4. Arquitectura del dispositivo secundario. . . . .	8
3.5. Arquitectura general del dispositivo de monitoreo remoto. . . . .	9
3.6. Módulo de monitoreo de contacto seco de alarma. . . . .	9
3.7. Módulo de comunicación inalámbrica. . . . .	10
3.8. Módulo de notificación visual. . . . .	10
3.9. Módulo de comunicación inalámbrica de largo alcance. . . . .	11
3.10. Módulo de notificación visual. . . . .	11
3.11. Módulo de notificación visual. . . . .	12
4.1. Esquema utilizado para el ensayo del Nrf24l01+. . . . .	14
4.2. Resultados ensayo del Nrf24l01+. . . . .	15
4.3. Esquema del ensayo de la biblioteca RF24. . . . .	16
4.4. Resultados del ensayo de la biblioteca RF24Mesh. . . . .	17
4.5. Prototipo del dispositivo secundario . . . . .	18
4.6. Resumen de GPIOs de interés para la implementación el sistema . . . . .	18
4.7. Vista 3d del diseño de la placa del dispositivo secundario. . . . .	19
4.8. Vista 3d del diseño de la placa del dispositivo primario. . . . .	20
4.9. pediente. . . . .	20
4.10. pediente. . . . .	21
4.11. Diagrama CTM para ensayo de estado local . . . . .	21
4.12. Diagrama CTM para ensayo con un dispositivo secundario . . . . .	23
4.13. Diagrama CTM para sistema con dos dispositivos secundarios . . . . .	23
4.14. Diagrama CTM para protocolo de recuperación ante fallas de comunicación inalámbrica . . . . .	24
4.15. Interfaz web desarrollada para monitoreo del sistema utilizando la plataforma Node-RED . . . . .	24
4.16. Aplicación móvil desarrollado con la plataforma MIT App Inventor, para visualización de datos cargados en el servidor web de Firebase. . . . .	25
4.17. Ejemplo de histórico de eventos registrados en la base de dato. . . . .	26
4.18. Ejemplo de la base de datos generada de una red de dispositivos inalámbricos . . . . .	26
4.19. Vista del archivo <i>syslog</i> y los mensajes registrados por sistema de monitoreo. . . . .	27



# Índice de Tablas

4.1. Resultados ensayo biblioteca RF24 . . . . .	16
4.2. GPIOS NodeMCU . . . . .	19
4.3. Casos de prueba, estado local . . . . .	22
4.4. Casos de prueba, dispositivo secundario . . . . .	28
4.5. Continuación de la tabla 4.4 . . . . .	29
4.6. Casos de prueba protocolo ante fallas . . . . .	30



*Dedicado a... [OPCIONAL]*



## Capítulo 1

# Introducción general



## Capítulo 2

# Introducción específica



## Capítulo 3

# Diseño e implementación

En este capítulo se exponen los detalles del diseño de los dispositivos primario y secundarios, se describe el desarrollo y funcionamiento del hardware, software y las características más resaltantes del proyecto.

### 3.1. Sistemas complejos de detección de incendios

Un sistema de detección de incendio no se limita a un único edificio, en instalaciones de mayor escala es común observar sistemas compuestos por más de un edificio, donde se requiere del monitoreo de áreas comunes o incluso zonas que son de particular interés para el tópico de alarmas de incendio, como por ejemplo depósito de materiales inflamables, generadores eléctricos de respaldo o sistema de bombeo de extinción.

En este nivel los sistemas suelen estar compuestos por más de una central de alarma de incendio, las cuales pueden interconectadas entre sí y formar una red de dispositivos de detección, dependiendo del nivel de integración, los sistemas pueden tener total independencia o por el contrario funcionar como una única unidad de detección, por lo que no siempre es una tarea sencilla identificar la ubicación de origen de un evento.

Un ejemplo de una instalación con potencial para un sistema de detección de incendio complejo puede observarse en la figura 3.1, donde podemos observar una propiedad compuesta por tres edificios y una zona crítica, con una posible estructura de dispositivos primarios y secundarios que permite definir el estado del sistema de detección de incendio en su totalidad.

### 3.2. Criterios de diseño

El sistema corresponde al primero de una serie de proyectos que tienen como objetivo la generación de alternativas de monitoreo de sistemas de detección de incendio, en esta etapa el objetivo propuesto es adquirir únicamente el estado de la instalación, pero en futuros proyectos se desea alcanzar un mayor nivel de detalle, a continuación se describen los criterios considerados para la selección de los componentes:

Escalabilidad: El sistema debe contar con los recursos necesarios para la integración de nuevas funcionalidades o servicios.



FIGURA 3.1. Ejemplo de sistema de detección de incendio completo.

**Robustez:** Una característica que se desea proporcionar a los sistemas es la posibilidad de tener formas alternativas de trabajo ante eventos de falla.

**Recuperabilidad:** El mantenimiento de equipos de detección de incendio suele realizarse de forma mensual, por lo que el sistema debe estar en capacidad de restituirse de forma automática en caso de fallas, para evitar visitas adicionales por fallas del dispositivo de monitoreo.

**Documentación adecuada:** El sistema debe desarrollarse a partir de plataformas con documentación detallada y de fácil acceso.

**Disponibilidad en el mercado Argentino:** Los sistemas deberán estar compuestos por elementos que puedan ser adquiridos en el mercado local.

### Criterios fundamentales

Es de suma importancia respetar dos criterios principales:

- La no afectación la secuencia de accionamiento de la central de forma remota.
- El sistema de monitoreo no debe utilizarse como un dispositivo de detección de incendio.

En la figura 3.2 podemos observar esquemas de conexión y el uso recomendado del sistema de monitoreo.

### 3.3. Arquitectura general del sistema

En esta fase se procede a describir los elementos que componen el sistema de monitoreo, su funcionamiento y la interconexión entre los mismos.

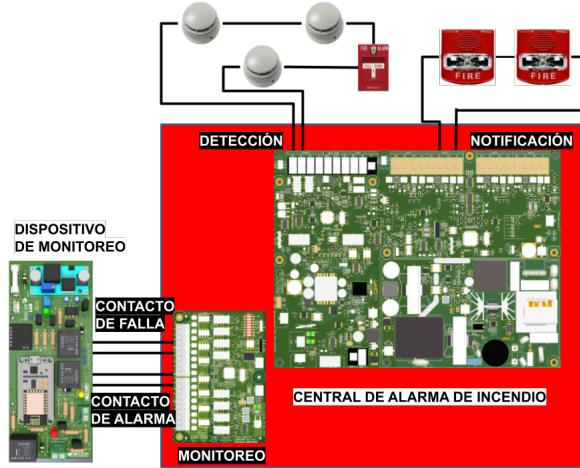


FIGURA 3.2. Esquema de conexión entre dispositivo de monitoreo y central de alarma de incendio.

### 3.3.1. Dispositivo primario

El dispositivo primario cuenta con los recursos necesarios para el monitoreo de un sistema de detección de alarma base, compuesto por una única central de alarma de incendio a monitorear. El dispositivo implementa un monitoreo periódico a los contactos de alarma y falla para determinar el estado del equipo local, el siguiente paso es facilitar esta información al usuario, para lo que hace uso de tres recursos de notificación:

- Leds de indicación de estado.
- Interfaz web para notificación local, por medio de la plataforma Node-RED.
- Servidor web firebase.

A pesar de ser un dispositivo para el monitoreo de un sistema de detección de alarma base, este dispositivo considera la posibilidad de un sistema de detección complejo, para lo que dispone de un módulo específico para la gestión de comunicación inalámbrica, que permite al sistema comunicarse con diferentes dispositivos de monitoreo secundarios, cuyo objetivo principal es reportar el estado de cada subsistema o equipo que se desee monitorear.

Si el dispositivo se va emplear para sistemas complejos de detección, el dispositivo primario procesa el estado local y los estados remotos para generar un diagnóstico del sistema de detección en general, de esta forma en caso de no existir vinculación entre los equipos de detección de alarma el sistema es capaz de establecer el estado correcto de la instalación en su totalidad.

En la figura 3.3 se presenta el diseño general del dispositivo primario.

