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

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE CÓMPUTO
SUBDIRECCIÓN ACADÉMICA

No de TT: 2018-A038 27 de mayo, 2019

Documento Técnico

"Sistema de Monitoreo de Signos Vitales Utilizando IoT"

Presentan

María Elsi Bernabé Aparicio [1]

Carlos Alberto Granados Puerto [2]

Directores

Dr. Rubén Ortega González M. en C. Nayeli Vega García

RESUMEN

En este trabajo terminal se plantea el desarrollo de un prototipo de un sistema embebido que permite el monitoreo remoto de la frecuencia cardíaca y temperatura corporal de una persona. El cálculo de la frecuencia cardíaca se realiza basado en técnicas de procesamiento digital de señales, logrando obtener un resultado con una eficiencia superior al 98%.

Palabras clave: Sistema embebido, procesamiento digital de señales, IoT, frecuencia cardíaca.

[1] elsibill@gmail.com

[2] c.granados.puerto@gmail.com

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE CÓMPUTO
SUBDIRECCIÓN ACADÉMICA
COMISIÓN ACADÉMICA DE TRABAJOS TERMINALES

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCOM

Ciudad de México a 13 de junio de 2019

LIC. ANDRES ORTIGOZA CAMPOS
PRESIDENTE DE LA COMISIÓN ACADÉMICA
DE TRABAJOS TERMINALES
P R E S E N T E.

Por medio del presente, se informa que los alumnos María Elsi Bernabé Aparicio y Carlos Alberto Granados Puerto que integran el equipo del TRABAJO TERMINAL No. 2018-A038, titulado: "Sistema de Monitoreo de Signos Vitales Utilizando IoT" concluyeron satisfactoriamente su trabajo.

Los discos (DVD's) que se están entregando, fueron revisados ampliamente por sus servidores y corregidos, cubriendo el alcance y el objetivo planteados en el protocolo original y de acuerdo a los requisitos establecidos en el Articulo 32 del Documento Rector de Operación y Evaluación para los Trabajos Terminales de la ESCOM.

ATENTAMENTE
"LA TÉCNICA AL SERVICIO DE LA PATRIA"

Dr. Rubén Ortega González

M. en C. Nayeli Vega García

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. Internet de las cosas (IoT) 9
2.4. Señales y procesamiento de señales 10
2.4.1. Teorema de muestreo 12
2.4.2. Análisis de señales 13
2.5. Sensores de temperatura 13
2.5.1. Termopares 14
2.5.2. Sensor de temperatura resistivo (RTD) 15
2.5.3. Termistores 15

2.5.4. Semiconductores . . . 15
2.5.5. Circuitos integrados . . . 16
2.6. Sensores de pulso . . . 17
2.6.1. Electrocardiografía . . . 17
2.6.2. Fotopletismografía . . . 19
2.7. Microcontroladores . . . 19
2.8. Redes inalámbricas . . . 20
2.8.1. Redes inalámbricas de área personal (Wireless Personal-Area Networks - WPAN) . . . 22
2.8.2. Redes inalámbricas de área local (Wireless Local-Area Networks - WLAN) . . . 22
2.8.3. Redes inalámbricas de área metropolitana (Wireless Metropolitan-Area Networks - WMAN) . . . 22
2.8.4. Redes inalámbricas de área amplia (Wireless Wide-Area Networks - WWAN) . . . 22
2.9. Tecnologías inalámbricas . . . 24
2.9.1. Bluetooth . . . 25
2.9.2. Zigbee . . . 25
2.9.3. Familia IEEE 802.11 (WI-FI) . . . 25
2.9.4. WiMAX . . . 26
2.10. Aplicación móvil . . . 26
2.10.1. Tipos de aplicaciones móviles . . . 26

3. Análisis **29**
3.1. Metodología . . . 29
3.2. Requerimientos del sistema . . . 31
3.3. Análisis de componentes del sistema . . . 32
3.3.1. Sensor de temperatura . . . 32
3.3.2. Sensor de pulso . . . 34
3.3.3. Módulo de comunicación . . . 35
3.3.4. Microcontrolador . . . 38
3.3.5. Sistema operativo móvil . . . 39
3.4. Análisis de Factibilidad . . . 41
3.4.1. Factibilidad Técnica . . . 41
3.4.2. Factibilidad Económica . . . 46
3.5. Arquitectura física del sistema . . . 49
3.6. Arquitectura lógica del sistema . . . 50

4. Diseño e implementación **53**
4.1. Sensor de pulso 54
4.1.1. Prueba de funcionamiento 54
4.1.2. Digitalización de señal 57
4.1.3. Procesamiento digital de señal 62
4.1.4. Pruebas unitarias 67
4.2. Sensor de temperatura 71
4.3. Módulo LARA-R202 74
4.3.1. Prueba unitaria 74
4.3.2. Conexión con microcontrolador 74
4.4. Aplicación móvil 79
4.4.1. Diseño de pantallas 79

5. Pruebas de integración **85**

6. Conclusiones **87**
6.1. Conclusiones 87

7. Trabajo a futuro **89**
7.1. Trabajo a futuro 89

I Análisis de la Aplicación Móvil **91**

8. Modelo de Negocio **93**
8.1. Reglas de negocio 93
8.2. Actores del sistema 95
8.2.1. Paciente 95
8.2.2. Usuario 96
8.2.3. Sistema 96

9. Modelo de Comportamiento **97**
9.1. Módulos del sistema 97
9.2. Modelo de comportamiento del módulo Aplicación Móvil 98
9.3. Modelo de comportamiento del módulo Sistema Embebido 99
9.4. Casos de uso del módulo Aplicación Móvil 100
9.5. CU1 Consultar pacientes 101
9.5.1. Resumen 101
9.5.2. Descripción 101
9.5.3. Trayectorias del caso de uso 102

9.5.4. Puntos de extensión 102
9.6. CU2 Registrar paciente 103
9.6.1. Resumen 103
9.6.2. Descripción 103
9.6.3. Trayectorias del caso de uso 104
9.7. CU3 Consultar información del paciente 107
9.7.1. Resumen 107
9.7.2. Descripción 107
9.7.3. Trayectorias del caso de uso 108
9.7.4. Puntos de extensión 109
9.8. CU4 Editar información del paciente 110
9.8.1. Resumen 110
9.8.2. Descripción 110
9.8.3. Trayectorias del caso de uso 111
9.9. CU5 Eliminar paciente 114
9.9.1. Resumen 114
9.9.2. Descripción 114
9.9.3. Trayectorias del caso de uso 115
9.10. CU6 Consultar registros de signos vitales 116
9.10.1. Resumen 116
9.10.2. Descripción 116
9.10.3. Trayectorias del caso de uso 117

