



**FACULTAD
DE INGENIERIA**

Universidad de Buenos Aires

**CARRERA DE ESPECIALIZACIÓN EN
SISTEMAS EMBEBIDOS**

MEMORIA DEL TRABAJO FINAL

**Llamador Bluetooth con micrófono para
sistema de llamado a enfermera**

Autor:

Ing. Raul Alejandro Camacho Dorado

Director:

Ing. Sergio Starkloff (SURIX)

Codirector:

Mg. Ing. Ericson Joseph Estupiñan Pineda (FIUBA)

Jurados:

Ing. Héctor Lacomí (CITEDEF)

Mg. Ing. Mara Fusco (UTN - FRH)

Esp. Ing. Facundo Adrián Lucianna (FIUBA)

*Este trabajo fue realizado en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires,
entre marzo de 2020 y Abril de 2021.*

Resumen

En la presente memoria se describe el desarrollo de un sistema de llamado a la enfermera desarrollado para la empresa SURIX S.R.L., basado en comunicación por Bluetooth, que reemplazará al actual, basado en comunicación cableada. El sistema consiste en un dispositivo llamador, que se conecta con un terminal de sala y puede enviar solicitudes del paciente, así como informar el estado de su batería de alimentación. El terminal de sala debe recibir estos mensajes y reenviarlos a la terminal de enfermería, y si es necesario iniciar una llamada entre el paciente y la enfermera.

Para el desarrollo de esta aplicación se utilizaron conocimientos relacionados a programación de microcontroladores, protocolos de comunicación, sistemas operativos en tiempo real, testing de software y desarrollo de aplicaciones.

Agradecimientos

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

Índice general

Resumen	I
1. Introducción general	1
1.1. Antecedentes y análisis de contexto	1
1.2. Objetivos y Alcance	3
1.2.1. Objetivos	3
1.2.2. Alcance	4
1.3. Justificación	4
2. Introducción específica	5
2.1. Bluetooth	5
2.1.1. Bluetooth Low Energy (LE)	5
2.1.2. Bluetooth clásico	5
2.1.3. Comparación de tecnologías Bluetooth	6
2.2. Sistema propuesto	6
2.3. Requerimientos	7
2.4. Planificación	8
3. Diseño e implementación	11
3.1. Hardware	11
3.2. Software	14
3.2.1. Software del dispositivo llamador	15
3.2.2. Software de la central receptora	16
3.2.3. Software de control placa de expansión	18
4. Ensayos y resultados	21
4.1. Pruebas funcionales del hardware	21
5. Conclusiones	23
5.1. Conclusiones generales	23
5.2. Próximos pasos	23
Bibliografía	25

Índice de figuras

1.1. Llamadores de enfermera disponibles en el mercado	3
2.1. Diagrama en bloques del sistema propuesto	7
2.2. Diagrama activity on node del trabajo	9
3.1. Modulo MDBT42Q-512KV2	12
3.2. Micrófono SDM0401-RS261-G04	12
3.3. Diagrama esquemático para placas Bluetooth	13
3.4. Placa dispositivo llamador	13
3.5. Prototipo gabinete del dispositivo llamador	14
3.6. Diagrama de bloques del software del llamador	15
3.7. Diagrama de bloques software central receptora	17
3.8. Diagrama de bloques software de control de la placa de expansión	19

Índice de tablas

1.1. Sistemas de llamado a enfermera	3
2.1. Tecnologías Bluetooth	7
3.1. Características modulo MDBT42Q-512KV2	12
3.2. Características micrófono SDM0401-RS261-G04	14

Dedicado a... [OPCIONAL]

Capítulo 1

Introducción general

En este capítulo se describe el contexto actual del cual parte el trabajo y el estado del arte de los sistemas de llamado a enfermera. Además se presentan los objetivos, el alcance del trabajo y se expone su justificación

1.1. Antecedentes y análisis de contexto

SURIX es una empresa argentina fundada en 1998, que se dedica al desarrollo de sistemas de control de acceso basados en tecnología IP. Actualmente ofrece líneas de productos para el hogar y edificios, aplicaciones tecnológicas personalizadas para corporaciones, industrias, hospitales, centros comerciales, autopistas y entes gubernamentales. Productos que exporta a más de 14 países para diversas aplicaciones, por lo que tiene oficinas en Israel y México [1].

Entre los productos ofertados por SURIX, se destaca el sistema de llamado a enfermera. Este consta de un dispositivo llamador, que se conecta por cable a un terminal de sala. Esta a su vez se conecta a través de una red con el terminal de enfermería [2].

Desde el dispositivo llamador, el paciente puede encender la luz de lectura o –lo que es más relevante– requerir la atención del personal de servicio a la habitación. En caso de necesitar atención, el terminal de sala iniciará una llamada VoIP con el terminal de enfermería.

El sistema diferencia un llamado para servicio a la habitación, asistencia en el baño o asistencia en caso paro cardíaco, y si fue atendido por enfermería remotamente o se está en presencia de la enfermera. También cuando concluye el servicio.

Además permite visibilizar la solicitud y tipo de solicitud, por medio de una luminaria ubicada en el pasillo sobre la puerta de la habitación, que se puede configurar para iluminarse de diversos colores o encenderse intermitentemente en función del tipo de solicitud del paciente.

En la terminal de enfermería se dispone de un panel donde se puede visualizar el estado de cada cama, y el terminal de sala actualmente sólo puede conectarse a dos dispositivos llamadores.

En el mercado existen varias soluciones similares a la que se desea desarrollar, entre las que podemos mencionar:

- MMCALL: sistema que utiliza tecnologías inalámbricas y dispone de pulsadores de llamada colocados en las habitaciones y baños de los pacientes,

a través de los cuales solicitan asistencia presionando un botón. La estación de enfermería muestra el número de habitación o cama asignado a ese pulsador de llamada y simultáneamente activa un cronómetro para garantizar una atención oportuna, de manera que si la llamada no es respondida envía un recordatorio tanto a la estación de enfermería como a todos los relojes inalámbricos, con los que cada miembro del personal puede ser equipado, para asegurar que la llamada sea respondida sin importar en qué parte del hospital se encuentren. Todas las llamadas se registran en la estación de enfermería, lo cual permite sacar reportes de desempeño y rendimiento. El alcance de la señal es de 70 a 80 metros, pero se puede extender utilizando amplificadores y repetidores de señal [3].