### 3.3.2. Dispositivo secundario

El dispositivo secundario realiza el monitoreo de los contactos de alarma y falla, cuenta con módulo destinado a la gestión de la transmisión de información mediante comunicación inalámbrica. El sistema presenta la información al usuario

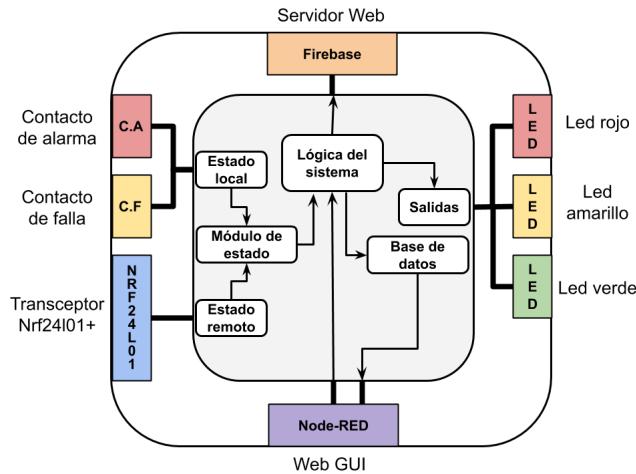


FIGURA 3.3. Arquitectura del dispositivo primario.

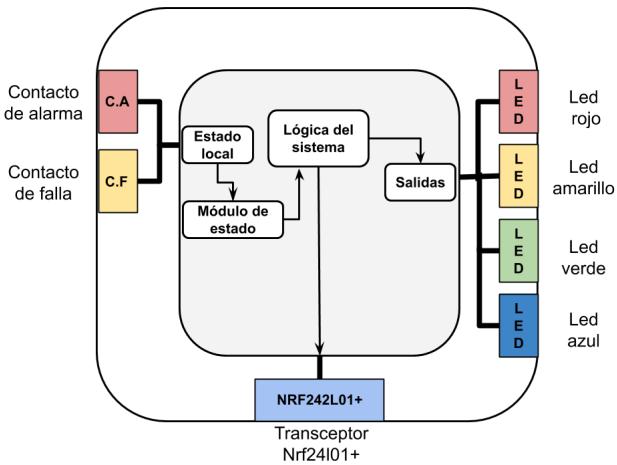


FIGURA 3.4. Arquitectura del dispositivo secundario.

mediante tres leds de colores específicos, rojo para alarma, amarillo para fallas y verde para normal.

Incluir en el diseño un dispositivo secundario permite incluir un equipo adicional a monitorear, y además incrementa el alcance de la comunicación inalámbrica, ya que cada nodo actúa como nodo-repetidor. En la figura 3.4 se observa el diseño general del dispositivo secundario.

### 3.3.3. Aplicación en sistemas de detección complejos

Una instalación como la descrita en la figura 3.1, compuesto por tres edificios y una zona crítica, puede ser monitoreado con una estructura como la dispuesta en la figura 3.5, donde podemos observar las interfaces entre los elementos del sistema, y cómo se relacionan entre ellos.

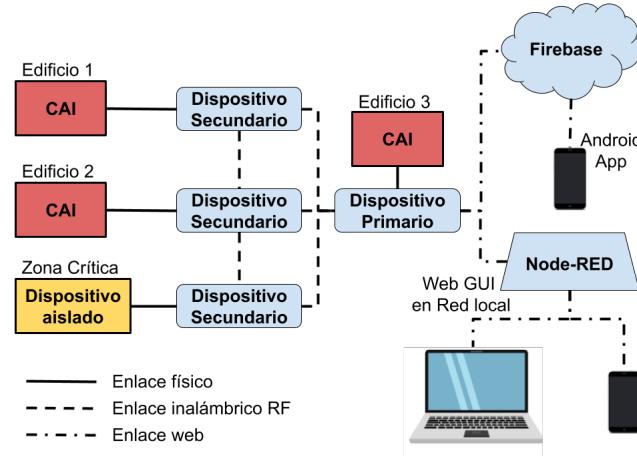


FIGURA 3.5. Arquitectura general del dispositivo de monitoreo remoto.

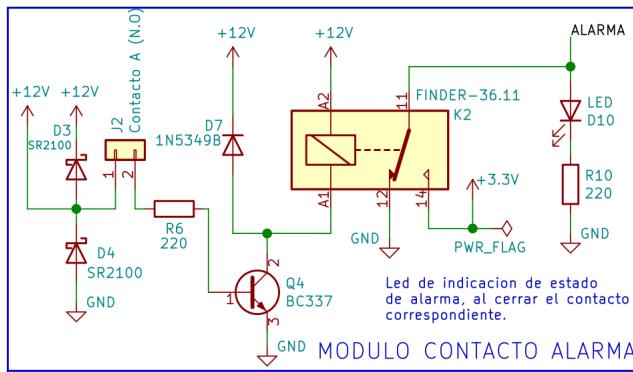


FIGURA 3.6. Módulo de monitoreo de contacto seco de alarma.

## 3.4. Hardware

Esta sección describe el diseño del hardware utilizado para los dispositivos primario y secundario, sus características, módulos internos y la relación entre ellos.

### 3.4.1. Hardware del dispositivo primario

Las figuras 3.6, 3.7 y 3.8, muestran los esquemáticos empleados para la implementación del hardware del dispositivo primario. El diseño fue concretado como un poncho para la Raspberry Pi, compuesto por los siguientes módulos:

#### Módulo de monitoreo de contactos secos

El diseño de este módulo hace uso de los contactos normal abierto del dispositivo a monitorear para la indicación de alarma o falla en el sistema. La indicación correspondiente se hace a través del accionamiento de un relé interno que modifica el estado del circuito asociado. La figura 3.6 muestra el esquema del módulo de monitoreo de contactos secos.

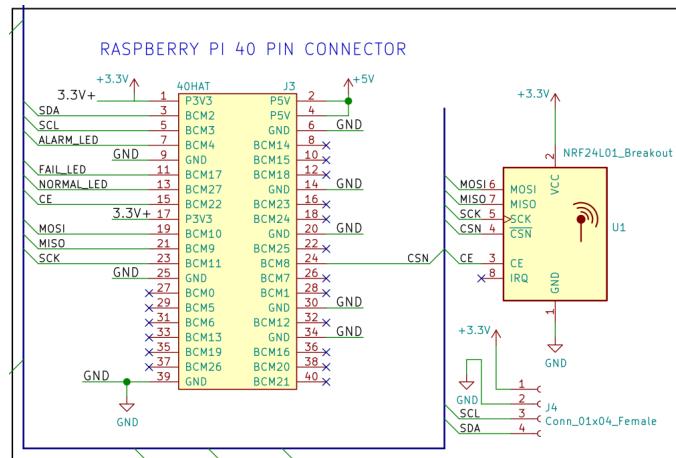


FIGURA 3.7. Módulo de comunicación inalámbrica.

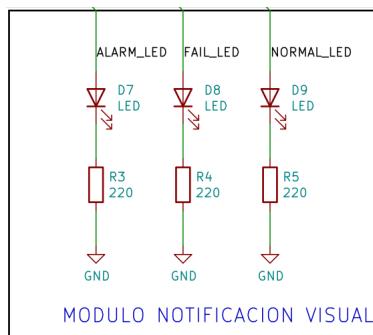


FIGURA 3.8. Módulo de notificación visual.

El diseño considera la posibilidad de ocurrencia de un error de conexión, para lo cual se incluyó una etapa de protección, que se encarga de mantener la tensión dentro de los rangos de trabajo del dispositivo [0 - 12] vdc.

### Módulo de comunicación nrf24l01+.

La conexión del módulo transceptor nrf24l01+ se hace siguiendo el esquema recomendado [bibliografía], como puede observarse en la figura 3.7, consiste en una conexión directa con el dispositivo y alimentado por la fuente de 3.3 vdc del dispositivo primario.

### Módulo de notificación visual

La notificación visual sigue lo establecido por los requerimientos ..... y permite al dispositivo reportar el estado del sistema a monitorear de forma local, sin necesidad de dispositivos adicionales. En la figura 3.8 se presentan las conexiones y pines utilizados por el sistema.