10. Modelo de Interacción con el Usuario **119**
10.1. Entorno de trabajo 119
10.2. Interfaces de usuario 120
10.2.1. IU1 Consultar pacientes 120
10.2.2. IU2 Registrar paciente 122
10.2.3. IU3 Consultar información del paciente 124
10.2.4. IU4 Editar información del paciente 126
10.2.5. IU6 Consultar registros de signos vitales 128
10.3. Diseño de mensajes 130
10.3.1. Parámetros comunes 130
10.3.2. Mensajes a través de la pantalla 131

Referencias **139**

11. Glosario **141**

Índice de figuras

2.1. Arquitectura general de un sistema embebido. 9
2.2. Señal analógica y señal digital. 12
2.3. 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). 18
2.4. Un ejemplo de una señal PPG típica, que muestra la diferencia en el tamaño del flujo sanguíneo. IMOTIONS (2017). 20
2.5. Tipos y alcance de redes inalámbricas. 21

3.1. Fases del Modelo en V. 30
3.2. MAX30205 33
3.3. Pulse Sensor. 34
3.4. AD8232 35
3.5. Módulo de comunicación 4G LTE-AT&T CLICK 37
3.6. Sistemas operativos móviles en el mercado global. Statista (2018). . . 39
3.7. Sistemas operativos móviles en México. Statcounter (2018). 40
3.8. Arquitectura física del sistema 49
3.9. Arquitectura lógica del sistema 50

4.1. Sensor de pulso Pulse Sensor. 55
4.2. Prueba del sensor Pulse Sensor. 55
4.3. Señal analógica del sensor Pulse Sensor. 56
4.4. Diagrama de conexión del Pulse Sensor con el microcontrolador. 57

4.5. Conexión de Pulse Sensor con el microcontrolador. 58
4.6. Diagrama de flujo del programa de configuración del dsPIC30F4013. . . 59
4.7. Diagrama de flujo de la obtención de señal digitalizada. 61
4.8. Resultado de ejecución para sensor Pulse Sensor. 62
4.9. Gráfica de señal del sensor Pulse Sensor. 63
4.10. Señal digital antes y después de aplicar el offset. 66
4.11. Señal digital antes y después de realizar el ventaneo. 67
4.12. Resultado de la autocorrelación de la señal digital de pulso cardíaco. . . 67
4.13. Diagrama de tiempo MAX30205. 71
4.14. Conexión del sensor MAX30205. 73
4.15. Conexión física del sensor MAX30205. 73
4.16. Configuración de terminal en PuTTY 75
4.17. Comandos AT en terminal de PuTTY 75
4.18. Conexión del módulo 4G con microcontrolador 76
4.19. Conexión física del módulo 4G con microcontrolador mediante Mikrobus2 77
4.20. Recepción de mensaje enviado por el módulo 4G 78
4.21. Diagrama de casos de uso del módulo Aplicación Móvil. 79
4.22. IU Consultar pacientes 80
4.23. IU Registrar paciente 81
4.24. IU Consultar información del paciente 82
4.25. IU Consultar información del paciente 83
4.26. IU Consultar registros de signos vitales 84

5.1. Sistema embebido. 86
5.2. Tiempo de ejecución del sistema embebido. 86

8.1. Perfiles identificados. 96

9.1. Módulos del sistema. 97
9.2. Diagrama de casos de uso del módulo Aplicación Móvil. 98
9.3. Diagrama de casos de uso del módulo Sistema Embebido. 99

10.1. IU1 Consultar pacientes 121
10.2. IU2 Registrar paciente 123
10.3. IU3 Consultar información del paciente 125
10.4. IU4 Editar información del paciente 127
10.5. IU6 Consultar registros de signos vitales 129

Índice de tablas

2.1. Valores normales de frecuencia cardíaca. 6

3.2. Comparativa de sensores de temperatura. 32
3.3. Comparativa de sensores de pulso. 34
3.4. Comparativa de módulos. 36
3.5. Frecuencias de banda de operadoras celulares. 36
3.6. Comparativa de microcontroladores. 38
3.7. Entornos de Desarrollo Integrado a usar 42
3.8. Sistemas operativos 43
3.9. Lenguajes de programación 44
3.10. Características del equipo disponible 45
3.11. Recursos de hardware necesarios 45
3.12. Gastos tecnológicos por depreciación 47
3.13. Gastos tecnológicos por hardware 47
3.14. Gastos por servicios 48
3.15. Gastos totales 48

4.1. Cálculo de frecuencia cardíaca. 64
4.2. Resultados del cálculo de la frecuencia cardíaca de las Personas 1 a 4. . 69
4.3. Resultados del cálculo de la frecuencia cardíaca de las Personas 5 a 8. . 70
4.4. Promedio de error de las pruebas del cálculo de frecuencia cardíaca. . . 71

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 ineficiente.

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 padezcan 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 Gonzáles 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 cuatros 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 y pérdida de calor en el cuerpo. [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. [23]

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. [24]

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. [26] [27]

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, fotodiodos, 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 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

Figura 2.1: Arquitectura general de un sistema embebido.

telemedicina y otros sistemas remotos. [25]

2.3. Internet de las cosas (IoT)

El Internet de las cosas (IoT) es un concepto que describe una red de dispositivos interconectados que tiene capacidades avanzadas para interactuar con dispositivos y también con seres humanos y el mundo físico circundante para realizar una variedad de tareas [28].

En este contexto, el uso de sensores en dispositivos IoT proveen una conexión entre estos y el mundo físico. De hecho, los dispositivos modernos de IoT cuentan con una amplia gama de sensores, por ejemplo, el acelerómetro, giroscopio, micrófono, sensor de luz, entre muchos otros, que permiten aplicaciones más eficientes y fáciles de usar [29].

Usando estos sensores, los dispositivos de IoT pueden detectar cambios en el mundo físico y realizar acciones dependiendo de las necesidades de las personas, lo que ha hecho que los dispositivos de IoT sean sean muy útiles en varias áreas de aplicación: desde la atención médica personal hasta los electrodomésticos, desde grandes aplicaciones industriales a ciudades inteligentes.

En general, la arquitectura de los dispositivos IoT comprende cuatro componentes principales: detección, red, procesamiento de datos y capa de aplicación [30]. A continuación se proporciona una descripción detallada de estas capas.

