



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE CÓMPUTO

ESCOM

Trabajo Terminal

“Sistema de Monitoreo de Signos Vitales Utilizando IoT”

2018-A038

Presentan

María Elsi Bernabé Aparicio

Carlos Alberto Granados Puerto

Directores

Dr. Rubén Ortega González

M. en C. Nayeli Vega García



Mayo 2019

Advertencia

- || “Este documento contiene información desarrollada por la Escuela Superior de Cómputo del Instituto Politécnico Nacional, a partir de datos y documentos con derecho de propiedad y por lo tanto, su uso quedará restringido a las aplicaciones que explícitamente se convengan.”
 - || La aplicación no convenida exime a la escuela su responsabilidad técnica y da lugar a las consecuencias legales que para tal efecto se determinen.
 - || Información adicional sobre este reporte técnico podrá obtenerse en:
 - || La Subdirección Académica de la Escuela Superior de Cómputo del Instituto Politécnico Nacional, situada en Av. Juan de Dios Bátiz s/n Teléfono: 57296000, extensión 52000.

Índice general

1. Introducción	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Solución propuesta	2
1.3. Justificación	2
1.4. Objetivos	3
1.4.1. Objetivo general	3
1.4.2. Objetivos específicos	3
1.5. Estado del arte	3
1.5.1. Tesis	3
1.5.2. Artículos	4
2. Marco Teórico	5
2.1. Signos vitales	5
2.1.1. Frecuencia cardíaca	5
2.1.2. Temperatura corporal	7
2.2. Sistemas embebidos	7
2.3. Sensores de temperatura	10
2.3.1. Termopares	10
2.3.2. Sensor de temperatura resistivo (RTD)	11
2.3.3. Termistores	11
2.3.4. Semiconductores	11
2.3.5. Circuitos integrados	12
2.4. Sensores de pulso	13
2.4.1. Electrocardiografía	13

2.4.2. Fotopletismografía	15
2.5. Microcontroladores	16
2.6. Redes inalámbricas	16
2.6.1. Redes inalámbricas de área personal (Wireless Personal-Area Networks - WPAN)	18
2.6.2. Redes inalámbricas de área local (Wireless Local-Area Networks - WLAN)	18
2.6.3. Redes inalámbricas de área metropolitana (Wireless Metropolitan-Area Networks - WMAN)	18
2.6.4. Redes inalámbricas de área amplia (Wireless Wide-Area Networks - WWAN)	18
2.7. Tecnologías inalámbricas	19
2.7.1. Bluetooth	19
2.7.2. Zigbee	19
2.7.3. Familia IEEE 802.11 (WI-FI)	20
2.7.4. WiMAX	20
2.7.5. GSM (Global System for Mobile Comunications)	20
2.8. Aplicación móvil	21
2.8.1. Tipos de aplicaciones móviles	21
3. Análisis	23
3.1. Metodología	23
3.2. Requerimientos del sistema	25
3.3. Análisis de componentes del sistema	26
3.3.1. Sensor de temperatura	26
3.3.2. Sensor de pulso	28
3.3.3. Módulo de comunicación 3G/4G	29
3.3.4. Microcontrolador	31
3.3.5. Sistema operativo móvil	32
3.4. Análisis de Factibilidad	36
3.4.1. Factibilidad Técnica	36
3.4.2. Factibilidad Económica	41
3.5. Arquitectura física del sistema	44
3.6. Arquitectura lógica del sistema	46
4. Diseño e implementación	47
4.1. Sensores de pulso	48
4.1.1. Pruebas de funcionamiento	48
4.1.2. Digitalización de señal	50
4.1.3. Procesamiento digital de señal	54

4.1.4. Pruebas unitarias	54
4.2. Sensor de temperatura	57
4.3. Módulo LARA-R202	60
4.3.1. Prueba unitaria	60
4.3.2. Conexión con microcontrolador	60
5. Pruebas de integración	65
6. Conclusiones	67
6.1. Conclusiones	67
7. Trabajo a futuro	69
7.1. Trabajo a futuro	69
I Análisis de aplicación móvil	71
A. Modelo de Negocio	73
A.1. Reglas de negocio	73
A.2. Actores del sistema	75
A.2.1. Paciente	75
A.2.2. Usuario	76
A.2.3. Sistema	76
B. Modelo de Comportamiento	77
B.1. Módulos del sistema	77
B.2. Modelo de comportamiento del módulo Aplicación Móvil	78
B.3. Modelo de comportamiento del módulo Sistema Embebido	79
B.4. Casos de uso del módulo Aplicación Móvil	80
B.5. CU1 Consultar pacientes	81
B.5.1. Resumen	81
B.5.2. Descripción	81
B.5.3. Trayectorias del caso de uso	82
B.5.4. Puntos de extensión	82
B.6. CU2 Registrar paciente	83
B.6.1. Resumen	83
B.6.2. Descripción	83
B.6.3. Trayectorias del caso de uso	84
B.7. CU3 Consultar información del paciente	87
B.7.1. Resumen	87

B.7.2. Descripción	87
B.7.3. Trayectorias del caso de uso	88
B.7.4. Puntos de extensión	89
B.8. CU4 Editar información del paciente	90
B.8.1. Resumen	90
B.8.2. Descripción	90
B.8.3. Trayectorias del caso de uso	91
B.9. CU5 Eliminar paciente	94
B.9.1. Resumen	94
B.9.2. Descripción	94
B.9.3. Trayectorias del caso de uso	95
B.10. CU6 Consultar registros de signos vitales	96
B.10.1. Resumen	96
B.10.2. Descripción	96
B.10.3. Trayectorias del caso de uso	97
B.11. Casos de uso del módulo Sistema Embebido	98
B.12. CU7 Enviar mediciones	99
B.12.1. Resumen	99
B.12.2. Descripción	99
B.12.3. Trayectorias del caso de uso	100
C. Modelo de Interacción con el Usuario	101
C.1. Entorno de trabajo	101
C.2. Interfaces de usuario	102
C.2.1. IU1 Consultar pacientes	102
C.2.2. IU2 Registrar paciente	104
C.2.3. IU3 Consultar información del paciente	106
C.2.4. IU4 Editar información del paciente	108
C.2.5. IU6 Consultar registros de signos vitales	110
C.3. Diseño de mensajes	112
C.3.1. Parámetros comunes	112
C.3.2. Mensajes a través de la pantalla	113
Referencias	121

Índice de figuras

2.1. Arquitectura general de un sistema embebido.	9
2.2. El complejo QRS. Cada letra muestra una ubicación diferente de la señal y, por lo tanto, una acción diferente del corazón. El pico R es la mayor cantidad de actividad eléctrica producida por el corazón, y se usa comúnmente en las mediciones de la frecuencia cardíaca. IMOTIONS (2017).	14
2.3. Un ejemplo de una señal PPG típica, que muestra la diferencia en el tamaño del flujo sanguíneo. IMOTIONS (2017).	16
2.4. Tipos y alcance de redes inalámbricas.	17
3.1. Fases del Modelo en V.	24
3.2. MAX30205	27
3.3. Pulse Sensor.	28
3.4. AD8232	29
3.5. 4G LTE-AT&T CLICK	30
3.6. Sistemas operativos móviles en el mercado global. Statista (2018).	32
3.7. Mapa de popularidad de sistemas operativos Android e iOS. DeviceAtlas (2018).	34
3.8. Sistemas operativos móviles en México. Statcounter (2018).	34
3.9. Versiones de Android utilizadas en México. Statcounter (2018).	35
3.10. Arquitectura física del sistema	45
3.11. Arquitectura lógica del sistema	46
4.1. Sensor de pulso Pulse Sensor.	49
4.2. Prueba del sensor Pulse Sensor.	49

4.3. Señal analógica del sensor Pulse Sensor.	50
4.4. Diagrama de flujo del programa de configuración del dsPIC30F4013.	51
4.5. Diagrama de flujo de la obtención de señal digitalizada.	53
4.6. Conexión de PulseSensor con dsPIC30F4013.	54
4.7. Resultado de ejecución para sensor Pulse Sensor.	55
4.8. Gráfica de señal del sensor Pulse Sensor.	56
4.9. Diagrama de tiempo MAX30205.	57
4.10. Conexión del sensor MAX30205.	58
4.11. Conexión física del sensor MAX30205.	59
4.12. Configuración de terminal en PuTTY	61
4.13. Comandos AT en terminal de PuTTY	61
4.14. Conexión del módulo 4G con microcontrolador	62
4.15. Conexión física del módulo 4G con microcontrolador mediante Mikrobus2	63
4.16. Recepción de mensaje enviado por el módulo 4G	63
 A.1. Perfiles identificados.	76
 B.1. Módulos del sistema.	77
B.2. Diagrama de casos de uso del módulo Aplicación Móvil.	78
B.3. Diagrama de casos de uso del módulo Sistema Embebido.	79
 C.1. IU1 Consultar pacientes	103
C.2. IU2 Registrar paciente	105
C.3. IU3 Consultar información del paciente	107
C.4. IU4 Editar información del paciente	109
C.5. IU6 Consultar registros de signos vitales	111

Índice de tablas

2.1. Valores normales de frecuencia cardíaca.	6
3.2. Comparativa de sensores de temperatura.	26
3.3. Comparativa de sensores de pulso.	28
3.4. Comparativa de módulos.	30
3.5. Frecuencias de banda de operadoras celulares.	30
3.6. Comparativa de microcontroladores.	31
3.7. Características comunes de los sistemas operativos Android e iOS. Adaptado de Shailendra (2015).	33
3.8. Entornos de Desarrollo Integrado a usar	37
3.9. Sistemas operativos	38
3.10. Lenguajes de programación	39
3.11. Características del equipo disponible	40
3.12. Recursos de hardware necesarios	40
3.13. Gastos tecnológicos por depreciación	42
3.14. Gastos tecnológicos por hardware	42
3.15. Gastos por servicios	43
3.16. Gastos totales	43



CAPÍTULO 1

Introducción

1.1. Planteamiento del problema

De acuerdo con la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), México tiene 2.2 médicos practicantes y 2.6 enfermeras practicantes por cada 1,000 habitantes, mucho menos que los promedios de la OCDE de 3.3 y 9.1 respectivamente. El número de camas hospitalarias también es considerablemente bajo, con 1.6 camas por cada 1,000 habitantes, comparado con 4.8 camas por cada 1,000 de la OCDE; siendo de los promedios más bajos dentro de los países que conforman la OCDE [1]. Aunado a esto, existe una gran demanda de atención médica y con los pocos espacios disponibles el servicio ofrecido se vuelve lento e inefficiente.

En consecuencia, existe una necesidad urgente de utilizar la tecnología para monitorear, informar y analizar de manera remota los signos vitales del paciente sin la necesidad de acudir con el personal médico. Esta forma de monitoreo beneficia tanto al paciente como a los hospitales pues se podrán tener registros de las mediciones de los signos en cualquier momento sin interrumpir la vida cotidiana del paciente y se tendrá la seguridad de que en una emergencia se podrá contactar a los familiares del paciente o a un médico para tratar la condición a tiempo.

1.2. Solución propuesta

Por lo anterior, hemos decidido crear un sistema que facilite el monitoreo remoto de la frecuencia cardíaca y de la temperatura corporal, que permita realizar las mediciones en cualquier momento utilizando un sensor específico para cada uno de los signos vitales mencionados anteriormente y con los datos medidos informar a personas interesadas, como familiares o médicos, del estado fisiológico del paciente que use el sistema y en caso de obtenerse valores anormales, tratar la emergencia lo más rápido posible.

1.3. Justificación

La tecnología se ha visto incorporada en prácticamente todas nuestras actividades cotidianas, como en el área de la salud o e-Salud, donde el uso de las tecnologías de información y comunicación (TIC) ha permitido la integración de los dispositivos para la medición remota y el registro preciso de los signos vitales, los cuales proporcionan una indicación del estado fisiológico de un paciente.

Una de las enfermedades a las que se les puede dar seguimiento mediante el monitoreo remoto son las enfermedades cardíacas y vasculares, o cardiovasculares, que son un grupo de desórdenes del corazón y de los vasos sanguíneos que incluyen afecciones tales como arritmias, enfermedad coronaria, ataque cardíaco, presión arterial alta, defectos cardíacos congénitos, demencia vascular y accidente cerebrovascular. Dichas enfermedades son la principal causa de muerte en todo el mundo [2]. Tan solo en México, en el año 2016, se registraron 136,342 defunciones a causa de enfermedades del corazón, siendo también la primer causa de muerte en México [3].

La temperatura corporal también es un factor importante que se debe considerar con las personas que sufren algún trastorno de la regulación de la temperatura y al no requerir algún equipo de medición especializado, es también factible que se realice un monitoreo remoto de la misma, para detectar ciertas patologías por incremento o decremento de la temperatura corporal, que pueden provocar síndromes denominados menores o leves y cuadros clínicos mayores que pueden comprometer la vida del paciente [4].

Lo que se busca con este Trabajo Terminal es crear un sistema que permita capturar y enviar mediciones de la frecuencia cardíaca y la temperatura corporal de los pacientes que padecen enfermedades a las que se les pueda dar seguimiento mediante el monitoreo remoto de estos signos vitales.

La propuesta comprenderá un dispositivo electrónico inalámbrico con un sensor para

detectar el pulso cardíaco y uno para medir la temperatura corporal que permitirá el monitoreo continua mediante la recopilación y procesamiento de la frecuencia cardíaca y la temperatura de la piel, que serán enviados al dispositivo móvil de las personas interesadas, como médicos y familiares.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Implementar un sistema embebido que permita el monitoreo remoto de signos vitales de frecuencia cardíaca y temperatura corporal usando IoT.

1.4.2. Objetivos específicos

- Realizar la configuración del sensor de pulso y la adquisición de la señal.
- Realizar la configuración del sensor de temperatura y la adquisición de la señal.
- Realizar la configuración del módulo de comunicación entre el sistema y el teléfono celular.
- Diseñar y construir una aplicación móvil para la consulta de los valores enviados al teléfono celular.
- Diseñar y construir un sistema embebido para la medición y procesamiento de la frecuencia cardíaca y la temperatura.

1.5. Estado del arte

1.5.1. Tesis

Diana Olvera y José González proponen un Sistema de Monitoreo de Signos Vitales capaz de monitorear la presión arterial, el ritmo cardíaco y la temperatura corporal desde el mismo dispositivo con la finalidad de que estas mediciones puedan ser realizadas desde cualquier lugar sin tener un amplio conocimiento en medicina para su uso. Este sistema se desarrolló implementando el PIC18F4550 para procesar las señales provenientes de los sensores y desplegarlos en un display LCD [5].

En el “Sistema de monitoreo remoto y evaluación de signos vitales en pacientes con enfermedades crónicas”, López, Guerrero y Ramos proponen un sistema que sensa los

signos vitales de un paciente y utiliza bluetooth y WiFi para transmitir dicha información a un dispositivo móvil encargado de evaluarla y alertar a alguna persona en caso de requerirse [6].

Existe un prototipo de hardware/software propuesto por Chávez, Martínez y Torres el cual mediante el uso de un sistema embebido dentro de un microcontrolador DS-PIC30F3013 ayuda en el procesamiento, medición y envío mediante una red, tres signos vitales (presión arterial, frecuencia cardiaca y temperatura corporal), dichas mediciones son procesadas por el microcontrolador y enviadas mediante UART hacia un controlador Ethernet para ser recibidas y mostradas por una aplicación diseñada para el usuario [7].

1.5.2. Artículos

El prototipo diseñado por Li, Cummings, Lan, Graves y Wu en [8], es un sistema de monitoreo de la frecuencia cardiaca y respiratoria de bebés. Está compuesto por una unidad de monitoreo y una unidad receptora. Con un circuito de radiofrecuencia es capaz de producir y recibir señales de radio para la detección de los signos vitales sin la necesidad de que un sensor tenga contacto con el bebé. Utiliza un microcontrolador para procesar la señal recibida y un chip de comunicación XBee para la comunicación inalámbrica con el módulo receptor.

En el artículo [9], Girbau, Ramos , Lázaro y Villarino, propone un sistema para el monitoreo de los signos vitales utilizando un radar Doppler y la interfaz Zigbee para enviar la información del sensor de microondas. En este sistema se detecta la respiración y la frecuencia cardiaca, se adquiere con el sistema Zigbee y se transmite vía radiofrecuencia. Permite el monitoreo simultáneo de varias personas localizadas en diferentes nodos Zigbee.

Cruz y Barros proponen en [10] el uso de PDAs la adquisición de los signos vitales y su transmisión a un servidor de cuidados de la salud en donde un especialista pueda analizar el electrocardiograma (ECG) generado. Para la adquisición del ECG utiliza electrodos en el paciente. Y para la sincronización de los datos almacenados en la PDA con el servidor, requiere de una conexión a Internet.

CAPÍTULO 2

Marco Teórico

2.1. Signos vitales

Los signos vitales son mediciones de las funciones más básicas del cuerpo, es decir, indicadores que reflejan el estado físico del paciente y sus órganos vitales, cuyas variaciones expresan cambios ocurridos en el organismo, algunos de índole fisiológico y otros de tipo patológico. [11] [12] Los cuatro signos vitales principales que se examinan de forma rutinaria son los siguientes:

1. Frecuencia cardíaca.
2. Frecuencia respiratoria.
3. Presión arterial.
4. Temperatura corporal.

Los rangos considerados *normales* de medidas de los signos vitales, varían según la edad, el sexo, el peso, la tolerancia al ejercicio y la enfermedad.

2.1.1. Frecuencia cardíaca

El pulso está representado por la expansión rítmica de las arterias producida por el pasaje de sangre que es bombeada por el corazón originada en la contracción del ventrículo izquierdo, y que resulta en la expansión y contracción regular de las arterias;

representa el rendimiento del latido cardíaco y la adaptación de las arterias. [11] [13]

Los valores del pulso arterial se miden a partir de la frecuencia cardíaca, es decir, el número de pulsaciones o latidos que ocurren en un minuto. La frecuencia cardíaca varía dependiendo de diferentes factores, como: la edad, el sexo, la actividad física, la temperatura, entre otros. [14]

Edad	Frecuencia cardíaca normal (lpm)
Hasta 1 mes	70 a 190
De 1 a 11 meses	80 a 160
De 1 a 2 años	80 a 130
De 3 a 4 años	80 a 120
De 5 a 6 años	75 a 115
De 7 a 10 años	70 a 110
Más de 10 años	60 a 100

Tabla 2.1: Valores normales de frecuencia cardíaca.

Conocer la frecuencia cardíaca es importante debido a que es un indicador directo de la funcionalidad del corazón. El corazón hace circular oxígeno y sangre rica en nutrientes por todo el cuerpo. Cuando no funciona correctamente, gran parte de las funciones del cuerpo se ven afectadas.

Una frecuencia cardíaca lenta, es decir, menor al valor mínimo normal, puede ser un signo de enfermedad, como un ataque cardíaco o alguna otra enfermedad cardíaca, algunas infecciones, altos niveles de potasio en la sangre o una glándula tiroides poco activa, por mencionar algunos. [15]

Por otro lado, el tener una frecuencia cardíaca rápida, es decir, mayor al valor máximo normal, se asocia a enfermedades como casi cualquier infección causa de fiebre, problemas cardíacos, como la miocardiopatía, algunos medicamentos, niveles bajos de potasio en la sangre, una glándula tiroides hiperactiva, anemia, asma o algún problema respiratorio, entre otros. [15]

Además, ya sea en personas sanas como en personas hipertensas, con cardiopatía isquémica o con insuficiencia cardíaca, se ha encontrado una relación entre la frecuencia cardíaca y el riesgo de muerte. Ya que mientras mayor sea la frecuencia cardíaca, menor será la expectativa de vida. [16]

2.1.2. Temperatura corporal

La temperatura corporal representa el estado térmico del organismo y expresa el balance entre la producción de calor en el cuerpo (termogénesis) y la pérdida (termólisis). [12]

Ya que la temperatura depende de la parte del cuerpo en donde se realice la medición, ya sea interna o externa, por lo que se considera un rango de 36°C a 37°C para la temperatura *normal* del cuerpo humano.

Además la temperatura corporal de una persona sana varía a lo largo del día dependiendo del sexo, la actividad reciente, el consumo de alimentos y líquidos, la hora del día y, en el caso de las mujeres, la etapa del ciclo menstrual. [17]

A pesar de todas esas variaciones, el tener un aumento de la temperatura corporal desde el rango normal, podría indicar que la persona tiene una infección. Y una reducción en la temperatura corporal podría indicar el inicio de la hipotermia, lo que puede ser muy grave, particularmente para las personas mayores. [18]

2.2. Sistemas embebidos

Un sistema embebido es una combinación de hardware y software integrado para realizar una función particular. Son controlados por un microcontrolador o microprocesador incrustada en ellos, lo que implica que se encuentra dentro del sistema general, oculto a la vista, formando una parte integral de un conjunto mayor. [20]

Los sistemas embebidos tienen varias características comunes, como: ejecutar sólo un programa repetidamente, tiene un diseño optimizado para reducir costo y espacio, contienen sólo los recursos de hardware suficientes para cumplir con los requerimientos de funcionalidad de la aplicación. [21]

Un sistema embebido cuenta con varios componentes que permiten que cumpla con las características mencionadas anteriormente. En la figura 2.1 se muestran de forma general la arquitectura de un sistema embebido con todas las partes que lo componen, las cuales se describen a continuación. [23] [24]

1. **Hardware.** Es el recurso fundamental de cualquier sistema embebido y la elección de éste depende de las especificaciones del diseñador.

2. **Unidad de Procesamiento (CPU).** Es el componente encargado de realizar las operaciones de cálculo principales del sistema. Ejecuta código para realizar una determinada tarea y dirige el funcionamiento de los demás elementos que le rodean. Se prefiere un microcontrolador para construir aplicaciones pequeñas con cálculos precisos. Un Sistema en Chip (SoC) incluye una CPU, dispositivos periféricos (temporizadores, contadores), interfaces de comunicación (I2C, SPI, UART) y circuitos de administración de energía en un solo circuito integrado.
3. **Interfaces de entrada.** Establecen la comunicación entre la unidad de procesamiento y el proceso, filtrando, adaptando y codificando de forma comprensible las señales procedentes de los dispositivos de entrada. Algunos de los ejemplos de dispositivos de entrada son: ADC, señales de sensores, módulos de cámara digital, etc. Es importante recalcar que algunos de los dispositivos de entrada se comunican con la unidad de procesamiento haciendo uso de alguna interfaz como SPI, I2C o UART.
4. **Dispositivos de entrada.** Los dispositivos de entrada toman valores del mundo exterior. Estos dispositivos pueden ser sensores, interruptores, fotodioides, entre otros.
5. **Interfaces de salida.** Después de haber obtenido datos mediante los dispositivos de entrada, la unidad de procesamiento trabaja con esos datos y envía el resultado mediante las interfaces de salida. En estas interfaces establecen la comunicación entre el sistema embebido y el usuario o dispositivo final. Algunos ejemplos de dispositivos de salida son: módulos WiFi, LCD, LED, motores, entre otros.
6. **Memoria.** La memoria esencialmente realiza dos funciones principales dentro de un sistema embebido, una de ellas es proporcionar almacenamiento para el software que se ejecutará y proporcionar almacenamiento para datos como variables de programa y resultados intermedios, información de estado y cualquier otro dato que pueda crearse durante la operación.
7. **Software.** Los componentes de software dentro de un sistema embebido son esenciales para el control del sistema embebido, definiendo qué hace y qué tan bien lo hace.

Los sistemas embebidos tienen una gran cantidad de aplicaciones dentro de casas inteligentes, oficinas, transporte, cuidado de la salud, industrias, entre otros.

En el caso del cuidado de la salud (healthcare), los sistemas embebidos se utilizan para monitorear los signos vitales, para amplificar sonidos en estetoscopios electrónicos y para casi cualquier sistema de imágenes, además de una gran variedad de equipo

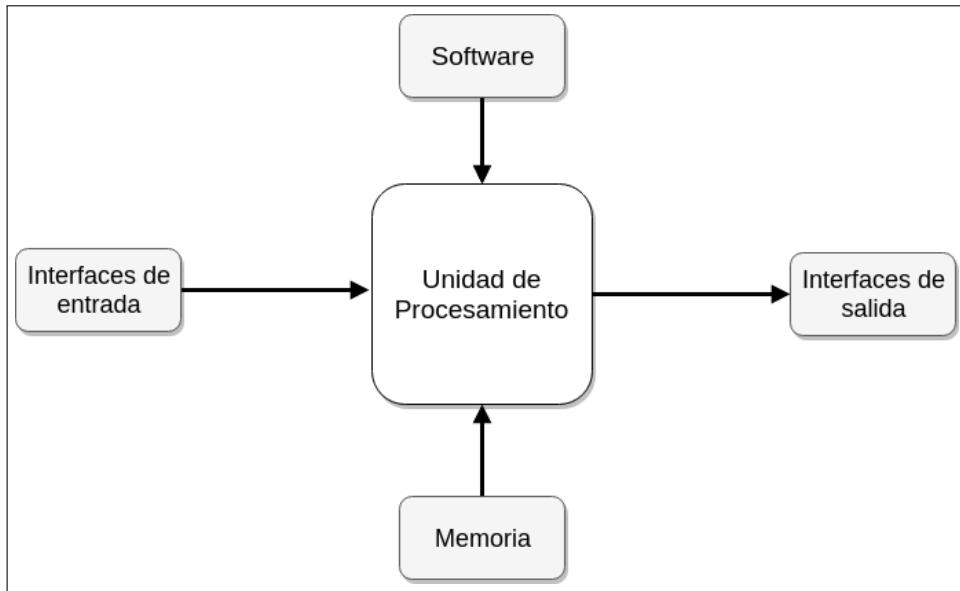


Figura 2.1: Arquitectura general de un sistema embebido.

biomédico. Estas aplicaciones permiten a los médicos monitorear de forma remota la salud de sus pacientes y tomar decisiones de diagnóstico y tratamiento a través de la telemedicina y otros sistemas remotos. [22]

El Internet de las cosas (IoT) es un concepto y un paradigma que considera la presencia generalizada en el entorno de una variedad de cosas/objetos que contienen tecnología integrada para comunicarse a través de conexiones alámbricas e inalámbricas con el fin de interactuar entre sí y cooperar con otras cosas/objetos para crear nuevas aplicaciones/servicios y alcanzar objetivos comunes. [25]

De acuerdo a lo anterior podría decirse que el Internet de las cosas y los sistemas embebidos son conceptos que no pueden tratarse por separado tan fácilmente.