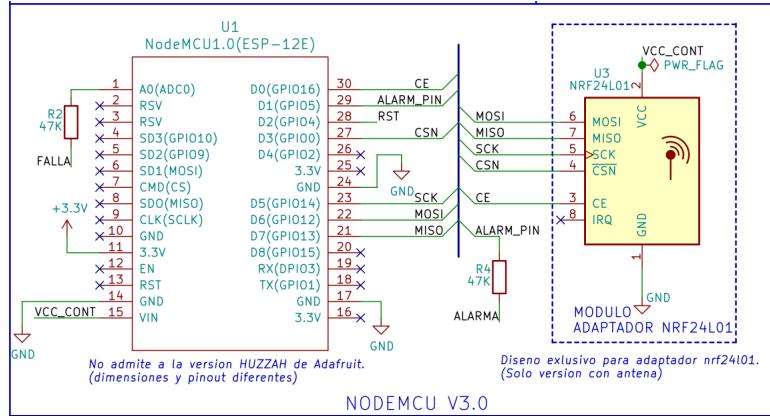


FIGURA 3.9. Módulo de comunicación inalámbrica de largo alcance.

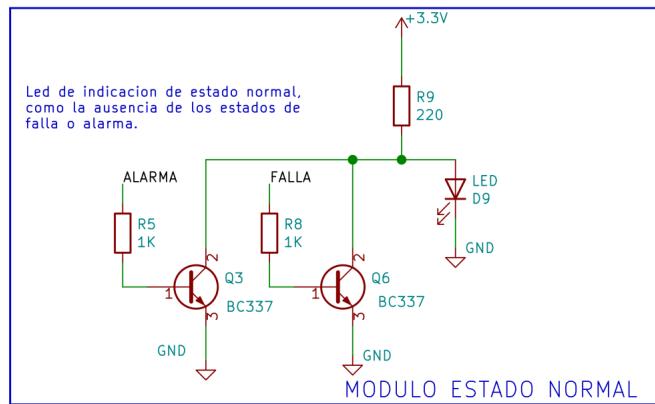


FIGURA 3.10. Módulo de notificación visual.

### 3.4.2. Hardware del dispositivo secundario

El diseño del sistema puede observarse en las figuras 3.9, 3.11, ??, ??, se reutiliza el diseño de la figura 3.6 para el monitoreo de contactos y añaden al sistema los módulos descritos a continuación.

#### Módulo de comunicación nrf24l01+ con amplificador de potencia

El dispositivo secundario utiliza un módulo nrf24l01+ con un amplificador de potencia, por lo que a diferencia del dispositivo primario, se utiliza un adaptador para la conexión del módulo que garantiza una tensión de alimentación estable. El esquema de conexión se detalla en la figura 3.9.

#### Módulo de notificación visual

Debido a restricciones del dispositivo con respecto al número de GPIOs disponibles, el sistema no implementa una conexión directa con el led de notificación de estado normal, en la figura 3.11 se puede verificar que el encendido del led indicador del estado normal, se realiza a través de hardware ante la ausencia de señales de falla o alarma.

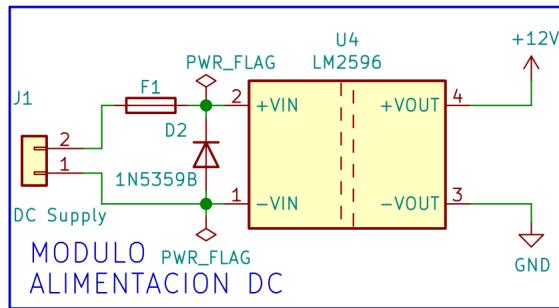


FIGURA 3.11. Módulo de notificación visual.

### Módulo de alimentación

La alimentación del dispositivo se obtiene a partir del módulo LM2596S-123-3000, un regulador de tensión continua regulable, configurado a 12 vdc. La figura ?? exhibe al módulo de alimentación y el diseño de una etapa de protección ante casos de conexión con polaridad inversa.

### 3.5. Software

## Capítulo 4

# Ensayos y Resultados

Este capítulo contiene la descripción de las pruebas realizadas para la validación del sistema. La metodología para esta fase parte desde pruebas unitarias de los módulos que componen el equipo, ensayos de inserción de fallas, hasta alcanzar el nivel de pruebas de sistema.

### 4.1. Validación de componentes

Como se explicó anteriormente, los criterios escogidos para la selección de los dispositivos fueron: a) el factor económico, nivel de documentación, c) disponibilidad en el mercado argentino, d) tiempo estimado de desarrollo. Sin embargo, el criterio determinante se basó en los resultados generados en los ensayos que se describen a continuación.

#### 4.1.1. Uso del Nrf24l01+

El objetivo de este ensayo es verificar el uso de la biblioteca RF24 para la transmisión de paquetes de información de forma inalámbrica a través del transceptor nrf24l01+ bajo condiciones ideales.

La prueba consistió en establecer la comunicación inalámbrica entre dos nodos separados a una distancia de 40 cm. Uno de los nodos mantiene un conteo incremental e intenta transmitir la última lectura al próximo nodo -el cual se mantiene a la espera del mensaje- en caso de que transcurra un tiempo mayor o igual a 200 ms sin recibir un mensaje, se registra un evento de timeout. El resultado se obtiene a partir del porcentaje de mensajes erróneos en relación a los totales enviados, durante un periodo de tiempo de una hora.

Materiales utilizados:

- Nrf24l01 amplificador de potencia con reducción de ruido y antena.
- Nrf24l01 + antena PCB.
- Arduino Uno.
- NodeMCU v3.
- Adafruit Feather HUZZAH ESP8266.
- Raspberry Pi.

- Fuente de poder Canakit micro USB 2,5 A con filtro de ruido.
- Adaptador 120-240 VA a 5V DC USB.

La figura 4.1 muestra un esquema de la metodología empleada para realizar la primera prueba de este ensayo; la Raspberry Pi se seleccionó como el único nodo fijo durante estos ensayos, el resto de dispositivos adoptará sucesivamente el rol de nodo secundario uno a la vez. Los resultados de esta prueba son bastante desalentadores, ya que para cada dispositivo el porcentaje de mensajes exitosos apenas alcanza un 0,5 % en el mejor de los casos.

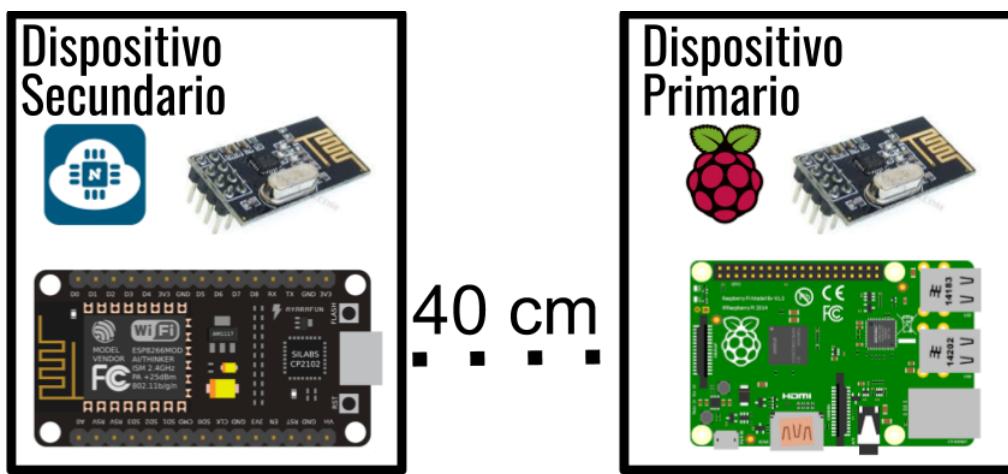


FIGURA 4.1. Esquema utilizado para el ensayo del Nrf24l01+.

Se inició una fase de búsqueda de posibles causas, la cual comenzó por una revisión de ejemplos de uso del dispositivo -según la documentación de la biblioteca- así como la revisión de pruebas con resultados similares de diferentes desarrolladores y su experiencia reportada. En función de esto, se identificó que un elemento clave es proveer al dispositivo de una fuente de alimentación estable, ya que en algunos casos presentaban fallas similares causadas por fluctuaciones y ruido presente en la alimentación del dispositivo.

Una vez identificada una posible solución, se reemplazó el adaptador por un equipo de iguales características y de mayor calidad y realizó nuevamente el ensayo. Los resultados de esta segunda prueba se consideran satisfactorios y están representados en la figura 4.2, en la que se puede apreciar que el menor valor corresponde a un 98 % de éxito en mensajes transmitidos.