1. **Capa de detección.** El objetivo principal esta capa es identificar cualquier fenómeno en el periférico de los dispositivos y obtener datos del mundo real. Esta capa puede constar de varios sensores. Los sensores en dispositivos IoT se pueden clasificar en tres categorías amplias como se describe a continuación:

   - Sensores de movimiento: los sensores de movimiento miden el cambio en movimiento así como la orientación de los dispositivos.
   - Sensores ambientales: sensores como el sensor de luz, el de proximidad, el de temperatura, etc. están integrados en los dispositivos de IoT para detectar el cambio en los parámetros ambientales en el periférico del dispositivo. El propósito principal del uso de sensores ambientales en dispositivos IoT es ayudar a los dispositivos a tomar decisiones autónomas de acuerdo con los cambios del dispositivo periférico.
   - Sensores de posición: los sensores de posición de los dispositivos de IoT tratan la posición física y la ubicación del dispositivo. Los sensores de posición más comunes que se utilizan en los dispositivos de IoT son los sensores magnéticos y los sensores del sistema de posicionamiento global (GPS).

2. **Capa de red.** La capa de red actúa como un canal de comunicación para transferir datos, recopilados en la capa de detección, a otros dispositivos conectados. En los dispositivos IoT, la capa de red se implementa mediante el uso de diversas tecnologías de comunicación, como Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee o la red celular.

3. **Capa de procesamiento de datos.** Esta capa consta de la unidad principal de procesamiento de datos de los dispositivos IoT, en la que se toman los datos recopilados en la capa de detección y los analiza para tomar decisiones basadas en el resultado.

4. **Capa de aplicación.** La capa de aplicación implementa y presenta los resultados de la capa de procesamiento de datos. La capa de aplicación es una capa centrada en el usuario que ejecuta varias tareas para los usuarios.

2.4. Señales y procesamiento de señales

Una señal se define como cualquier cantidad física que varía con el tiempo, espacio o cualquier otra variable independiente. Un ejemplo de una señal es un electrocardiograma

(ECG). Dicha señal le proporciona al médico información sobre el estado del corazón del paciente. De manera similar, una señal de electroencefalograma (EEG) proporciona información sobre la actividad del cerebro.

Señales de audio, electrocardiograma y electroencefalograma son ejemplos de señales portadoras de información que evolucionan como funciones de una sola variable independiente, el tiempo.

El procesamiento de la señal digital de la señal proporciona un método alternativo para procesar la señal analógica, para realizar el procesamiento digitalmente, se necesita una interfaz entre la señal analógica y el procesador digital. Esta interfaz se denomina convertidor analógico-digital(ADC). La salida del ADC es una señal digital apropiada como entrada del procesador digital.

El procesador de señales digitales puede ser una gran computadora digital programable o un pequeño microprocesador programado para realizar las operaciones deseadas en la señal de entrada.

Las señales digitales se almacenan fácilmente en medios magnéticos sin deterioro o pérdida de fidelidad de la señal más allá de la introducida en la conversión analógica-digital.

Como consecuencia, las señales se vuelven transportables y pueden procesarse en cualquier lugar. El método de procesamiento de señales digitales también permite la implementación de algoritmos de procesamiento de señales más sofisticados. Por lo general, es muy difícil realizar operaciones matemáticas precisas en señales en forma analógica, pero estas mismas operaciones pueden implementarse fácilmente en software.

En algunos casos, una implementación digital del sistema de procesamiento de señales es más barata que su contraparte analógica. El menor costo puede deberse al hecho de que el hardware digital es más barato o la flexibilidad para las modificaciones provistas por la implementación digital.

Debido a estas ventajas, el procesamiento digital de señales se ha aplicado en sistemas prácticos que cubren una amplia gama de disciplinas. [20]

Dicho esto, se puede clasificar a las señales de dos maneras: analógica o digital. Una señal analógica es una forma de onda continua que cambia suavemente en el tiempo. A medida que las ondas se mueven desde el origen hasta el destino, la onda va a adqui-

riendo un número infinito de valores en su camino. Por el contrario, una señal digital es discreta. Solamente puede tener un número de valores definidos, a menudo tan simples como son los estados binarios cero y uno. [21]

Un ejemplo de estas señales se muestra en la figura 2.2. La señal con fondo negro es una señal analógica, por lo que presenta valores continuos. La señal de fondo blanco es la representación digital de la anterior.

Figura 2.2: Señal analógica y señal digital.

2.4.1. Teorema de muestreo

El teorema de muestreo especifica la frecuencia mínima a la que se debe muestrear uniformemente una señal de tiempo continuo para que la señal original pueda ser recuperada o reconstruida por completo solo con estas muestras. El muestreo es el número de lecturas completadas cada segundo.

Si una señal de tiempo continuo no contiene componentes de frecuencia superiores a w Hz, entonces puede determinarse completamente mediante muestras uniformes tomadas a una frecuencia de fs muestras por segundo donde:

$$fs \geq 2w$$

La frecuencia de muestreo mínima permitida por el teorema de muestreo ($fs = 2w$) se denomina tasa de Nyquist. [22]

2.4.2. Análisis de señales

Autocorrelación

La autocorrelación se aplica sobre la misma señal y es muy útil para conocer propiedades de la señal como por ejemplo si posee una frecuencia básica fundamental que es la responsable de las restantes.

Existen dos estimaciones básicas de la autocorrelación:

- Estimación de la autocorrelación no parcial (Unbiased autocorrelation estimate).
- Estimación de la autocorrelación parcial (Biased autocorrelation estimate).
  Se expresa como:

  $$Cxx[n] = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1-n} x[m]x[m+n]$$

  La respuesta de la función de autocorrelación estimada es positiva definida y el mayor valor se corresponde siempre con el origen. El máximo está en el origen y se corresponde con la energía de la señal, la diferencia del máximo inicial al segundo máximo representa la frecuencia fundamental de la señal, si éste está presente y existe.

2.5. 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. [37]

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. [38]

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. [39]

2.5.1. 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. [40]

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. [41]

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 los anterior, los termopares se usan comúnmente para medir temperaturas más altas y rangos de temperatura más grandes. [42]

2.5.2. 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. [43]

2.5.3. 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. [42]

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. [44] [45]

2.5.4. 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. [42]

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. [43]

2.5.5. 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. [42]

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. [46]

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. [47]

Además de la función básica de detección de temperatura, los sensores digitales pueden incluir otras características útiles, algunas de las más comunes son: alertas al superar un límite preestablecido y comunicación mediante interfaces digitales que incluyen I2C, SMBus™, SPI™, 1-Wire® y PWM.

2.6. 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). [48]

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. [49] [50] [51]

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. [52]

2.6.1. 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 2.3 se muestra la curva de ECG clásica con sus formas de onda más comunes y puntos de medición.