- **Helpnex:** sistema modular que utiliza tecnología IP, dispone de pulsadores para cama y baño que permiten que el paciente solicite asistencia presionando un botón, y permite visualizar y atender el requerimiento, pudiendo detallar el motivo o añadir todo tipo de observaciones sobre la solicitud. Todas las alarmas y tareas quedan registradas en una base de datos. Ofrece control sobre personas en general, pudiendo obtener su ubicación en tiempo real, mediante un tag pequeño y compacto, que permite la localización de la persona, a través de radiofrecuencia sobre las principales salidas del centro, con distinción entre cercanía o apertura de una puerta, con visualización de alarmas en el plano en tiempo real. Permite también alarma para pasillo con diferentes códigos de colores, emitiendo indicación sonora y luminosa. Además ofrece la posibilidad de disponer de un puesto de control para la emisión de informes personalizados, permitiendo conocer todo lo ocurrido en el centro de atención médica. [4].
- **Llamador de enfermería inalámbrico SEI:** sistema desarrollado para clínicas, hospitales, geriátricos, hogares de ancianos o casas particulares con personas con movilidad reducida. Dispone de un llamador en cada habitación identificado por un número, cada uno de estos llamadores dispone de tantos pulsadores como camas posea la habitación. Cuando el paciente presiona el pulsador, se reporta inalámbricamente a una central receptora, encendiendo el LED correspondiente a dicha habitación, y una señal sonora advierte del llamado. Mientras existan llamados activos se oirá un “bip” cada 10 segundos alertando a la persona a cargo del llamado pendiente. Si el llamado lleva activo un tiempo mayor a 5 minutos el LED comenzará a parpadear alertando la demora. Para cancelar el llamado la enfermera o persona a cargo debe dirigirse a la habitación correspondiente y presionar el botón “cancelar” del llamador. Mientras el llamado esté activo, en el llamador destellará un LED indicando dicho estado. El alcance de la señal inalámbrica es de 30 a 35 metros que puede extenderse mediante el uso de retransmisores [5].

En la tabla 1.1 se resume las características del sistema de llamado a enfermera de SURIX y de los demás sistemas mencionados.

En la figura 1.1 se ilustran los distintos equipos llamadores que se han presentado en esta sección.

TABLA 1.1. Tabla comparativa de los sistemas de llamado a enfermera disponibles en el mercado

Característica	SURIX	MMCALL	Helpnex	SEI
Dispositivo llamador inalámbrico				X
Central de enfermera inalámbrica		X	X	X
Aviso de presencia de enfermera por RFID	X		X	
Sistema de localización de pacientes			X	
Panel de control	X	X	X	X
Alarma de pasillo configurable	X	X	X	
Emisión de informes	X	X	X	



FIGURA 1.1. Llamadores de enfermera disponibles en el mercado

1.2. Objetivos y Alcance

1.2.1. Objetivos

El objetivo general es dotar de conectividad Bluetooth al sistema actual de llamado a enfermera de SURIX. Esto permitirá que el sistema de SURIX cuente con un dispositivo llamador inalámbrico, y una central de enfermera inalámbrica. Adicionalmente permitirá en un futuro que se implemente un sistema de localización de pacientes.

Para el logro del objetivo planteado el trabajo contempla:

- El diseño e implementación de un módulo de expansión que permita dotar de conectividad Bluetooth a la terminal de sala del sistema actual de SURIX.
- El diseño e implementación de un nuevo dispositivo llamador con conectividad Bluetooth.
- El desarrollo del firmware para el módulo de expansión diseñado.

- El desarrollo del firmware para el nuevo dispositivo llamador.
- El desarrollo del firmware de la terminal de sala para el control de módulo de expansión diseñado.

1.2.2. Alcance

El alcance del trabajo está definido por las siguientes consideraciones:

- Si bien en el trabajo uno de los objetivos es desarrollar el firmware para control del módulo de expansión, esto no implica sustituir el firmware de la terminal de sala por uno nuevo, sino sólo escribir el módulo que permita interactuar a la terminal de sala con el módulo de expansión diseñado, ya que el resto del sistema actual se seguirá utilizando.
- Debido a que el diseño del dispositivo llamador debe ser de bajo consumo de energía, este no dispondrá de un parlante, por lo que no se considera el desarrollo de firmware que envíe audio al dispositivo llamador, y la salida de audio se mantendrá en la terminal de sala, como ocurre con el sistema actual.
- Aunque el diseño del dispositivo llamador implica elegir una fuente de alimentación, el trabajo no contempla diseñar un sistema de recarga para la batería.

1.3. Justificación

El trabajo permite ampliar la capacidad de conexión de la terminal de sala, que actualmente está limitada a sólo dos dispositivos llamadores, de manera que será posible conectar un mayor número de dispositivos llamadores.

Adicionalmente, al tener conectividad Bluetooth, se elimina el riesgo de romper el cable de conexión e inutilizar, al menos temporalmente hasta que se reemplacé el cable, el dispositivo llamador cuando el paciente trata de acercarlo a él, y jala del cable.

Quitar el cable también posibilita que los pacientes que por su estado se encuentren débiles puedan acercar el llamador a su boca haciendo que sea más fácil escuchar su voz.

El hecho de que el dispositivo llamador sea inalámbrico permite que pueda ser utilizado en distintos lugares, lo que permite reorganizar fácilmente una sala, o incluso usar el dispositivo llamador en otra sala, donde sea requerido.

Por otro lado, el dotar de conectividad Bluetooth al sistema actual permitirá a SURIX posicionar este producto para competir con otros sistemas existentes en el mercado, que ya ofrecen esta característica.

Capítulo 2

Introducción específica

En el presente capítulo se brinda una introducción a diferentes tecnologías utilizadas en el trabajo y una explicación del funcionamiento general del sistema implementado. Se presentan además los requerimientos y la planificación del trabajo.

2.1. Bluetooth

La tecnología Bluetooth opera en la banda de frecuencia industrial, científica y médica (ISM) sin licencia de 2.4GHz. Admite múltiples opciones de radio que permiten a los desarrolladores desarrollar productos que cumplen con requisitos de conectividad específicos de cada aplicación.

Ya sea que un producto transmita audio de alta calidad entre un teléfono inteligente y un altavoz, transfiera datos entre una tableta y un dispositivo médico, o envíe mensajes entre miles de nodos en una aplicación de automatización de edificios, los tecnologías Bluetooth Low Energy (LE) y Basic Rate/Enhanced Data Rate (BR/EDR) están diseñadas para satisfacer las distintas necesidades de los desarrolladores de todo el mundo [6].

2.1.1. Bluetooth Low Energy (LE)

La tecnología Bluetooth Low Energy (LE) está diseñada para funcionar con muy baja potencia. Permite un funcionamiento confiable en la banda de frecuencia de 2.4 GHz, ya que aprovecha un sólido enfoque de espectro ensanchado por salto de frecuencia que transmite datos a través de 40 canales [6].