Estos resultados evidencian lo susceptible que es el sistema a ruido en la alimentación y la necesidad de una fuente regulada, estable, con el menor ruido posible. Es por esto que a partir de este punto se incluye en el diseño del sistema el adaptador del módulo transceptor nrf24l01+. Una característica a resaltar de este adaptador es que imposibilita el uso del nrf24l01+ convencional de antena en circuito impreso, es compatible únicamente con el modelo con amplificador de potencia y reducción de ruido con antena.

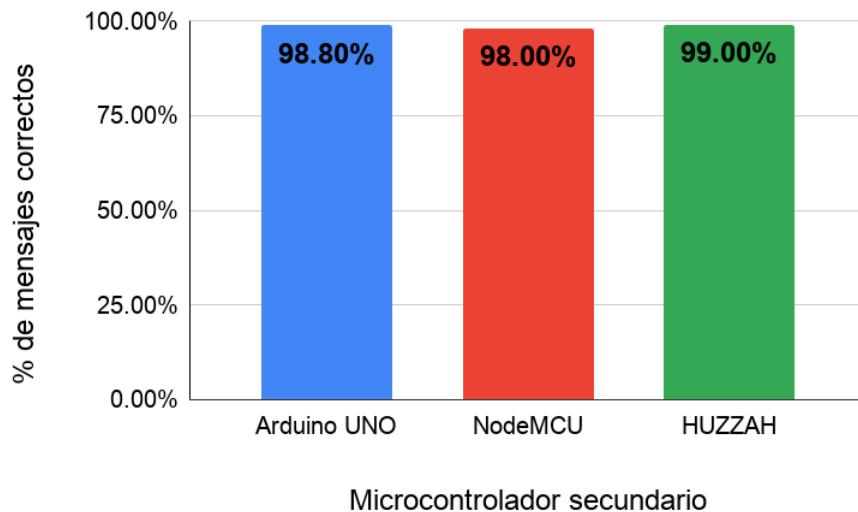


FIGURA 4.2. Resultados ensayo del Nrf24l01+.

#### 4.1.2. Pruebas de alcance

El objetivo de este ensayo es verificar el alcance máximo del transceptor nrf24l01+, en diferentes condiciones. La disposición de los equipos utilizados para este ensayo consiste en:

- Utilizar la Raspberry Pi junto con un transceptor nrf24l01 + de antena interna como dispositivo primario de ubicación fija.
- Un dispositivo secundario móvil, compuesto por el Arduino UNO y nrf24l01+ de antena interna.

Las condiciones en común a las que se exponen los dispositivos son:

- Presencia de redes WiFi de diferente intensidad.
- Equipos electrónicos de bajo consumo.

Se procedió a evaluar la respuesta ante situaciones con los siguientes tipos de obstrucción:

- Obstrucción nula.
- Obstrucción total.
  - Puerta de vidrio
  - Puerta metálica.

El propósito de la prueba es medir la máxima distancia que puede existir entre los nodos primario y secundario, que permita una comunicación inalámbrica estable con una tasa de éxito de al menos 90 % de mensajes transmitidos. En la figura 4.3 se puede apreciar la metodología utilizada para el ensayo, se parte de una ubicación inicial, se confirma que la comunicación entre los dispositivos era correcta y se procedía mover el dispositivo secundario a una nueva ubicación y repetir nuevamente el proceso de verificación, así hasta alcanzar la máxima distancia a la que era posible establecer la comunicación entre los dispositivos.

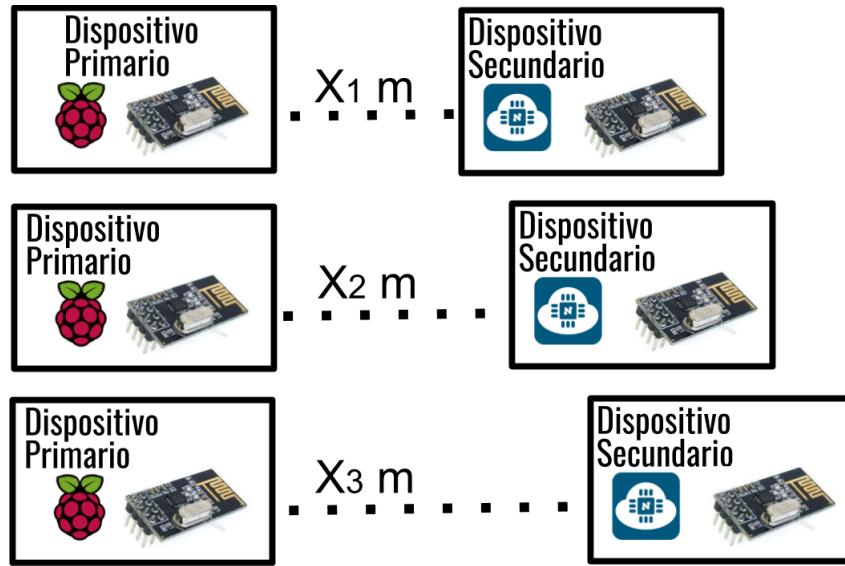


FIGURA 4.3. Esquema del ensayo de la biblioteca RF24.

Los resultados se muestran en la tabla 4.1, se puede apreciar la susceptibilidad del sistema ante la obstrucción de objetos sólidos.

TABLA 4.1. Resultados de alcance logrado para el ensayo de la biblioteca RF24

	<b>Sin obstáculos</b>	<b>Obstrucción total</b>	
		<b>Ventanal</b>	<b>Puerta metálica</b>
Alcance (m)	8,5	8	0

#### 4.1.3. Características de la biblioteca RF24Mesh

El ensayo anterior establece los valores aproximados de alcance en diferentes condiciones. Para este ensayo se requiere validar el funcionamiento de la biblioteca RF24Mesh con un esquema similar, las condiciones de esta prueba consisten en situar dos nodos en ubicaciones fijas separados una distancia de 7 m, con un segundo dispositivo secundario móvil que se utilizará para medir el alcance.

Los resultados del ensayo se pueden observar en la figura 4.4, se obtuvo una distancia máxima de 33 m, al comparar con los resultados del ensayo nrf24l01, se aprecia un incremento en el alcance del sistema. Debido a las características del dispositivo secundario 2, ya que cuenta con un sistema de amplificación de potencia.



FIGURA 4.4. Resultados del ensayo de la biblioteca RF24Mesh.

Adicional a la medición del alcance en la nueva configuración de dispositivos inalámbricos, se validan las siguientes funcionalidades de la biblioteca RF24Mesh:

- Gestión automática de dispositivos conectados: el sistema fue capaz de incluir de manera automática al dispositivo secundario 2 sin necesidad de configuraciones adicionales.
- Retransmisión de mensajes: El sistema cuenta con la posibilidad de retransmitir los mensajes entre los nodos hasta alcanzar el nodo destino, esto se comprueba ya que no fue posible establecer la comunicación de forma directa entre el dispositivo secundario 2 y el dispositivo primario. Sin embargo, al existir el dispositivo secundario 1 en la red, este se encarga de recibir el mensaje del dispositivo secundario 2 y transmitirlo al dispositivo primario.

## 4.2. Hardware

Según los requerimientos del sistema, se realizó la fabricación de placas prototipo para la verificación de los diseños de los módulos que componen el sistema. A continuación se presentan los resultados obtenidos del diseño y fabricación de hardware.

### 4.2.1. Prototipo: dispositivo secundario.

En la figura 4.5 se expone el prototipo realizado. A pesar de no ser un dispositivo secundario completo, su elaboración fue muy enriquecedora para el diseño final, influyó en una reducción importante de costos de producción tanto económicos como de tiempo invertido.

Inicialmente el objetivo de la fabricación del prototipo era permitir realizar pruebas reales del software durante toda la etapa de desarrollo del trabajo, pero adicional a los aportes de *testing* de software, la elaboración proporcionó la información necesaria para detectar puntos de falla desapercibidos hasta el momento.