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. [50]

Figura 2.3: 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).

2.6.2. 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. [52]

- 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 2.4 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 cardíaca, 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. [50]

2.7. Microcontroladores

Un microcontrolador es un circuito integrado que contiene un microprocesador de forma interna, con todos los componentes para poder funcionar de forma autónoma.

Figura 2.4: Un ejemplo de una señal PPG típica, que muestra la diferencia en el tamaño del flujo sanguíneo. IMOTIONS (2017).

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. [53]

Los elementos que generalmente integran un microcontrolador son:

- Memoria de datos RAM.
- Memoria de programa ROM/PROM/EPROM.
- Módulos de entrada/salida para obtener y enviar datos fuera del microcontrolador.
- Módulos para el control de procesos.
- Oscilador interno para generar la señal de reloj.

2.8. 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. [31]

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. [32]

Figura 2.5: Tipos y alcance de redes inalámbricas.

2.8.1. 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. [31] [33]

2.8.2. 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. [31]

2.8.3. 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 llama 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. [31] [33]

2.8.4. 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. [31]

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.

GSM (Global System for Mobile Comunications)

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. [34]

2G y GPRS

La segunda generación de redes celulares móviles se lanzó en 1991 bajo el estándar GSM. La principal diferencia entre la primera generación anterior y la más reciente, fue el cambio del tipo de comunicación basado en analógico a digital. El primer 2G fue construido principalmente para servicios de voz con transferencia de datos lenta para mensajes de texto SMS. Con la segunda generación, las conversaciones telefónicas se cifraron digitalmente y la red se volvió significativamente más efectiva, lo que permitió mayores niveles de penetración móvil.

El mayor impacto se produjo al introducir el GPRS (Servicio general de radio por paquetes) que ha ampliado el circuito de paquetes GSM. Esta combinación de 2G y GPRS generalmente se describe como 2.5G y permite 114 kbit/s de descarga y 20 kbit/s de carga de datos. La velocidad para SMS se incrementa a 30 SMS por minuto.

Pocos años después, el GPRS ha evolucionado hasta el EDGE, que representa (Velocidades de datos mejoradas para la evolución de GSM), también conocido como GPRS extendido. EDGE aumentó las tasas de datos a 384 kbit/s para la descarga y 60 kbit/s para la carga. Esta combinación también se conoce como 2.75G. [35]

3G UMTS

La tercera generación se lanzó en 2001 como una red UMTS. La velocidad de transmisión de datos se mejoró al introducir el HSPA, que permite hasta 7.2 Mbit/s para descargar y 2 Mbit/s para velocidad de carga. HSPA+ se introdujo en 2008 y trajo el mayor aumento de velocidad, permitiendo 56 Mbit/s para descargar y 22 Mbit/s para cargar. Esto también se conoce como 3.5G.

En general, la tercera generación actualizó todos los aspectos de las generaciones anteriores. El ancho de banda y la información de ubicación disponibles para dispositivos 3G dan lugar a aplicaciones que antes no estaban disponibles para los usuarios de teléfonos móviles. [35]

4G LTE

La cuarta generación tiene dos sistemas candidatos desplegados comercialmente: WiMAX y LTE. La primera red de este tipo se introdujo en Corea del Sur en 2007. A diferencia de las generaciones anteriores, una cuarta no es compatible con el servicio de telefonía con conmutación de circuitos tradicional, sino con todas las comunicaciones basadas en IP, como la telefonía IP.

Dado que las versiones de primer lanzamiento de WiMAX y LTE admiten una velocidad de bits máxima de menos de 1 Gbit/s para comunicaciones de baja movilidad, no son totalmente compatibles con IMT-Advanced, pero a menudo tienen la marca 4G de los proveedores de servicios.

Las aplicaciones actuales y potenciales incluyen acceso a Internet móvil, servicios de juegos, TV móvil HD, videoconferencia y computación en la nube. [35]

2.9. 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:

2.9.1. 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. [32] [31]

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.

2.9.2. 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. [31]

Zigbee fue creado con 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 (inmótica), 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. [32]

2.9.3. 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. [36]

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).

2.9.4. 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. [32] [31]

2.10. 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. [54]

2.10.1. 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 realizan el proceso de descarga e instalación.

- **Aplicaciones web:** Una aplicación web es una aplicación tipo web desarrollada con HMTL5, 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. [55] [56] [57]

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. [58]

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 consituyen 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 ±0,1°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

El módulo de comunicación permitirá el envío de mensajes de texto con la frecuencia cardíaca, la temperatura y fecha y hora.

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 además de que proporcionan la ventaja de encontrarse diseñados con una conexión denominada MikroBUS que facilita su uso al no tener que comprar algún componente adicional.

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 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. [59]

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.

Ya que únicamente se requiere del envío de mensajes de texto y de la fecha y hora proporcionada por la red, las redes 2G, 3G y 4G son aptas para esto. Además al no requerir de una gran velocidad para el envío de datos, la red 2G podría ser la mejor opción, sin embargo, esta red está programada para ser apagada y migrar las comunicaciones a la red 3G.

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

Operador	Frecuencia para 3G/4G (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: Módulo de comunicación 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 de comunicación 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 puedo 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 [60].

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 éstos dos.

En la figura 3.7 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.

Figura 3.7: Sistemas operativos móviles en México. Statcounter (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. Por lo tanto la aplicación móvil será desarrollada para el sistema operativo Android y se buscará que sea compatible con la versión más reciente, Pie 9.0 y las versiones Oreo 8.1, 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.

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 de 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 3.7 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 3.8 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 3.9 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 3.7: Entornos de Desarrollo Integrado a usar

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 3.10 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 3.11 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.

Como resultado del análisis de factibilidad técnica, se determinó que se cuenta con

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 3.8: 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 3.9: Lenguajes de programación

Cantidad	Equipo	Características
1	Sony VAIO Pro SVP132A1CU	• 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	• 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	• Procesador: Snapdragon 410 • RAM: 1GB • Sistema Operativo: Android 6.0 Mashmallow
1	Smartphone Xiaomi Mi A2	• Procesador: Snapdragon 660 • RAM: 4GB • Sistema Operativo: Android 8.1 Oreo con Android One

Tabla 3.10: Características del equipo disponible

Cantidad	Recurso
1	Microcontrolador dsPIC30F4013
1	Módulo 4G
1	SIM telefónico para módulo de comunicación
1	Sensor de temperatura MAX30205
1	Sensor de pulso
1	Programador para microcontrolador
1	Módulo FT232

Tabla 3.11: Recursos de hardware necesarios

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 3.12 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 3.13 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 3.14.