2.3. Sensores de temperatura

Un sensor de temperatura es un dispositivo que proporciona la medición de temperatura a través de una señal eléctrica.

Se utilizan en diversas aplicaciones tales como elaboración de alimentos, climatización para control ambiental, dispositivos médicos, manipulación de productos químicos y control de dispositivos en el sector automotriz, entre otros. [31]

Los sensores de temperatura se utilizan para asegurar que la temperatura de algún objeto se encuentre dentro de un cierto rango, lo que proporciona seguridad en el uso de la aplicación. [32]

Dependiendo del dispositivo en el que se instalará el sensor de temperatura y el propósito de la aplicación, se deberá utilizar un tipo específico de sensor para medir la temperatura de manera precisa y eficiente, pues en muchos casos la capacidad de respuesta y precisión del circuito de detección puede ser crítica para una pronta decisión.

La detección de la temperatura se puede realizar a través del contacto directo con la fuente de calor, o de forma remota, sin contacto directo con la fuente que utiliza energía radiada. Existe una amplia variedad de sensores de temperatura en el mercado actualmente, que incluyen termopares, detectores de temperatura de resistencia (RTD), termistores, infrarrojos y sensores semiconductores. [33]

2.3.1. Termopares

Es un tipo de sensor de temperatura, formado con la unión de dos metales diferentes en un extremo. El extremo unido se conoce como la unión caliente. El otro extremo de estos metales diferentes se denomina unión fría. La unión fría se forma realmente en el último punto del material del termopar. Si hay una diferencia de temperatura entre la unión caliente y la unión fría, se crea una pequeña tensión. Esta tensión se conoce como (EMF) fuerza electro-motriz y puede medirse y, a su vez, usarse para indicar la temperatura. [34]

Un termopar está disponible en diferentes combinaciones de metales o calibraciones. Cada uno de estos clasificado en los tipos B, C, E, J, K, N, R, S y T, siendo las cuatro calibraciones más comunes las J, K, T y E. Cada calibración tiene un diferente rango de temperatura y ambiente, aunque la temperatura máxima varía con el diámetro del alambre que se usa en el termopar. [35]

Dependiendo del tipo de termopar de las calibraciones comunes, se pueden registrar temperaturas desde los -250°C hasta los 1250°C con un rango de error mayor a 1°C en el mejor de los casos.

Por lo anterior, los termopares se usan comúnmente para medir temperaturas más altas y rangos de temperatura más grandes. [36]

2.3.2. Sensor de temperatura resistivo (RTD)

También conocido como termómetro de resistencia, mide la temperatura al correlacionar la resistencia del elemento RTD con la temperatura. Un RTD consiste en una película o, para mayor precisión, un cable envuelto alrededor de un núcleo de cerámica o vidrio. Las RTD más precisas se fabrican con platino, pero las RTD de menor costo se pueden hacer con níquel o cobre. Sin embargo, el níquel y el cobre no son tan estables o repetibles. Los RTD de platino ofrecen una salida bastante lineal que es altamente precisa (0.1°C a 1°C) a través de -200°C a 600°C, aunque este tipo de sensor también tiende a ser los sensores de temperatura más caros. [37]

2.3.3. Termistores

El termistor es un dispositivo sensor de temperatura cuya resistencia cambia con la temperatura. Los termistores están hechos de materiales semiconductores, lo que significa que tienen mayor resistencia que los materiales conductores, pero menor resistencia que los materiales aislantes. La relación entre la temperatura de un termistor y su resistencia depende en gran medida de los materiales de los que está compuesta. [36]

Los termistores presentan una curva de resistencia frente a la temperatura altamente no lineal. Por lo tanto, en el rango de operación de los termistores podemos ver un gran cambio de resistencia para un cambio de temperatura muy pequeño. Esto lo convierte en un dispositivo altamente sensible, ideal para aplicaciones de punto de ajuste.

Existen dos clases de termistores los que presentan un coeficiente negativo de temperatura (NTC), cuya resistencia disminuye con la temperatura y coeficiente positivo con la temperatura (PTC) cuya resistencia aumenta con la temperatura. Los termistores NTC son los más usados para medición de temperatura. [38] [39]

2.3.4. Semiconductores

Un sensor de temperatura basado en semiconductores se coloca en circuitos integrados (IC). Estos sensores son efectivamente dos diodos idénticos con voltaje sensible a

la temperatura frente a las características de la corriente que pueden usarse para monitorear los cambios de temperatura. [36]

Se clasifican en diferentes tipos como salida de voltaje, salida de corriente, salida digital, silicio de salida de resistencia y sensores de temperatura de diodo.

Los sensores de temperatura de semiconductores modernos ofrecen una alta precisión y una alta linealidad en un rango operativo de aproximadamente -55°C a 150°C. Puede ser analógico o digital. [37]

2.3.5. Circuitos integrados

Un sensor de temperatura IC es un transductor de temperatura de circuito integrado de dos terminales que produce una corriente de salida proporcional a la temperatura absoluta. Debido a que son circuitos activos construidos utilizando procesos de semiconductores convencionales, pueden tomar una variedad de formas e incluir una variedad de características (como interfaces digitales y entradas ADC) no disponibles en otras tecnologías. El rango de temperatura de funcionamiento para este tipo de sensores se extiende desde -55 °C y hasta 125 °C, con algunos productos operando hasta un límite superior de alrededor de 150 °C. Dependiendo de la salida que proporcione el sensor, puede clasificarse como analógico o digital. [36]

Sensor de temperatura analógico

Los sensores de temperatura analógicos convierten la temperatura en voltaje o, en algunos casos, en corriente. Los más simples tienen sólo tres conexiones activas: tierra, alimentación y salida. Otros sensores analógicos con características mejoradas pueden tener entradas o salidas adicionales, por ejemplo, salidas de referencia de voltaje o comparador. Estos utilizan las características térmicas de los transistores bipolares para desarrollar un voltaje de salida proporcional a la temperatura. [40]

Sensor de temperatura digital

Se denomina sensor de temperatura digital a un dispositivo que integra un sensor de temperatura analógico con un convertidor analógico-digital (ADC), lo que proporciona una interfaz digital directa. [41]

Otras características del sensor de temperatura digital

Además de la función básica de detección de temperatura, los sensores digitales pueden incluir otras características útiles, algunas de las más comunes son:

- **Salidas dependiendo de la temperatura:** La mayoría de los sensores de temperatura digitales incluyen una o más salidas que indican que la temperatura medida ha superado un límite preestablecido (generalmente programable por software). La salida puede comportarse como una salida de comparador, con un estado cuando la temperatura está por encima del umbral y el otro estado cuando la temperatura está por debajo del umbral.
- **Cola de fallos:** Cuando comúnmente ocurren variaciones de temperatura a corto plazo, es posible que prefiera que la salida dependiendo de la temperatura no se afirme como resultado de una única medición de umbral. En su lugar, puede ser mejor afirmar la salida solo después de que hayan tenido lugar algunas mediciones de umbral por encima consecutivas. Una cola de fallas le permite seleccionar el número de mediciones de umbral por encima del umbral requerido antes de que se confirme la salida.
- **Interfaces:** Los sensores de temperatura digitales están disponibles con una amplia variedad de interfaces digitales que incluyen I2C, SMBus™, SPI™, 1-Wire® y PWM.

2.4. Sensores de pulso

Para medir el ciclo cardíaco y obtener medidas de la frecuencia cardíaca, existen múltiples técnicas basadas en sensores, sin embargo los dos métodos más utilizados son la electrocardiografía (ECG, también conocida como EKG) y la fotopletismografía (PPG). [42]

El sensor de pulso básico de ECG consiste, por lo general, en un bloque de acondicionamiento de señal integrado para ECG, diseñado para extraer, amplificar y filtrar pequeñas señales biopotenciales. Aunque la cantidad de electricidad es, de hecho, muy pequeña, se puede medir de manera confiable con electrodos de ECG adheridos a la piel. El electrodo Ag/AgCl es el más utilizado para todas las aplicaciones de sistemas de electrodos biológicos usados para monitorear y registrar biopotenciales. [43] [44] [45]

Por otra parte, el sensor de pulso básico de PPG consiste en un diodo emisor de luz y un detector como una resistencia de detección de luz o un fotodiodo. [46]

2.4.1. Electrocardiografía

La electrocardiografía mide la actividad eléctrica del corazón mediante el uso de electrodos colocados en la piel. Para que el corazón se contraiga y bombee sangre, el

sistema nervioso autónomo envía al corazón una serie de señales eléctricas coordinadas.

A pesar de que se producen en el interior del cuerpo, estas señales se pueden medir al nivel de la piel utilizando dos o más electrodos colocados en varias posiciones en el pecho y las extremidades. Lo que resulta es un patrón informativo de actividad eléctrica llamado onda de ECG.

Aunque hay muchos aspectos de esta señal que pueden cuantificarse, la característica más prominente se conoce como el complejo QRS, que indica las principales contracciones de bombeo del corazón. En la imagen 2.2 se muestra la curva de ECG clásica con sus formas de onda más comunes y puntos de medición.

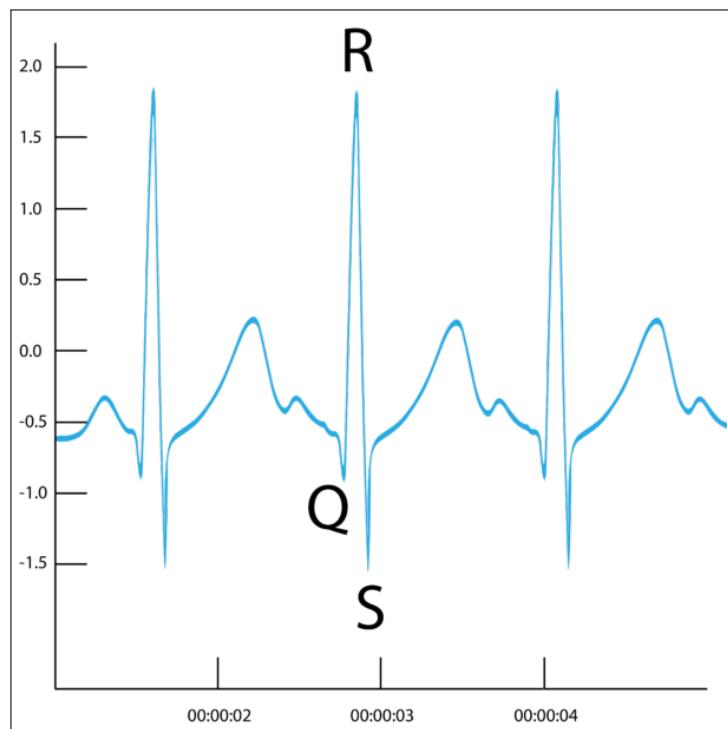


Figura 2.2: El complejo QRS. Cada letra muestra una ubicación diferente de la señal y, por lo tanto, una acción diferente del corazón. El pico R es la mayor cantidad de actividad eléctrica producida por el corazón, y se usa comúnmente en las mediciones de la frecuencia cardíaca. IMOTIONS (2017).

Dentro del complejo QRS, podemos ver el pico R, el componente más prominente dentro de la forma de onda del ECG. Esto es lo que utilizan los algoritmos de frecuencia cardíaca para medir la cantidad de tiempo que ocurre entre cada pulso cardiaco.

Debido a que las mediciones basadas en ECG son de señales eléctricas, son generalmente precisas en un par de milisegundos, lo que la convierte en una medida confiable de la frecuencia cardíaca. [44]

2.4.2. Fotopletismografía

La fotopletismografía mide el cambio volumétrico del corazón midiendo la transmisión de luz o la reflexión. A medida que el corazón se contrae, la presión arterial dentro del ventrículo izquierdo, la cámara de bombeo principal, aumenta. Este aumento obliga a un "pulso" en las arterias del cuerpo, lo que hace que se inflamen ligeramente antes de volver a su estado anterior. La fotopletismografía puede clasificarse en dos tipos. [46]

- Transmisión: la luz emitida desde el dispositivo emisor de luz se transmite a través de cualquier región vascular del cuerpo como el lóbulo de la oreja y es recibida por el detector.
- Reflexión: la luz emitida desde el dispositivo emisor de luz se refleja en alguna región interior.

Simplemente al iluminar una región de piel con una fuente de luz LED, el aumento de la presión del pulso causará una diferencia en la cantidad de luz reflejada o transmitida a través de un sensor de luz. La luz LED debe colocarse en un área donde las arterias estén cerca de la piel, como la punta de un dedo o el lóbulo de una oreja.

La amplitud de esta señal es directamente proporcional a la presión del pulso: cuanto más alto es el pico, más fuerte es el pulso. Aunque la señal puede ser menos aparente si se mide en la piel en un punto alejado del corazón (como un dedo del pie), el cambio en la presión es suficiente para expandir estas arterias hasta un grado que sea medible.

Cada pico en la señal resultante puede identificarse mediante un algoritmo especial de frecuencia cardíaca que puede determinar en última instancia la cantidad de tiempo que ocurre entre cada pico sucesivo, lo que proporciona otra medida de la frecuencia cardíaca. En la imagen 2.3 se muestra la curva de PPG con sus formas de onda más comunes y puntos de medición.

Debido a que la PPG es una técnica que no mide directamente la actividad cardiaca, no siempre es precisa al nivel de milisegundos como las mediciones del ECG, pero es una mancera sencilla para medir la frecuencia cardíaca de una persona ya que utilizan sensores secos y se pueden colocar más rápido en comparación con las configuraciones de ECG, lo que hace que su uso sea más fácil y menos molesto para el usuario. [44]

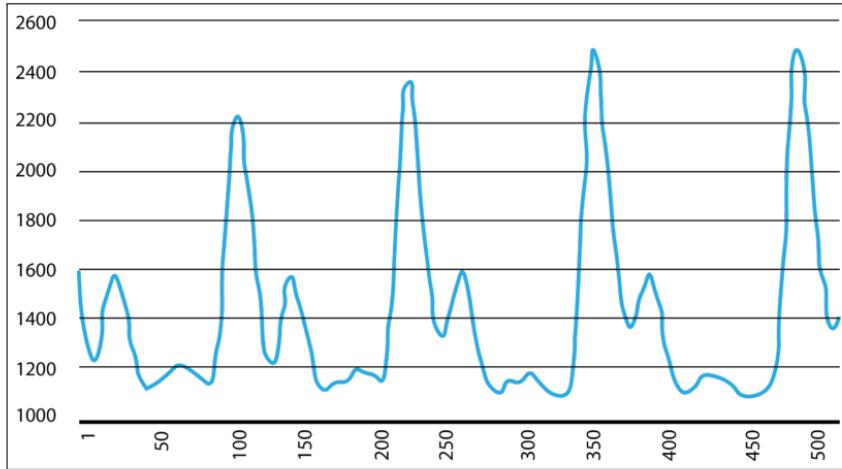


Figura 2.3: Un ejemplo de una señal PPG típica, que muestra la diferencia en el tamaño del flujo sanguíneo. IMOTIONS (2017).

2.5. Microcontroladores

Un microcontrolador es un circuito integrado que contiene un microprocesador de forma interna, con todos los componentes para poder funcionar de forma autónoma. Aunque los recursos internos del microcontrolador no pueden ser modificados, es posible agregar nuevos recursos de forma externa mediante el uso de interfaces de comunicación como UART, I2C y SPI. [47]

Los elementos que generalmente integran un microcontrolador son:

- Memoria de datos RAM.
- Memoria de programa ROM/PROM/EPROM.
- Módulos de E/S para comunicarse con el exterior.
- Módulos para el control de procesos.
- Oscilador interno para generar la señal de reloj.

2.6. Redes inalámbricas

Las redes inalámbricas son conjuntos de dispositivos informáticos comunicados entre sí sin la necesidad de utilizar cables de ningún tipo. Las redes inalámbricas funcionan de manera similar a las redes cableadas, sin embargo, las redes inalámbricas deben convertir

las señales de información en una forma adecuada para la transmisión a través del medio de aire. [26]

Las redes inalámbricas se pueden clasificar en cuatro grupos específicos según el área de aplicación y el alcance de la señal, como se muestra en la figura . Se llama alcance a la distancia máxima a la que pueden situarse las dos partes de la comunicación inalámbrica. [27]

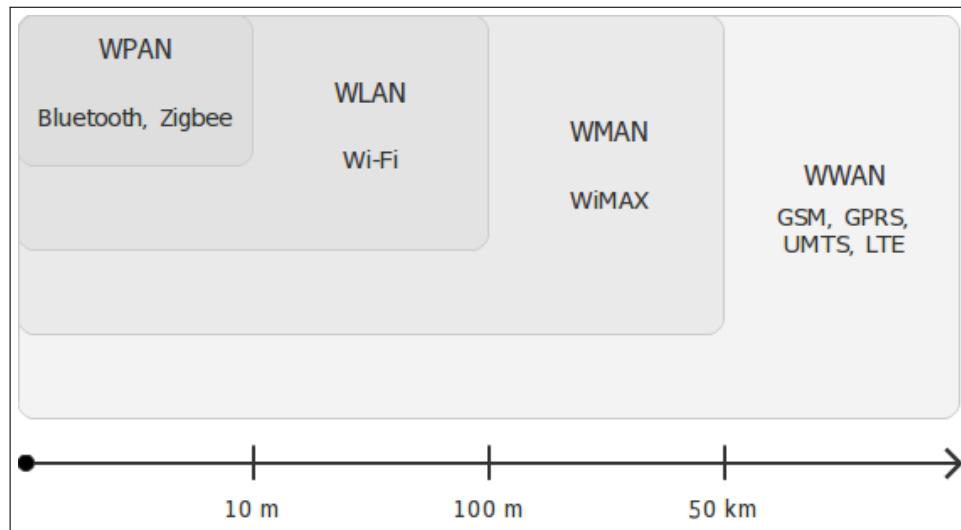


Figura 2.4: Tipos y alcance de redes inalámbricas.

2.6.1. Redes inalámbricas de área personal (Wireless Personal-Area Networks - WPAN)

Las redes inalámbricas de área personal permiten la comunicación en un rango de distancias muy corto, unos 10 metros, baja velocidad, menos de 1 Mbps y con necesidad de visión sin obstáculos.

Una conexión realizada a través de una WPAN implica poca o ninguna infraestructura o conectividad directa fuera del enlace establecido. Esto permite soluciones pequeñas, eficientes en energía y de bajo coste que pueden ser implementadas en una amplia gama de dispositivos informáticos y de comunicación portátil y móvil, como ordenadores, PDA, impresoras, ratones, micrófonos, auriculares, etc. [26] [28]

2.6.2. Redes inalámbricas de área local (Wireless Local-Area Networks - WLAN)

Las redes inalámbricas de área local (WLAN) están diseñadas para proporcionar acceso inalámbrico en zonas con un rango típico de hasta 100 metros y son utilizadas dentro de un mismo edificio o grupo de edificios. Esto proporciona a los usuarios la capacidad de moverse dentro de un área de cobertura local y permanecer conectado a la red. [26]

2.6.3. Redes inalámbricas de área metropolitana (Wireless Metropolitan-Area Networks - WMAN)

Las redes inalámbricas de área metropolitana (WMAN) forman el tercer grupo de redes inalámbricas. Se llaman redes inalámbricas de área metropolitana, WMAN (Wireless Metropolitan Area Networks), a aquellas redes que tienen una cobertura desde unos cientos de metros hasta varios kilómetros. El objetivo es poder cubrir el área de una ciudad o entorno metropolitano. [26] [28]

2.6.4. Redes inalámbricas de área amplia (Wireless Wide-Area Networks - WWAN)

Las redes inalámbricas de área amplia se extienden a miles de kilómetros y suelen utilizar frecuencias con licencia. Este tipo de redes se pueden mantener en grandes áreas, tales como ciudades o países, a través de los múltiples sistemas de satélites o ubicaciones con antena atendidos por un proveedor de servicios de Internet. Las WWAN permiten la

interconexión de varios sistemas de comunicaciones ayudando a que ésta sea cada vez más globalizada. [26]

2.7. Tecnologías inalámbricas

Existen muchas tecnologías diferentes que difieren en la frecuencia de transmisión utilizada, la velocidad y el alcance de sus transmisiones. Cada una de esas tecnologías posee diferentes características que la hacen adecuada para diferentes tipos de aplicaciones. Asimismo existen diferentes tecnologías que pueden ser implementadas al mismo tipo de aplicación. Algunas de las tecnologías más significativas y con mayor penetración en el mercado son las siguientes:

2.7.1. Bluetooth

Bluetooth es un enlace radio de corto alcance que aparece asociado a las Redes de Área Personal Inalámbricas (WPAN) y pertenece al estándar IEEE 802.15.1. Originalmente Bluetooth fue diseñado para comunicaciones omnidireccionales (punto a multipunto), de bajo consumo de energía, corto alcance y con dispositivos baratos, reemplazando el uso de cables y conectando los dispositivos a través de una conexión ad hoc por radio. [27] [26]

Bluetooth trabaja en el rango de frecuencias de 2,402 GHz a 2,480 GHz (Banda ISM). Los terminales pueden estar en movimiento y no tener línea de vista entre sí; además, las velocidades de transmisión oscilan entre 720kbps y 1 Mbps.

2.7.2. Zigbee

ZigBee está basado en el estándar IEEE 802.15.4 que fue desarrollado como un estándar global abierto para abordar las necesidades de fácil aplicación, alta fiabilidad, bajo costo, bajo consumo y bajas velocidades de transmisión de datos en redes de dispositivos inalámbricos. [26]

Zigbee fue creado con la finalidad de promover el desarrollo e implantación de una tecnología inalámbrica bidireccional de bajo coste vía radio, para usarla en dispositivos de domótica, automatización de edificios (inmóviles), control industrial, periféricos de PC o sensores médicos. Tiene velocidades comprendidas entre 20Kbps y 250Kbps y rangos de 10 m a 75 m y opera en las bandas sin licencia 2.4 GHz, 900 MHz y 868 MHz, lo suficiente para satisfacer las necesidades de un sensor y de automatización usando redes inalámbricas. [27]

2.7.3. Familia IEEE 802.11 (WI-FI)

WI-FI es una de las tecnologías de comunicación inalámbrica mediante ondas más utilizada hoy en día basada en el estándar IEEE 802.11. [30]

Los diversos tipos de Wi-Fi que existen son los siguientes:

- Los estándares IEEE 802.11b, IEEE 802.11g e IEEE 802.11n disfrutan de una aceptación internacional debido a que la banda de 2,4 GHz está disponible casi universalmente, con una velocidad de hasta 11 Mbit/s, 54 Mbit/s y 300 Mbit/s, respectivamente.
- En la actualidad ya se maneja también el estándar IEEE 802.11ac, conocido como WIFI 5, que opera en la banda de 5 GHz y que disfruta de una operatividad con canales relativamente limpios. La banda de 5 GHz ha sido recientemente habilitada y, al no existir otras tecnologías (Bluetooth, microondas, ZigBee, WUSB) que la utilicen, se producen muy pocas interferencias. Su alcance es algo menor que el de los estándares que trabajan a 2,4 GHz (aproximadamente un 10 %), debido a que la frecuencia es mayor (a mayor frecuencia, menor alcance).

2.7.4. WiMAX

WiMAX es una tecnología de comunicaciones con arquitectura punto a multipunto orientada a proporcionar una alta velocidad de transmisión de datos a través de redes inalámbricas de área metropolitana. Basada en el estándar IEEE 802.16, WiMAX proporciona accesos concurrentes en áreas de hasta 50 km de radio (WMAN) sin necesidad de visión directa con las estaciones base. Funciona por debajo de los 11 GHz y alcanza velocidades de hasta 70 Mbps. [27] [26]

2.7.5. GSM (Global System for Mobile Communications)

GSM (Sistema Global para Comunicaciones Móviles) es una tecnología celular digital abierta que se utiliza para transmitir servicios móviles de voz y datos. GSM admite llamadas de voz y velocidades de transferencia de datos de hasta 9.6 kbps, junto con la transmisión de SMS (Servicio de Mensajes Cortos).

GSM opera en bandas y espectros armonizados en la mayor parte del mundo, combinado con la capacidad de roaming internacional de GSM, permite a los viajeros acceder a los mismos servicios móviles en el hogar y en el extranjero. GSM permite llegar a individuos a través del mismo número de móvil en hasta 219 países.

Las redes terrestres GSM ahora cubren más del 90 % de la población mundial. El servicio de roaming por satélite GSM también ha ampliado el acceso a servicios en áreas donde la cobertura terrestre no está disponible. [29]

2.8. Aplicación móvil

Una aplicación móvil es un programa informático diseñado para funcionar en dispositivos móviles que permite que el usuario lleve a cabo una o varias operaciones. Una aplicación móvil puede ser limitada o amplia, sencilla o compleja y tanto en un caso como en el otro, está perfectamente controlada por la persona u organización que la haya diseñado. [48]

2.8.1. Tipos de aplicaciones móviles

- **Aplicaciones nativas:** Una aplicación nativa es una aplicación desarrollada con herramientas específicas para que éstas se ejecuten en el sistema operativo, llamado Software Development Kit o SDK. Estas aplicaciones pueden acceder a los Sistemas Operativos del equipo móvil para facilitar el acceso a todas las características del hardware del móvil como brújula, cámara, correo, GPS, etc.

Como este tipo de aplicaciones se instalan en el dispositivo, no es necesario que estén conectadas a Internet, pero demandarán una tienda de aplicaciones desde donde realizar el proceso de descarga e instalación.

- **Aplicaciones web:** Una aplicación web es una aplicación tipo web desarrollada con HTML5, CSS3, JQuery Mobile y JavaScript para su uso en dispositivos móviles como SmartPhones o Tabletas. Son aplicaciones que pueden ser ejecutadas en múltiples plataformas ya que no hacen uso del sistema operativo del equipo, sino del navegador del mismo para su ejecución. Esto significa que no se instalan en el dispositivo y consiguen una experiencia de operación muy similar al nativo, pero requieren conexión constante a Internet.

Una de las principales ventajas de una aplicación Web es su soporte para múltiples plataformas y el bajo costo de desarrollo además de no necesitar tienda de aplicaciones para su distribución. [49] [50] [51]



CAPÍTULO 3

Análisis

3.1. Metodología

Para la realización del trabajo terminal se seguirá la metodología descrita por el Modelo en V ya que ofrece una visión detallada de los diversos pasos e interacciones relacionados con el proceso de desarrollo y puede considerarse como un flujo de trabajo comúnmente utilizado. [52]

En la Figura 3.1 se muestran las principales actividades abordadas por el método. Convencionalmente, el lado izquierdo del modelo representa las fases del diseño del sistema, mientras que el lado derecho representa las fases de validación y verificación del sistema.