Esta tecnología, brinda a los desarrolladores una enorme flexibilidad, incluidas múltiples opciones en la capa física (PHY) que admiten velocidades de datos de 125 Kb/s a 2 Mb/s, múltiples niveles de potencia, entre 1 mW y 100 mW, así como múltiples opciones de seguridad [6].

Bluetooth LE también admite múltiples topologías de red, incluidas redes punto a punto, de broadcast y de malla.

2.1.2. Bluetooth clásico

La tecnología Bluetooth clásica, también conocida como Bluetooth Basic Rate/Enhanced Data Rate (BR/EDR), está diseñada para un funcionamiento de baja potencia y también aprovecha un sólido enfoque de salto de frecuencia adaptable, que transmite datos en 79 canales [6].

Esta tecnología incluye múltiples opciones en la capa física (PHY) que admiten velocidades de datos de 1 Mb/s a 3 Mb/s, múltiples niveles de potencia, entre 1 mW y 100 mW, múltiples opciones de seguridad y una topología de red punto a punto [6].

2.1.3. Comparación de tecnologías Bluetooth

El Bluetooth clásico y el Bluetooth LE tienen, en principio, unos fines muy diferentes.

- El Bluetooth clásico puede manejar muchos datos, pero consume mucha más energía.
- El Bluetooth LE se utiliza para aplicaciones que no necesitan intercambiar grandes cantidades de datos, y por lo tanto puede funcionar con la energía de la batería durante años a un coste más bajo.

Todo depende de lo que se intente conseguir. En general, el Bluetooth clásico se utiliza principalmente dispositivos de audio, como las conexiones telefónicas inalámbricas, los auriculares y altavoces inalámbricos.

El Bluetooth LE es más frecuente en los dispositivos wearables (smartwatches, sensores de frecuencia cardíaca, etc.), en los dispositivos inteligentes del IoT (termómetros, alarmas, etc.) y en los accesorios que funcionan con pilas, como un teclado inalámbrico de ordenador.

También debes tener en cuenta que las versiones de Bluetooth a partir de la Bluetooth 4.0 cuentan tanto con Bluetooth clásico, como con Bluetooth LE. Por tanto, las versiones 4.0, 4.1, 4.2, 5.0, 5.1 y 5.2 en adelante tienen ambos modos de funcionamiento [7].

La tabla 2.1 muestra una comparación de las principales características de ambas tecnologías Bluetooth: LE y BR/EDR.

2.2. Sistema propuesto

La figura 2.1 muestra un diagrama de bloques del sistema propuesto donde se puede apreciar que es completamente inalámbrico, ya que el dispositivo llamador se conecta a la terminal de sala a través de Bluetooth. Esto Permite eliminar la limitación de conectar solo dos dispositivos llamadores, además de eliminar los riesgos asociados al cableado. También lo hace más cómodo y versátil, pues el paciente podrá llevarlo con él a donde sea que vaya y lo podrá utilizar sin estar necesariamente en la cama. Por ejemplo si necesita ir al baño y estando ahí requiere ayuda, no necesita volver a la cama para solicitar atención.

El sistema que se desarrolla en este trabajo agrega la electrónica tanto del lado del llamador como del lado de la terminal, cuyo dispositivo Bluetooth acepta varios llamadores Bluetooth, que le envían novedades. La terminal de sala a su vez redirecciona las novedades de cada paciente a la terminal de llamada.

El terminal de llamada, como ya hacía el anterior sistema, notifica vía Ethernet a la enfermera, y en caso de ser necesario establece una llamada entre el paciente y la enfermera.

TABLA 2.1. Tabla comparativa de tecnologías Bluetooth

	Bluetooth low energy (LE)	Bluetooth clásico
Bandas de frecuencia	Banda ISM de 2.4GHz (2.402 - 2.480 GHz utilizados)	Banda ISM de 2.4GHz (2.402 - 2.480 GHz utilizados)
Canales	40 canales con espaciado de 2 MHz (3 canales publicitarios, 37 canales de datos)	79 canales con espaciado de 1 MHz
Uso de los canales	Espectro ensanchado por salto de frecuencia (FHSS)	Espectro ensanchado por salto de frecuencia (FHSS)
Modulación	GFSK	GFSK, $\pi/4$ DQPSK, 8DPSK
Consumo de energía	$\sim 0.01 \times 0.5 \times$ de referencia (dependiendo del caso de uso)	1 (valor de referencia)
Velocidad de datos	LE 2M PHY: 2 Mb/s LE 1M PHY: 1 Mb/s LE Coded PHY (S=2): 500 Kb/s LE Coded PHY (S=8): 125 Kb/s	EDR PHY (8DPSK): 3 Mb/s EDR PHY ($\pi/4$ DQPSK): 2 Mb/s BR PHY (GFSK): 1 Mb/s
Potencia máxima de Transmision	Clase 1: 100 mW (+20 dBm) Clase 1.5: 10 mW (+10 dbm) Clase 2: 2.5 mW (+4 dBm) Clase 3: 1 mW (0 dBm)	Clase 1: 100 mW (+20 dBm) Clase 2: 2.5 mW (+4 dBm) Clase 3: 1 mW (0 dBm)
Topologías de red	Punto a punto (incluida piconet) Transmisión Malla	Punto a punto (incluida piconet)

2.3. Requerimientos

Los requerimientos del nuevo sistema de llamado a enfermera son:

1. Al pulsar uno de los botones del dispositivo llamador, la terminal de sala deberá iniciar una llamada con una terminal de enfermería.
2. Una vez que la terminal de enfermería conteste a la llamada de la terminal de sala, o cuando la terminal de enfermería realice una solicitud de iniciar una llamada, la terminal de sala indicará al dispositivo llamador, que corresponda, encender su micrófono e iniciar el envío de la señal de audio.
3. Cada dispositivo llamador debe poder identificarse con un ID único de manera que pueda ser registrado en una terminal de sala.