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 3.12: Gastos tecnológicos por depreciación

Cantidad	Recurso	Precio unitario ($)	Subtotal ($)
1	Microcontrolador dsPIC30F4013	143.39	143.39
1	Módulo de comunicación	1,072.00	1,072.00
1	SIM telefónico para módulo de comunicación	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 3.13: Gastos tecnológicos por hardware

Servicio	Gasto mensual ($)	Gasto total ($)
Internet	150.00	1,350.00
Luz eléctrica	135.00	1,215.00
SIM telefónica para el módulo de comunicación	50.00	450.00
TOTAL		3,015

Tabla 3.14: 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 3.15, 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 3.15: Gastos totales

3.5. Arquitectura física del sistema

En la figura 3.8 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: 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 los cálculos necesarios para la obtención de la frecuencia cardíaca y la temperatura corporal y el envío de estas mediciones al usuario mediante mensajes de texto.

Figura 3.8: Arquitectura física del sistema

3.6. Arquitectura lógica del sistema

Una vez definidos los componentes que serán utilizados para constituir el sistema embebido, se definió la arquitectura lógica del sistema mostrada en la figura 3.9, especificando la forma en que se realizará la comunicación entre componentes.

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

Figura 3.9: Arquitectura lógica del sistema

El sistema embebido se encarga de obtener la señal de pulso cardíaco del paciente mediante el sensor de pulso a través de una entrada analógica, este señal es enviada al módulo de conversión digital en donde es digitalizada para posteriormente enviarla al módulo de procesamiento digital, en donde será procesada para obtener la frecuencia cardíaca. Para la obtención y cálculo de la temperatura, se tiene el módulo de obtención de temperatura y de procesamiento de medición.

Estos valores se envían al módulo de comunicación, con el que se realizará el envío de mensajes de texto mediante la red 3G/4G hacia el dispositivo móvil.

El usuario recibe el mensaje en su dispositivo móvil mediante el módulo de recepción SMS y la aplicación móvil obtendrá los datos de dicho mensaje mediante el módulo de obtención de datos. El usuario podrá registrar la información del paciente mediante el módulo de registro de pacientes. Los dos módulos anteriores proporcionarán la informa-

ción que será almacenada en una base de datos de la cual el módulo de consulta de datos obtendrá la información para mostrarla al usuario.

CAPÍTULO 4

Diseño e implementación

En este capítulo se describe el desarrollo detallado de cada módulo del sistema embebido, desde las pruebas para verificar el funcionamiento de los componentes hasta las pruebas unitarias con el microcontrolador realizadas después de su configuración para obtener el resultado deseado.

El contenido más detallado de éste capítulo se menciona a continuación:

- Pruebas unitarias y digitalización de señales analógicas de pulso cardíaco.
- Pruebas unitarias y tratamiento de la respuesta del sensor de temperatura.
- Pruebas unitarias del módulo 4G ublox LARA-R202 y creación del mensaje de texto con los datos a enviar.
- Diseño de las pantallas de la aplicación móvil.

4.1. Sensor de pulso

El procedimiento llevado a cabo con el sensor de pulso en este Trabajo Terminal, se realizó en las cuatro etapas descritas a continuación:

- **Prueba de funcionamiento:** En esta fase se conectó el sensor de acuerdo a lo especificado en su hoja de datos y la señal analógica obtenida se visualizó en el osciloscopio.
- **Digitalización de señal:** En esta fase se realizó el código en lenguaje ensamblador y C para digitalizar la señal con el uso del convertidor analógico-digital (ADC) del microcontrolador y se envió a una PC para la visualización de los valores resultantes de la conversión.
- **Procesamiento digital de señal:** El procesamiento digital de la señal consistió en la implementación del algoritmo de autocorrelación para el análisis del espectro de frecuencias y el cálculo de la frecuencia cardíaca.
- **Pruebas unitarias:** En esta fase se verificó que utilizando en el sensor y el algoritmo programado se obtuviera el resultado esperado de frecuencia cardíaca.

4.1.1. Prueba 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. El sensor fue alimentado con 3.3V mediante mediante el módulo FT232 a través de las terminales correspondientes en el sensor. En la figura 4.1 se muestra el sensor alimentado.

Debido a que el sensor es de tipo fotopletismógrafo, fue necesario aislarlo de luz externa que podría ocasionar alguna interferencia. Para lograr esto, se colocó el sensor de pulso en el dedo índice de la mano y se cubrió con un velcro negro, tal y como se muestra en la figura 4.2.

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

Esta señal muestra picos definidos al momento en el que se realiza el pulso cardíaco.

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

En esta etapa se configuró el microcontrolador para obtener y digitalizar la señal del Pulse Sensor haciendo uso del ADC.

El sensor se conectó al microcontrolador para que la señal fuera procesada y transformada por el ADC, y también se conectaron las terminales V+ y V- a su correspondiente en el microcontrolador para ser alimentado con 3.3V, tal como se muestra en la figura 4.4.

Figura 4.4: Diagrama de conexión del Pulse Sensor con el microcontrolador.

En la figura 4.5 se muestra la conexión de estos elementos.

En la figura 4.6 se muestra el diagrama de flujo indicando los pasos realizados para la configuración de los puertos, ADC y UART del microcontrolador y así poder obtener y procesar la señal medida del sensor de pulso.

Para estas tareas se utilizó el oscilador interno del microcontrolador.

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 (AN2) para la salida del sensor de pulso y el pin C14 el

MIKROBUS1
MIKROBUS2
MCLR
ICSP
PMOD1
PMOD3
PMOD4
GND3
U1RX
U1TX
U1A
U1A
U2
U3
C9
C8
C10
C11
C12
C13
C5
C3
R1
R2
R3
D1
D2
D3
D4
D5
D6
D7
D8
D9
D10
D11
D12
D13
D14
D15
D16
D17
D18
D19
D20
D21
D22
D23
D24
D25
D26
D27
D28
D29
D30
D31
D32
D33
D34
D35
D36
D37
D38
D39
D40

Figura 4.6: Diagrama de flujo del programa de configuración del dsPIC30F4013.

1. **Configuración de interfaz serie:** Esta función configura los elementos de la interfaz serie como el nombre del dispositivo serial a usar y la taza de transferencia en baudios.

2. **Creación/apertura de archivo:** En este paso se crea o abre un archivo en el cuál se almacenarán 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 resultante.

Figura 4.7: Diagrama de flujo de la obtención de señal digitalizada.

En las figuras 4.8 y 4.9 se muestra el resultado de la digitalización de la señal en la computadora.

Figura 4.8: Resultado de ejecución para sensor Pulse Sensor.