El desarrollo se llevará a cabo de la siguiente manera:

Partiendo de la **Especificación de requisitos HW/SW**, se pretende definir y documentar los diferentes requerimientos del sistema a implementar, seguido de un diseño global o **Diseño de alto nivel** que permitirá obtener una visión general del sistema identificando las funciones que deberá cumplir y asignarlas a los diferentes componentes, ya sea de HW o SW. El **Diseño en detalle** consiste en detallar cada elemento que constituyen los componentes del sistema global, en donde se pretende especificar el diseño del sistema embebido con los componentes a implementar y de la aplicación móvil, seguida de la **Implementación** de cada uno de ellos, en donde los módulos de SW son desarrollados e integrados con el HW. En el **Test unitario** se verificará cada módulo de

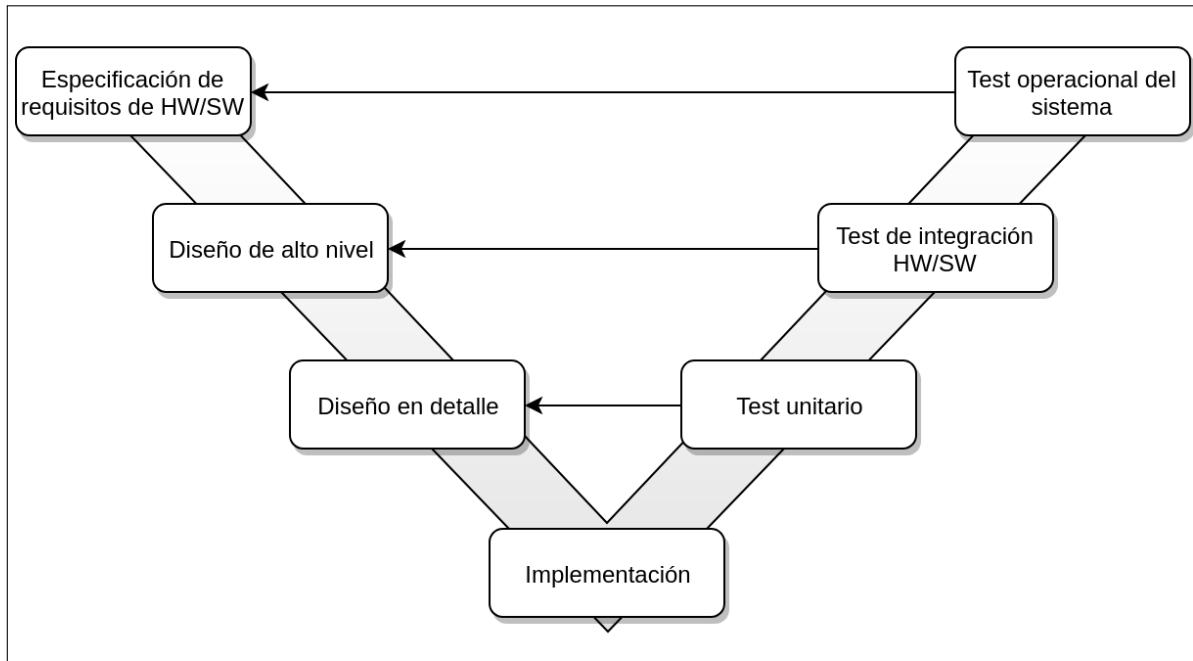


Figura 3.1: Fases del Modelo en V.

HW y SW de manera individual, en donde se depurará cada uno de ellos hasta obtener el resultado deseado. En la **Test de integración HW/SW** se acoplan los diferentes módulos del sistema para verificar su funcionamiento en conjunto y finalmente en el **Test operacional del sistema** se realizarán las últimas pruebas en un escenario real y así validar si los resultados obtenidos cumplen con los requerimientos.

3.2. Requerimientos del sistema

Las definiciones de los requerimientos especifican las funciones y propiedades esenciales y deseables que el sistema debe cumplir.

A continuación se muestran los requerimientos que deberá cubrir el sistema al finalizar el proyecto para garantizar el cumplimiento de los objetivos planteados.

Requerimientos del Sistema			
Id	Descripción	Prioridad	Tipo
RS-R1	El sistema calculará la frecuencia cardíaca del paciente.	Alta	Funcional
RS-R2	El sistema medirá la temperatura corporal del paciente.	Alta	Funcional
RS-R3	El sistema contará con un módulo de comunicación que le permitirá establecer la comunicación con un teléfono celular.	Alta	Funcional
RS-R4	El sistema implementará una aplicación móvil que recuperará los mensajes enviados desde el sistema y mostrará al usuario el historial de registros de las mediciones enviadas.	Alta	Funcional

3.3. Análisis de componentes del sistema

Para determinar los componentes del sistema, se llevó a cabo la investigación y comparación de diferentes sensores para realizar las mediciones de temperatura y pulso cardíaco, así como de diferentes módulos de comunicación y microcontroladores. Se consideraron diferentes características de interés de cada componente para seleccionar el más conveniente para el sistema.

3.3.1. Sensor de temperatura

Para determinar el sensor de temperatura, se realizó una tabla comparativa considerando diversos sensores de tipo *grado clínico*, que por las características que presentan son adecuados para su uso en aplicaciones médicas.

Las principales características a considerar para la selección del sensor fue el rango de temperatura de medición, que para el sistema se requiere el rango de temperatura corporal humana, y la precisión de las mediciones, dado que se requiere de gran precisión puesto que pequeñas variaciones podrían significar un cambio en el estado fisiológico del paciente.

Adicionalmente, se consideraron el tipo de sensor, analógico o digital, y la interfaz de comunicación que proporcionan.

En la Tabla 3.2 se muestran los datos de los diferentes sensores para cada característica.

Modelo	Rango (°C)	Tipo	Interfaz	Precisión (°C)	Resolución (bits)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Precio (USD)
MAX30205	0 a 50	Digital	I2C	±0,1	16	2.7 - 3.3	600µ	1.60
TMP101	-55 a 125	Digital	I2C, SMBus	±1	9-12	2.7 - 5.5	45µ	1.85
LM73	-40 a 150	Digital	I2C, SMBus	±1	11-14	2.7 - 5.5	550µ	1.78
TSYS01	-40 a 125	Digital	I2C, SPI	±0,1	16	3.2 - 3.6	< 12,5µ	14.95
LM73	-40 a 150	Digital	I2C	±0,1	14	1.9 - 3.6	120µ	3.09

Tabla 3.2: Comparativa de sensores de temperatura.

Se decidió seleccionar el sensor **MAX30205** mostrado en la figura 3.2 debido a que el rango de medición de temperatura es el más cercano al rango de temperatura corporal, que su error es de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ cuando realiza mediciones entre los 37°C y los 39°C y que tiene un bajo costo.

Este sensor medirá la temperatura, convertirá los datos en formato digital y mediante la interfaz de comunicación I₂C transmitirá los resultados de la conversión al microcontrolador cada que éste lo solicite.

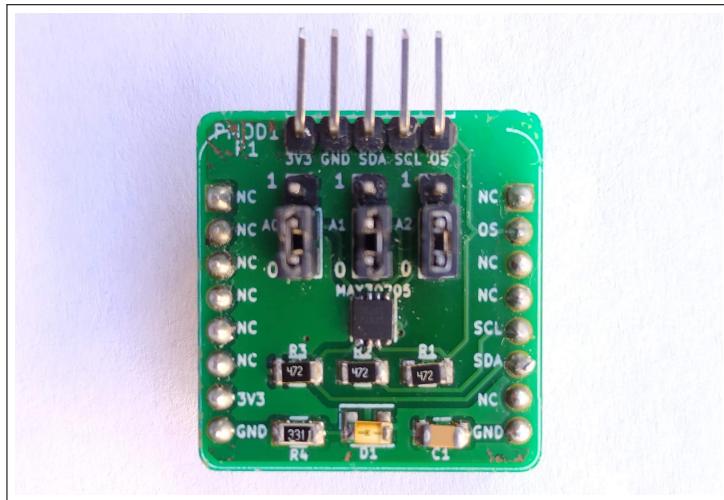


Figura 3.2: MAX30205

3.3.2. Sensor de pulso

Para determinar el sensor de pulso, se realizó una tabla comparativa considerando diversos sensores de tipo fotopletismógrafos y ECG.

Las principales características a considerar para la selección del sensor fue el tipo, analógico o digital, y, en caso de ser digital, la resolución. Adicionalmente, se consideró la interfaz de comunicación que proporcionan, la cual será utilizada para realizar la comunicación con el microcontrolador.

En la Tabla 3.3 se muestran los datos de los diferentes sensores para cada característica.

Modelo	Tipo	Interfaz	Resolución (bits)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Precio (USD)
PulseSensor	Analógico	-	-	3.3 - 5	4m	24.99
Finger Heart Rate Sensor	Analógico	-	-	3.3 - 5		0.74
AD8232	Analógico	-	-	2 - 3.5		29.5
ADP103	Digital	I2C	14	1.7 - 1.9	600μ	3
MAX30100	Digital	I2C	14	1.7 - 2	600μ	14.99

Tabla 3.3: Comparativa de sensores de pulso.

Para el sensor de pulso se probarán dos sensores, uno de tipo ECG y otro PPG con el fin de comparar las señales entregadas y seleccionar la opción que mejor se comporte en mediciones sin una preparación tan estricta.

Debido a las características que presentan y que son sensores de uso común, se decidió utilizar el sensor **PulseSensor** y el **AD8232** mostrados en las figuras 3.3 y 3.4.

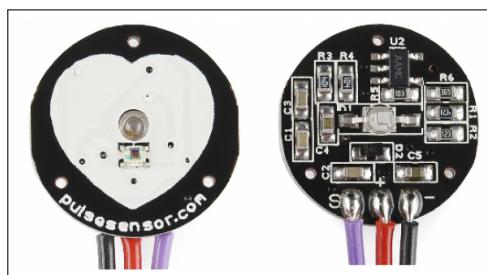


Figura 3.3: Pulse Sensor.

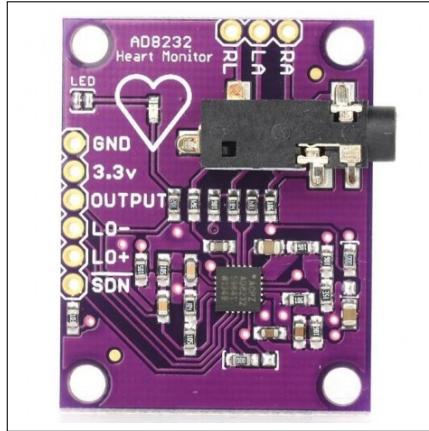


Figura 3.4: AD8232

3.3.3. Módulo de comunicación 3G/4G

El módulo de comunicación permitirá el envío de mensajes SMS con la información proporcionada por el microcontrolador.

Para determinar el módulo a utilizar, se consideraron únicamente módulos con el chip integrado ya que proporciona la ventaja de contener todos los elementos que éste requiere. Además al requerir únicamente del envío de SMS se descartaron varios modelos encontrados.

Finalmente se realizó una tabla comparativa entre los módulos de la empresa MikroElektronika que corresponden a los requerimientos buscados.

Las principales características a considerar para la selección del módulo fueron la banda soportada y las interfaces de comunicación que ofrece. Adicionalmente se consideraron el voltaje y precio.

En la Tabla 3.4 se muestran los datos de los diferentes módulos de comunicación GSM para cada característica.

Debido a que para realizar pruebas se utilizará una tarjeta SIM de algún operador celular del país se consideraron las operadoras más utilizadas a nivel nacional con las frecuencias de operación de sus bandas. [53]

Al no requerir de una gran velocidad para el envío de datos se consideró usar la red 3G.

Modelo	Fabricante	Frecuencia de banda (MHz)	Interfaces	Voltaje (V)	Precio (USD)
GL865-QUAD	Telit	850/900/1800/1900	UART	3.22 - 4.5	49.0
M95	Quectel	850/900/1800/1900	GPIO/UART	3.3 - 4.6	44.0
SIM800H	SIMcom	850/900/1800/1900	GPIO/UART	3.4 - 4.4	57.0
SARA-G3	ublox	900/1800	GPIO/UART/USB	4	74.0
LARA-R202	ublox	900/1800	I2C/UART/USB	3.3 - 4.4	74.0

Tabla 3.4: Comparativa de módulos.

En la Tabla 3.5 se muestran los datos de las diferentes operadoras.

Operador	Frecuencia para 3G (MHz)
AT&T (Iusacell y Nextel)	850/1700/1900/2100
Movistar	850/1900
Telcel	850/1900

Tabla 3.5: Frecuencias de banda de operadoras celulares.

Por las características que presenta y el soporte que tiene en la red 3G y 4G nacional, se decidió utilizar el módulo **4G LTE-AT&T CLICK** con el chip **LARA-R202** de ublox, mostrado en la figura 3.5.



Figura 3.5: 4G LTE-AT&T CLICK

3.3.4. Microcontrolador

El microcontrolador será encargado de obtener procesar todos los datos para generar los resultados esperados. Ya que el microcontrolador tendrá la principal función en el sistema, es de suma importancia elegir el indicado para realizar esta tarea.

Se realizó una tabla comparativa entre diferentes microcontroladores que corresponden con los requerimientos buscados. Las principales características consideradas para la elección fueron la resolución del convertidor analógico digital y las interfaces de comunicación que ofrece, tomando en cuenta que las que serán usadas con base en las elecciones realizadas para sensor de temperatura, sensor de pulso y módulo GSM son I2C y UART.

En la tabla 3.6 se muestran los microcontroladores y las características evaluadas para cada uno de ellos.

Modelo	Fabricante	ADC (bits)	Interfaces	Precio (USD)
dsPIC30F4013	Microchip	12	2 - UART 1 - I2C 1 - SPI	5.41
PIC24HJ128GP506A	Microchip	10/12	2 - UART 2 - I2C 2 - SPI 1-CAN	5.3
PIC24HJ128GP310A	Microchip	10/12	2 - UART 2 - I2C 2 - SPI	5.86
MSP430F449	Texas Instruments	12	UART/ I2C/ SPI	4.97

Tabla 3.6: Comparativa de microcontroladores.

Aunque cada una de las opciones pudo haber sido seleccionada por cumplir con las características de mayor importancia, se decidió usar el modelo **dsPIC30F4014** de Microchip pues con los componentes integrados se hará uso de la mayor parte de las interfaces que ofrece, junto con el ADC que será implementado para realizar la digitalización de las señales analógicas que serán obtenidas.

3.3.5. Sistema operativo móvil

Los sistemas operativos para teléfonos inteligentes o sistemas operativos móviles son sistemas operativos que operan teléfonos inteligentes, PDA, tabletas y otros dispositivos móviles. Un sistema operativo permite que estos dispositivos ejecuten aplicaciones y programas, por lo tanto, llevan funciones avanzadas a dispositivos móviles que anteriormente estaban restringidos a computadoras de escritorio.

En la figura 3.6 se muestra una gráfica que indica la participación de mercado global del sistema operativo móvil, en términos de ventas a usuarios finales, de 2009 a 2018. En el segundo trimestre de 2018, el 88 % de los teléfonos celulares vendidos a usuarios finales eran teléfonos con el sistema operativo Android [54].

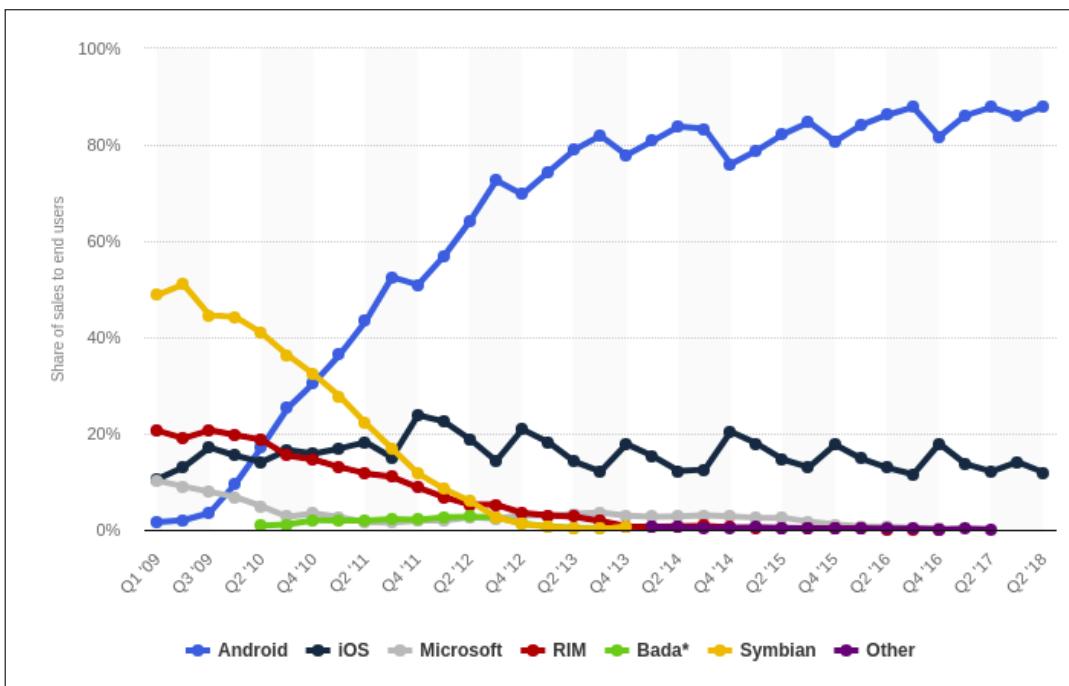


Figura 3.6: Sistemas operativos móviles en el mercado global. Statista (2018).

A pesar de existir varios sistemas operativos móviles como: Microsoft, Symbian, RIM, Android, iOS, entre otros, son dos los que actualmente abarcan casi la totalidad del mercado: Android e iOS, por lo que para el desarrollo de la aplicación móvil únicamente se considerarán estos dos.

Android es un sistema operativo móvil desarrollado por Google. Está basado en Linux y está enfocado para ser utilizado en dispositivos móviles como smartphones, tablets,

Google TV y otros dispositivos [55], que ofrece un completo framework de aplicaciones que te permite crear apps y juegos innovadores para dispositivos móviles en un entorno de lenguaje Java [56].

iOS es un sistema operativo móvil desarrollado por Apple que se ejecuta en los dispositivos iPhone, iPad, iPod Touch y otros dispositivos de Apple [57]. Para desarrollar aplicaciones de iOS, Apple ofrece Swift, que es un lenguaje de programación poderoso e intuitivo [58].

Ambos sistemas operativos tienen características comunes importantes para el desarrollo de la aplicación móvil, tal como se muestra en la tabla 3.7.

Característica	Descripción
Conectividad	Soportan múltiples tecnologías de comunicación, incluyendo GSM.
Almacenamiento	Soportan el manejo de gestores de bases de datos como SQLite.
Mensajería	Están disponibles las formas de mensajería SMS y MMS.
Multitarea	Está disponible la multitarea de aplicaciones, permitiendo la ejecución de varias aplicaciones simultáneamente.

Tabla 3.7: Características comunes de los sistemas operativos Android e iOS. Adaptado de Shailendra (2015).

En la figura 3.7 se muestra la preferencia de los países por cierto sistema operativo, ya sea Android o iOS. Se puede observar que el sistema operativo dominante en el mercado mexicano es Android.

En la figura 3.8 se muestra el porcentaje de dispositivos vendidos con sistema operativo Android (81.45 %) e iOS (17.34 %) en México, indicando una gran diferencia entre la cantidad de dispositivos con estos sistemas operativos vendidos entre octubre de 2017 y septiembre de 2018.

Debido a la popularidad del sistema operativo Android en México, se decidió desarrollar la aplicación para este sistema operativo y así lograr que pueda ser utilizado por un mayor número de personas. En la figura 3.9. se muestra el porcentaje de dispositivos que usan una versión determinada de la plataforma Android.

Por lo tanto la aplicación móvil será desarrollada para el sistema operativo Android y se buscará que sea compatible con la versión más reciente, Oreo 8.1, y las versiones Nougat 7.0 y 7.1, y Marshmallow 6.0 con la finalidad de que sea compatible con el mayor porcentaje de dispositivos y poder realizar pruebas con algún dispositivo físico más fácilmente.

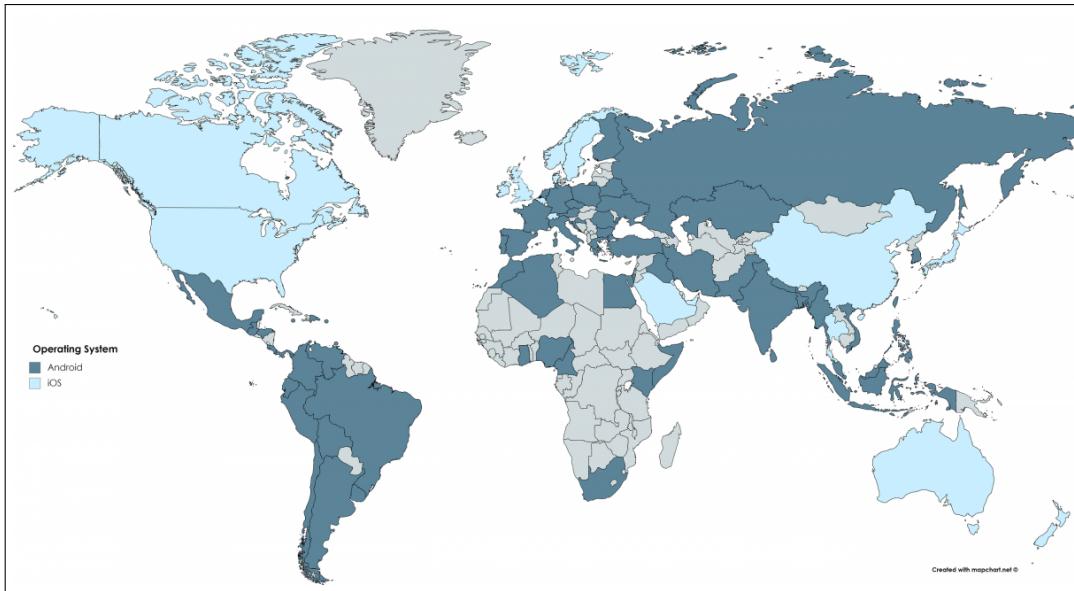


Figura 3.7: Mapa de popularidad de sistemas operativos Android e iOS. DeviceAtlas (2018).

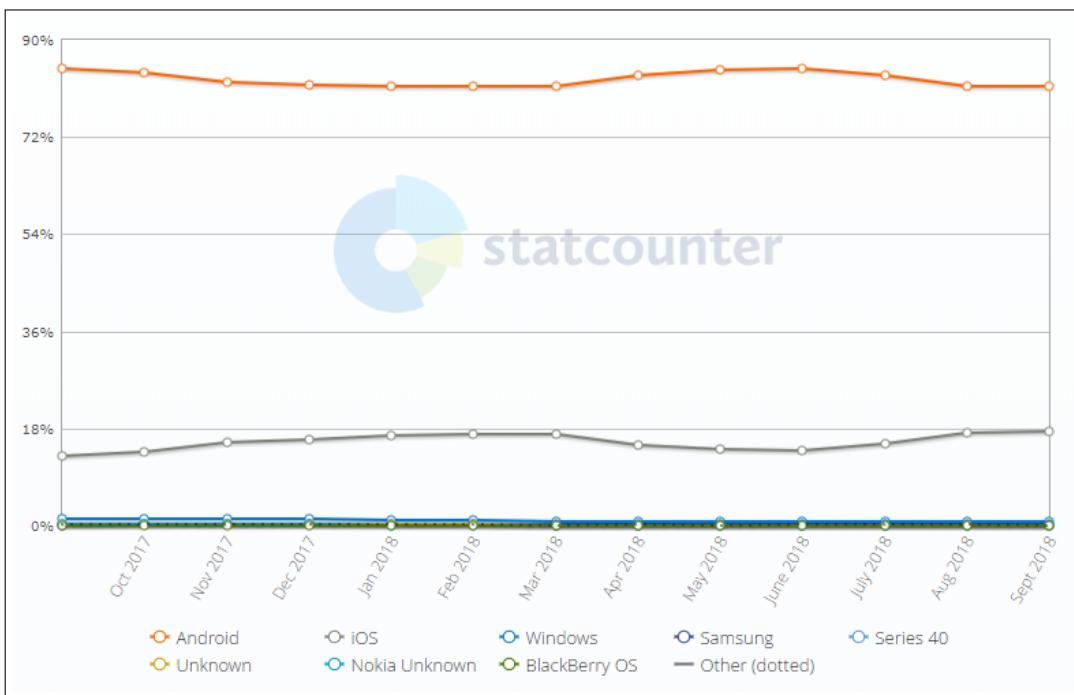


Figura 3.8: Sistemas operativos móviles en México. Statcounter (2018).

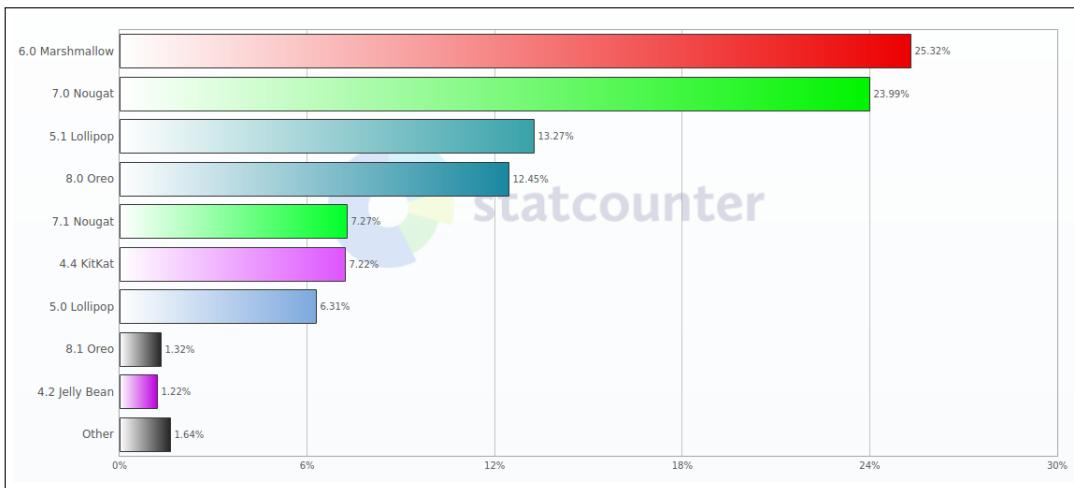


Figura 3.9: Versiones de Android utilizadas en México. Statcounter (2018).