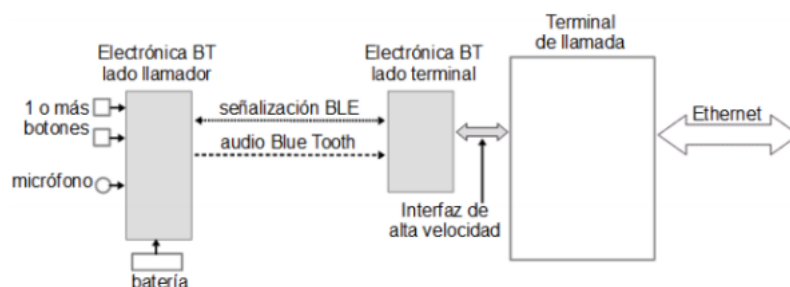


FIGURA 2.1. Diagrama en bloques del sistema propuesto

4. La terminal de sala deberá registrar los IDs de los llamadores correspondientes a las camas que tenga en el cuarto, y no deberá aceptar conexiones de otros llamadores.
5. La transmisión de audio debe realizarse por Bluetooth LE.
6. La transmisión de audio debe realizarse utilizando el codec g711 ulaw empleado en el software actual.
7. El dispositivo llamador debe permanecer en modo de bajo consumo mientras no esté en una llamada, o el paciente presione un botón.
8. La terminal de sala además de sus tareas habituales debe estar a la escucha de los mensajes de los dispositivos llamadores que tenga registrados.
9. Al requerimiento de la terminal de enfermería, la terminal de sala debe poder determinar a qué dispositivo llamador dirigir la solicitud.
10. El software debe permitir modificar sus parámetros operativos y almacenarlos en memoria segura.
11. El software no debe alterar las condiciones de operación actuales del sistema.
12. Se deberá diseñar dos placas eléctricas, una para el módulo de expansión a conectarse a la terminal de sala, y otra para el dispositivo llamador.

Los requerimientos del modulo de expansión para la terminal son:

1. Conectar de 1 a 3 dispositivos llamadores.
2. Notificar a la terminal de sala las solicitudes del paciente para que inicie una llamada con la terminal de enfermería.
3. Notificar a la terminal de sala cuando un dispositivo llamador se encuentre con baja batería.
4. Al estar en llamada, el módulo de expansión deberá ignorar las peticiones de otros llamadores y solo retransmitir la señal de audio a la terminal de sala.

Los requerimientos del dispositivo llamador son:

1. Medir el nivel de batería del dispositivo y notificar al módulo de expansión de la terminal de sala al que se encuentre conectado.
2. Notificar a la terminal de sala sobre las solicitudes del paciente según el botón presionado.
3. Leer señal de audio y transmitirla a la terminal de sala cuando se encuentre en llamada.

2.4. Planificación

En la figura 2.2 se presenta la planificación inicial aprobada para el desarrollo del presente proyecto donde se aprecia el camino crítico para su ejecución, habiéndose estimado un total de 615 horas de trabajo.

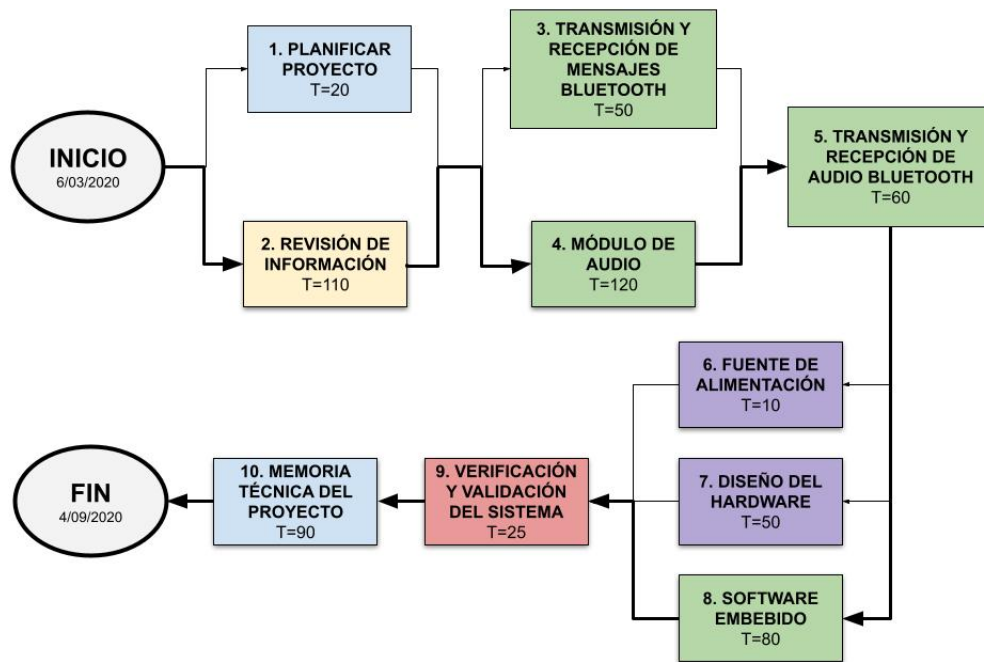


FIGURA 2.2. Diagrama activity on node del trabajo

Esta planificación inicial no se cumplió de acuerdo a lo previsto debido a que algunos supuestos del proyecto no se cumplieron, entre los que citamos:

- El tiempo requerido para el desarrollo del software resultó mayor al previsto. Además de ello, se tuvo un retraso en el inicio de esta actividad ya que debido a la cuarentena que se decretó de un momento a otro, no se dispuso oportunamente del material necesario para desarrollar el proyecto.
- Hubo dificultad al conseguir algunos componentes electrónicos necesarios, particularmente, el micrófono para poder hacer pruebas durante el desarrollo.
- El tiempo requerido para el desarrollo del hardware resultó mayor al previsto. La empresa cuenta con un fabricante de placas de su confianza, el mismo que se encuentra en la China, motivo por el cual debido a la coyuntura originada en la pandemia por la aparición del COVID-19 se han tenido dificultades en la comunicación y transporte.

No obstante, si bien los plazos fueron más largos de lo previsto, el trabajo pudo realizarse en forma exitosa, como se muestra en los siguientes capítulos.

Capítulo 3

Diseño e implementación

En este capítulo se describe el diseño e implementación de los diferentes módulos de software y hardware del sistema, como así también las diferentes herramientas utilizadas.

El sistema propuesto reemplazará al sistema actual de SURIX, el mismo que es un llamador cableado que se conecta en uno de los puertos de accesorio que tiene el terminal de sala, y donde tanto el micrófono como el parlante se encuentra ubicado en dicho terminal.

El nuevo sistema cambia la ubicación del micrófono al dispositivo llamador, de manera que ahora está más cerca del paciente. De esta forma se mantiene el parlante en la terminal de sala, mejorando así la comunicación.

El micrófono seleccionado utiliza la interfaz de audio digital PDM, que es compatible con el procesador elegido dispone de un periférico para controlar micrófonos con este tipo de interfaz.

La comunicación entre el dispositivo Bluetooth y la terminal de llamada se realiza a través de una interfaz UART, que está disponible en los puertos de accesorios de la terminal de llamada del sistema anterior. En este sistema el audio se transmite codificado en PCMU, para mantener compatibilidad con el anterior sistema.