4.1.3. Procesamiento digital de señal

En esta etapa se realizó el procesamiento digital de la señal obtenida en el paso anterior, mediante la aplicación del algoritmo de autocorrelación y la búsqueda del valor máximo para obtener la frecuencia fundamental de la señal y calcular la frecuencia cardíaca.

Después de haber verificado el funcionamiento del sensor y haber obtenido exitosamente la señal digital desde el ADC del microcontrolador, se procedió a definir la frecuencia de muestreo. Para definir esta frecuencia se tiene del teorema de Nyquist ($Fs \geq 2f$). Considerando una frecuencia cardíaca de 210 lpm, se tiene que $Fs \geq 7{,}3332\ Hz$, pero se redondeó a 8 Hz para trabajar con un valor entero. Por lo tanto frecuencias mayores a partir de 8 Hz serían adecuadas para obtener la información necesaria para el tratamiento de la señal digital.

Figura 4.9: Gráfica de señal del sensor Pulse Sensor.

Para el cálculo de la frecuencia cardíaca se utilizó la ecuación dada por:

$$lpm = \frac{Fs}{pos} * 60 \tag{4.1}$$

donde:

- lpm: frecuencia cardíaca expresada en latidos por minuto.
- Fs: frecuencia de muestreo.
- pos: índice de la posición del segundo valor máximo de la autocorrelación.

Dado que la fórmula (4.1) depende de la frecuencia de muestreo (Fs) y la posición del valor máximo de la autocorrelación (pos), se realizaron pruebas variando esta frecuencia desde 8 Hz hasta 512 Hz.

En la tabla 4.1 se muestra un resumen de los resultados obtenidos al aplicar la fórmula anterior a las frecuencias mencionadas con el fin de obtener los resultados posibles de la frecuencia cardíaca expresada en latidos por minuto.

pos / Fs	**8 Hz**	**16 Hz**	**...**	**128 Hz**	**...**	**512 Hz**
3	160	320	...	2560	...	10240
4	120	240	...	1920	...	7680
5	96	192	...	1536	...	6144
...	...	...	...	...	...	...
83	5.783	11.566	...	92.530	...	370.120
84	5.714	11.429	...	91.429	...	365.714
85	5.647	11.294	...	90.353	...	361.412
86	5.581	11.163	...	89.302	...	357.209
87	5.517	11.034	...	88.276	...	353.103
...	...	...	...	...	...	...
148	3.243	6.486	...	51.892	...	207.568
149	3.221	6.443	...	51.544	...	206.174
150	3.2	6.4	...	51.2	...	204.8

Tabla 4.1: Cálculo de frecuencia cardíaca.

De los resultados mostrados en la tabla 4.1, se observó que a menor Fs, más amplio es el rango de valores faltantes, por ejemplo, a 8 Hz no se encuentran valores entre los

120 y 96 *lpm*, lo que sucede con todas las frecuencias consideradas en ciertos valores, sin embargo, se determinó que para la frecuencia de 128 *Hz* se tenía un rango de valores continuos hasta los 94 *lpm* y con un rango de error de 0,84 % hasta 120 *lpm*, permitiendo tener una aproximación de los valores esperados sin sobrepasar la memoria de datos del microcontrolador de 2 KB.

Para realizar el cálculo de la frecuencia cardíaca se implementó un algoritmo para obtener la autocorrelación de la señal. La ecuación está dada por:

$$Cxx[n] = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1-n} x[m]x[m+n] \tag{4.2}$$

donde:

- Cxx: valor de la autocorrelación para un punto un particular.
- n: índice del arreglo de autocorrelación.
- m: índice del arreglo de la señal digital.
- N: cantidad de muestras para la autocorrelación.

Para definir la cantidad de muestras (N) necesarias para obtener el resultado de la autocorrelación, se realizaron 80 pruebas en las que se digitalizaron 4096 valores utilizando el ADC del microcontrolador y se procesaron con un programa en C, en el que se aplicaba el algoritmo de autocorrelación considerando 16 muestras y hasta 4096, aumentando 16 muestras para cada cálculo. Con esto se determinó el error porcentual de los resultados comparados con las mediciones reales de la frecuencia cardíaca obtenida con el método de palpación.

De esos resultados se observó que la cantidad de muestras influía en el resultado del cálculo de la frecuencia cardíaca y que la cantidad de muestras con un menor error (1,17 %) fue de 1600.

Con los datos anteriores, se configuró el Timer 3 del microcontrolador para controlar el ADC a una frecuencia de muestreo de 128 *Hz*. También se programó la interrupción del ADC para que al momento de finalizar una conversión del valor analógico, se realizara el cálculo de la autocorrelación con ese valor.

El algoritmo de autocorrelación se implementó en el microcontrolador utilizando dos arreglos de 150 valores de tal manera que en uno se almacenaran los valores del ADC y

en otro los valores resultantes de la autocorrelación para cada n, como se indica en la fórmula (4.2). De esta manera se realiza el cálculo al vuelo, es decir, no se requiere esperar a obtener las 1600 muestras para comenzar el cálculo de la autocorrelación y obtener cada valor Cxx, sino que se calculan parcialmente todos los valores para Cxx conforme se termina la digitalización de la señal en el ADC hasta completar las 1600 muestras.

Antes de comenzar con el cálculo de la autocorrelación se aplica un offset de -2048 a los valores obtenidos del ADC, ya que éste nos entrega valores entre 0 y 4095. Al aplicar el offset se realiza un desplazamiento de la señal para centrarlo en el eje x como se muestra en la figura 4.10.

Figura 4.10: Señal digital antes y después de aplicar el offset.

Posteriormente se realiza el ventaneo de la señal digital aplicando la ventana de Hamming con un tamaño de 1600 muestras. La ventana de Hamming está dada por la siguiente fórmula:

$$w(n) = 0{,}54 - 0{,}46 * cos(\frac{2\pi n}{N}) \tag{4.3}$$

Debido a que el cálculo de los 1600 valores de la ventana, incrementa considerablemente el tiempo de procesamiento para cada muestra, se decidió almacenar los valores de la ventana en la memoria de programa del microcontrolador con el formato Q15, reduciendo así el tiempo de ejecución y evitando que se omitan valores dentro del tiempo de muestreo.

En la figura 4.11 se observa el resultado del ventaneo de la señal.

Al término del cálculo de los valores de la autocorrelación, se realizó la búsqueda del segundo valor máximo (omitiendo el valor máximo ubicado en la posición 0 del arreglo Cxx ya que este corresponde con la energía de la señal, y la diferencia del máximo inicial al segundo máximo representa frecuencia fundamental de la señal) para obtener la

Figura 4.11: Señal digital antes y después de realizar el ventaneo.

posición de este valor y así poder calcular la frecuencia cardíaca con la fórmula (4.1).