3.4. Análisis de Factibilidad

El estudio de factibilidad se encarga de recopilar datos esenciales del proyecto como la infraestructura tecnológica necesaria, la factibilidad técnica y los recursos económicos necesarios para la implementación del trabajo, esto con el fin de orientar la toma de decisiones que impactarán directamente a la etapa de la ejecución.

3.4.1. Factibilidad Técnica

El propósito de este análisis es recolectar información sobre los recursos de software, hardware, conocimientos, habilidades y experiencias y la posibilidad de hacer uso de ellos en el desarrollo y la implementación del trabajo, además de definir los requerimientos tecnológicos que deben ser adquiridos para el desarrollo con el menor riesgo posible.

A continuación se describen las tecnologías y requerimientos de software y hardware que fueron implementados para el desarrollo del trabajo.

Software

Para identificar las diferentes tecnologías de la información que serán usadas para el desarrollo del trabajo, éstas fueron evaluadas y clasificadas en 3 diferentes aspectos.

1. Entorno de Desarrollo Integrado.

Para el desarrollo de este trabajo terminal, se hará uso totalmente plataformas libres o en su versión de prueba, con el fin de no necesitar ninguna inversión inicial para su adquisición. En la tabla 3.8 se describen los entornos de desarrollo elegidos para trabajar.

2. Sistema Operativo

Puesto que la mayoría de los entornos de desarrollo integrado a usar son multiplataforma, se puede hacer uso de múltiples sistemas operativos para su implementación. En la tabla 3.9 se muestran las versiones de sistemas operativos que serán evaluados para usar.

Después de este análisis, se determinó que se puede hacer uso de más de un sistema operativo, por lo que en cada uno de los equipos se tendrá instalado el sistema operativo Linux en su distribución Zorin OS 12.4 64-bit y Windows 10®.

3. Lenguaje de Programación

En la tabla 3.10 se muestran describen los lenguajes de programación que serán usados

Nombre	Descripción
MPLAB® X IDE	MPLAB X IDE es un programa de software que se ejecuta en una PC (Windows®, Mac OS®, Linux®) para desarrollar aplicaciones para microcontroladores de microchip y controladores de señales digitales.
Android Studio	Android Studio es el entorno de desarrollo integrado (IDE) oficial para el desarrollo de aplicaciones para Android y se basa en IntelliJ IDEA.
MATLAB	MATLAB es una herramienta de software matemático que ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación propio (lenguaje M). Está disponible para las plataformas Unix, Windows, Mac OS X y GNU/Linux.

Tabla 3.8: Entornos de Desarrollo Integrado a usar

dependiendo de

Debido a la naturaleza del presente trabajo terminal, es necesario el uso de más de un lenguaje de programación. Para la programación del microcontrolador, se hará uso de los lenguajes C y Ensamblador, los cuales son soportados por el entorno de desarrollo integrado MPLAB X. Adicionalmente, se hará uso del lenguaje java, implementado para el desarrollo de la aplicación móvil a través de Android Studio. Y para la ejecución de las pruebas unitarias, el lenguaje utilizado será M, en el IDE de MATLAB.

Hardware

Evaluando el equipo de cómputo con el que se cuenta y analizando las especificaciones y requisitos de los entornos de desarrollo elegidos, no es necesario realizar una inversión inicial para la adquisición de nuevos equipos pues las características con las que cuentan, satisfacen los requerimientos necesarios para el desarrollo del trabajo. Sin embargo, para el hardware que será implementado en el sistema embebido, sí es necesario realizar una inversión inicial por el costo unitario de cada uno.

En la tabla 3.11 se describen las especificaciones de los equipos que se tienen y que serán utilizados para el diseño, desarrollo e implementación del trabajo.

En la tabla 3.12 se listan los recursos de hardware que, según el análisis realizado en el capítulo 3 es necesario adquirir para el diseño, desarrollo e implementación del trabajo.

Nombre	Descripción
GNU/Linux	GNU/Linux, también conocido como Linux, es un sistema operativo libre tipo Unix; multiplataforma, multiusuario y multitarea. Es compatible con casi todas las principales plataformas informáticas, incluyendo x86, ARM y SPARC, por lo que es uno de los sistemas operativos más soportados.
Windows 8.1®	Es una actualización de Windows 8®. Presenta una expansión de configuración de PC para incluir más opciones previamente exclusivas del Panel de control de Windows®. Tiene la capacidad de sincronizar más configuraciones entre dispositivos, incluyendo configuraciones de la pantalla de Inicio y configuración de teclado Bluetooth y ratón.
Windows 10®	Windows 10® es el último sistema operativo desarrollado por Microsoft® como parte de la familia de sistemas operativos Windows NT. Uno de los aspectos más importantes de Windows 10 es el enfoque en la armonización de experiencias de usuario y funcionalidad entre diferentes tipos de dispositivos, además de abordar las deficiencias en la interfaz de usuario de Windows® que se introdujo por primera vez en Windows 8®.

Tabla 3.9: Sistemas operativos

Nombre	Descripción
C	C es un lenguaje de programación de tipos de datos estáticos, débilmente tipificado, de medio nivel, ya que dispone de las estructuras típicas de los lenguajes de alto nivel pero, a su vez, dispone de construcciones del lenguaje que permiten un control a muy bajo nivel. Los compiladores suelen ofrecer extensiones al lenguaje que posibilitan mezclar código en ensamblador con código C o acceder directamente a memoria o dispositivos periféricos.
Ensamblador	El lenguaje ensamblador es un lenguaje de programación de bajo nivel. Consiste en un conjunto de mnemónicos que representan instrucciones básicas para los computadores, microprocesadores, microcontroladores y otros circuitos integrados programables. Implementa una representación simbólica de los códigos de máquina binarios y otras constantes necesarias para programar una arquitectura de procesador y constituye la representación más directa del código máquina específico para cada arquitectura legible por un programador.
Java	Java es un lenguaje de programación de propósito general, concurrente, orientado a objetos, que fue diseñado específicamente para tener tan pocas dependencias de implementación como fuera posible. Su intención es permitir que los desarrolladores de aplicaciones escriban el programa una vez y lo ejecuten en cualquier dispositivo, lo que quiere decir que el código que es ejecutado en una plataforma no tiene que ser recompilado para correr en otra. Java fue elegido como el lenguaje para el entorno de desarrollo de Android.
M	Las aplicaciones de MATLAB se desarrollan en un lenguaje de programación propio. Este lenguaje es interpretado, y puede ejecutarse tanto en el entorno interactivo, como a través de un archivo de script (archivos *.m). Este lenguaje permite operaciones de vectores y matrices, funciones, cálculo lambda, y programación orientada a objetos.

Tabla 3.10: Lenguajes de programación

Cantidad	Equipo	Características
1	Sony VAIO Pro SVP132A1CU	<ul style="list-style-type: none"> • Procesador: Intel® Core i5-4200U CPU @ 1.60 GHz x 4 • RAM: 8GB • Sistema Operativo: Windows 10 64-bit / Zorin OS 64bit
1	Asus VivoBook S510U	<ul style="list-style-type: none"> • Procesador: Intel® Core i7-8550U CPU @ 1.80 GHz x 8 • RAM: 8GB • Sistema Operativo: Windows 10 64-bit / Zorin OS 64bit
1	Smartphone Motorola G3	<ul style="list-style-type: none"> • Procesador: Snapdragon 410 • RAM: 1GB • Sistema Operativo: Android 6.0 Marshmallow
1	Smartphone Xiaomi Mi A2	<ul style="list-style-type: none"> • Procesador: Snapdragon 660 • RAM: 4GB • Sistema Operativo: Android 8.1 Oreo con Android One

Tabla 3.11: Características del equipo disponible

Cantidad	Recurso
1	Microcontrolador dsPIC30F4013
1	Módulo GSM
1	SIM telefónico para módulo GSM
1	Sensor de temperatura MAX30205
1	Sensor de pulso
1	Programador para microcontrolador
1	Módulo FT232

Tabla 3.12: Recursos de hardware necesarios

Como resultado del análisis de factibilidad técnica, se determinó que se cuenta con la infraestructura tecnológica necesaria para el desarrollo del trabajo terminal.

3.4.2. Factibilidad Económica

El análisis de la factibilidad económica determina si los recursos económicos y financieros son suficientes para llevar a cabo las actividades o procesos, además permite conocer los costos estimados para el desarrollo del trabajo.

Para determinar la factibilidad económica del presente trabajo terminal se realizó un análisis describiendo los gastos totales, los cuales fueron clasificados en las siguientes categorías:

1. Gastos tecnológicos
2. Gastos por servicios

Debido a este proyecto tiene fines académicos, en los gastos descritos no se consideran sueldos.

1. Gastos tecnológicos

En esta sección se consideran todos los gastos relacionados con el software y hardware implementado en el desarrollo del proyecto. Todas las cantidades descritas están consideradas en pesos mexicanos.

En la tabla 3.13 se describen los gastos del equipo que fue utilizado pero que no se realizó una inversión inicial pues ya se contaba con él. Para estos equipos se consideró únicamente el gasto de la depreciación durante los meses de trabajo. El porcentaje de depreciación anual que se consideró para todos los equipos fue del 20 % y el tiempo de trabajo en meses estimado para este trabajo terminal fue de 9.

En la tabla 3.14 se describen los gastos relacionados con la compra del equipo de hardware específico para el desarrollo del sistema embebido.

2. Gastos por servicios

El desarrollo del trabajo implica gastos para los servicios con los que funcionarán los recursos de hardware y software mencionados anteriormente. El gasto estimado por los servicios a utilizar se describe en la tabla 3.15.

Equipo	Precio de compra (\$)	Depreciación mensual (\$)	Depreciación total (\$)
Sony VAIO Pro SVP132A1CU	15,000.00	250.00	2,250.00
Asus VivoBook S510U	24,000.00	400.00	3,600.00
Smartphone Motorola G3	3,000.00	50.00	450.00
Smartphone Xiaomi Mi A2	5,000.00	83.33	750.00
TOTAL			7,050.00

Tabla 3.13: Gastos tecnológicos por depreciación

Cantidad	Recurso	Precio unitario (\$)	Subtotal (\$)
1	Microcontrolador ds-PIC30F4013	143.39	143.39
1	Módulo GSM	1,072.00	1,072.00
1	SIM telefónico para módulo GSM	0.00	0.00
1	Sensor de temperatura MAX30205	30.57	30.57
1	Sensor de pulso	477.46	477.46
1	Programador para microcontrolador	300.00	300.00
1	Módulo FT232	100.00	100.00
TOTAL			2,123.42

Tabla 3.14: Gastos tecnológicos por hardware

Servicio	Gasto mensual (\$)	Gasto total (\$)
Internet	150.00	1,350.00
Luz eléctrica	135.00	1,215.00
SIM telefónica	50.00	450.00
TOTAL		3,015

Tabla 3.15: Gastos por servicios

Gastos totales

Para obtener el monto total de los gastos para el proyecto, se sumaron los gastos mencionados anteriormente, como se muestra en la tabla 3.16, por lo tanto el costo total estimado del proyecto es: \$9,176 pesos mexicanos.

Concepto	Gasto (\$)
Gastos tecnológicos	7,050.00
Gastos por servicios	3,015.00
TOTAL	9,176.43

Tabla 3.16: Gastos totales

3.5. Arquitectura física del sistema

En la figura 3.10 se muestra la arquitectura física del sistema, la cual abarca el diseño de la aplicación móvil así como el sistema embebido encargado de realizar las mediciones.

El diagrama está compuesto por dos módulos, los cuales se describen a continuación:

1. **Aplicación Móvil:** como su nombre lo indica, se refiere a la aplicación móvil que proporcionará un punto de acceso al usuario para la consulta de las mediciones realizadas por los sensores y procesadas por el microcontrolador en el sistema embebido.
2. **Sistema Embebido:** abarca todos los componentes que integran el sistema embebido como tal. En este módulo se realizan las mediciones de temperatura corporal y ritmo cardíaco y se obtienen en el microcontrolador para proceder con la valoración y en caso de encontrar valores anormales en algún signo vital, enviar mediante SMS, la notificación al usuario.

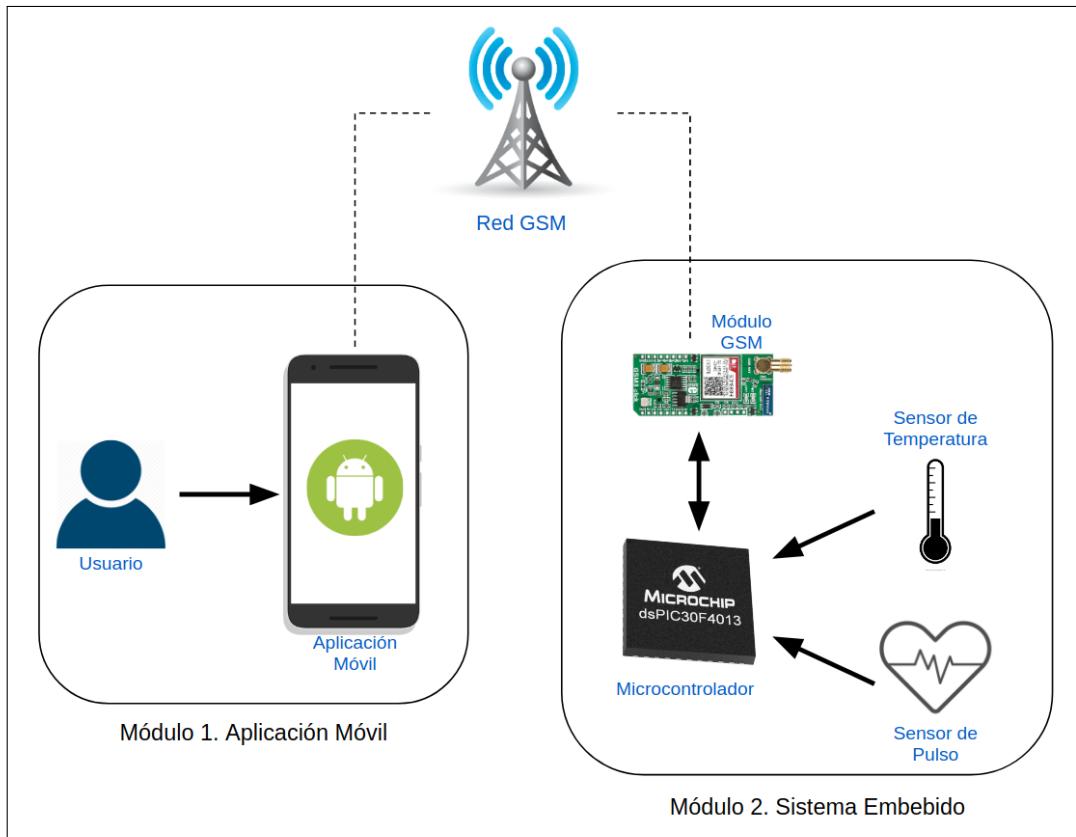


Figura 3.10: Arquitectura física del sistema

3.6. Arquitectura lógica del sistema

Una vez definidos los componentes que serán utilizados, se definió la arquitectura lógica del sistema mostrada en la figura 3.11, especificando la forma en que serán comunicados con el microcontrolador.

La figura de la arquitectura se divide en tres partes, las cuales especifican la forma de comunicación entre el sistema embebido, la red 3G/4G y la aplicación móvil.

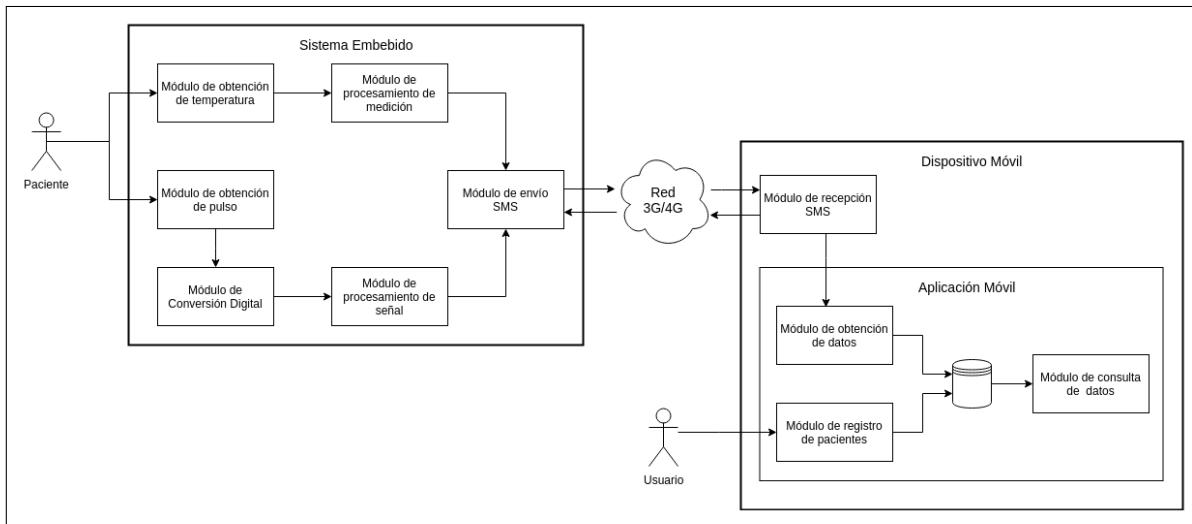


Figura 3.11: Arquitectura lógica del sistema

El sistema embebido se encarga de obtener la señal de pulso cardíaco mediante el sensor de pulso a través de una entrada analógica, este señal es digitalizada con el ADC de 12 bits del microcontrolador y posteriormente se realiza el procesamiento para calcular la frecuencia cardíaca. Al término de estos cálculos se obtiene la temperatura del sensor de temperatura y se realiza el procesamiento para obtener el valor expresado en valores decimales. Cuando se tienen estos valores, el módulo de envío SMS se encarga de construir y enviar el mensaje a la Red 3G/4G.

El usuario recibe el mensaje en su dispositivo móvil con acceso a la Red 3G/4G y la aplicación móvil obtendrá los datos de dicho mensaje. El usuario podrá registrar la información del paciente para posteriormente visualizar los valores de las mediciones.

CAPÍTULO 4

Diseño e implementación

El presente capítulo incluye las pruebas presentadas como avance para la primera parte de este trabajo terminal. El contenido más detallado de éste capítulo se menciona a continuación:

- Pruebas unitarias y digitalización de señales analógicas de pulso cardíaco.
- Pruebas unitarias del sensor de temperatura.
- Pruebas unitarias del módulo 4G ublox LARA-R202.
- Primer diseño de las interfaces a implementar en la aplicación móvil.

4.1. Sensores de pulso

Para determinar si el sensor de pulso elegido funcionarían para el cálculo de la frecuencia cardíaca de un paciente, se realizaron pruebas unitarias con el fin de visualizar la onda de salida entregada en un osciloscopio y verificar su funcionamiento.

Las pruebas realizadas se dividieron en cuatro fases, las cuales se describen a continuación.

- **Prueba de funcionamiento:** En esta fase se conectaron los sensores de acuerdo a lo especificado en su hoja de datos. La señal analógica de salida de cada sensor fue visualizada en el osciloscopio.
- **Digitalización de señal:** En esta fase de las pruebas se realizó el código en lenguaje ensamblador y c para digitalizar cada una de esas señales con el uso del ADC del microcontrolador.
- **Procesamiento digital de señal:** El procesamiento digital de la señal consistió en la implementación del algoritmo de autocorrelación para el cálculo de la frecuencia cardíaca.
- **Pruebas unitarias:** En esta fase se verificó que el sensor y el algoritmo funcionaran correctamente en el microcontrolador.

4.1.1. Pruebas de funcionamiento

Se realizó una prueba unitaria para comprobar el correcto funcionamiento del sensor, así como para verificar que la señal analógica entregada por el mismo sea de utilidad para calcular la frecuencia cardíaca del paciente. Al ser un sensor fotopletismógrafo, se realizaron modificaciones al ambiente de pruebas utilizado. El sensor fue alimentado con 5V mediante las terminales indicadas en el sensor y fue alimentado haciendo uso de un módulo FT232 pero con un voltaje mayor. El sensor encendido se muestra en la figura 4.1.

Como el sensor es de tipo fotopletismógrafo, fue necesario aislar la luz emitida con el fin de evitar interferencias y que la señal pudiera ser medida correctamente. Para lograr esto, se colocó el sensor de pulso en el dedo índice de la mano y fue cubierto con un velcro negro, como se muestra en la figura 4.2.

La señal obtenida de este sensor se muestra en la figura 4.3.

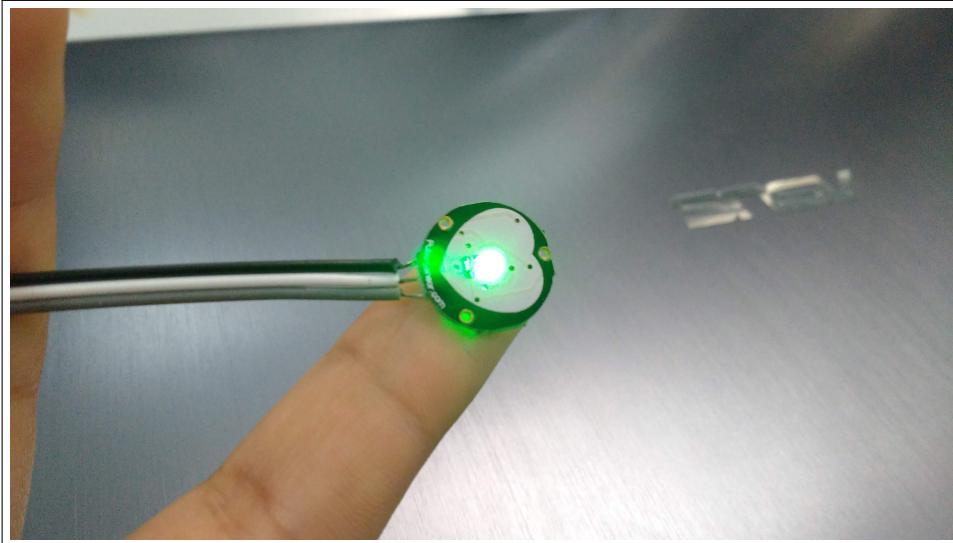


Figura 4.1: Sensor de pulso Pulse Sensor.



Figura 4.2: Prueba del sensor Pulse Sensor.



Figura 4.3: Señal analógica del sensor Pulse Sensor.

4.1.2. Digitalización de señal

Una vez obtenida la señal analógica del sensor, se realizaron los programas en lenguaje c y ensamblador necesarios para digitalizar la señal haciendo uso del convertidor analógico digital del dsPIC.

En la figura 4.4 se muestra el diagrama de flujo para la configuración de los puertos, ADC y UART del microcontrolador. En el diagrama se pueden observar los diferentes pasos realizados para configurar el microcontrolador y así poder obtener y procesar la señal medida de los sensores de pulso.

A continuación se describen las etapas del diagrama de flujo.

1. **Configuración de puertos:** Esta rutina inicializa los periféricos del microcontrolador, indicando qué puertos serán considerados como entradas o salidas. En este caso, las entradas que tendrá el microcontrolador son el pin B2, que funcionará como entrada analógica para la salida del sensor de pulso y el pin C14 el cual es el transmisor TX del UART. Para el caso de las salidas, se configuró el pin C13 el cual es el receptor del UART.
2. **Configuración UART:** Esta rutina configura el UART indicando que obtendrá los

datos de los sensores de pulso a través de los pines configurados para eso. En esta sección se incluyen también las interrupciones correspondientes al UART.

3. **Configuración de ADC:** Incluye la rutina donde se configura el ADC para su uso. En esta sección se especifica que el pin de entrada B2 será el canal de entrada para la conversión analógico digital. Así mismo se realiza la especificación de las interrupciones correspondientes al ADC.

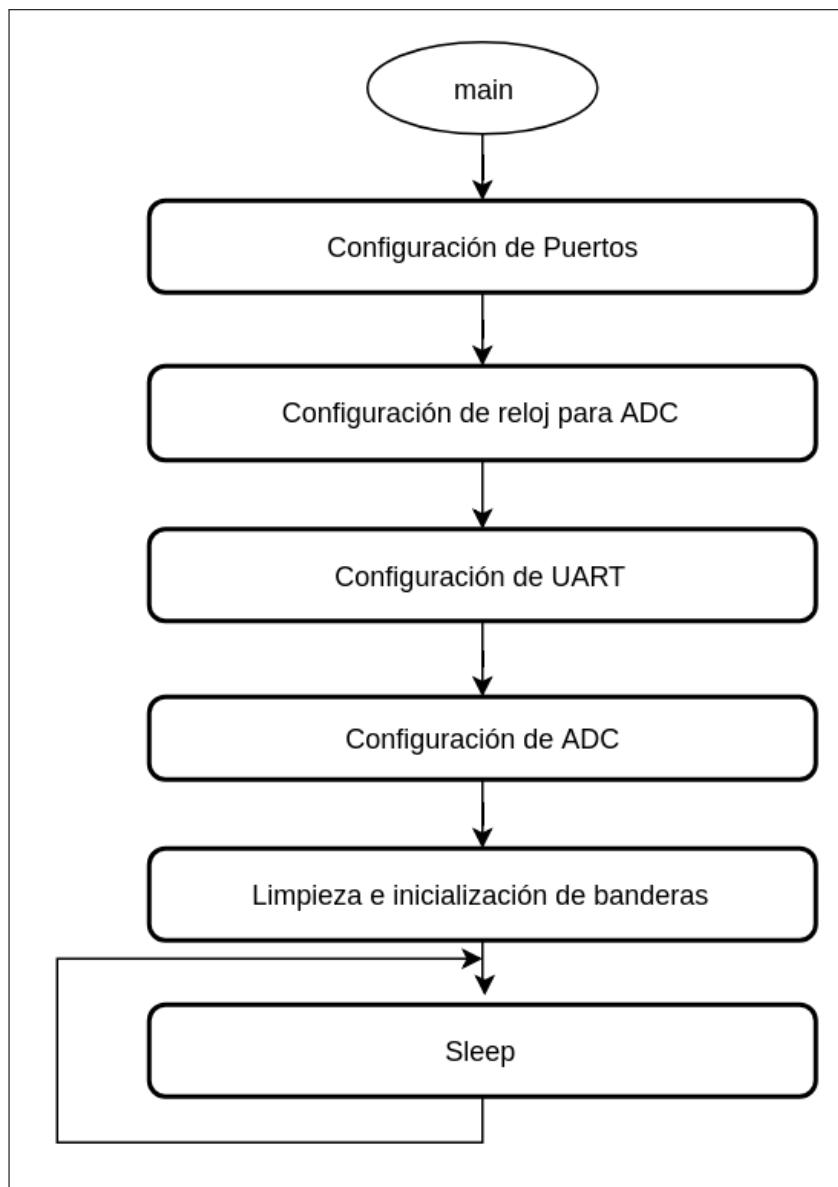


Figura 4.4: Diagrama de flujo del programa de configuración del dsPIC30F4013.