3.1. Hardware

Aunque la idea inicial era diseñar dos placas electrónicas distintas: Una para el dispositivo llamador y, otra para el lado de la terminal sala, como una placa de extensión de la placa principal de dicha terminal, la terminal de llamada, luego de realizar los Diagramas esquemáticos se vio conveniente diseñar un solo diagrama que sirve para ambos dispositivos.

Los principales componentes de esta placa son:

- Un modulo bluetooth LE MDBT42Q-512KV2, que internamente cuenta con un microcontrolador NRF52832 ARM Cortex-M4 de la empresa Nordic, mismo que cumple con las especificaciones de bluetooth LE 5.2, 5.2, 5 y 4.2. Se eligió este módulo porque ya cuenta con una antena de manera que ya no es necesario diseñar la misma. Este módulo se aprecia en la figura 3.1, y sus principales características se resumen en la tabla 3.1.
- Un micrófono digital con interfaz PDM SDM0401-RS261-G04, seleccionado por su bajo costo y tamaño. Este micrófono se puede observar en la figura 3.2 y sus características se muestran en la tabla 3.2.

- El circuito cuenta con la posibilidad de incluir hasta cuatro pulsadores para interacción con el usuario, en el dispositivo llamador, dicho número puede variar de acuerdo a las versiones de llamador que tiene actualmente la empresa, que varían de 2 a 4 pulsadores según el modelo. También contará con dos LEDs para que el usuario tenga retroalimentación del funcionamiento del dispositivo.



FIGURA 3.1. Modulo MDBT42Q-512KV2

TABLA 3.1. Tabla de características modulo MDBT42Q-512KV2

Característica	Valor
Tamaño (mm)	8.8 x 13.8 x 1.8
Especificación Bluetooth	BT50.1 / BT5.0 / BT4.2
Antena	Incluida en el modulo
Longitud de cobertura	>80 m
RAM	64 Kbytes
Flash	512 Kbytes
Pines GPIO	32



FIGURA 3.2. Micrófono SDM0401-RS261-G04

Con estos componentes se diseñó un diagrama esquemático, a partir del cual se diseñó la placa del dispositivo llamador, que se muestra en la figura 3.3.

A partir de este diagrama se diseñó la placa del dispositivo llamador, que se muestra en la figura 3.4.

La fabricación de esta placa se ha encargado a una empresa China de confianza de SURIX, motivo por el cual este proceso se retrasó y no es posible mostrarla físicamente.

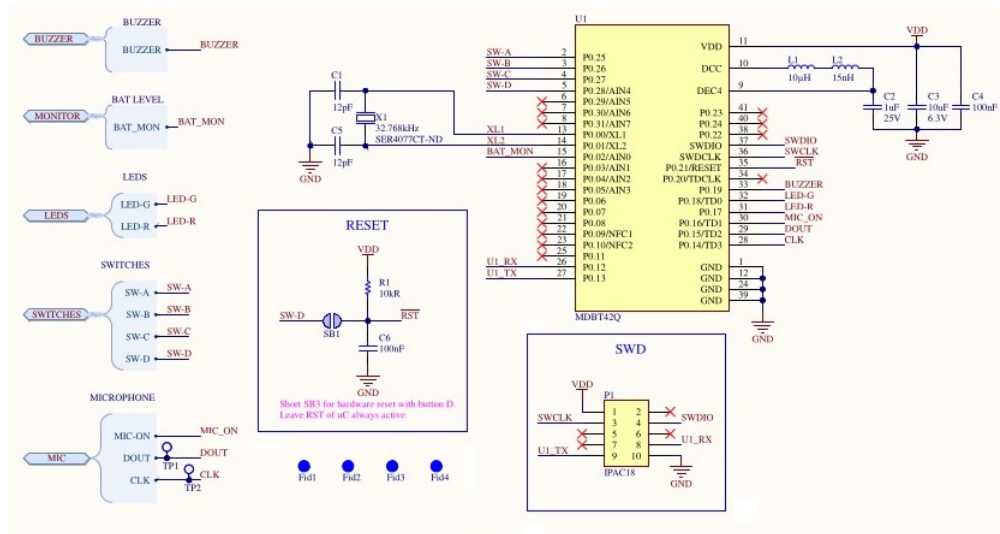


FIGURA 3.3. Diagrama esquemático para placas Bluetooth

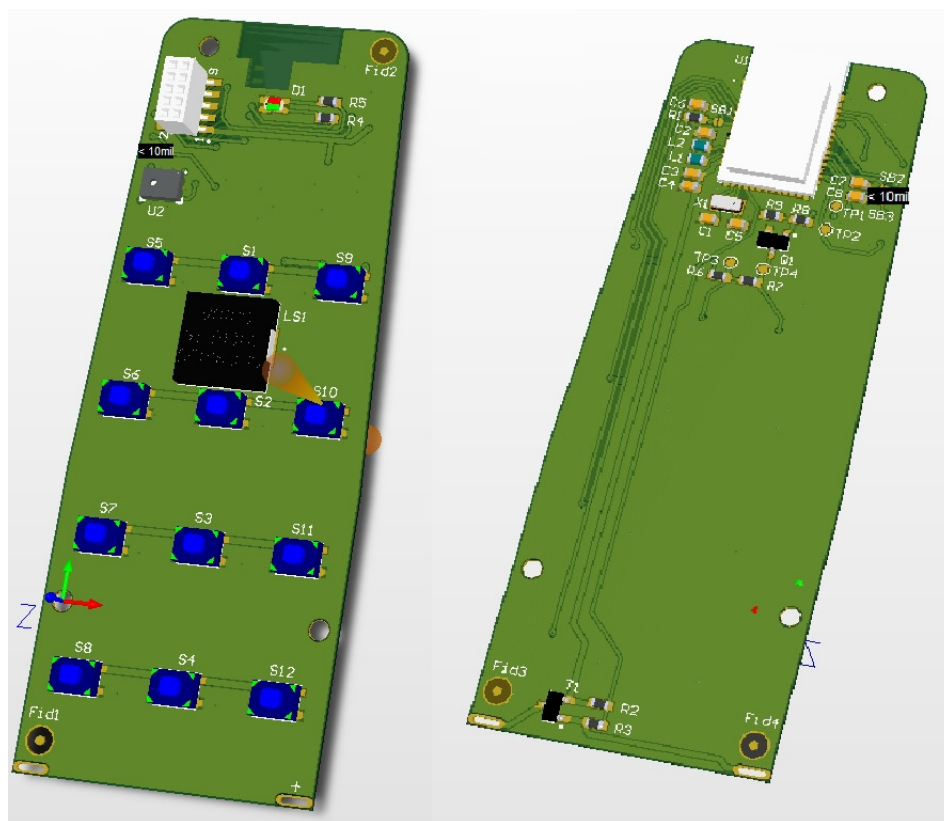


FIGURA 3.4. Placa dispositivo llamador

TABLA 3.2. Tabla de características micrófono SDM0401-RS261-G04

Característica	Valor
Voltaje de alimentacion	1.8 V
Frecuencia de reloj	2.4 MHz
Directividad	Omni-Direccional

Para que el circuito pueda ser utilizado tanto en el llamador como del lado de la terminal de llamada se ha previsto que el circuito pueda ser alimentado, por la terminal de sala de SURIX en la terminal de llamada, o por 2 baterías tipo AAA en el dispositivo llamador, estas últimas se escogieron debido principalmente a la facilidad de adquirirlas en el mercado y su relativamente bajo costo.