En la figura 4.12 se muestra el resultado de la autocorrelación y el valor máximo de interés del que se busca su posición.

Figura 4.12: Resultado de la autocorrelación de la señal digital de pulso cardíaco.

4.1.4. Pruebas unitarias

En esta etapa se realizaron pruebas obteniendo la frecuencia cardíaca 10 veces a 8 personas de diferentes edades, y comparando el resultado obtenido con el esperado obtenido con el método de palpación se calculó el error porcentual de los resultados de las pruebas. En las tablas 4.2 y 4.3 se muestran los resultados obtenidos del cálculo de

la frecuencia cardíaca comparado con el valor esperado.

En la tabla 4.4 se muestra el promedio de los errores obtenidos en las pruebas realizadas a las 8 personas.

En la tabla 4.4 se muestra el promedio de los errores obtenidos en las pruebas realizadas y se observa que se logró un error porcentual total de 1.17 %, que representa una diferencia de 1 o 2 latidos por minuto del resultado esperado.

lpm obtenidos	Error (%)
75	0
73	2.67
76	1.33
74	1.33
73	2.67
73	2.67
73	2.67
76	1.33
76	1.33
77	2.67

(a) Resultados de la Persona 1 con 23 años de edad y frecuencia cardíaca de **75 lpm**

lpm obtenidos	Error (%)
57	0
55	3.51
56	1.75
56	1.75
57	0
58	1.75
56	1.75
57	0
57	0
57	0

(b) Resultados de la Persona 2 con 54 años de edad y frecuencia cardíaca de **57 lpm**

lpm obtenidos	Error (%)
79	1.25
80	0
80	0
82	2.5
80	0
81	1.25
80	0
79	1.25
81	1.25
80	0

(c) Resultados de la Persona 3 con 17 años de edad y frecuencia cardíaca de **80 lpm**

lpm obtenidos	Error (%)
65	1.56
65	1.56
64	0
66	3.13
64	0
64	0
64	0
67	4.69
65	1.56
64	0

(d) Resultados de la Persona 4 con 64 años de edad y frecuencia cardíaca de **64 lpm**

Tabla 4.2: Resultados del cálculo de la frecuencia cardíaca de las Personas 1 a 4.

lpm obtenidos	Error (%)
85	1.16
86	0
85	1.16
84	2.33
87	1.16
86	0
86	0
87	1.16
85	1.16
85	1.16

(a) Resultados de la Persona 5 con 7 años de edad y frecuencia cardíaca de **86 lpm**

lpm obtenidos	Error (%)
70	4.11
72	1.37
73	0
73	0
73	0
72	1.37
74	1.37
75	2.74
72	1.37
72	1.37

(b) Resultados de la Persona 6 con 46 años de edad y frecuencia cardíaca de **73 lpm**

lpm obtenidos	Error (%)
67	1.47
67	1.47
68	0
69	1.47
68	0
68	0
67	1.47
69	1.47
69	1.47
66	2.94

(c) Resultados de la Persona 7 con 15 años de edad y frecuencia cardíaca de **68 lpm**

lpm obtenidos	Error (%)
80	2.44
81	1.22
81	1.22
82	0
82	0
82	0
83	1.22
81	1.22
82	0
84	2.44

(d) Resultados de la Persona 8 con 35 años de edad y frecuencia cardíaca de **82 lpm**

Tabla 4.3: Resultados del cálculo de la frecuencia cardíaca de las Personas 5 a 8.

Edad (años)	Frecuencia cardíaca (lpm)	Error (%)
23	75	1.87
54	60	1.05
17	80	0.75
15	68	1.18
7	86	0.93
64	63	1.25
46	73	1.37
35	82	0.98

Tabla 4.4: Promedio de error de las pruebas del cálculo de frecuencia cardíaca.

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 microcontrolador y adicionalmente se crearon las rutinas en ensamblador para establecer la comunicación entre ambos componentes.

En la figura 4.13 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 4.13: 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 4.14 y 4.15 se muestra el ejemplo de las conexiones realizadas para esta prueba.

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

Ya que el sensor entrega los valores de temperatura en dos partes de 8 bits cada una. Para obtener el valor real de la medición se utilizó la siguiente fórmula:

$$temp = MSB + (0{,}00390625 * LSB) \tag{4.4}$$

donde:

- $temp$: valor de la temperatura corporal.
- MSB: primer byte enviado por el sensor, la parte entera del valor.
- LSB: segundo byte enviado por el sensor, la parte decimal del valor.

Figura 4.14: Conexión del sensor MAX30205.

Figura 4.15: 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 4.16.

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) ATE0
   c) AT+CMGF=1
   d) AT+CMGS=
   e) AT+CCLK?

El resultado de los comandos ejecutados mediante la terminal de PuTTY se muestra en la figura 4.17.

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 4G con el microcontrolador y la PC fue el siguiente.

Figura 4.16: Configuración de terminal en PuTTY

Figura 4.17: 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. Posteriormente se configuró la taza de transferencia de ambos UART a 19200 baudios.

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 4.18 y 4.19 respectivamente.

Figura 4.18: Conexión del módulo 4G con microcontrolador

Para que se realice el envío del mensaje se consideraron las siguientes condiciones:

- Que el resultado de frecuencia cardíaca se encuentre fuera del rango establecido (50 lpm - 100 lpm).
- Que el resultado de temperatura se encuentre fuera del rango establecido (36°C - 37°C).
- Que se agote un temporizador de minutos.

Si se cumple alguna de las condiciones anteriores, se obtiene la fecha y hora proporcionada por el módulo de comunicación. Una vez que se tienen los tres datos (frecuencia cardíaca, temperatura y fecha y hora), se construye el mensaje de texto, cuyo cuerpo se definió de la siguiente manera: lpm:XX,temp:XX.XX,fecha:DD/MM/AAAA HH:MM, y se procede a realizar su envío.

Figura 4.19: Conexión física del módulo 4G con microcontrolador mediante Mikrobus2

En la figura 4.20 se muestra la captura de pantalla que contiene el mensaje recibido en el teléfono celular.

Figura 4.20: Recepción de mensaje enviado por el módulo 4G

4.4. Aplicación móvil

Un completo análisis para el desarrollo de la aplicación móvil se incluye en un capítulo posterior de este documento (7.1). Esta sección pretende mostrar los resultados de la implementación realizada.