En la figura 4.5 se muestra el diagrama de flujo para la obtención de los datos digitalizados por el convertidor analógico digital y así como el proceso llevado a cabo para graficar los datos obtenidos.

A continuación se describen las etapas del diagrama de flujo realizado para esta función.

1. **Configuración de interfaz serie:** Esta función configura los elementos de la interfaz serie como el nombre del dispositivo serial a usar y la velocidad de comunicación en baudios.
2. **Creación/apertura de archivo:** En este paso se crea o abre un archivo en el cuál se escribirán los datos leídos a través de la interfaz serie.
3. **Obtención de datos de la interfaz serie:** Lee los datos que están siendo enviados por UART a través de la interfaz serie configurada anteriormente.
4. **Cierre de archivo:** Una vez leídos todos los datos por UART, se cierra el archivo en donde se realizó la escritura de los mismos.
5. **Gráfica de señal digitalizada:** Se muestra una gráfica a partir del archivo creado usando el programa gnuplot, en donde puede verse la señal convertida.

En la figura 4.5 se muestra el diagrama de flujo que muestra el proceso para la obtención de datos de la interfaz serial.

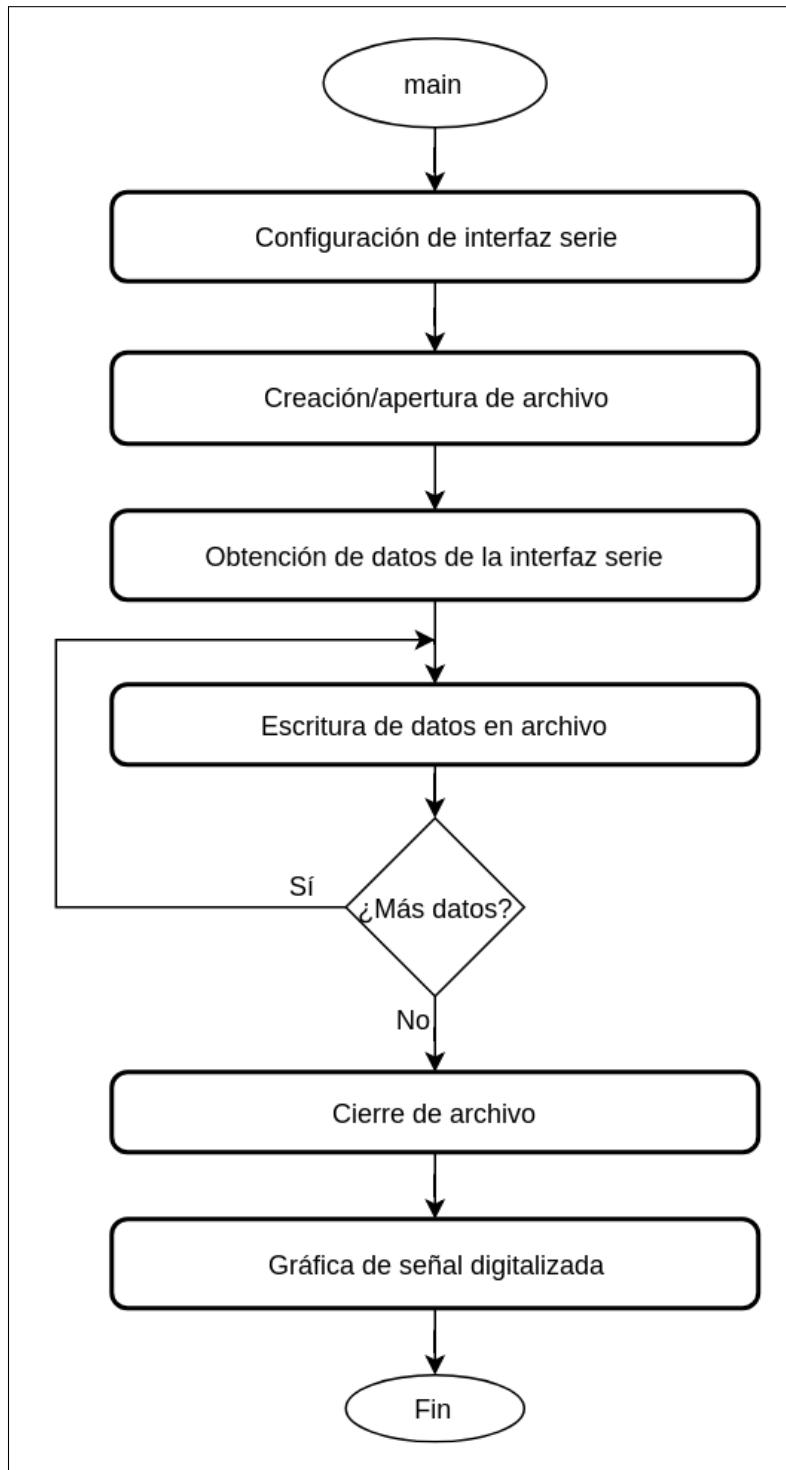


Figura 4.5: Diagrama de flujo de la obtención de señal digitalizada.

Para verificar el funcionamiento del convertidor analógico digital se realizó la conexión del sensor y obtener el archivo y gráfica de la señal.

El sensor fue conectado directamente a la entrada AN2 del microcontrolador para que la señal fuera procesada y transformada por el ADC, sin embargo, este sensor además necesita ser alimentado con 5V.

En la figura 4.6 se muestra el diagrama de conexión del microcontrolador con el sensor.

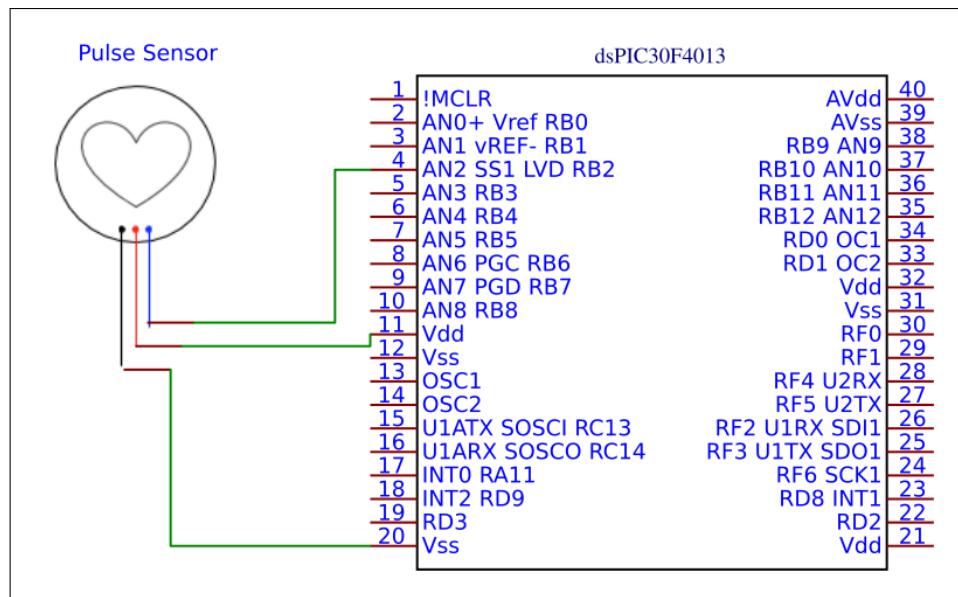
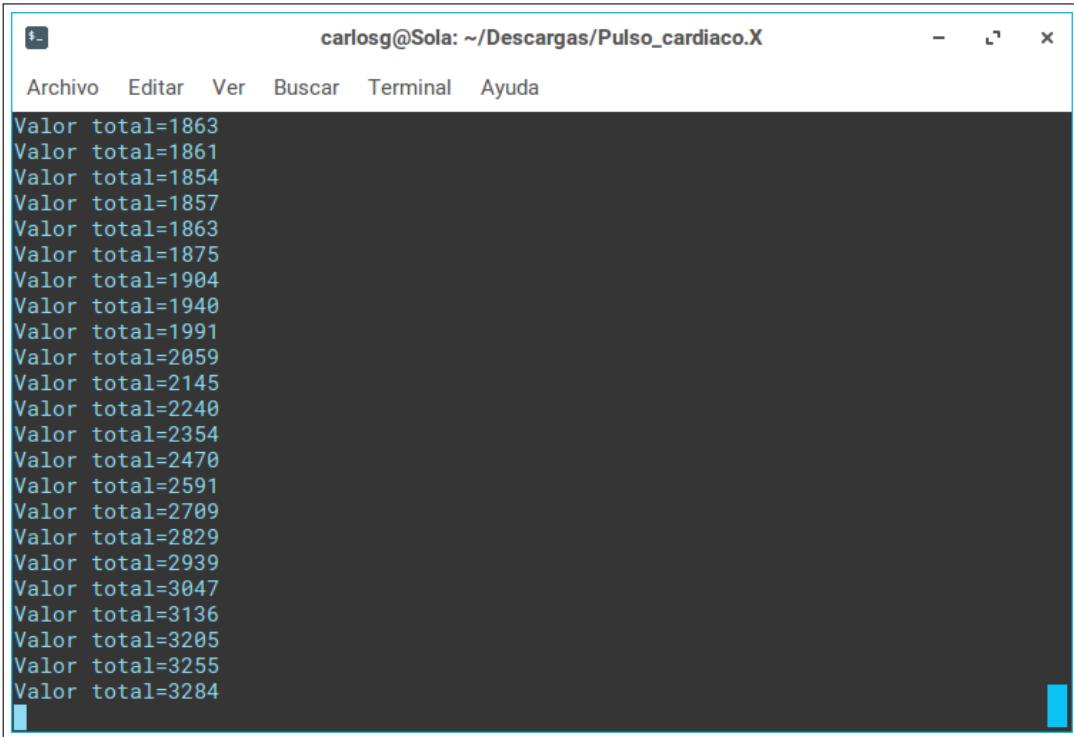


Figura 4.6: Conexión de PulseSensor con dsPIC30F4013.

En las figuras 4.7 y 4.8 se muestra el resultado de la digitalización de la señal en la computadora.

4.1.3. Procesamiento digital de señal

4.1.4. Pruebas unitarias



The screenshot shows a terminal window titled "carlosg@Sola: ~/Descargas/Pulso_cardiaco.X". The window contains a menu bar with "Archivo", "Editar", "Ver", "Buscar", "Terminal", and "Ayuda". The main area of the terminal displays a series of text entries, each starting with "Valor total=". The values listed are: 1863, 1861, 1854, 1857, 1863, 1875, 1904, 1940, 1991, 2059, 2145, 2240, 2354, 2470, 2591, 2709, 2829, 2939, 3047, 3136, 3205, 3255, and 3284.

```
carlosg@Sola: ~/Descargas/Pulso_cardiaco.X
Archivo Editar Ver Buscar Terminal Ayuda
Valor total=1863
Valor total=1861
Valor total=1854
Valor total=1857
Valor total=1863
Valor total=1875
Valor total=1904
Valor total=1940
Valor total=1991
Valor total=2059
Valor total=2145
Valor total=2240
Valor total=2354
Valor total=2470
Valor total=2591
Valor total=2709
Valor total=2829
Valor total=2939
Valor total=3047
Valor total=3136
Valor total=3205
Valor total=3255
Valor total=3284
```

Figura 4.7: Resultado de ejecución para sensor Pulse Sensor.

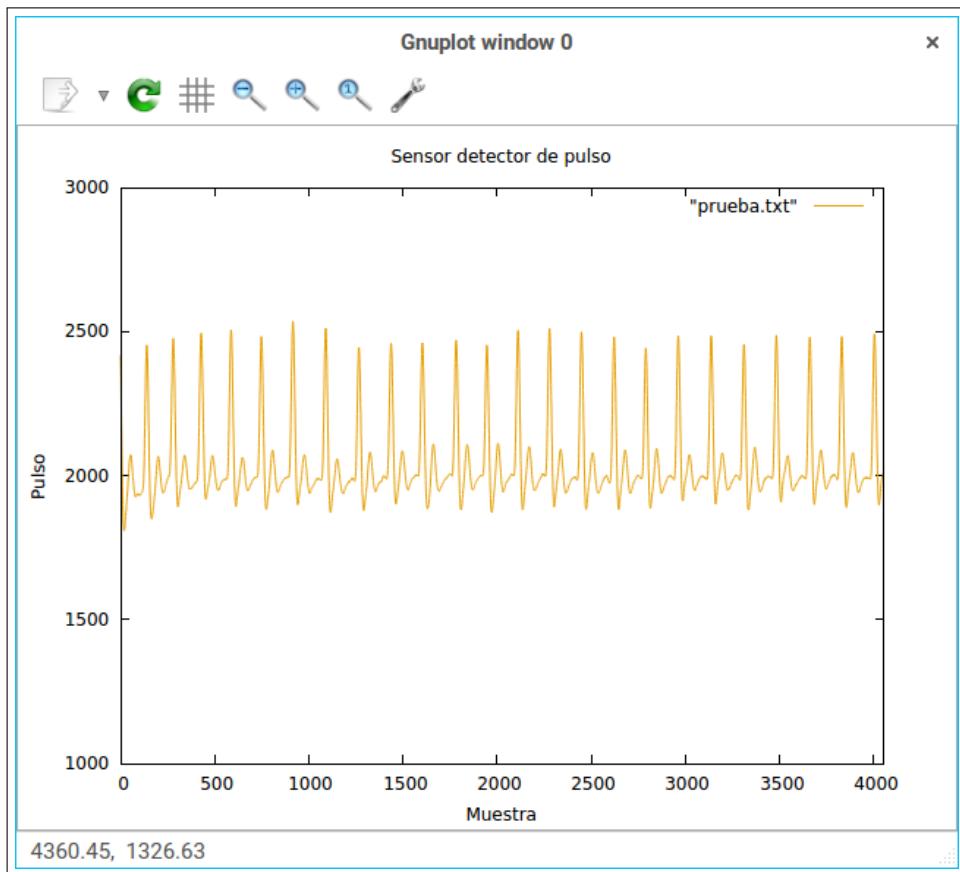


Figura 4.8: Gráfica de señal del sensor Pulse Sensor.

4.2. Sensor de temperatura

El sensor de temperatura MAX30205 tiene una interfaz de comunicación I2C, para poder comprobar su funcionamiento de forma unitaria, fue necesario configurar la interfaz I2C con la que cuenta el dsPIC30205 y adicionalmente crear las rutinas para mantener la comunicación entre ambos componentes.

En la figura 4.9 se muestra el diagrama de tiempo que describe el procedimiento que debe ser seguido para realizar la comunicación entre el MAX30205 y el dsPIC.

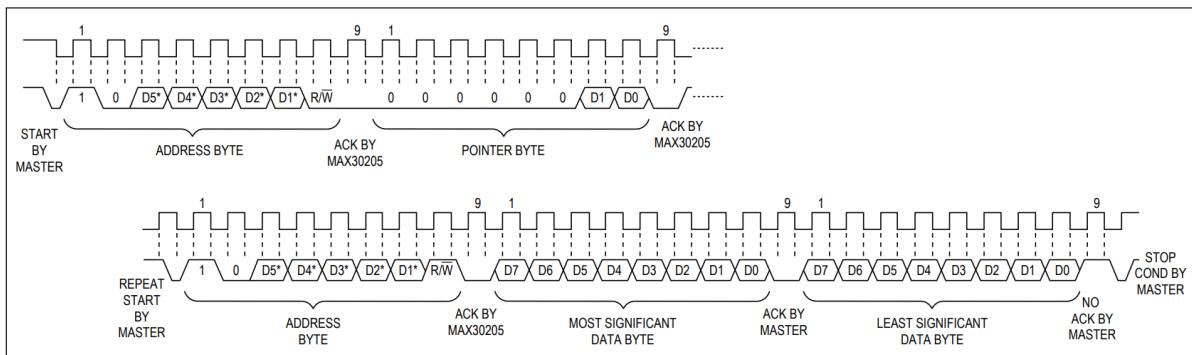


Figura 4.9: Diagrama de tiempo MAX30205.

El procedimiento que se llevó a cabo para cumplir con los pasos establecidos en el diagrama de tiempo del sensor se describe a continuación.

1. Se generó una condición de "start" para el bus I2C y de esa forma comenzar la comunicación entre ambos componentes.
2. Se asignó una dirección al sensor a través de las terminales A0, A1 y A2. Estas terminales fueron conectadas a tierra para formar la dirección 90H, la cual fue enviada por el dsPIC al MAX30205 junto con la instrucción de escritura. Luego de ser enviada, el maestro queda a la espera de que el esclavo envíe un ACK (acknowledge) como respuesta.
3. Para el siguiente paso se debe seleccionar el registro de temperatura (00) para indicar al sensor que únicamente se realizará la lectura de la temperatura. Al igual que en el paso anterior, el dsPIC debe esperar el ACK del sensor para continuar con la comunicación.
4. Como se indica en el diagrama de tiempo, el maestro debe generar una condición de restart antes de seguir con el proceso de comunicación.

5. Una vez más el maestro debe enviar la dirección del esclavo, esta vez con la condición de lectura para comenzar a recibir las mediciones del sensor, esto no sin antes recibir el ACK del esclavo.
6. La lectura de la temperatura se realiza en dos partes comenzando con el byte de datos más significativo que indica la parte entera de la medición y posteriormente con el byte de datos menos significativo, la cual incluye los decimales.
7. Para terminar la comunicación, el maestro genera un NACK (no acknowledge) y por último una condición de STOP para el bus I2C.

La conexión entre el sensor de temperatura y el dsPIC se realizó mediante las terminales SDA y SCL configuradas como salida respectivamente. Adicionalmente el sensor fue acondicionado para poder realizar la conexión física al dsPIC mediante un mikrobus. En las figuras 4.10 y 4.11 se muestra el ejemplo de las conexiones realizadas para esta prueba.

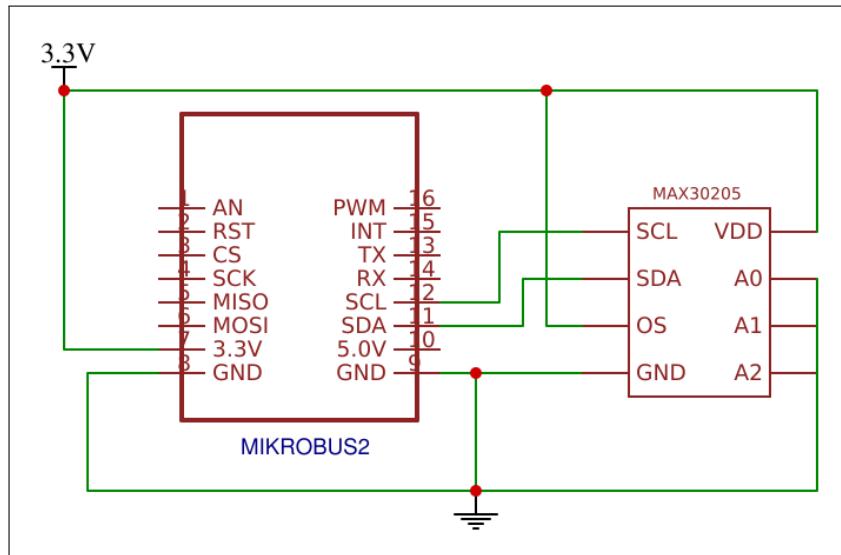


Figura 4.10: Conexión del sensor MAX30205.

Finalmente para visualizar los datos recibidos del sensor, se habilitaron las terminales del UART1 y se conectó el módulo FT232 a la computadora.

El resultado de esta prueba muestra que el sensor de temperatura MAX30205 funciona de manera esperada y la elección realizada fue correcta.

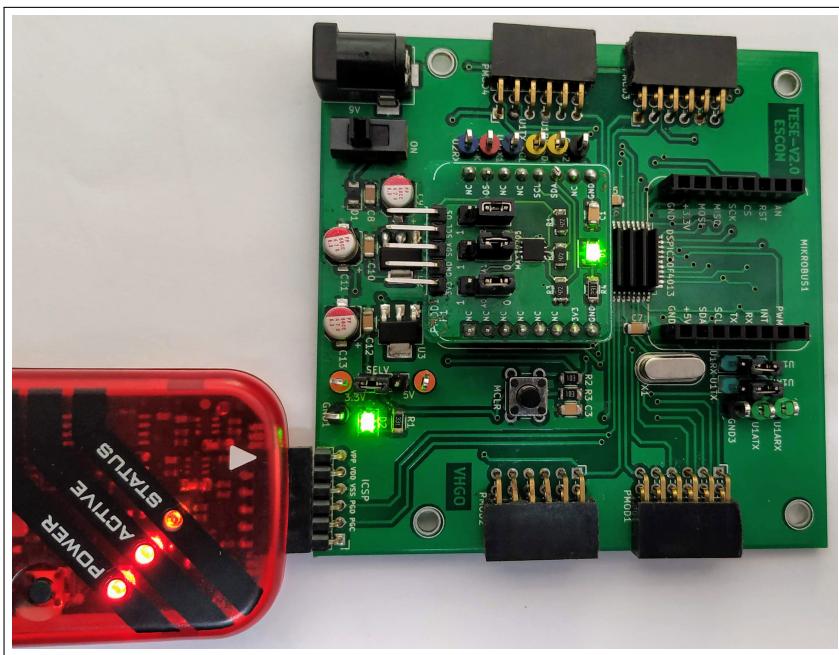


Figura 4.11: Conexión física del sensor MAX30205.

4.3. Módulo LARA-R202

4.3.1. Prueba unitaria

Para verificar que el módulo tenga un correcto funcionamiento, se probó de manera unitaria conectándolo directamente a la computadora a través de la interfaz USB del módulo.

Una vez conectado correctamente ambos componentes, se realizó la prueba de la siguiente forma:

1. Se ejecutó el emulador de terminal 'PuTTY', configurándolo para el puerto serial indicado, con un baudaje de 19200, transmisión de 8 bits, sin paridad con 1 bit de stop y sin flujo de control. La configuración realizada se muestra en la figura 4.12.
2. Se ejecutaron los comandos AT básicos para probar el módulo LARA-R202 y se confirmó que en ninguno de ellos se mostrará un error. Algunos de los comandos utilizados, son:
 - a) AT
 - b) AT+ATE0
 - c) AT+CMGF=1
 - d) AT+CMGS=

El resultado de los comandos ejecutados mediante la terminal de PuTTY se muestra en la figura 4.13.

4.3.2. Conexión con microcontrolador

Después de asegurar el funcionamiento del módulo 4G, se realizó el programa correspondiente para la comunicación con el microcontrolador.

La conexión fue realizada mediante el UART2 del microcontrolador y mediante comandos AT se creó la rutina para verificar el envío de un mensaje SMS a un número de teléfono específico.

El proceso para establecer la comunicación del módulo GSM con el dsPIC y la computadora fue el siguiente.

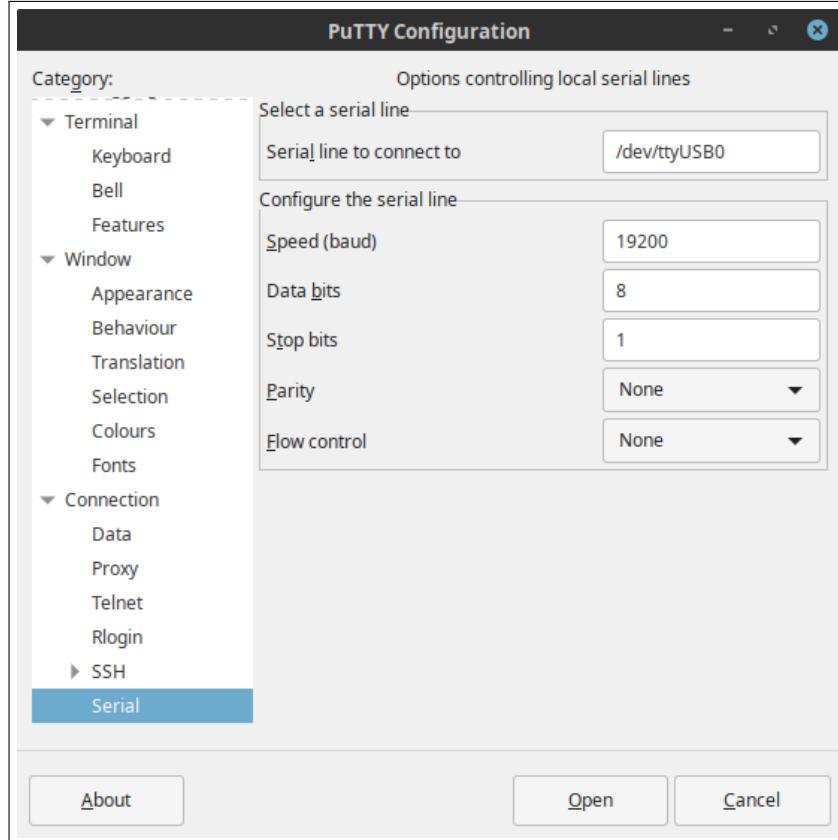


Figura 4.12: Configuración de terminal en PuTTY

The screenshot shows a PuTTY terminal window titled "/dev/ttyUSB0 - PuTTY". The window displays the following text:
AT+IPR=?
+IPR: (0,1200,2400,4800,9600,19200,38400,57600,115200),(300,1200,2400,4800,9600,
19200,38400,57600,115200)
OK
AT+IPR=9600
AT+IPR=9600
OK

Figura 4.13: Comandos AT en terminal de PuTTY

Como primer paso se inicializaron los periféricos del dsPIC necesarios para la comunicación, en este caso fue el UART1 para transmitir a la pc los resultado obtenidos, el UART2 para la comunicación con el módulo 4G y las entradas y salidas del mikrobus2 que necesita el módulo para funcionar correctamente.