La placa del dispositivo llamador se aloja dentro de un gabinete plástico, el cual se muestra en la figura 3.5, sin embargo este se modificara segun las necesidades de SURIX.



FIGURA 3.5. Prototipo gabinete del dispositivo llamador

3.2. Software

Para cumplir con los objetivos del trabajo, se dividió el software en tres componentes:

- El primero que trabaja en bare metal y controla el dispositivo llamador
- El segundo también trabaja en bare metal y controla la placa de la terminal de llamada.

- El tercero es un módulo que se agrega al software del sistema hospitalario de SURIX, el cual trabaja con el sistema operativo FreeRTOS.

La implementación de dichos componentes se describen en los apartados 3.2.1, 3.2.2 y 3.2.3.

3.2.1. Software del dispositivo llamador

En el desarrollo de este firmware se utilizó el paquete de desarrollo de software de Nordic para su familia de microcontroladores 52, de la que es parte el microcontrolador utilizado. Se utilizó la versión 17 de este paquete de desarrollo, junto con el softdevice s132, que es la implementación más moderna del stack Bluetooth que nos ofrece esta versión del paquete de desarrollo de Nordic.

Este software se desarrolló utilizando el compilador GCC que proporciona ARM junto con las herramientas de línea de comandos nRF de Nordic.

Para el desarrollo de este firmware se realizó un diagrama de bloques que describe de manera general el comportamiento de este software. El diagrama mencionado se muestra en la figura 3.6.

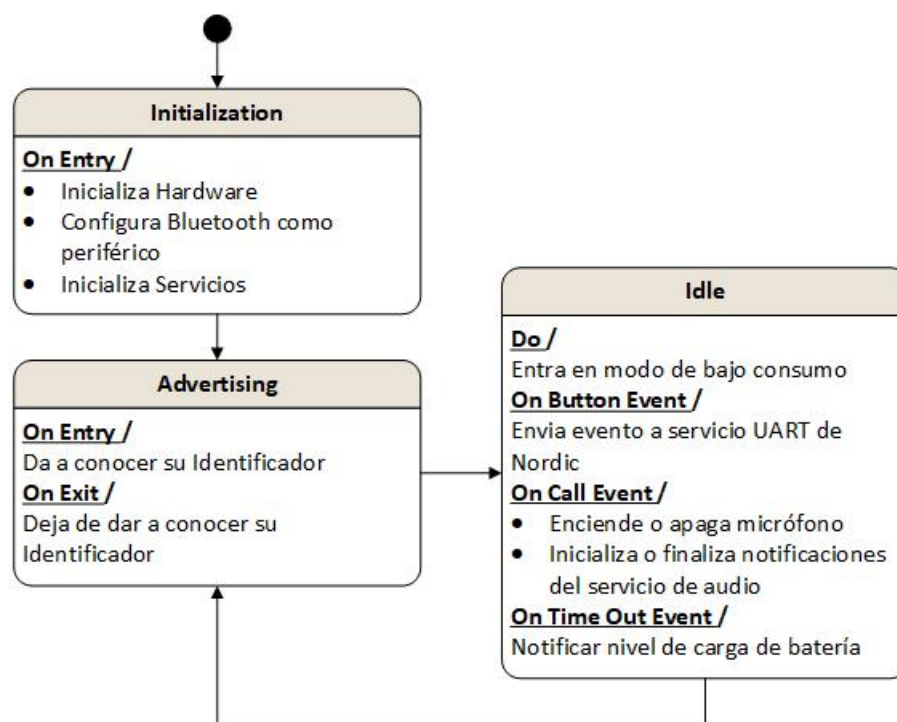


FIGURA 3.6. Diagrama de bloques del software del llamador

Este dispositivo al ser productor de datos en la comunicación Bluetooth, y debido a que sólo se conecta a la central receptora del terminal de sala, se lo programa para que en la conexión cumpla el rol de periférico, definido en el estándar de Bluetooth LE.

Al estar programado de esta manera el dispositivo inicialmente se programó para que, entre los datos que lo identifican, envíe el identificador único del microcontrolador, durante el proceso de advertising, en el cual se da a conocer a todos los

dispositivos bluetooth que están escaneando el ambiente cercano. Dicho identificador usará la central receptora del Bluetooth para decidir a qué dispositivos aceptar una conexión.

Una vez emparejado con una central el dispositivo se mantiene en modo de bajo consumo mientras que el usuario no presione ningún botón en el llamador, o hasta que la central receptora, ubicada en el terminal de sala, le indique que prenda su micrófono para iniciar una llamada con el terminal de enfermería.

Para la notificación de los eventos de presión de botones del dispositivo, el software hace uso de un servicio implementado por la empresa Nordic, Nordic UART Service. Este servicio permite enviar cadenas de caracteres sobre Bluetooth tal como una interfaz serie UART.

Para la parte de audio se implementó un módulo de audio dentro del software, el cual se encarga de inicializar el periférico PDM del microcontrolador para la interacción con el micrófono. Además este módulo se encarga de convertir la señal de 16 khz que nos entrega el periférico, a una de 8 khz, para finalmente convertirla a PCMU.

Con la señal de audio en PCMU se requirió implementar un servicio nuevo que permite enviar la señal de voz capturada por el micrófono, ya que no existe uno disponible en el paquete de desarrollo de Nordic. Este servicio está diseñado para que la central receptora le solicite notificar y enviar cada vez que tenga un paquete de 160 muestras de voz. Cuando esto sucede, el dispositivo llamador enciende su micrófono y empieza con el muestreo de voz.

Para cumplir con las especificaciones PCMU, el firmware está configurado para enviar paquetes cada 20 ms, siempre que existan datos para ser transmitidos.

Finalmente el último servicio implementado, en el firmware, es el servicio de notificación de estado de batería, BAS por sus siglas en inglés, que es un servicio estándar en definido por el grupo de interés especial de Bluetooth (Bluetooth SIG). Para poder recolectar los datos que necesita este servicio, se utilizó el conversor analógico digital que lee permanentemente el nivel carga de la batería, el mismo que cada cierto tiempo, configurado para el servicio, notifica a la central receptora.