A simple vista se puede observar en la figura 4.6, que el NodeMCU cuenta con GPIOs suficientes para la implementación del dispositivo secundario, ya que el número de recursos disponibles supera el número de recursos requeridos. El diseño descrito en el capítulo 3 ejecuta un protocolo de reset automático, como parte



FIGURA 4.5. Prototipo del dispositivo secundario

de un mecanismo de recuperación ante fallas en la comunicación inalámbrica, eléctricamente el disparador de este mecanismo es un estado digital alto en el pin RST, lo que implica, que es de vital importancia que el pin RST se mantenga en estado digital bajo en todo momento, hasta ser requerido por el algoritmo.

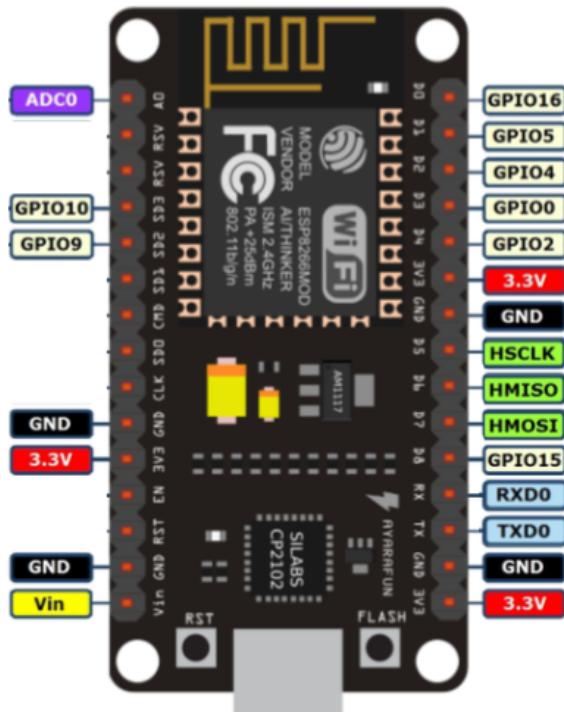


FIGURA 4.6. Resumen de GPIOs de interés para la implementación del sistema

Durante el encendido del NodeMCU, se ejecuta una secuencia de arranque que altera el estado de diferentes GPIOs, la tabla 4.2 muestra un listado de los pines afectados durante el arranque del chip. Al cruzar la información de la figura 4.6, con los pines que cumplen la condición de estabilidad durante el arranque según la tabla 4.2 podemos inferir que la aseveración realizada anteriormente no es correcta, el número de recursos solicitados es mayor al número de recursos disponibles, lo que hace imposible la implementación del diseño con uso exclusivo de entradas y salidas digitales.

La solución a este problema se centra en aprovechar otra característica del NodeMCU, la medición del voltaje se realizará a través del convertidor analógico

TABLA 4.2. Descripción de pines durante arranque de NodeMCU

Etiqueta	GPIO	Input	Output	Secuencia de arranque
D0	16	Sin problema	Sin problema	Alto al arranque
D1	5	Sin problema	Sin problema	-
D2	4	Sin problema	Sin problema	-
D3	0	Conexión pull up	Sin problema	El arranque falla si se encuentra en estado bajo
D4	2	Conexión pull up	OK	Alto al arranque
D5	14	SPI	SPI	-
D6	12	SPI	SPI	-
D7	13	SPI	SPI	-
D8	15	Conexión pull down	OK	El arranque falla si se encuentra en estado alto
RX	3	UART	UART	Alto al arranque
TX	1	UART	UART	Alto al arranque
A0	ADC0	Entrada analógica	-	-

digital incluido en el microcontrolador, lo que permite compensar el déficit de GPIOs y mantener el diseño intacto, en concreto se utilizará para el monitoreo del estado del contacto seco de falla.

#### 4.2.2. Dispositivos primario y secundario.

Al recopilar la información obtenida de la fabricación de los prototipos, el siguiente paso consistió en consolidar todas estas consideraciones en el esquemático del sistema, para dar inicio a la fase de elaboración de dispositivos para la fabricación. Las figuras 4.7 y 4.8 presentan los circuitos impresos generados en vista 3D y las figuras 4.9 y 4.10 las placas fabricadas.

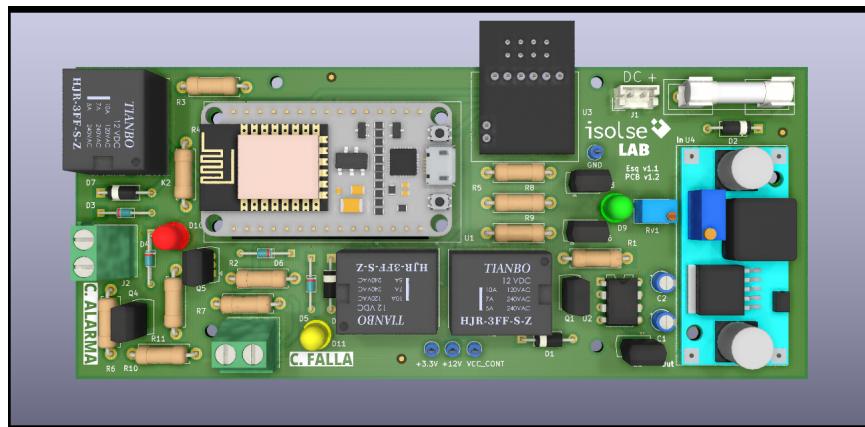


FIGURA 4.7. Vista 3d del diseño de la placa del dispositivo secundario.

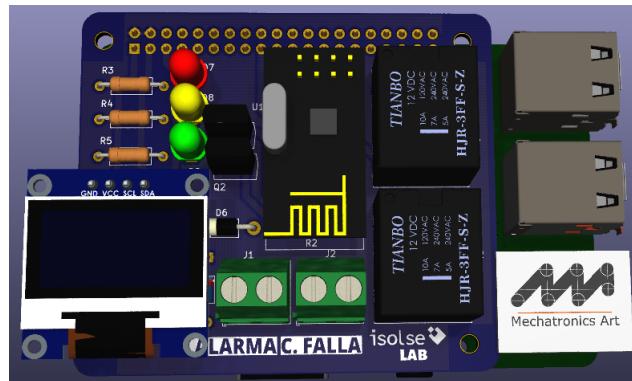


FIGURA 4.8. Vista 3d del diseño de la placa del dispositivo primario.



FIGURA 4.9. pediente.

## 4.3. Pruebas unitarias

### 4.3.1. Estado local.

La tabla 4.3 corresponde a los casos de prueba obtenidos como resultado de aplicar la metodología CTM, apoyándonos en el diagrama de la figura 4.11 como punto de partida.

Al comparar los resultados obtenidos con los resultados esperados, se concluye que el dispositivo primario funciona correctamente, por lo que a partir de la modificación de los contactos de alarma o falla, somos capaces de establecer correctamente el estado del sistema de monitoreo.

### 4.3.2. Sistema con un dispositivo secundario.

Al emplear la misma metodología del ensayo número uno, se generaron la figura 4.12 y la tabla 4.4 y 4.5, que describen el detalle del ensayo. Se confirma que todos los casos de prueba son ejecutados de forma satisfactoria, por lo que hasta este punto se puede concluir que el dispositivo primario es capaz de comunicarse de forma inalámbrica con un dispositivo secundario, y además puede definir el estado correspondiente del sistema de detección, a partir de su estado propio y el estado del dispositivo secundario.



FIGURA 4.10. pediente.

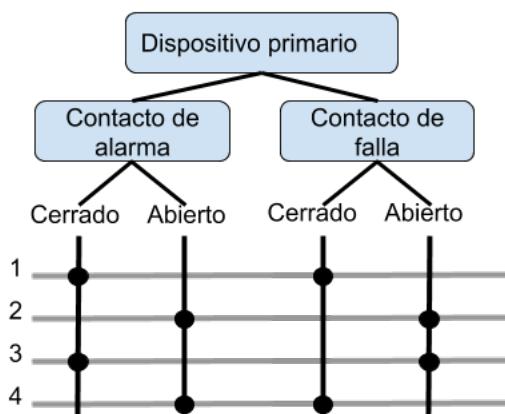


FIGURA 4.11. Diagrama CTM para ensayo de estado local

### 4.3.3. Sistema con dos dispositivos secundarios.

Se mantiene la estrategia para el diseño de casos de prueba y se obtiene como resultado la figura 4.13, a diferencia del ensayo anterior, para este se incluye un nodo que permanecerá en estado de alarma durante todos los casos de prueba. Los resultados en esta ocasión son negativos, ya que ninguno de los casos de prueba es cumplido.