La conexión del módulo 4G se realizó mediante un mikrobus conectado al microcontrolador. El esquema de esta conexión, así como la conexión física se muestran en las figuras ?? y 4.15 respectivamente.

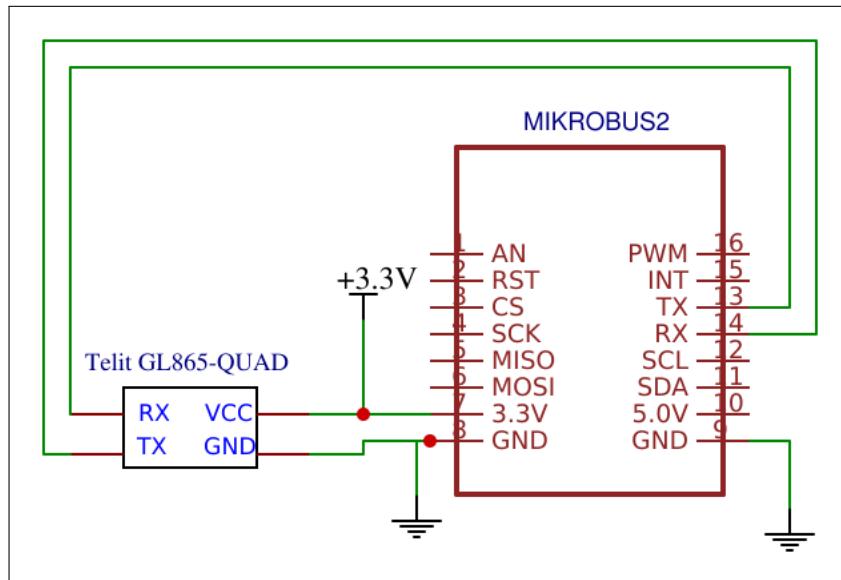


Figura 4.14: Conexión del módulo 4G con microcontrolador

En la figura 4.16 se muestra la captura de pantalla que contiene el mensaje recibido en el teléfono celular.

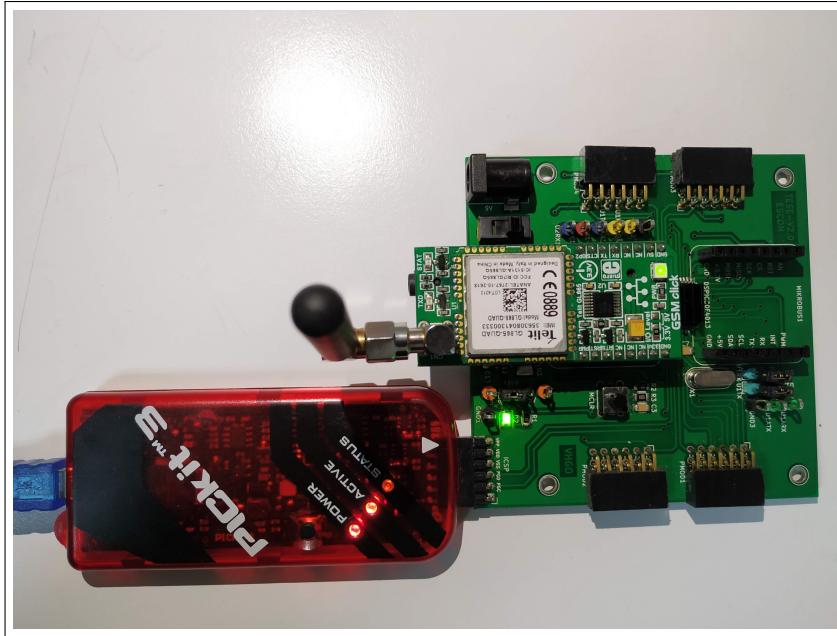


Figura 4.15: Conexión física del módulo 4G con microcontrolador mediante Mikrobus2

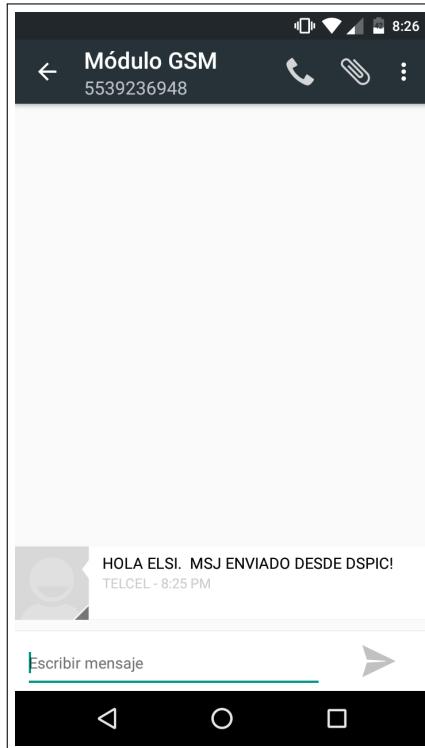


Figura 4.16: Recepción de mensaje enviado por el módulo 4G



CAPÍTULO 5

Pruebas de integración



CAPÍTULO 6

Conclusiones

6.1. Conclusiones

Después de concluir este Trabajo Terminal y analizar los resultados de las pruebas, hemos concluido que los objetivos se cumplieron de forma satisfactoria.

- Sensor de pulso
- Sensor de temperatura
- Módulo de comunicación
- Microcontrolador dsPIC. Aprovechamos recursos como memoria, interfaces de comunicación...



CAPÍTULO 7

Trabajo a futuro

7.1. Trabajo a futuro

Como parte de la mejora continua de este trabajo, se consideró como futuras modificaciones lo siguiente:

- Diseño del prototipo de un dispositivo portátil para contener los sensores, el microcontrolador y una batería.
- Implementación de código para recibir mensajes y así cambiar valores de umbral y el tiempo de envío de mensajes.



Parte I

Análisis de aplicación móvil

APÉNDICE A

Modelo de Negocio

A.1. Reglas de negocio

RN1 Campos obligatorios



Tipo: Restricción

Nivel: Controla la operación

Versión: 1.0

Estatus: Revisión

Descripción: La información que se proporcione en los campos marcados como obligatorios debe ser ingresada para poder continuar con la operación requerida.

Referenciado por: CU2 Registrar paciente, CU4 Editar información del paciente

RN2 Información correcta



Tipo: Restricción

Nivel: Controla la operación

Versión: 1.0

Estatus: Revisión

Descripción: Todos los datos proporcionados al sistema deben pertenecer al tipo de dato especificado y respetar el formato con base en lo definido en la entidad del diccionario de datos.

Referenciado por: CU2 Registrar paciente, CU4 Editar información del paciente

RN3 Fecha de nacimiento válida



Tipo: Restricción

Nivel: Controla la operación

Versión: 1.0

Estatus: Revisión

Descripción: Para que una fecha de nacimiento registrada en la aplicación móvil se considere válida, se debe cumplir que.

$$F_{nac} \geq (F_{act} - 150 \text{ años})$$

Referenciado por: CU2 Registrar paciente, CU4 Editar información del paciente

RN4 Cálculo del promedio de mediciones de temperatura corporal



Tipo: Derivación

Nivel: Controla la operación

Versión: 0.1

Estatus: Revisión

Descripción: El cálculo del promedio de temperatura corporal de un paciente se realizará tomando todas las mediciones de temperatura registradas y dividiéndolo entre el número total de ellas.

Sentencia: El cálculo del promedio de la temperatura corporal de un paciente se realiza de la siguiente forma:

$$P_{temp} = \frac{T_1 + T_2 + T_3 + \dots + T_n}{N}$$

Donde:

P_{temp} = Promedio de la temperatura corporal del paciente.

T_n = Medición n de temperatura corporal del paciente.

N = Total de mediciones de temperatura registradas para el paciente.

Referenciado por: CU3 Consultar información del paciente

RN5 Cálculo del promedio de mediciones de frecuencia cardíaca



Tipo: Derivación

Nivel: Controla la operación

Versión: 0.1

Estatus: Revisión

Descripción: El cálculo del promedio de frecuencia cardíaca de un paciente se realizará tomando todas las mediciones de frecuencia cardíaca registradas y dividiéndolo entre el número total de ellas.

Sentencia: El cálculo del promedio de la frecuencia cardíaca de un paciente se realiza de la siguiente forma:

$$P_{fc} = \frac{FC_1 + FC_2 + FC_3 + \dots + FC_n}{N}$$

Donde:

P_{fc} = Promedio de la frecuencia cardíaca del paciente.

FC_n = Medición n de frecuencia cardíaca del paciente.

N = Total de mediciones de frecuencia cardíaca registradas para el paciente.

Referenciado por: CU3 Consultar información del paciente

A.2. Actores del sistema

Los actores son los perfiles asociados a las diversas áreas que intervienen en el proceso. Se han identificado los actores de acuerdo a las actividades y responsabilidades dentro del sistema, los cuales se muestran en la figura A.1 y se describen a continuación.

A.2.1. Paciente



Nombre: Paciente

Descripción: Representa a cualquier persona de la que se requiere el monitoreo continuo de su frecuencia cardíaca y temperatura corporal.

Cantidad: Uno por sistema embebido.

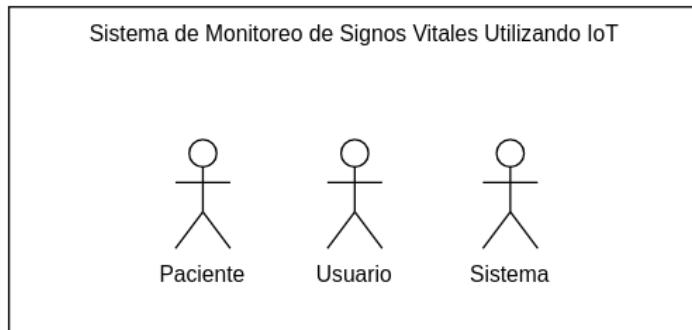


Figura A.1: Perfiles identificados.

A.2.2. Usuario



Nombre: Usuario

Descripción: Representa a cualquier persona que requiera monitorear la frecuencia cardíaca y temperatura corporal de un paciente.

Cantidad: Uno por sistema embebido.

A.2.3. Sistema



Nombre: Sistema

Descripción: Representa el sistema embebido compuesto por el microcontrolador, los sensores de pulso cardíaco y temperatura, y el módulo GSM.

APÉNDICE B

Modelo de Comportamiento

B.1. Módulos del sistema

El sistema se encuentra organizado en módulos, con la finalidad de agrupar y administrar de mejor manera los requerimientos funcionales del sistema. Dividir el sistema en módulos permite visualizar e identificar rápidamente aquellos aspectos funcionales que pueden tratarse conjuntamente. La figura B.1 muestra los módulos propuestos para el sistema.

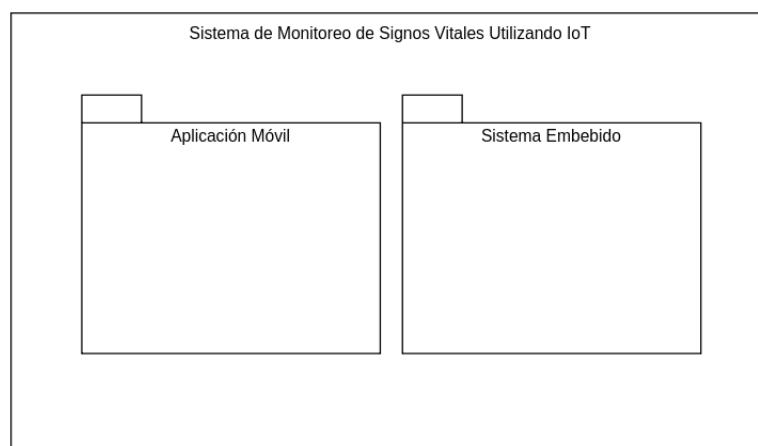


Figura B.1: Módulos del sistema.

B.2. Modelo de comportamiento del módulo Aplicación Móvil

La figura B.2 muestra los casos de uso que integran la funcionalidad del módulo Aplicación Móvil en donde se visualiza el historias de lecturas de los signos vitales medidos por el sistema embebido así como las funciones agregar, consultar, editar y eliminar información del paciente que utilice el sistema.

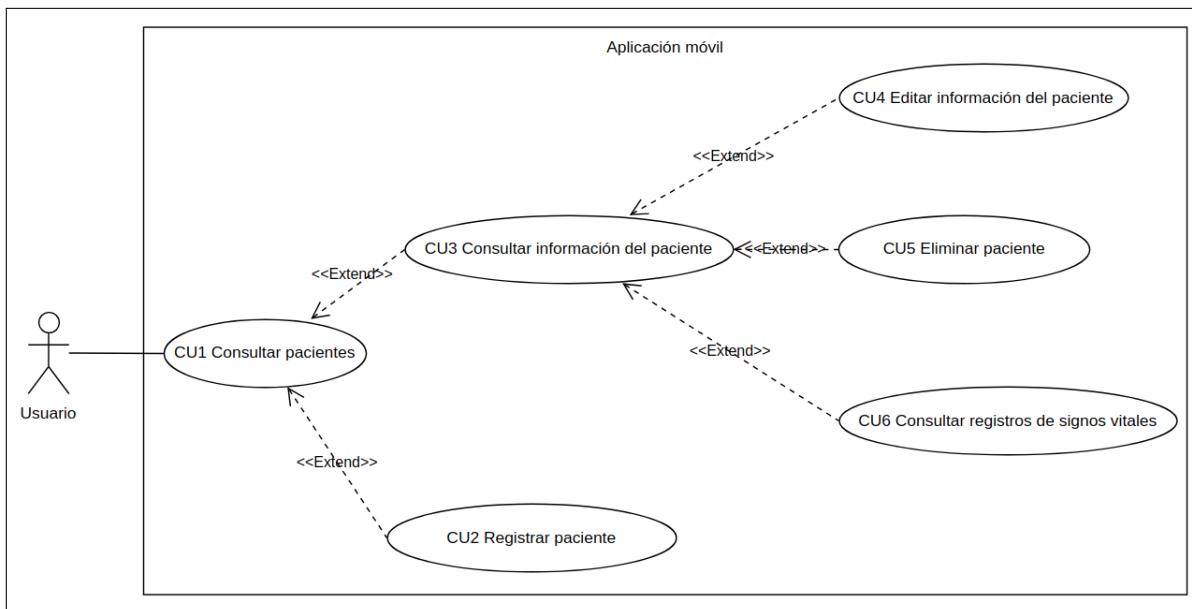


Figura B.2: Diagrama de casos de uso del módulo Aplicación Móvil.

B.3. Modelo de comportamiento del módulo Sistema Embebido

La figura B.3 muestra los casos de uso que integran la funcionalidad del módulo Sistema Embebido en el cual se realiza la medición, procesamiento y envío de los valores de los signos vitales en el paciente.

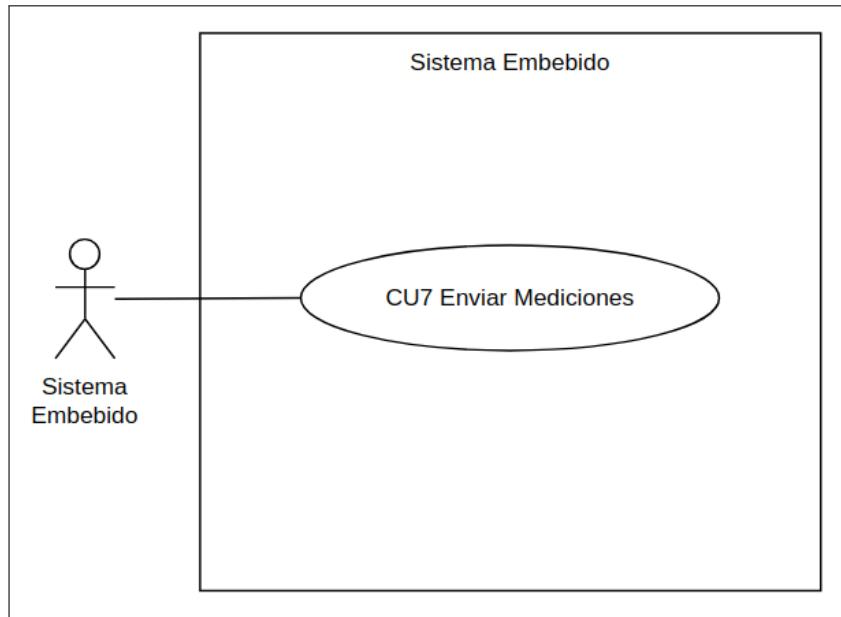


Figura B.3: Diagrama de casos de uso del módulo Sistema Embebido.

B.4. Casos de uso del módulo Aplicación Móvil

En esta sección se describen los casos de uso referentes al funcionamiento de la aplicación móvil.

Elementos de un caso de uso

- **Resumen:** Descripción textual del caso de uso.
- **Actores:** Lista de los que intervienen en el caso de uso.
- **Propósito:** Una breve descripción del objetivo que busca el actor al ejecutar el caso de uso.
- **Entradas:** Lista de los datos de entrada requeridos durante la ejecución del caso de uso.
- **Salidas:** Lista de los datos de salida que presenta el sistema durante la ejecución del caso de uso.
- **Precondiciones:** Descripción de las operaciones o condiciones que se deben cumplir previamente para que el caso de uso pueda ejecutarse correctamente.
- **Postcondiciones:** Lista de los cambios que ocurrirán en el sistema después de la ejecución del caso de uso y de las consecuencias en el sistema.
- **Reglas de negocio:** Lista de las reglas que describen, limitan o controlan algún aspecto del negocio del caso de uso.
- **Errores:** Lista de los posibles errores que pueden surgir durante la ejecución del caso de uso.
- **Trayectorias:** Secuencia de los pasos que ejecutará el caso de uso.



B.5. CU1 Consultar pacientes



B.5.1. Resumen

Permite al [Usuario](#) visualizar el nombre de todos los pacientes que ha registrado, con el fin de acceder a la funcionalidades específicas de cada uno de ellos.

B.5.2. Descripción

Caso de Uso:	CU1 Consultar pacientes
Versión:	0.1
Administración de Requerimientos	
Autor:	María Elsi Bernabé Aparicio
Operación:	Consultar
Prioridad:	Alta
Complejidad:	Media
Volatilidad:	Alta
Madurez:	Alta
Estatus:	Edición
Fecha del último estatus:	18 de octubre de 2018
Atributos	
Actor(es):	Usuario .
Propósito:	Proporcionar un mecanismo que le permita al Usuario visualizar a todos los pacientes registrados en la aplicación móvil con el fin de controlar las distintas acciones que se puedan aplicar a un paciente.
Entradas:	<ul style="list-style-type: none">• Ninguna.
Salidas:	<ul style="list-style-type: none">• Nombre de cada uno de los pacientes registrados.
Precondiciones:	<ul style="list-style-type: none">• Ninguna.
Postcondiciones:	<ul style="list-style-type: none">• Ninguna.
Reglas de negocio:	<ul style="list-style-type: none">• Ninguna.
Errores:	<ul style="list-style-type: none">• Ninguno.



Caso de Uso:	CU1 Consultar pacientes
Tipo:	Primario

B.5.3. Trayectorias del caso de uso

Trayectoria principal

- 1 Ingresa a la aplicación desde su dispositivo móvil.
 - 2 Obtiene el nombre de los pacientes registrados.
 - 3 Muestra la pantalla IU1 Consultar pacientes con una lista de todos los pacientes registrados.
 - 4 Visualiza la lista de pacientes y controla las acciones posibles de realizar.
[Trayectoria A]
- - - - *Fin del caso de uso.*

Trayectoria alternativa A:

Condición: *El actor requiere buscar un paciente de la lista.*

- A-1** Ingresa el nombre del paciente.
 - A-2** Obtiene las coincidencias de la información ingresada con el nombre de los pacientes registrados.
 - A-3** Muestra el nombre de todos los pacientes que coinciden con la búsqueda.
- - - - *Fin del caso de uso.*

B.5.4. Puntos de extensión

Causa de la extensión: El actor consultar la información de un paciente en específico..

Región de la trayectoria: Paso 4 de la trayectoria principal.

Extiende a: CU3 Consultar información del paciente.

B.6. CU2 Registrar paciente



B.6.1. Resumen

Permite al [Usuario](#) de la aplicación móvil, registrar un nuevo paciente del cual requiere monitorear los signos vitales de temperatura y frecuencia cardíaca.

Para registrar un nuevo paciente, el usuario debe ingresar los datos personales del mismo, así como en número telefónico asignado al módulo GSM del sistema que utilizará el paciente.

B.6.2. Descripción

Caso de Uso:	CU2 Registrar paciente
Versión:	0.1
Administración de Requerimientos	
Autor:	María Elsi Bernabé Aparicio
Operación:	Registro
Prioridad:	Alta
Complejidad:	Media
Volatilidad:	Baja
Madurez:	Alta
Estatus:	Edición
Fecha del último estatus:	18 de octubre de 2018
Atributos	
Actor(es):	Usuario .
Propósito:	Proporcionar un mecanismo que le permita al Usuario registrar un paciente.
Entradas:	<ul style="list-style-type: none">Nombre completo del paciente que usará el sistema. Se escribe desde el tecladoNúmero telefónico de la tarjeta SIM insertada en el módulo GSM del sistema. Se escribe desde el tecladoFecha de nacimiento del paciente. Se selecciona de un calendarioSexo del paciente. Se selecciona de una lista

Caso de Uso:	CU2 Registrar paciente
Salidas:	<ul style="list-style-type: none"> MSG1 Operación exitosa: Se muestra en la pantalla IU1 Consultar pacientes indicando al actor que el registro del paciente se realizó exitosamente.
Precondiciones:	<ul style="list-style-type: none"> Ninguna.
Postcondiciones:	<ul style="list-style-type: none"> Se registrarán los datos del paciente en la aplicación móvil. El usuario podrá consultar los datos del paciente. El usuario podrá editar los datos registrados del paciente. El usuario podrá eliminar al paciente registrado. El usuario podrá solicitar la medición de los signos vitales del paciente.
Reglas de negocio:	<ul style="list-style-type: none"> RN1 Campos obligatorios: Verifica que todos los campos obligatorios hayan sido ingresados. RN2 Información correcta Verifica que el formato de los campos ingresados cumpla con el tipo de dato definido. RN3 Fecha de nacimiento válida: Verifica que la fecha de nacimiento registrada se encuentre dentro dentro del rango considerado válido.
Errores:	<ul style="list-style-type: none"> MSG2 Falta dato obligatorio: Se muestra en la pantalla IU2 Registrar paciente indicando al actor que omitió alguno de los campos obligatorios. MSG3 Formato de campo incorrecto: Se muestra en la pantalla IU2 Registrar paciente indicando al actor que alguno de los campos ingresados no cumple con el formato definido. MSG4 Número telefónico previamente registrado: Se muestra en la pantalla IU2 Registrar paciente indicando al actor que el número telefónico registrado ya se encuentra asociado a otro paciente. MSG5 Fecha de nacimiento inválida: Se muestra en la pantalla IU2 Registrar paciente indicando al actor que la fecha de nacimiento ingresada se encuentra fuera del rango válido.
Tipo:	Primario

B.6.3. Trayectorias del caso de uso

Trayectoria principal

- 1 Selecciona la opción de la pantalla IU1 Consultar pacientes.

- 2 ○ Obtiene los datos del catálogo sexo.
 - 3 ○ Muestra la pantalla IU2 Registrar paciente.
 - 4 ♂ Ingresa el nombre del paciente.
 - 5 ♂ Ingresa el número telefónico del paciente.
 - 6 ♂ Selecciona la fecha de nacimiento del paciente.
 - 7 ♂ Selecciona el sexo del paciente.
 - 8 ♂ Da clic en el icono ✓ de la pantalla IU2 Registrar paciente.
 - 9 ○ Verifica que no se omitan los datos requeridos con base en la regla de negocio RN1 Campos obligatorios. [Trayectoria A]
 - 10 ○ Verifica que el formato de los datos ingresados sea válido con base en la regla de negocio RN2 Información correcta. [Trayectoria B]
 - 11 ○ Verifica que no exista un paciente registrado con el mismo número de teléfono. [Trayectoria C]
 - 12 ○ Verifica que la fecha de nacimiento del paciente sea válida como lo especifica la regla de negocio RN3 Fecha de nacimiento válida. [Trayectoria D]
 - 13 ○ Registra la información ingresada del paciente.
 - 14 ○ Muestra el mensaje MSG1 Operación exitosa en la pantalla IU1 Consultar pacientes indicando al actor que el registro se realizó correctamente.
- - - - *Fin del caso de uso.*

Trayectoria alternativa A:

Condición: *El actor omitió alguno de los campos obligatorios.*

- A-1** ○ Muestra el mensaje MSG2 Falta dato obligatorio en la pantalla IU2 Registrar paciente.
- A-2** Regresa al paso 4 de la trayectoria principal.
- - - - *Fin de trayectoria.*

Trayectoria alternativa B:

Condición: *El actor ingresó algún dato que no cumple con el tipo de dato definido.*

- B-1** ○ Muestra el mensaje MSG3 Formato de campo incorrecto en la pantalla IU2 Registrar paciente.
- B-2** Regresa al paso 4 de la trayectoria principal.
- - - - *Fin de trayectoria.*

Trayectoria alternativa C:

Condición: El actor ingresó el número telefónico de un paciente que ya existe.

- C-1** (○) Muestra el mensaje MSG4 Número telefónico previamente registrado en la pantalla IU2 Registrar paciente.
- C-2** Regresa al paso 4 de la trayectoria principal.
- - - - *Fin de trayectoria.*

Trayectoria alternativa D:

Condición: El actor ingresó una fecha de nacimiento fuera del rango considerado válido.

- D-1** (○) Muestra el mensaje MSG5 Fecha de nacimiento inválida en la pantalla IU2 Registrar paciente.
- D-2** Regresa al paso 4 de la trayectoria principal.
- - - - *Fin de trayectoria.*



B.7. CU3 Consultar información del paciente



B.7.1. Resumen

Este caso de uso permite al **Usuario** consultar la información de un paciente en específico, con el fin de obtener un informe general sobre las todas las mediciones de temperatura corporal y frecuencia cardíaca realizadas.