3.2.2. Software de la central receptora

Para este software se utilizaron las mismas herramientas de desarrollo utilizadas para desarrollar el software del dispositivo llamador, mencionadas en el acápite 3.2.1.

Para el desarrollo de este firmware se realizó un diagrama de flujo que describe el comportamiento general de este software. El diagrama mencionado se muestra en la figura 3.7.

Este dispositivo es el encargado de recibir datos de todos los dispositivos llamadores, que tenga conectados. Para ello, este dispositivo se programó para que cumpla el rol de central, dentro del estándar Bluetooth BLE, de manera que este dispositivo es capaz de aceptar conexiones de hasta 7 dispositivos.

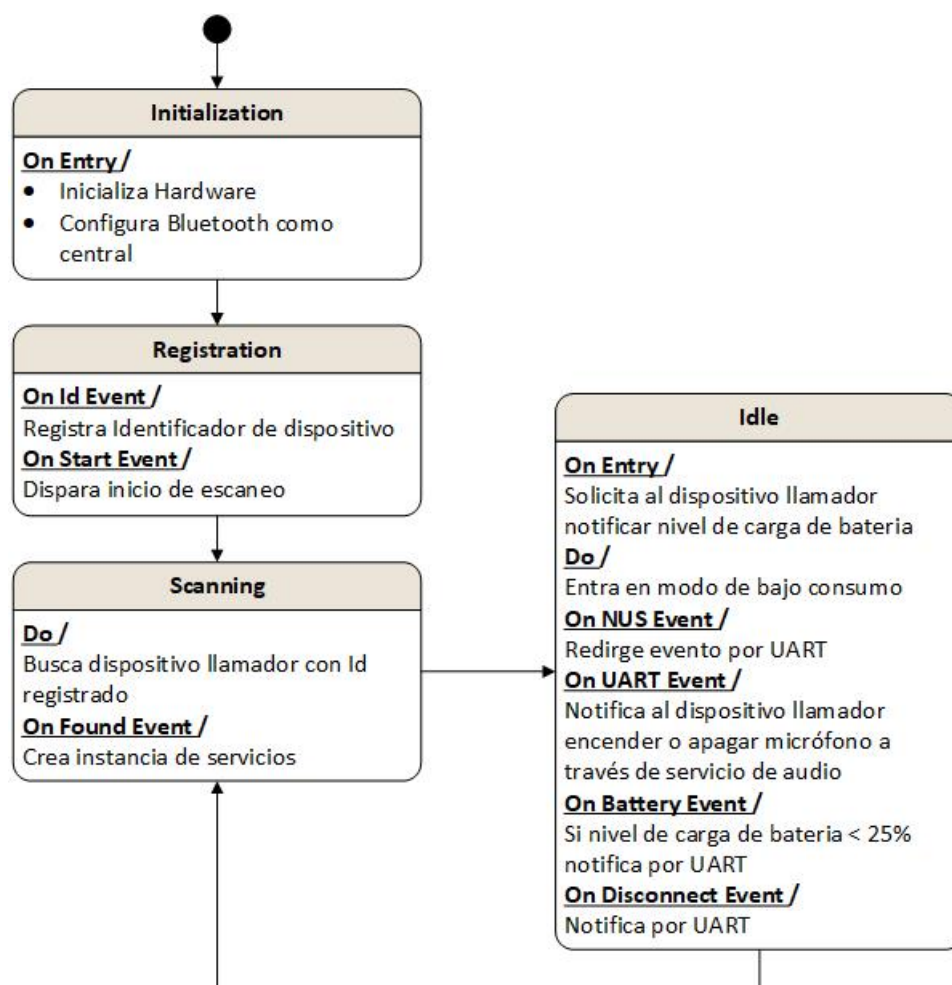


FIGURA 3.7. Diagrama de bloques software central receptora

Al inicializar este dispositivo, se debe configurar el rol antes mencionado, sin embargo no empezará a escanear hasta que reciba todos los identificadores de los llamadores a los que aceptara una conexión.

Para recibir estos datos, el dispositivo iniciará la UART presente en el microcontrolador, y esperará a recibir, desde la terminal de sala, las tramas con los identificadores de todos los dispositivos llamadores que tenga asignados para cada cama, los cuales irá guardando en la RAM, en la posición que corresponda según el número de cama recibido, hasta recibir una trama final que le indica que debe empezar a buscar los dispositivos llamadores que tiene registrados.

Este proceso de búsqueda se mantiene activo hasta que la central logra conectar a todos los dispositivos que tiene asignados. Para descartar los dispositivos no registrados, este proceso lee el identificador que le comparte el dispositivo llamador, verifica que coincida con uno de los identificadores que tiene registrados, y que esté presente el servicio de audio implementado, que también tiene un identificador único. Todo dispositivo que no cumpla con estas dos condiciones será rechazado.

Una vez que un dispositivo logra conectarse, la central receptora creará instancias de los servicios que se mencionan a continuación:

- Nordic Uart Service (NUS), el cual permite recibir cadenas de caracteres enviadas por los dispositivos llamadores a través de este servicio. A cada mensaje recibido, le agrega el número de cama correspondiente, según el registro de los identificadores, y lo envía al terminal de sala a través de la interfaz UART.
- Servicio de Audio, que al igual que en el software del dispositivo llamador, se implementó uno nuevo, debido a que no existe uno disponible. Este servicio se encarga de notificar al dispositivo llamador correspondiente, cada vez que se necesita iniciar una llamada, para que este encienda su micrófono y empiece a muestrear, y le solicita notificar, cada vez que tenga una trama de audio en PCMU, la cual recibe a través este servicio. Cuando la central receptora recibe una trama, este servicio se encarga de reenviar dicha trama por la interfaz UART al terminal de sala.
- Servicio de batería, que como se mencionó en el acápite 3.2.1 es un servicio estándar de Bluetooth LE. Cuando dicho dispositivo se conecta, este servicio le solicitará que empiece a notificar el nivel de carga de su batería. Adicionalmente, la aplicación cada vez que reciba una notificación en este servicio, verifica si está por debajo del 25 %, y de ser así, notifica este evento al terminal de sala, a través de la interfaz UART, identificando al dispositivo llamador en el que se produjo este evento

Adicionalmente a estos servicios, la central receptora verifica que todos los dispositivos que tiene conectados, permanezcan conectados. Cuando detecta que un dispositivo no está conectado, envía una notificación al terminal de sala enviando el número de cama al cual el dispositivo llamador estaba registrado.