Los casos de prueba fallan debido a que el sistema es incapaz de responder de forma correcta en un tiempo menor a diez segundos, al analizar el algoritmo de gestión de comunicación inalámbrica en el dispositivo primario y compararlo con el algoritmo de transmisión de paquetes, se descubrió que el dispositivo secundario está configurado para la transmisión de información cada 15 ms y el dispositivo primario disponía de 10 ms como ventana de tiempo para hacer el análisis del sistema.

Lo cual genera un comportamiento inestable, al no poder asegurar que el dispositivo primario reciba la información de todos los nodos que conforman la red en un tiempo tan reducido. Un problema adicional que se presentó fue la acumulación de mensajes, ya que al no leer el mensaje, el sistema lo encola para su procesamiento en la siguiente llamada, esto generaba retrasos de hasta 15 segundos en la actualización del estado.

Al identificar la causa del problema, se planteó una modificación de los tiempos configurados para la comunicación inalámbrica en ambos dispositivos, de manera que se evite la desincronización del sistema. Los nuevos parámetros establecidos para la comunicación son 200 ms para el dispositivo primario y 30 ms para el dispositivo secundario, esta nueva configuración permitió cumplir correctamente los casos de prueba.

TABLA 4.3. Casos de prueba del ensayo de sistema con un dispositivo primario

Caso de prueba	Parámetro	Valor	Comentario	Resultado esperado
1	Contacto de alarma	Cerrado	Sistema monitoreado en estado de alarma y falla, al menos una alarma y una falla están presentes en el sistema.	Led: rojo-amarillo Estado RF: ok Estado: alarma-falla
	Contacto de falla	Cerrado		
2	Contacto de alarma	Abierto	Sistema monitoreado en estado normal, sin fallas ni alarmas presentes.	Led: verde Estado RF: ok Estado: normal
	Contacto de falla	Abierto		
3	Contacto de alarma	Cerrado	Sistema monitoreado en estado de alarma, al menos una alarma está presente en el sistema.	Led: rojo Estado RF: ok Estado: alarma
	Contacto de falla	Abierto		
4	Contacto de alarma	Abierto	Sistema monitoreado en estado de falla, al menos una falla está presente en el sistema.	Led: amarillo Estado RF: ok Estado: falla
	Contacto de falla	Cerrado		

Un punto de mejora que resulta de la realización de este ensayo, es la posibilidad de incluir una interfaz que permita facilitar la inclusión de dispositivos al sistema, ya que la metodología actual de trabajo, hace imposible al usuario incluir un nodo sin conocer el funcionamiento del código y su estructura.

#### 4.3.4. Sistema con tres dispositivos secundarios.

Basados en la información recopilada de los ensayos previos, se propone elaborar un nuevo ensayo con un nodo adicional, esta vez con la intención de validar si la configuración de tiempo utilizada es adecuada. El ensayo incluye un nodo con un estado de sistema estático, en este caso el nuevo nodo permanecerá en estado normal durante todos los casos de prueba, con el propósito de validar la velocidad de respuesta del sistema. El ensayo logró confirmar el correcto funcionamiento

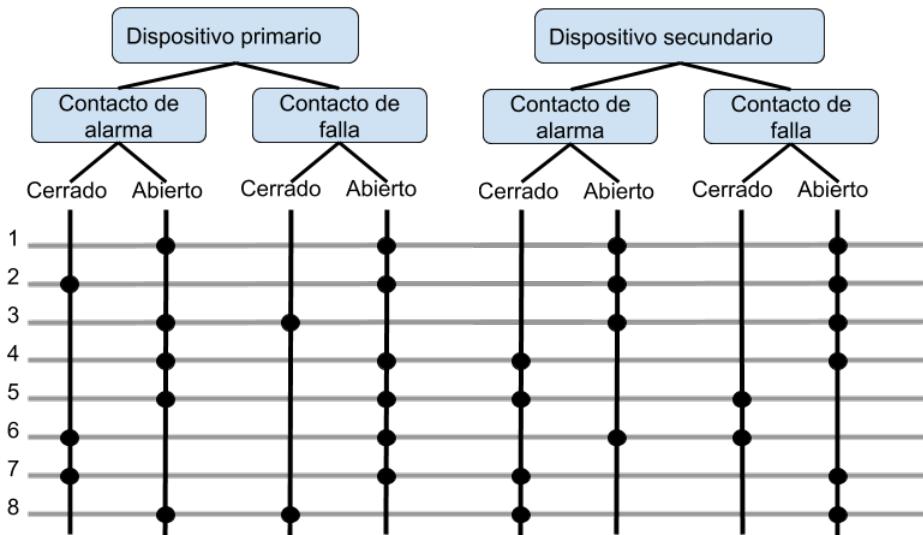


FIGURA 4.12. Diagrama CTM para ensayo con un dispositivo secundario

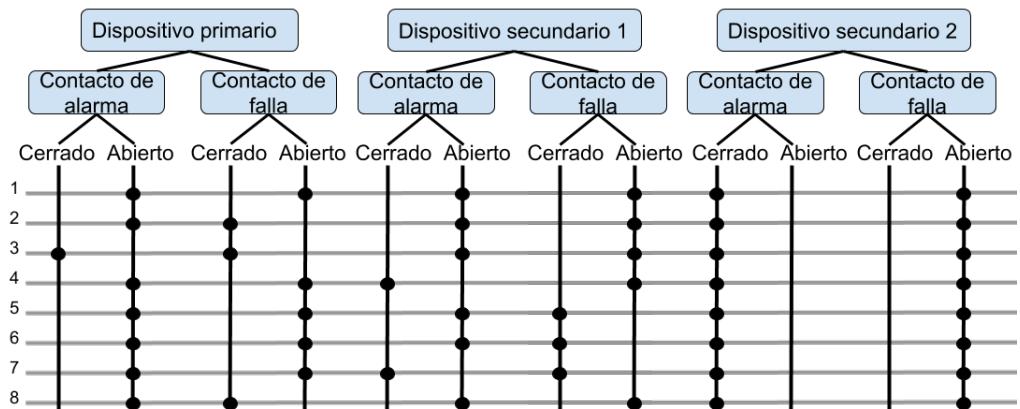


FIGURA 4.13. Diagrama CTM para sistema con dos dispositivos secundarios

del sistema con la configuración de parámetros seleccionada en el ensayo con dos dispositivos secundarios.

#### 4.3.5. Protocolo de recuperación .

El ensayo se orienta exclusivamente en comprobar el funcionamiento de la lógica de módulo de recuperación ante fallas de comunicación inalámbrica, se utiliza el esquema de la figura 4.14 y se generan los casos de prueba de la tabla 4.6.

Este ensayo en particular, permite identificar el uso que tuvo la biblioteca RF24Mesh, ya que a partir de su gestión del envío de paquetes se genera toda la estructura de carga de la información, su visualización y el protocolo de recuperación. Los resultados son satisfactorios, se logró comprobar que el sistema tiene la capacidad de restituirse de forma automática ante posibles casos de falla.

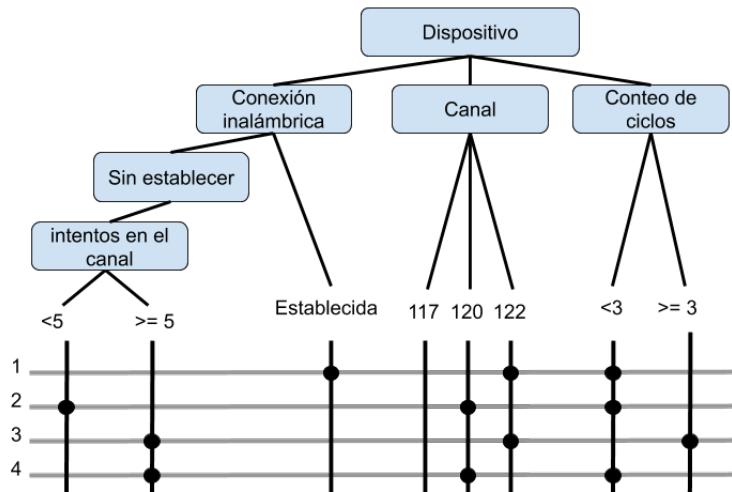


FIGURA 4.14. Diagrama CTM para protocolo de recuperación ante fallas de comunicación inalámbrica

#### 4.4. Prueba de sistema

Los resultados obtenidos hasta este punto manifestaron errores y segmentos de código que debían ser atendidos, por lo que la finalidad de este ensayo es evaluar el impacto de los cambios realizados. Los casos de prueba de este sistema serán los descritos en las tablas 4.4 y 4.5, correspondientes al ensayo con un dispositivo secundario, con la diferencia de que se incluyen las siguientes características al sistema:

##### Interfaz web

Interfaz web para la visualización del estado actual del sistema, desarrollado en la plataforma Node-RED, con la limitación de que debemos encontrarnos conectados a la misma red que el dispositivo primario. Un ejemplo de la misma puede observarse en la figura 4.15.