B.7.2. Descripción

Caso de Uso:	CU3 Consultar información del paciente
Versión:	0.1
Administración de Requerimientos	
Autor:	María Elsi Bernabé Aparicio
Operación:	Registro
Prioridad:	Alta
Complejidad:	Media
Volatilidad:	Alta
Madurez:	Alta
Estatus:	Edición
Fecha del último estatus:	18 de octubre de 2018
Atributos	
Actor(es):	Usuario.
Propósito:	Proporcionar un mecanismo que le permita al Usuario consultar la información general del paciente seleccionado.
Entradas:	<ul style="list-style-type: none">• Paciente del cuál se requiere consultar su información.

Caso de Uso:	CU3 Consultar información del paciente
Salidas:	<ul style="list-style-type: none">• Nombre del paciente seleccionado. Lo obtiene el sistema• Edad calculada del paciente. Lo calcula el sistema mediante la regla• Sexo del paciente. Lo obtiene el sistema• Última medición registrada de temperatura corporal del paciente. Lo obtiene el sistema• Última medición registrada de frecuencia cardíaca del paciente. Lo obtiene el sistema• Promedio de todas las mediciones de temperatura corporal registradas para el paciente. Lo calcula el sistema mediante la regla• Promedio de todas las mediciones de frecuencia cardíaca registradas para el paciente- Lo calcula el sistema mediante la regla
Precondiciones:	<ul style="list-style-type: none">• Ninguna.
Postcondiciones:	<ul style="list-style-type: none">• Ninguna.
Reglas de negocio:	<ul style="list-style-type: none">• RN4 Cálculo del promedio de mediciones de temperatura corporal: Calcula el promedio de mediciones de temperatura corporal para el paciente seleccionado.• RN5 Cálculo del promedio de mediciones de frecuencia cardíaca: Calcula el promedio de mediciones de frecuencia cardíaca para el paciente seleccionado.
Errores:	<ul style="list-style-type: none">• Ninguno.
Tipo:	Secundario, extiende del caso de uso CU1 Consultar pacientes.

B.7.3. Trayectorias del caso de uso

Trayectoria principal

- 1 Selecciona el nombre del paciente del cuál requiere consultar su información en la pantalla IU1 Consultar pacientes.
- 2 Obtiene el nombre del paciente seleccionado.
- 3 Obtiene el sexo del paciente.
- 4 Calcula la edad del paciente con base en su fecha de nacimiento.
- 5 Obtiene el último valor medido de temperatura corporal.
- 6 Obtiene el último valor calculado de frecuencia cardíaca.

- 7 ○ Calcula el promedio de todas las mediciones de temperatura corporal registradas como lo especifica la regla de negocio [RN4 Cálculo del promedio de mediciones de temperatura corporal](#).
 - 8 ○ Calcula el promedio de todas las mediciones de frecuencia cardíaca registradas como lo especifica la regla de negocio [RN5 Cálculo del promedio de mediciones de frecuencia cardíaca](#).
 - 9 ○ Muestra la pantalla [IU3 Consultar información del paciente](#) con la información obtenida y los datos calculados del paciente.
 - 10 ⚒ Controla las acciones posibles de realizar para el paciente mediante los iconos  (Consultar registros de signos vitales),  (Editar información del paciente) y  (Eliminar información del paciente).
- - - - *Fin del caso de uso.*

B.7.4. Puntos de extensión

Causa de la extensión: El actor requiere actualizar la los datos registrados previamente para el paciente.

Región de la trayectoria: Paso 10 de la trayectoria principal.

Extiende a: [CU4 Editar información del paciente](#).

Causa de la extensión: El actor requiere eliminar al paciente.

Región de la trayectoria: Paso 10 de la trayectoria principal.

Extiende a: [CU5 Eliminar paciente](#).

Causa de la extensión: El actor requiere consultar el historial de mediciones de temperatura corporal y frecuencia cardíaca.

Región de la trayectoria: Paso 10 de la trayectoria principal.

Extiende a: [CU6 Consultar registros de signos vitales](#).

Causa de la extensión: El actor requiere solicitar una nueva medición de temperatura corporal y frecuencia cardíaca del paciente.

Región de la trayectoria: Paso 10 de la trayectoria principal.

Extiende a: [CU7 Solicitar medición](#).



B.8. CU4 Editar información del paciente



B.8.1. Resumen

Este caso de uso permite al **Usuario** de la aplicación móvil, modificar la información previamente registrada para un paciente, esto con el fin de mantener actualizada su información en caso de que algún dato haya sido registrado de forma errónea o haya sido actualizado.

B.8.2. Descripción

Caso de Uso:	CU4 Editar información del paciente
Versión:	0.1
Administración de Requerimientos	
Autor:	María Elsi Bernabé Aparicio
Operación:	Editar
Prioridad:	Alta
Complejidad:	Media
Volatilidad:	Baja
Madurez:	Alta
Estatus:	Edición
Fecha del último estatus:	18 de octubre de 2018
Atributos	
Actor(es):	Usuario.
Propósito:	Proporcionar un mecanismo que le permita al Usuario editar la información previamente registrada de un paciente.
Entradas:	<ul style="list-style-type: none">Nombre completo del paciente. Se escribe desde el tecladoNúmero telefónico de la tarjeta SIM insertada en el módulo GSM del sistema. Se escribe desde el tecladoFecha de nacimiento del paciente. Se selecciona de un calendarioSexo del paciente. Se selecciona de una lista

Caso de Uso:	CU4 Editar información del paciente
Salidas:	<ul style="list-style-type: none"> MSG1 Operación exitosa: Se muestra en la pantalla IU1 Consultar pacientes indicando al actor que la edición de la información del paciente se realizó exitosamente.
Precondiciones:	<ul style="list-style-type: none"> Ninguna.
Postcondiciones:	<ul style="list-style-type: none"> Se actualizarán los datos del paciente en la aplicación móvil.
Reglas de negocio:	<ul style="list-style-type: none"> RN1 Campos obligatorios: Verifica que todos los campos obligatorios hayan sido ingresados. RN2 Información correcta Verifica que el formato de los campos ingresados cumpla con el tipo de dato definido. RN3 Fecha de nacimiento válida: Verifica que la fecha de nacimiento registrada se encuentre dentro dentro del rango considerado válido.
Errores:	<ul style="list-style-type: none"> MSG2 Falta dato obligatorio: Se muestra en la pantalla IU2 Registrar paciente indicando al actor que omitió alguno de los campos obligatorios. MSG3 Formato de campo incorrecto: Se muestra en la pantalla IU2 Registrar paciente indicando al actor que alguno de los campos ingresados no cumple con el formato definido. MSG4 Número telefónico previamente registrado: Se muestra en la pantalla IU2 Registrar paciente indicando al actor que el número telefónico registrado ya se encuentra asociado a otro paciente. MSG5 Fecha de nacimiento inválida: Se muestra en la pantalla IU2 Registrar paciente indicando al actor que la fecha de nacimiento ingresada se encuentra fuera del rango válido.
Tipo:	Terciario, extiende del caso de uso CU3 Consultar información del paciente.

B.8.3. Trayectorias del caso de uso

Trayectoria principal

- 1 Da clic en el ícono de la pantalla IU3 Consultar información del paciente.
- 2 Obtiene la información del paciente registrada actualmente.
- 3 Obtiene los datos del catálogo sexo.
- 4 Muestra la pantalla IU2 Editar información del paciente.
- 5 Ingresa el nombre del paciente.

- 6 Ingresa el número telefónico del paciente.
 - 7 Selecciona la fecha de nacimiento del paciente.
 - 8 Selecciona el sexo del paciente.
 - 9 Da clic en el ícono de la pantalla IU2 Registrar paciente.
 - 10 Verifica que no se omitan los datos requeridos con base en la regla de negocio RN1 Campos obligatorios. [Trayectoria A]
 - 11 Verifica que el formato de los datos ingresados sea válido con base en la regla de negocio RN2 Información correcta. [Trayectoria B]
 - 12 Verifica que no exista un paciente registrado con el mismo número de teléfono. [Trayectoria C]
 - 13 Verifica que la fecha de nacimiento del paciente sea válida como lo especifica la regla de negocio RN3 Fecha de nacimiento válida. [Trayectoria D]
 - 14 Actualizar la información ingresada del paciente.
 - 15 Muestra el mensaje MSG1 Operación exitosa en la pantalla IU1 Consultar pacientes indicando al actor que la actualización se realizó correctamente.
- - - - *Fin del caso de uso.*

Trayectoria alternativa A:

Condición: *El actor omitió alguno de los campos obligatorios.*

- A-1** Muestra el mensaje MSG2 Falta dato obligatorio en la pantalla IU2 Registrar paciente.
- A-2** Regresa al paso 4 de la trayectoria principal.
- - - - *Fin de trayectoria.*

Trayectoria alternativa B:

Condición: *El actor ingresó algún dato que no cumple con el tipo de dato definido.*

- B-1** Muestra el mensaje MSG3 Formato de campo incorrecto en la pantalla IU2 Registrar paciente.
- B-2** Regresa al paso 4 de la trayectoria principal.
- - - - *Fin de trayectoria.*

Trayectoria alternativa C:

Condición: *El actor ingresó el número telefónico de un paciente que ya existe.*

- C-1** Muestra el mensaje MSG4 Número telefónico previamente registrado en la pantalla IU2 Registrar paciente.

C-2 Regresa al paso [4](#) de la trayectoria principal.

- - - - *Fin de trayectoria.*

Trayectoria alternativa D:

Condición: *El actor ingresó una fecha de nacimiento fuera del rango considerado válido.*

D-1  Muestra el mensaje [MSG5 Fecha de nacimiento inválida](#) en la pantalla [IU2 Registrar paciente.](#)

D-2 Regresa al paso [4](#) de la trayectoria principal.

- - - - *Fin de trayectoria.*



B.9. CU5 Eliminar paciente



B.9.1. Resumen

Este caso de uso permite al **Usuario** eliminar la información registrada de un paciente.

B.9.2. Descripción

Caso de Uso:	CU5 Eliminar paciente
Versión:	0.1
Administración de Requerimientos	
Autor:	María Elsi Bernabé Aparicio
Operación:	Editar
Prioridad:	Alta
Complejidad:	Media
Volatilidad:	Baja
Madurez:	Alta
Estatus:	Edición
Fecha del último estatus:	18 de octubre de 2018
Atributos	
Actor(es):	Usuario.
Propósito:	Proporcionar un mecanismo que le permita al Usuario eliminar un paciente previamente registrado.
Entradas:	<ul style="list-style-type: none">• Ninguna.
Salidas:	<ul style="list-style-type: none">• MSG1 Operación exitosa: Se muestra en la pantalla IU1 Consultar pacientes indicando al actor que la información del paciente se eliminó exitosamente.
Precondiciones:	<ul style="list-style-type: none">• Ninguna.
Postcondiciones:	<ul style="list-style-type: none">• La información del paciente seleccionado será eliminada.• El actor no podrá solicitar más mediciones de signos vitales para el paciente eliminado.
Reglas de negocio:	<ul style="list-style-type: none">• Ninguna.

Caso de Uso:	CU5 Eliminar paciente
Errores:	• Ninguno.
Tipo:	Terciario, extiende del caso de uso CU3 Consultar información del paciente.

B.9.3. Trayectorias del caso de uso

Trayectoria principal

- 1  Da clic en el ícono  de la pantalla IU3 Consultar información del paciente.
 - 2  Obtiene el nombre del paciente que se requiere eliminar.
 - 3  Muestra el mensaje MSG6 Eliminar elemento en la pantalla CU3 Consultar información del paciente con los siguientes parámetros: DETERMINADO ELEMENTO: *al paciente* y VALOR: nombre del paciente obtenido en el paso 2 (*¿Desea eliminar al paciente Carlos Granados?*)
 - 4  Selecciona la opción  del mensaje. [Trayectoria A]
 - 5  Elimina la información registrada del paciente.
 - 6  Muestra el mensaje MSG1 Operación exitosa en la pantalla IU1 Consultar pacientes indicando al actor que la eliminación se realizó correctamente.
- - - - *Fin del caso de uso.*

Trayectoria alternativa A:

Condición: *El actor no confirma la eliminación del paciente.*

- A-1  Selecciona la opción  del mensaje.
 - A-2  Muestra la pantalla CU3 Consultar información del paciente.
- - - - *Fin del caso de uso.*



B.10. CU6 Consultar registros de signos vitales



B.10.1. Resumen

Este caso de uso permite al **Usuario** consultar el historial de mediciones de signos vitales registrados para un paciente en un tiempo determinado.

B.10.2. Descripción

Caso de Uso:	CU6 Consultar registros de signos vitales
Versión:	0.1
Administración de Requerimientos	
Autor:	María Elsi Bernabé Aparicio
Operación:	Editar
Prioridad:	Alta
Complejidad:	Media
Volatilidad:	Baja
Madurez:	Alta
Estatus:	Edición
Fecha del último estatus:	18 de octubre de 2018
Atributos	
Actor(es):	Usuario .
Propósito:	Proporcionar un mecanismo que le permita al Usuario consultar el historial de mediciones de un paciente.
Entradas:	<ul style="list-style-type: none">Ninguna.
Salidas:	<ul style="list-style-type: none">Tabla que muestra Fecha, hora, valor de temperatura y valor de frecuencia cardíaca de cada medición registrada del paciente.
Precondiciones:	<ul style="list-style-type: none">Ninguna.
Postcondiciones:	<ul style="list-style-type: none">Ninguna
Reglas de negocio:	<ul style="list-style-type: none">Ninguna.
Errores:	<ul style="list-style-type: none">Mensaje MSG7 No hay registros. Se muestra en la pantalla indicando al actor que no existe información sobre el paciente.

Caso de Uso:	CU6 Consultar registros de signos vitales
Tipo:	Terciario, extiende del caso de uso CU3 Consultar información del paciente.

B.10.3. Trayectorias del caso de uso

Trayectoria principal

- 1  Da clic en el ícono  de la pantalla IU3 Consultar información del paciente.
- 2  Obtiene la fecha, hora, valor de temperatura y valor de frecuencia cardíaca de cada medición registrada para el paciente seleccionado. [Trayectoria A]
- 3  Muestra la pantalla IU6 Consultar registros de signos vitales con la tabla Historial de mediciones registradas y lo valores obtenidos en el paso 2.

- - - - *Fin del caso de uso.*

Trayectoria alternativa A:

Condición: No existen mediciones registradas del paciente.

- A-1**  Muestra el mensaje MSG7 No hay registros.

- - - - *Fin del caso de uso.*

B.11. Casos de uso del módulo Sistema Embibido

En esta sección se describen los casos de uso referentes al funcionamiento del sistema embibido.

Elementos de un caso de uso

- **Resumen:** Descripción textual del caso de uso.
- **Actores:** Lista de los que intervienen en el caso de uso.
- **Propósito:** Una breve descripción del objetivo que busca el actor al ejecutar el caso de uso.
- **Entradas:** Lista de los datos de entrada requeridos durante la ejecución del caso de uso.
- **Salidas:** Lista de los datos de salida que presenta el sistema durante la ejecución del caso de uso.
- **Precondiciones:** Descripción de las operaciones o condiciones que se deben cumplir previamente para que el caso de uso pueda ejecutarse correctamente.
- **Postcondiciones:** Lista de los cambios que ocurrirán en el sistema después de la ejecución del caso de uso y de las consecuencias en el sistema.
- **Reglas de negocio:** Lista de las reglas que describen, limitan o controlan algún aspecto del negocio del caso de uso.
- **Errores:** Lista de los posibles errores que pueden surgir durante la ejecución del caso de uso.
- **Trayectorias:** Secuencia de los pasos que ejecutará el caso de uso.



B.12. CU7 Enviar mediciones



B.12.1. Resumen

Este caso de uso permite al sistema enviar un informe de los valores de los signos vitales de un paciente mediante un mensaje SMS a al número celular de la persona interesada en el monitoreo. El envío de las mediciones puede realizarse en dos momentos:

1. Cuando se sobrepasa uno de los umbrales establecidos para el valor de temperatura o frecuencia cardíaca.
2. Cuando se cumple el tiempo definido de envío de muestras.

B.12.2. Descripción

Caso de Uso:	CU7 Enviar mediciones
Versión:	0.1
Administración de Requerimientos	
Autor:	María Elsi Bernabé Aparicio
Evaluador:	
Operación:	
Prioridad:	Alta
Complejidad:	Alta
Volatilidad:	Media
Madurez:	Media
Estatus:	Edición
Fecha del último estatus:	
Atributos	
Actor(es):	Sistema
Entradas:	<ul style="list-style-type: none">• Valores analógicos de frecuencia y temperatura del paciente.
Salidas:	<ul style="list-style-type: none">• Valor de medición de temperatura y frecuencia cardíaca del paciente.• Fecha y hora de envío del mensaje SMS.• Mensaje SMS con la información obtenida.

Caso de Uso:	CU7 Enviar mediciones
Precondiciones:	<ul style="list-style-type: none">● Que se haya cumplido el tiempo definido de envío de mensaje con mediciones.● Que uno de los valores de temperatura o frecuencia cardíaca se encuentre fuera de los umbrales establecidos.
Postcondiciones:	<ul style="list-style-type: none">● ...
Reglas de negocio:	<ul style="list-style-type: none">● Ninguno.
Errores:	<ul style="list-style-type: none">● Ninguno.
Tipo:	

B.12.3. Trayectorias del caso de uso

Trayectoria principal

1  Selecciona la opción

- - - - *Fin del caso de uso.*

Trayectoria alternativa A:

Condición: .

- - - - *Fin de trayectoria.*

APÉNDICE C

Modelo de Interacción con el Usuario

C.1. Entorno de trabajo

El entorno de trabajo es el medio por el cual el usuario interactúa con el sistema para poder acceder a la información registrada referente a los pacientes, así como a las mediciones de interés de temperatura y frecuencia. En este capítulo se describe el comportamiento y los elementos que conforman el entorno de trabajo de la aplicación, como son: la disposición de los elementos principales y comunes de las pantallas, la iconografía, componentes, etc.

El presente capítulo tiene los siguientes objetivos:

- Describir las áreas principales del entorno de trabajo.
- Describir la iconografía utilizada en las pantallas.
- Describir el mapa de navegación del sistema.
- Describir los componentes principales de las pantallas, tales como: controles de entrada, datos obligatorios, separadores, tablas de resultados, entre otros.

C.2. Interfaces de usuario

C.2.1. IU1 Consultar pacientes

Objetivo

Esta pantalla permite al [Usuario](#) visualizar a todos los pacientes registrados en la aplicación móvil con el fin de controlar las distintas acciones que se puedan aplicar a un paciente.

Diseño

En la figura C.1 se muestra la pantalla "Consultar pacientes", por medio de la cual el usuario podrá ingresar a las distintas funcionalidades del sistema. En la parte superior se muestra el componente que le permite buscar a los pacientes registrados, con el cual se filtrarán y se mostrarán las coincidencias de búsqueda dependiendo de la entrada que ingrese el usuario.

En la pantalla se muestra también la lista de todos los pacientes registrados, dicha lista se ordena alfabéticamente por nombre y al seleccionar uno de ellos, el actor podrá ingresar a las funciones específicas de un paciente.

Por medio de esta pantalla el actor podrá también registrar un nuevo paciente mediante el ícono  .

Comandos

-  [Registrar paciente]: Permite al actor registrar los datos de un nuevo paciente. Dirige a la pantalla IU2 Registrar paciente.

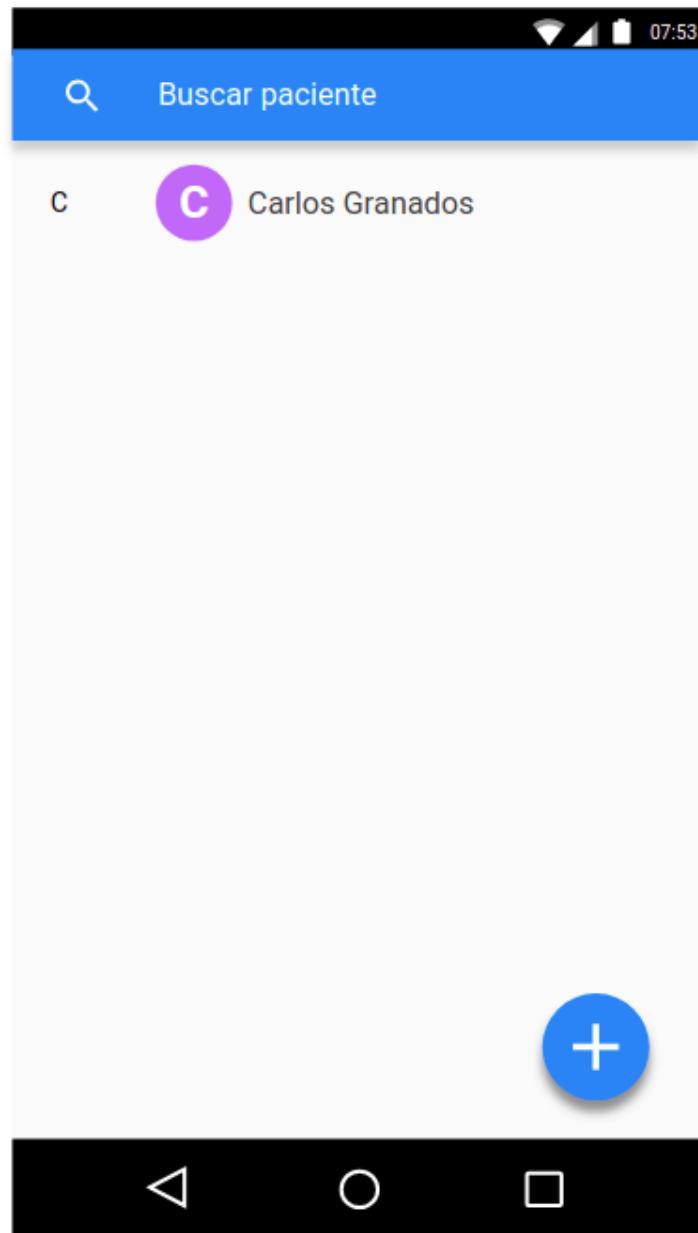


Figura C.1: IU1 Consultar pacientes



C.2.2. IU2 Registrar paciente

Objetivo

Esta pantalla permite al [Usuario](#) registrar un nuevo paciente del cual requiere monitorear los signos vitales de temperatura y frecuencia cardíaca.

Diseño

En la figura C.2 se muestra la pantalla "Registrar paciente", por medio de la cual el usuario podrá ingresar los datos personales y número de teléfono de un paciente que requiera registrar para el monitoreo de sus signos vitales.

Los datos necesarios para el registro de un paciente son:

1. Nombre del paciente que será monitoreado.
2. Número telefónico de la tarjeta SIM que tendrá integrada el módulo de comunicación GSM para en envío de mensajes.
3. Fecha de nacimiento del paciente, la cual debe encontrarse dentro del rango establecido con base en la regla de negocio [RN3 Fecha de nacimiento válida](#).
4. Sexo del paciente.

Una vez validados todos los datos del paciente, éste será registrado y podrá ser visualizado en la lista de pacientes registrados de la pantalla [IU1 Consultar pacientes](#).

Comandos

- ✓ [Registrar paciente]: Permite al actor confirmar los datos ingresados del paciente para finalizar su registro. Dirige a la pantalla [IU1 Consultar pacientes](#).

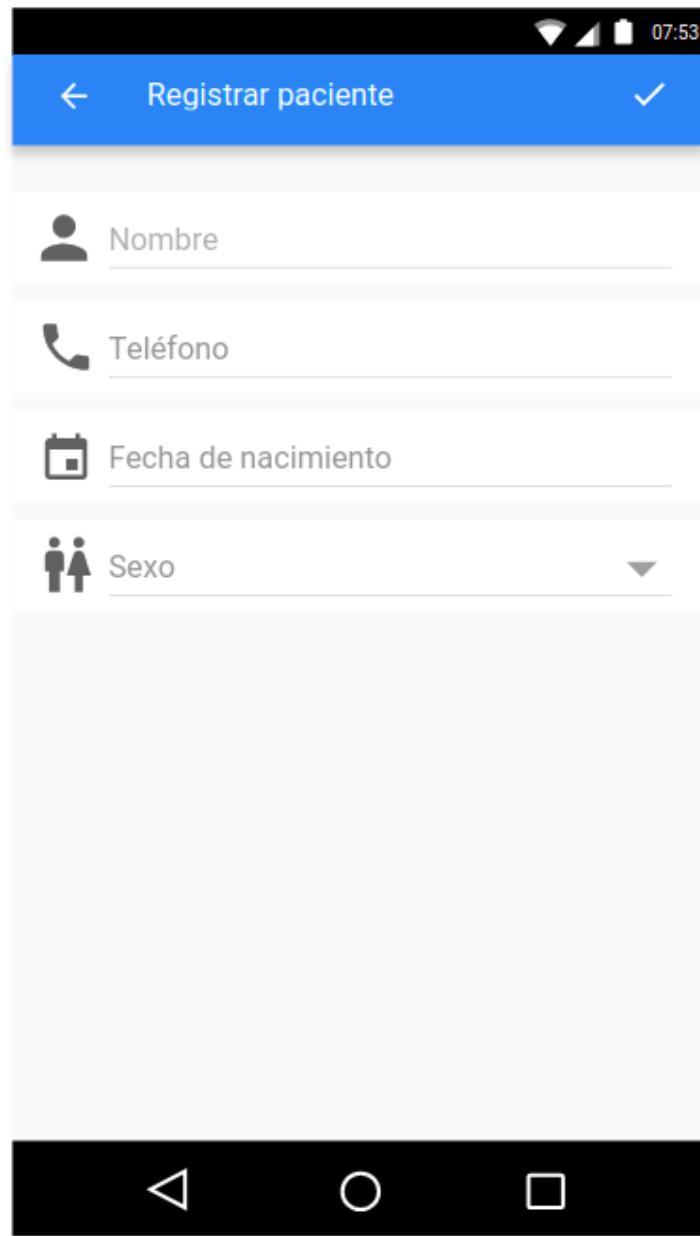


Figura C.2: IU2 Registrar paciente

C.2.3. IU3 Consultar información del paciente

Objetivo

Esta pantalla permite al Usuario consultar la información general del paciente seleccionado.

Diseño

En la figura C.3 se muestra la pantalla "Consultar información del paciente", por medio de la cual el usuario podrá visualizar, editar o eliminar la información de un paciente.