3.2.3. Software de control placa de expansión

Este software es un módulo adicional al firmware que SURIX dispone para sus terminales, el mismo que no tiene una sola aplicación, por lo que dependiendo

de la aplicación, este módulo se integrará o no al sistema.

El firmware del que forma parte este módulo, es un sistema implementado sobre un sistema operativo FreeRTOS, que ya tiene implementado el protocolo SIP, que permite al módulo realizar llamadas al terminal de enfermería, además de una página web de configuración del terminal.

El comportamiento general de este módulo se observa en el diagrama de flujo diseñado para su desarrollo, el mismo que se muestra en la figura 3.8.

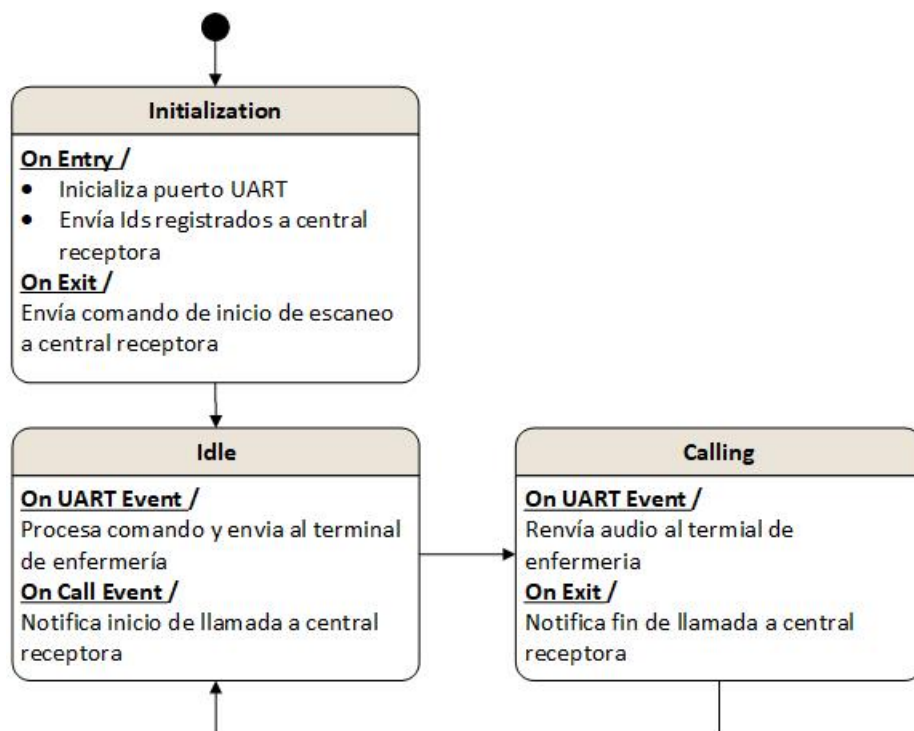


FIGURA 3.8. Diagrama de bloques software de control de la placa de expansión

Cuando este módulo está presente en el sistema agrega, a la página web del sistema, un menú que le permite al usuario configurar el terminal de sala, para registrar los identificadores de los dispositivos llamadores.

Una vez que el sistema arranca, este módulo lee los identificadores de los dispositivos llamadores ingresados en la web y los envía a la central receptora, y al finalizar esta acción, envía un comando indicando a dicha central que empiece a escanear dichos dispositivos, después de lo cual, se bloquea esperando recibir novedades de esta última.

Cuando este módulo recibe una novedad, identifica el tipo de novedad y la reenvía a través de la red, ya sea local o a través de internet, al terminal de enfermería. Adicionalmente, si la novedad del paciente requiere iniciar una llamada de voz, el módulo notifica al módulo SIP que debe realizar una llamada al terminal de enfermería.

En caso de que una llamada realizada por el terminal de sala es contestada, este módulo se encarga de notificar tal evento a la central receptora para que, esta a su vez, notifique al dispositivo llamador correspondiente.

De la misma manera una vez finalizada la llamada notifica a la central receptora de tal evento para que ésta notifique al dispositivo llamador con el que se estableció la comunicación.

Durante la llamada, este módulo también se encarga de recibir los paquetes de voz de la placa receptora, y mandarlos al buffer RTP para que se transmitan en la llamada SIP.

Capítulo 4

Ensayos y resultados

4.1. Pruebas funcionales del hardware

La idea de esta sección es explicar cómo se hicieron los ensayos, qué resultados se obtuvieron y analizarlos.

Capítulo 5

Conclusiones

5.1. Conclusiones generales

La idea de esta sección es resaltar cuáles son los principales aportes del trabajo realizado y cómo se podría continuar. Debe ser especialmente breve y concisa. Es buena idea usar un listado para enumerar los logros obtenidos.

Algunas preguntas que pueden servir para completar este capítulo:

- ¿Cuál es el grado de cumplimiento de los requerimientos?
- ¿Cuán fielmente se pudo seguir la planificación original (cronograma incluido)?
- ¿Se manifestó algunos de los riesgos identificados en la planificación? ¿Fue efectivo el plan de mitigación? ¿Se debió aplicar alguna otra acción no contemplada previamente?
- Si se debieron hacer modificaciones a lo planificado ¿Cuáles fueron las causas y los efectos?
- ¿Qué técnicas resultaron útiles para el desarrollo del proyecto y cuáles no tanto?

5.2. Próximos pasos

Acá se indica cómo se podría continuar el trabajo más adelante.

Bibliografía

- [1] Surix S.R.L. *Surix*. <https://www.surix.net/sobre-surix.html>.
- [2] Surix S.R.L. *Help IP*. <https://www.surix.net/sistema-de-llamada-a-enfermera-help-ip-surix.html>.
- [3] MMCALL. *Hospital Llamado de Enfermeras*.
<https://mmcallus.com/es/salud/llamado-de-enfermeras>.
- [4] Ibernex. *Helpnex*. <https://ibernex.es/helpnex/>.
- [5] SEI. *LLamador de enfermería inalámbrico*.
https://www.web-sei.com/index.php/nuestros-productos/productos-comerciales/llamador-de-enfermeria?gclid=Cj0KCQjwufn8BRCwARIsAKzP695Mdd1UEvxMzaKkI4ML_URIPg8Hs80tTd2km0ieYdTdVLijZAFP_CwaAiO4EALw_wcB.
- [6] Bluetooth SIG. *LEARN ABOUT BLUETOOTH: Bluetooth Radio Versions*.
<https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/radio-versions/>.
- [7] Rubén Castro. *Bluetooth Classic Vs. Low Energy Vs. Smart Vs. Smart Ready ¿Cuál es cuál?* <https://www.wikiversus.com/informatica/bluetooth-classic-vs-bluetooth-low-energy/>.