FIGURA 4.15. Interfaz web desarrollada para monitoreo del sistema utilizando la plataforma Node-RED

### Aplicación Android

Aplicación móvil para dispositivos Android, conectada a la plataforma de Firebase para el monitoreo del sistema desde cualquier ubicación con conexión a internet. En la 4.16 se muestra una captura de pantalla de la interfaz.



FIGURA 4.16. Aplicación móvil desarrollado con la plataforma MIT App Inventor, para visualización de datos cargados en el servidor web de Firebase.

### Histórico de eventos como base de datos

Registro de eventos en bases de datos relacionales, esta funcionalidad permite al sistema registrar de forma ordenada los eventos y la posibilidad de analizar el histórico del sistema con el uso del lenguaje SQL. La figura 4.17 corresponde a un ejemplo de la base de datos generada.

ID	Date	State	RF_State	Nodes
Filter	Filter	Filter	Filter	Filter
1 1	Sun Nov 1 ...	ALARM_FAIL	COMM OK!	ACTIVES NK
2 2	Sun Nov 1 ...	FAIL	COMM OK!	ACTIVES NK
3 3	Sun Nov 1 ...	ALARM_FAIL	COMM OK!	ACTIVES NK
4 4	Sun Nov 1 ...	FAIL	COMM OK!	ACTIVES NK
5 5	Sun Nov 1 ...	ALARM_FAIL	COMM OK!	ACTIVES NK

Navigation buttons: < < 1 - 5 of 5 > > Go to: 1

FIGURA 4.17. Ejemplo de histórico de eventos registrados en la base de dato.

### Estado de red de dispositivos en base de datos

Registro de nodos conectados al sistema en bases de datos relacionales -similar a la base de datos de registro de eventos- se incluye una base de datos con el registro de los nodos conectados, su estado actual y si se encuentran comunicándose correctamente con el dispositivo primario o no. Se puede ver un ejemplo de esta base de datos en la figura 4.18.

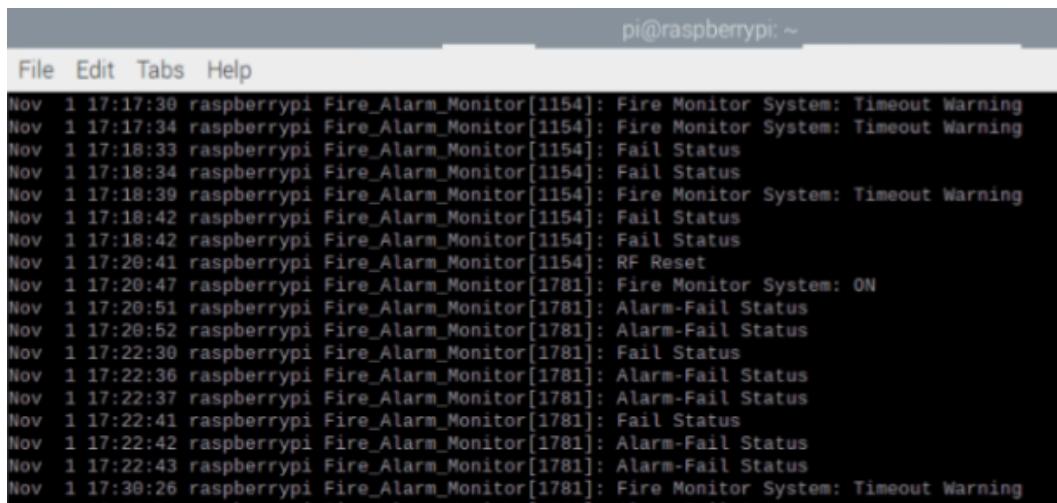
ROW	ID	CODE	STATUS
Filter	Filter	Filter	Filter
1 1	5	654	1
2 2	37	987	1

Navigation buttons: < < 1 - 2 of 2 > > Go to: 1

FIGURA 4.18. Ejemplo de la base de datos generada de una red de dispositivos inalámbricos .

### Estado de red de dispositivos en base de datos

Logging gestionado por la biblioteca *syslog*, se hace uso del recurso del archivo *syslog* para facilitar el análisis en caso de fallas, registro de tareas de mantenimiento del sistema y uso como herramienta de desarrollo para futuros proyectos. Una vista del *syslog* del sistema en funcionamiento se puede apreciar en la figura 4.19.



```
pi@raspberrypi: ~
File Edit Tabs Help
Nov 1 17:17:30 raspberrypi Fire_Alarm_Monitor[1154]: Fire Monitor System: Timeout Warning
Nov 1 17:17:34 raspberrypi Fire_Alarm_Monitor[1154]: Fire Monitor System: Timeout Warning
Nov 1 17:18:33 raspberrypi Fire_Alarm_Monitor[1154]: Fail Status
Nov 1 17:18:34 raspberrypi Fire_Alarm_Monitor[1154]: Fail Status
Nov 1 17:18:39 raspberrypi Fire_Alarm_Monitor[1154]: Fire Monitor System: Timeout Warning
Nov 1 17:18:42 raspberrypi Fire_Alarm_Monitor[1154]: Fail Status
Nov 1 17:18:42 raspberrypi Fire_Alarm_Monitor[1154]: Fail Status
Nov 1 17:20:41 raspberrypi Fire_Alarm_Monitor[1154]: RF Reset
Nov 1 17:20:47 raspberrypi Fire_Alarm_Monitor[1781]: Fire Monitor System: ON
Nov 1 17:20:51 raspberrypi Fire_Alarm_Monitor[1781]: Alarm-Fail Status
Nov 1 17:20:52 raspberrypi Fire_Alarm_Monitor[1781]: Alarm-Fail Status
Nov 1 17:22:30 raspberrypi Fire_Alarm_Monitor[1781]: Fail Status
Nov 1 17:22:36 raspberrypi Fire_Alarm_Monitor[1781]: Alarm-Fail Status
Nov 1 17:22:37 raspberrypi Fire_Alarm_Monitor[1781]: Alarm-Fail Status
Nov 1 17:22:41 raspberrypi Fire_Alarm_Monitor[1781]: Fail Status
Nov 1 17:22:42 raspberrypi Fire_Alarm_Monitor[1781]: Alarm-Fail Status
Nov 1 17:22:43 raspberrypi Fire_Alarm_Monitor[1781]: Alarm-Fail Status
Nov 1 17:30:26 raspberrypi Fire_Alarm_Monitor[1781]: Fire Monitor System: Timeout Warning
```

FIGURA 4.19. Vista del archivo *syslog* y los mensajes registrados por sistema de monitoreo.