La pantalla se divide en tres secciones, las cuales se describen a continuación:

1. **Información general:** Muestra la información general de un paciente, contiene algunos de los datos ingresados en el momento de su registro como el sexo y la edad que es calculada con base en la fecha de nacimiento del paciente.
2. **Últimas mediciones registradas:** Muestra las últimas mediciones de temperatura corporal y frecuencia cardíaca que fueron medidas y enviadas a través de un mensaje SMS.
3. **Promedio de mediciones:** Indica el promedio de temperatura corporal y frecuencia cardíaca de un paciente con base en todas las mediciones registradas para un paciente, como lo indican las reglas de negocio RN4 Cálculo del promedio de mediciones de temperatura corporal y RN5 Cálculo del promedio de mediciones de frecuencia cardíaca.

En la parte inferior de la pantalla, se muestra la opción  , la cual es el acceso a la pantalla en donde el usuario podrá visualizar el historial de registro de mediciones de un paciente.

Comandos

-  [Editar información del paciente]: Permite al actor actualizar los datos registrado para un paciente. Dirige a la pantalla IU4 Editar Información del paciente.
-  [Eliminar paciente]: Permite al actor eliminar los registros e información de un paciente en específico. Muestra el mensaje emergente MSG6 Eliminar elemento.
-  [Consultar registros]: Permite al actor visualizar el registro de los signos vitales del paciente. Dirige a la pantalla IU6 Consultar registros de signos vitales.

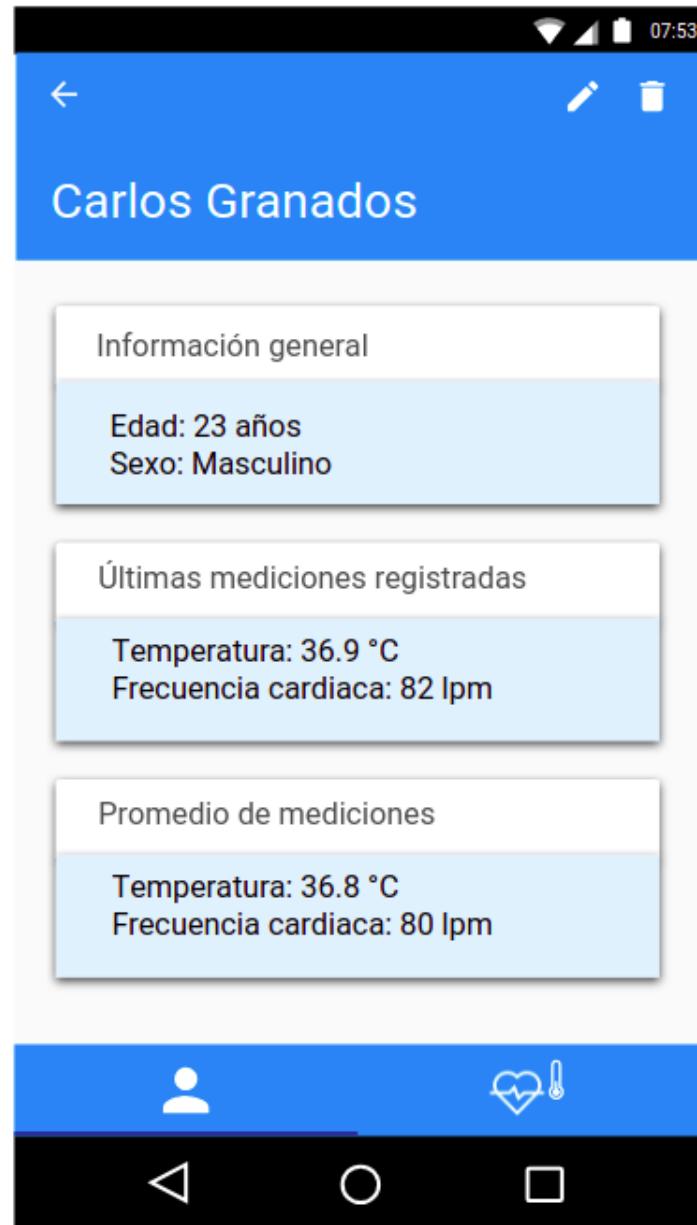


Figura C.3: IU3 Consultar información del paciente

C.2.4. IU4 Editar información del paciente

Objetivo

Esta pantalla permite al [Usuario](#) de la aplicación móvil, modificar la información previamente registrada para un paciente, esto con el fin de mantener actualizada su información en caso de que algún dato haya sido registrado de forma errónea o haya sido actualizado.

Diseño

En la figura C.4 se muestra la pantalla "Editar información del paciente", por medio de la cual el usuario podrá modificar los datos personales y número de teléfono de un paciente registrado anteriormente.

Al igual que en el registro, se validará que se ingresen todos los datos necesarios, los cuales son:

1. Nombre del paciente que será monitoreado.
2. Número telefónico de la tarjeta SIM que tendrá integrada el módulo de comunicación GSM para en envío de mensajes.
3. Fecha de nacimiento del paciente, la cual debe encontrarse dentro del rango establecido con base en la regla de negocio [RN3 Fecha de nacimiento válida](#).
4. Sexo del paciente.

Una vez validados todos los datos del paciente, éste será actualizado y podrá ser visualizado en la lista de pacientes de la pantalla [IU1 Consultar pacientes](#).

Comandos

- ✓ [Editar paciente]: Permite al actor confirmar los datos ingresados del paciente para finalizar su edición. Dirige a la pantalla [IU1 Consultar pacientes](#).

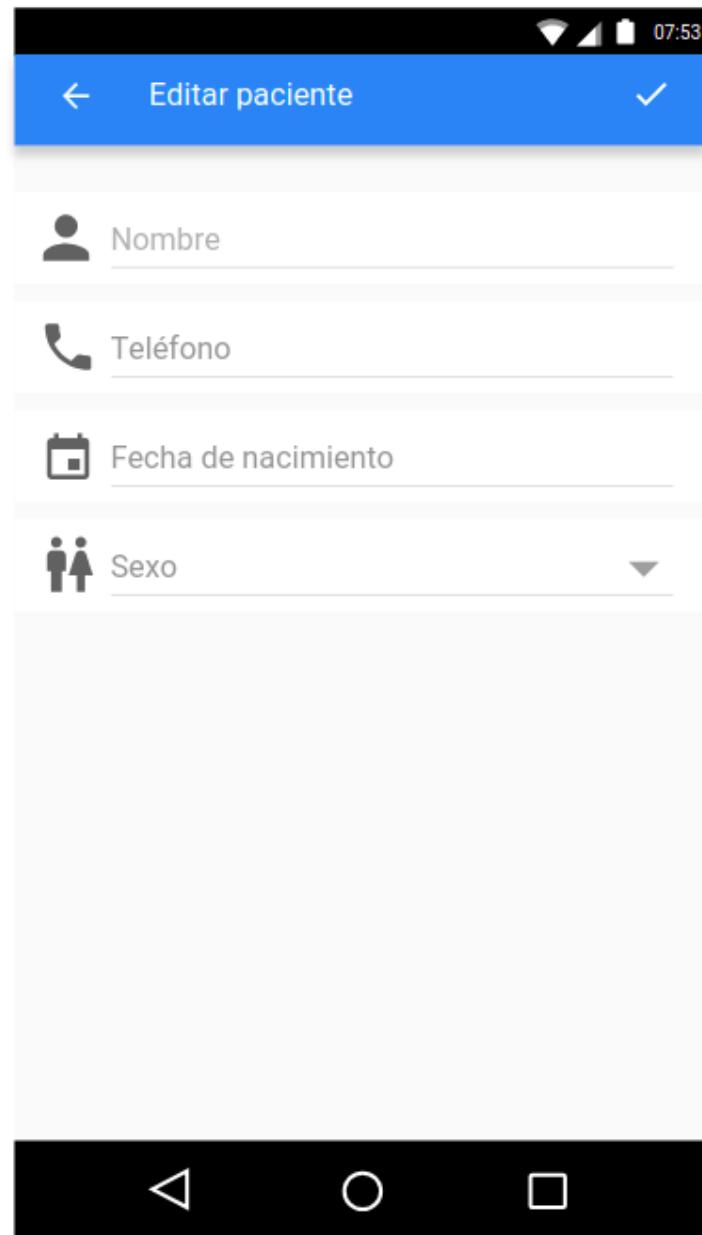


Figura C.4: IU4 Editar información del paciente

C.2.5. IU6 Consultar registros de signos vitales

Objetivo

Esta pantalla permite al **Usuario** de la aplicación móvil visualizar el historial del registro de las mediciones de signos vitales realizadas a un paciente.

Diseño

En la figura C.5 se muestra la pantalla "Consultar registros de signos vitales", por medio de la cual el usuario podrá visualizar el historial de los valores registrados de cada una de las mediciones realizadas a un paciente.

La información de las mediciones se muestra en la tabla **Historial de mediciones registradas**, la cual está compuesta de las siguientes columnas:

- Fecha.
- Hora.
- Temperatura.
- Frecuencia.

Los valores se muestran ordenados de forma descendente con base en la fecha y posteriormente en la hora de medición.



Figura C.5: IU6 Consultar registros de signos vitales

C.3. Diseño de mensajes

En esta sección se describen los mensajes utilizados en el prototipo actual del sistema. Los mensajes se refieren a todos aquellos avisos que el sistema muestra al actor a través de la pantalla debido a diversas razones, por ejemplo: informar acerca de algún fallo en el sistema o para notificar acerca de alguna operación importante sobre la información.

C.3.1. Parámetros comunes

Cuando un mensaje es recurrente se parametrizan sus elementos, por ejemplo los mensajes: “Aún no existen registros de *escuelas* en el sistema.”, “Aún no existen registros de *responsables del programa* en el sistema.”, “Aún no existen registros de *integrantes de líneas de acción* en el sistema.”, tienen una estructura similar por lo que para definir el mensaje se utilizan parámetros, con el objetivo de que el mensaje sea genérico y pueda utilizarse en todos los casos que se considere necesario.

Los parámetros también se utilizan cuando la redacción del mensaje tiene datos que son ingresados por el actor o que dependen del resultado de la operación, por ejemplo: “La *escuela 15DPR2497K* ha sido *modificada* exitosamente.”. En este caso la redacción se presenta parametrizada de la forma: “DETERMINADO ENTIDAD VALOR ha sido OPERACIÓN exitosamente.” y los parámetros se describen de la siguiente forma:

- DETERMINADO ENTIDAD: Es un artículo determinado más el nombre de la entidad sobre la cual se realizó la acción.
- VALOR: Es el valor asignado al atributo de la entidad, generalmente es el nombre o la clave.
- OPERACIÓN: Es la acción que el actor solicitó realizar.

En el ejemplo anterior se hace referencia a VALOR, es decir: *15DPR2497K* es el **valor** de la entidad **escuela**. Cada mensaje enlista los parámetros que utiliza, sin embargo aquí se definen los más comunes a fin de simplificar la descripción de los mensajes:

ARTÍCULO: Se refiere a un *artículo* el cual puede ser DETERMINADO (El | La | Lo | Los | Las) o INDETERMINADO (Un | Una | Uno | Unos |Unas) se aplica generalmente sobre una ENTIDAD, ATRIBUTO o VALOR.

CAMPO: Se refiere a un campo del formulario. Por lo regular es el nombre de un atributo en una entidad.

CONDICIÓN: Define una expresión booleana cuyo resultado deriva en *falso* o *verdadero* y suele ser la causa del mensaje.

DATO: Es un sustantivo y generalmente se refiere a un atributo de una entidad descrito en el modelo estructural del negocio, por ejemplo: número de incendio, brigada de apoyo del incendio, uso de suelo autorizado del predio, etc.

ENTIDAD: Es un sustantivo y generalmente se refiere a una entidad del modelo estructural del negocio, por ejemplo: incendio, pago por servicios ambientales hidrológicos, reforestación, etc.

OPERACIÓN: Se refiere a una acción que se debe realizar sobre los datos de una o varias entidades. Por ejemplo: registrar, eliminar, actualizar, etc. Comúnmente la OPERACIÓN va concatenada con el sustantivo, por ejemplo: Registro de un nuevo beneficio, registro de una actividad, eliminar una tarea, etc.

VALOR: Es un sustantivo concreto y generalmente se refiere a un valor en específico. Por ejemplo: “2014-003”, que es un valor concreto del DATO de la ENTIDAD “incendio” .

TAMAÑO: Es el tamaño del atributo de una entidad, el cual se encuentra definido en el diccionario de datos.

MOTIVO: Es una explicación acerca de la operación que se pretende realizar.

C.3.2. Mensajes a través de la pantalla

MSG1 Operación realizada exitosamente



Tipo: Notificación

Ubicación: En la parte superior de la pantalla

Objetivo: Notificar al actor que la acción solicitada fue realizada exitosamente.

Redacción: DETERMINADO ENTIDAD VALOR ha sido OPERACIÓN exitosamente.

Parámetros: El mensaje se muestra con base en los siguientes parámetros:

- DETERMINADO ENTIDAD: Es un artículo determinado más el nombre de la entidad sobre la cual se realizó la acción.
- VALOR: Es el valor asignado al atributo de la entidad, generalmente es el nombre o la clave.

- **OPERACIÓN:** Es la acción que el actor solicitó realizar.

Ejemplo: *El paciente Carlos Granados ha sido registrado exitosamente.*

Referenciado por: CU2 Registrar paciente, CU4 Editar información del paciente

MSG2 Falta dato obligatorio



Tipo: Error

Ubicación: Debajo del campo donde ocurrió el error

Objetivo: Notificar al actor la omisión de algún dato obligatorio por ingresar.

Redacción: Campo obligatorio.

Referenciado por: CU2 Registrar paciente, CU4 Editar información del paciente

MSG3 Formato de campo incorrecto



Tipo: Error

Ubicación: Debajo del campo donde ocurrió el error.

Objetivo: Indicar al actor que el dato ingresado en alguno de los campos del formulario no cumple con el tipo de dato definido en el diccionario de datos.

Redacción: El dato ingresado es incorrecto, favor de ingresar un dato válido.

Referenciado por: CU2 Registrar paciente, CU4 Editar información del paciente

MSG4 Número telefónico previamente registrado



Tipo: Error

Ubicación: Debajo del campo donde ocurrió el error.

Objetivo: Indicar al actor que el número telefónico ingresado ya ha sido registrado previamente.

Redacción: Número telefónico previamente registrado.

Referenciado por: CU2 Registrar paciente, CU4 Editar información del paciente

MSG5 Fecha de nacimiento inválida



Tipo: Error

Ubicación: Debajo del campo donde ocurrió el error

Objetivo: Notificar al actor que la fecha que intenta registrar está fuera del rango considerado válido en el sistema.

Redacción: La fecha de nacimiento ingresada debe ser menor o igual a 150 años.

Referenciado por: CU2 Registrar paciente, CU4 Editar información del paciente

MSG6 Eliminar Elemento



Tipo: Confirmación

Ubicación: Ventana emergente.

Objetivo: Notificar al actor que está a punto de eliminar un elemento y que se necesita su aprobación para ello.

Redacción: ¿Desea eliminar DETERMINADO ELEMENTO VALOR?

Parámetros: El mensaje se muestra con base en los siguientes parámetros:

- DETERMINADO ELEMENTO: Es el elemento que se requiere eliminar.
- VALOR: Es el valor asignado al atributo de la entidad, generalmente es la clave o el nombre.

Ejemplo: ¿Desea eliminar *al paciente Carlos Granados*?

Referenciado por: CU5 Eliminar paciente

MSG7 No hay registros



Tipo: Error

Ubicación: Centrado en pantalla o componente.

Objetivo: Notificar al actor que no existe información sobre el paciente.

Redacción: No hay registros.

Referenciado por: CU6 Consultar registros de signos vitales



Referencias

- [1] OECD (2016), OECD Reviews of Health Systems: Mexico 2016, OECD Publishing, Paris. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264230491-en>
- [2] WHO (2017). Las 10 principales causas de defunción. Organización Mundial de la Salud. Recuperado de: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs310/es/index2.html>
- [3] INEGI (s.f.). Mortalidad. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado de: <http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/registros/vitales/mortalidad/>
- [4] Lizarralde, E., Gutiérrez, A. & Martínez, M. (2000) Alteraciones de la termorregulación. Servicio de Urgencias y Medicina Interna. Hospital de Basurto, Bilbao.
- [5] Olvera, D. & González J. (2013). Diseño y construcción de un sistema de monitoreo de signos vitales (Tesis de licenciatura). Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Instituto Politécnico Nacional, México.
- [6] Guerrero J., López G. & Ramos, E. Sistema de monitoreo remoto y evaluación de signos vitales en pacientes con enfermedades crónicas. Universidad de Colima, México
- [7] Ramírez M., Martínez D. & Torres L. (2015). Sistema embebido para monitoreo remoto de signos vitales. TT 2014-B074, 2015, Rubén Ortega González y Nayeli Vega García.
- [8] C. Li, J. Cummings, J. Lam, E. Graves and W. Wu, Radar remote monitoring of vital signs, in IEEE Microwave Magazine, vol. 10, no. 1, pp. 47-56, February 2009. Recuperado de: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4753999&isnumber=4753970>

-
- [9] D. Girbau, A. Ramos, A. Lázaro and R. Villarino, "Remote sensing of vital signs based on Doppler radar and Zigbee interface," 2011 41st European Microwave Conference, Manchester, 2011, pp. 127-130. Recuperado de: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6101760&isnumber=6101646>
 - [10] D. Cruz and E. Barros, "Vital signs remote management system for PDAs," 8th Euromicro Conference on Digital System Design (DSD'05), 2005, pp. 170-173. Recuperado de: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1559796&isnumber=33127>
 - [11] Aguayo, A & Lagos A (s.f.) Guía Clínica de Control de Signos Vitales. Universidad Pedro de Valdivia, Chile. Recuperado de: <http://academico.upv.cl/doctos/KINE-4068/%7B328B1B37-2C2A-4747-8B38-169806A27753%7D/2012/S1/GUIA%20TECNICA%20DE%20CONTROL%20DE%20SIGNOS%20VITALES%20KINE.pdf>
 - [12] Cobo, D & Daza, P (2011). Signos Vitales en Pediatría. Gastrohnup, 13(1), S58-S70. Recuperado de: <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/5810/1/15%20signos.pdf>
 - [13] Signos Vitales (2017). Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina.
 - [14] Frecuencia cardíaca normal en reposo. Recuperado de: <https://www.medicalnewstoday.com/articles/291182.php>
 - [15] How's your heart rate and why it matters?. (2017) Recuperado de: <https://www.health.harvard.edu/heart-health/how-s-your-heart-rate-and-why-it-matters>
 - [16] Frecuencia cardíaca. Recuperado de: <https://fundaciondelcorazon.com/prevencion/riesgo-cardiovascular/frecuencia-cardiaca.html>
 - [17] Signos vitales (temperatura corporal, pulso, frecuencia respiratoria y presión arterial). (2016). University of Chicago Medicine. Recuperado de: <http://healthlibrary.uchospitals.edu/Spanish/DiseasesConditions/Adult/NonTraumatic/85,P03963>
 - [18] Body temperature. (s.f.). Royal College of Nursing. Recuperado de: <https://rcni.com/hosted-content/rcn/first-steps/body-temperature>
 - [19] Talamas, J. (s.f.) Habilidades Básicas III, Toma de Signos Vitales. Universidad de Juárez del Estado de Durango, México. Recuperado de: http://famen.ujed.mx/doc/manual-de-practicas/a-2016/03_Prac_01.pdf
 - [20] Vahid, F & Givargis, F. (1999). Embedded System Design: An Unified Hardware/Software Approach. University of California Riverside. Recuperado de: <https://pdfs.semanticscholar.org/3b62/7703e5b937954ec4637c04dc62637e218166.pdf>

-
- [21] Kamal, R. (2008). Embedded systems: Architecture, programming and design. Boston: McGraw-Hill Higher Education.
 - [22] Delkin Industrial. (s.f.). Using Embedded Systems in Healthcare. Recuperado de <https://www.delkin.com/blog/using-embedded-systems-in-healthcare/>
 - [23] Nadal, A. (s.f.). Sistemas Embebidos. Recuperado de <http://server-die.alc.upv.es/asignaturas/paeees/2005-06/a07%20-%20sistemas%20embebidos.pdf>
 - [24] Heath, S. (2005). Embedded systems design. Oxford: Newnes.
 - [25] Vermesan, O & Friess, P. Internet of Things - From Research and Innovation to Market Deployment. Recuperado de: http://www.internet-of-things-research.eu/pdf/IERC_Cluster_Book_2014_Ch.3_SRIA_WEB.pdf
 - [26] Salazar, J. Redes Inalámbricas. České vysoké učení technické v Praze Fakulta elektrotechnická. Recuperado de https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/100918/LM01_R_ES.pdf
 - [27] Camargo, j.(2009) Modelo de Cobertura para Redes Inalámbricas Interiores. (Tesis de licenciatura). Universidad de Sevilla, Escuela Superior de Ingenieros. Recuperado de: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproj/11761>
 - [28] Yunquera, J. Diseño de una red Wi-Fi para la E.S.I. (Tesis de Licenciatura). Universidad de Sevilla, Escuela Superior de Ingenieros. Recuperado de: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproj/11138/direccion/memoria%252F>
 - [29] GSM. Recuperado de <https://www.gsma.com/aboutus/gsm-technology/gsm>
 - [30] Wifi. Recuperado de: <https://es.wikipedia.org/wiki/Wifi>
 - [31] What is a Temperature Sensor?. (2001). Trerice. Recuperado de: <http://www.cpinc.com/Trerice/Temperature/63%20-%2064%20temperature.pdf>
 - [32] Glossary Definition for Temperature Sensor. Maxim integrated. Recuperado de: <https://www.maximintegrated.com/en/glossary/definitions.mvp/term/Temperature-Sensor/gpk/846>
 - [33] Agarwal, T. Temperature Sensors - Types, Working & Operation. Recuperado de: <https://www.elprocus.com/temperature-sensors-types-working-operation/>
 - [34] Davis, N. (2017). Introduction to Temperature Sensors: Thermistors, Thermocouples, RTDs, and Thermometer ICs. Recuperado de: <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/introduction-temperature-sensors-thermistors-thermocouples-thermometer-ic/>

-
- [35] Termopar: Tipos y Aplicaciones. Recuperado de: <https://mx.omega.com/prodinfo/termopar.html>
 - [36] Types of Temperature Sensors and Their working Principles. (2016). Recuperado de <https://www.elprocus.com/temperature-sensors-types-working-operation/>
 - [37] 4 Most Common Types of Temperature Sensor. (2018). Recuperado de: <https://www.ametherm.com/blog/thermistors/temperature-sensor-types>
 - [38] Introduction to Temperature Measurement with Thermistors. Recuperado de: <https://www.omega.com/prodinfo/thermistor.html>
 - [39] Sensores. Universidad Nacional Experimental de Táchira. Recuperado de: <http://www.unet.edu.ve/~ielectro/sensores.pdf>
 - [40] Introduction to Integrated Circuit Temperature Sensors. Recuperado de: <https://www.omega.com/prodinfo/Integrated-Circuit-Sensors.html>
 - [41] Thermal Management Handbook (2014). Recuperado de: <https://pdfserv.maximintegrated.com/en/an/AN4679.pdf>
 - [42] Soenh, A. (2017). Measuring the Heart - How do ECG and PPG Work?. Recuperado de: <https://imotions.com/blog/measuring-the-heart-how-does-ecg-and-ppg-work/>
 - [43] Módulo ritmo cardíaco ECG AD8232 con sondas. Recuperado de: <https://naylampmechatronics.com/biomedico/324-modulo-sensor-de-pulsos-ecg-ad8232-con-sondas.html>
 - [44] What is ECG and How Does It Work?. (2017). Recuperado de: <https://imotions.com/blog/what-is-ecg/>
 - [45] Salvatore, E. (2011). A Brief Look at ECG Sensor Technology. Recuperado de: <https://www.ecnmag.com/article/2011/08/brief-look-ecg-sensor-technology>
 - [46] Agarwal, T. Heartbeat Sensor - Working & Application. Recuperado de: <https://www.elprocus.com/heartbeat-sensor-working-application/>
 - [47] García, V. (2017). Introducción. Trabajo presentado en clase de Introducción a los Microcontroladores, México.
 - [48] Gardner, H & Davis, K. La Generación App. Como los jóvenes gestionan su identidad, su privacidad y su imaginación. Paidós, México. Recuperado de: <https://www.popularlibros.com/archivos/9788449329852.pdf>
 - [49] Desarrollo de aplicaciones móviles nativas, web o híbridas. IBM Software. Recuperado de: ftp://ftp.software.ibm.com/la/documents/gb/commons/27754_IBM_WP_Native_Web_or_hybrid_2846853.pdf
-

-
- [50] Demetrio, J. (2013). Web App vs App Nativa. Recuperado de: https://www.northware.mx/wp-content/uploads/2013/09/Art%C3%ADculo_Agosto_Northware.pdf
 - [51] Los 3 Tipos de Aplicaciones Móviles: Ventajas E Inconvenientes. (2014). Recuperado de: <https://www.lancetalent.com/blog/tipos-de-aplicaciones-moviles-ventajas-inconvenientes/>
 - [52] Perez, A.; et al. (2006). Una metodología para el desarrollo de hardware y software embebidos en sistemas críticos de seguridad. Systemics, Cybernetics and Informatics Journal, vol 3, Num. 2, pp. 70-75.
 - [53] Garrido, R. (2018). Bandas y frecuencias en las que trabajan los operadores de México. Recuperado de: <https://www.xataka.com.mx/telecomunicaciones/estas-son-las-bandas-y-frecuencias-en-las-que-trabajan-los-operadores-de-mexico>
 - [54] How to Choose the Right Platform for Mobile App Development. Recuperado de: <https://steelkiwi.com/blog/how-to-choose-the-right-platform-for-mobile-app-development>
 - [55] Introducción Android OS. Recuperado de: <https://androidos.readthedocs.io/en/latest/data/introduccion/>
 - [56] Developers (2018). Introducción a Android. Recuperado de: <https://developer.android.com/guide/>
 - [57] Nations, D. (2018). What Is the iPhone OS (iOS)? Recuperado de: <https://www.lifewire.com/what-is-ios-1994355>
 - [58] Swift. Recuperado de: <https://www.apple.com/mx/swift/>