TABLA 4.4. Casos de prueba del ensayo de sistema con un dispositivo primario

Caso de prueba	Parámetro	Valor	Comentario	Resultado esperado
1	D.P. Contacto de alarma D.P. Contacto de falla D.S. Contacto de alarma D.S. Contacto de falla	Abierto Abierto Abierto Abierto	Ambos sistemas en estado normal, sin fallas ni alarmas presentes.	Led: verde Estado RF: ok Estado: normal
2	D.P. Contacto de alarma D.P. Contacto de falla D.S. Contacto de alarma  D.S. Contacto de falla	Cerrado Abierto Abierto Abierto	Dispositivo primario: sistema en estado de alarma, al menos una alarma presente en el sistema.  Dispositivo secundario: sistema en estado normal, sin fallas ni alarmas presentes.	Led: rojo Estado RF: ok Estado: alarma
3	D.P. Contacto de alarma D.P. Contacto de falla D.S. Contacto de alarma  D.S. Contacto de falla	Abierto Cerrado Abierto Abierto	Dispositivo primario: sistema en estado de falla, al menos una falla presente en el sistema.  Dispositivo secundario: sistema en estado normal, sin fallas ni alarmas presentes.	Led: amarillo Estado RF: ok Estado: falla
4	D.P. Contacto de alarma D.P. Contacto de falla D.S. Contacto de alarma  D.S. Contacto de falla	Abierto Abierto Cerrado Abierto	Dispositivo primario: sistema en estado normal, sin fallas ni alarmas presentes.  Dispositivo secundario: sistema en estado de alarma, al menos una alarma presente en el sistema.	Led: rojo Estado RF: ok Estado: alarma

TABLA 4.5. Casos de prueba del ensayo de sistema con un dispositivo primario

Caso de prueba	Parámetro	Valor	Comentario	Resultado esperado
5	D.P. Contacto de alarma	Abierto	Dispositivo primario: sistema en estado normal, sin fallas ni alarmas presentes.	Led: rojo-amarillo Estado RF: ok
	D.P. Contacto de falla	Abierto	Dispositivo secundario: sistema en estado de alarma y falla, al menos una alarma y una falla están presentes en el sistema.	Estado: alarma-falla
	D.S. Contacto de alarma	Cerrado		
	D.S. Contacto de falla	Cerrado		
6	D.P. Contacto de alarma	Cerrado	Dispositivo primario: sistema en estado de alarma, al menos una alarma presente en el sistema.	Led: rojo-amarillo Estado RF: ok
	D.P. Contacto de falla	Abierto	Dispositivo secundario: sistema en estado de falla, al menos una falla presente en el sistema.	Estado: alarma-falla
	D.S. Contacto de alarma	Abierto		
	D.S. Contacto de falla	Cerrado		
7	D.P. Contacto de alarma	Cerrado	Dispositivo primario: sistema en estado de alarma, al menos una alarma presente en el sistema.	Led: rojo Estado RF: ok
	D.P. Contacto de falla	Abierto	Dispositivo secundario: sistema en estado de alarma, al menos una alarma presente en el sistema.	Estado: alarma
	D.S. Contacto de alarma	Cerrado		
	D.S. Contacto de falla	Abierto		
8	D.P. Contacto de alarma	Abierto	Dispositivo primario: sistema en estado de falla, al menos una falla presente en el sistema.	Led: rojo-amarillo Estado RF: ok
	D.P. Contacto de falla	Cerrado	Dispositivo secundario: sistema en estado de alarma.	Estado: alarma-falla
	D.S. Contacto de alarma	Cerrado		
	D.S. Contacto de falla	Abierto		

TABLA 4.6. Casos de prueba del ensayo de protocolo de recuperación.

Caso de prueba	Parámetro	Valor	Comentario	Resultado esperado
1	Conexión inalámbrica Canal Conteo de ciclos	Establecida 122 1	Comunicación inalámbrica funciona correctamente en el canal 122	Permanecer en el canal 122, reinicio de conteos de intentos.
2	Conexión inalámbrica Canal Conteo de ciclos	2 Intentos fallidos 120 2	Comunicación inalámbrica fallida por segunda vez, en el segundo intento con el canal 120.	Permanecer en el canal 120 e incrementar a 3 intentos fallidos.
3	Conexión inalámbrica Canal Conteo de ciclos	5 Intentos fallidos 122 3	Comunicación inalámbrica fallida por quinta vez, en el tercer intento con el canal 122	Inicio de tareas de restitución del sistema.
4	Conexión inalámbrica Canal Conteo de ciclos	5 Intentos fallidos 120 1	Comunicación inalámbrica fallida por quinta vez, en un primer intento en el canal 120.	Cambio del canal 120 al canal 122 y reinicio de conteo de intentos fallidos.

## Capítulo 5

# Conclusiones

### 5.1. Conclusiones generales

El trabajo finaliza con el desarrollo de un sistema de monitoreo remoto, compatible con sistemas de detección que funcionen con contactos secos programables, además cuenta con la capacidad de poder establecer comunicación inalámbrica con diferentes dispositivos, en una estructura de red de nodos repetidores. Cada nodo ejecuta un protocolo de recuperación ante pérdidas de comunicación, que les permite restaurarse de forma automática ante diferentes eventos de falla, evitando en la gran mayoría de ocasiones el traslado de personal técnico al lugar de la instalación.

Este sistema fue puesto a prueba en obra para validar su correcto funcionamiento, se utilizaron dispositivos con acceso web y se comprobó que el usuario pudiese visualizar el estado actual de su sistema de seguridad de forma remota.

Se resaltan las prácticas que fueron clave para cada etapa del proyecto:

- Planificación: aunque la planificación no se ejecutó según lo planteado originalmente, se considera una herramienta indispensable, ya que permite monitorear el progreso de las diferentes actividades que integran el proyecto, así como identificar retrasos y/o tareas que requieren mayor dedicación, lo cual permite tomar las acciones necesarias en el tiempo adecuado para cumplir con los objetivos planteados.
- Diseño: utilizar un patrón de diseño, combinado con una estrategia de desarrollo de software modularizado, permitió generar una estructura de código enfocado principalmente en escalabilidad. Este diseño evolucionó en una metodología de desarrollo, fundamentado en la elaboración de pequeños bloques funcionales probados con elementos de *testing*. Lo cual facilitó la inclusión de los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera de forma organizada.
- Software: a partir de las experiencias previas con sistemas operativos, fue posible realizar dos dispositivos funcionales, basados en sistemas operativos diferentes. El dispositivo primario aprovecha la gestión de un sistema operativo de propósito general para establecer una interfaz web bidireccional, asimismo el dispositivo secundario utiliza un sistema operativo cooperativo, que brinda compatibilidad con diferentes microcontroladores y a la vez escalabilidad al proyecto.

- **Hardware:** La fabricación de un dispositivo prototipo, complementa la metodología de desarrollo de software explicada anteriormente, generando una plataforma de prueba que permitió la elaboración de un sistema de pruebas continuas a medida que el sistema se iba concretando. Un aporte invaluable para el trabajo fueron los conocimientos adquiridos en el curso de diseño de circuitos impresos, donde se realizaron cambios al diseño original, que se ven reflejados en mejoras en las características de robustez, manufacturabilidad, detección de fallas y la generación documentación adecuada para el mantenimiento y evolución del proyecto.

## 5.2. Próximos pasos

El sistema actual cumple con los requerimientos planteados inicialmente. Sin embargo, durante su desarrollo surgieron puntos de mejora y trabajos a desarrollar, entre los cuales se resaltan los siguientes:

- Aprovechar la conectividad WiFi del dispositivo secundario, para establecer una vía alterna para la carga del estado del sistema en el servidor web, en caso de fallas en el dispositivo primario.
- Desarrollo de una interfaz web personalizada, que complemente los avances realizados en la plataforma Node-RED.
- Diseño de un tercer dispositivo que funcione como nodo repetidor, que prescinda de funcionalidades adquisición de información y se enfoque en extender el alcance de la comunicación por radiofrecuencia.
- Implementación de un servidor que regule el acceso de los usuarios, que además permita visualizar la información desde cualquier punto con conectividad a internet.

El sistema actual se basa en el monitoreo de contactos secos programables, con el objetivo de mantener compatibilidad con diferentes marcas comerciales. A la vez existen segmentos del mercado con requerimientos más exigentes. Algunos posibles proyectos son:

- Hacer uso del puerto de conexión de impresoras de algunas marcas comerciales de centrales de alarma de incendio, para obtener un mayor detalle de los eventos que ocurren en la instalación.
- Diseñar una interfaz gráfica que se acomode a cada obra, facilitando al usuario la documentación de la instalación, tal como información de los equipos instalados, instrucciones ante diferentes eventos, planos con el estado de real de los dispositivos, datos históricos, próximos mantenimientos, etc.

Un aporte significativo que se espera poder alcanzar con esta serie de proyectos, consiste en establecer un sistema con la robustez y confiabilidad suficiente, para instaurar un vínculo con personal capacitado. Lo cual puede favorecer a generar una respuesta temprana ante situaciones de incendio, disminuyendo los daños ocasionados y salvaguardando de manera eficaz la vida de las personas en situaciones de emergencia.