La aplicación permitirá al usuario registrar ciertos datos de los pacientes, incluyendo el número telefónico asociado a la tarjeta SIM ubicada en el módulo 4G. Una vez registrado un usuario, podrá consultar y editar esta información.

Al consultar los registros de los signos vitales, se recuperará la información de los mensajes de texto y de la base de datos para mostrar la información actualizada de estas mediciones.

Estas funcionalidades se muestran en la figura 4.21

Figura 4.21: Diagrama de casos de uso del módulo Aplicación Móvil.

4.4.1. Diseño de pantallas

La aplicación móvil consta de 5 pantallas principales que permiten realizar alguna funcionalidad de la aplicación y sobre las que se muestran mensajes emergentes con

información para el usuario.

IU Consultar pacientes

La figura 4.22 muestra la pantalla "Consultar pacientes" en la que se mostrarán todos los pacientes registrados, a través de la cual el usuario podrá acceder a la información del paciente y de sus mediciones, además del registro de nuevos pacientes.

Figura 4.22: IU Consultar pacientes

IU Registrar paciente

La figura 4.23 muestra la pantalla "Registrar paciente", en la cual el usuario podrá ingresar los datos del paciente (Nombre, Teléfono, Fecha de nacimiento y Sexo). Con el teléfono registrado en esta pantalla se realizará la búsqueda de los mensajes para recuperar la información de las mediciones.

Figura 4.23: IU Registrar paciente

IU Consultar información del paciente

La figura 4.24 muestra la pantalla "Consultar información del paciente", en la que se muestra la sección Información general del paciente con el teléfono, sexo y edad calculada con la fecha de nacimiento registrada. Además de un promedio de mediciones en la que se calcula el promedio de la temperatura y la frecuencia cardíaca obtenidos a partir de todas las mediciones registradas.

Figura 4.24: IU Consultar información del paciente

IU Editar información del paciente

La figura 4.25 muestra la pantalla "Editar información del paciente", en la cual el usuario podrá modificar los datos del paciente (Nombre, Teléfono, Fecha de nacimiento y Sexo).

Figura 4.25: IU Consultar información del paciente

IU Consultar registros de signos vitales

La figura 4.26 muestra la pantalla "Consultar registros de signos vitales", en la cual el usuario podrá visualizar todas las mediciones registradas, con la información recuperada

de los mensajes enviados desde el sistema embebido.

Figura 4.26: IU Consultar registros de signos vitales

CAPÍTULO 5

Pruebas de integración

En las etapas anteriores correspondientes al diseño en el capítulo 4, se configuró y probó cada módulo, verificando su funcionamiento individual con el microcontrolador. Por lo que en esta sección se realizaron pruebas para verificar el funcionamiento de todos los módulos del sistema embebido y la aplicación móvil.

En la figura 5.1 se muestra la conexión del sensor de pulso, el sensor de temperatura y el módulo de comunicación con el microcontrolador, utilizando las conexiones proveídas por la tarjeta empleada durante este trabajo.

Se enviaron mensajes de prueba para verificar que se respetaran las condiciones de envío del mensaje de texto y que el mensaje fuera recibido por el teléfono celular. Posteriormente se utilizó la aplicación móvil para el registro de un paciente y se verificó que se obtuviera la información de las mediciones contenidas en el mensaje, de manera automática desde la aplicación.

Durante este proceso se midió el tiempo de ejecución de las funciones del sistema embebido y se representó en una línea de tiempo mostrada en la figura 5.2. Siendo el menor tiempo posible para el envío del mensaje de texto de 27 segundos a partir de iniciar la toma de medición de los signos vitales de un paciente.

Figura 5.1: Sistema embebido.

Figura 5.2: Tiempo de ejecución del sistema embebido.

CAPÍTULO 6

Conclusiones

6.1. Conclusiones

Se revisaron las opciones de sensor disponibles y se seleccionó el sensor analógico de tipo fotopletismógrafo debido a que al realizar las pruebas fue con el que se obtuvieron mejores resultados. Al ser un sensor de tipo analógico, se realizó la configuración del periférico del convertidor analógico digital del microcontrolador para tener una frecuencia de muestreo de 128 Hz, obteniendo una señal digital con una resolución de 12 bits.

Se revisaron las opciones de sensor disponibles y se seleccionó un sensor digital con uso específico en aplicaciones médicas con interfaz de tipo I2C el cual entrega una señal con una resolución de 16 bits equivalente a 0,00390625°C, y una precisión de 0,1°C cuando se realiza la medición entre los 36°C y 39°C. Para establecer la comunicación con el microcontrolador, se configuró el periférico I2C a una frecuencia de operación de 400 KHz en el dispositivo maestro.

Para establecer la comunicación entre el sistema embebido y el teléfono celular se utiliza una comunicación inalámbrica mediante mensajes de texto. En una primera aproximación se utilizó la red GSM, sin embargo durante el desarrollo del proyecto, las antenas que permiten la comunicación fueron apagadas por lo que se tuvo la necesidad de migrar a las redes UMTS y LTE.

Se revisaron opciones del chip de comunicación disponibles y se optó por el módulo 4G que permite establecer comunicación con el microcontrolador mediante UART por

lo que se configuró el módulo UART en el microcontrolador a una tasa de transferencia de 19200 baudios.

Una vez obtenida la señal de frecuencia cardíaca se aplicaron técnicas de procesamiento digital sobre ella, lo cual consistió en aplicar un offset de 2048 unidades sobre la señal para poder desplazarla y aplicar una ventana de Hamming a 1600 muestras y después el algoritmo de autocorrelación parcial para obtener el espectro de frecuencia de la señal. Sobre el espectro de frecuencia de la señal se aplicó el algoritmo para la búsqueda de la frecuencia fundamental y sobre ese resultado el cálculo de la frecuencia cardíaca, teniendo un error promedio de 1.17 %, de acuerdo a las pruebas realizadas.

Para la señal de temperatura debido a que el resultado se guardó en dos registros diferentes se realizó el cálculo del valor real mediante la multiplicación de la parte baja del valor por la resolución del sensor y se sumó a la parte alta de la medición.

Finalmente, se configuró el módulo 4G para realizar el envío de mensajes bajo dos condiciones: envío por tiempo cada minuto, siendo este valor es configurable directamente en el código, o al detectar un valor fuera de la ventana definida como normal de 50 a 100 latidos por minuto. De igual manera se tiene una ventana definida como normal de $36°C$ a $37°C$. Siendo ambos valores de las ventanas configurables.

Al haber obtenido los resultados y cumplir alguna de las condiciones anteriores, se obtiene la fecha y hora proporcionadas por la red 3G o 4G utilizada por el módulo 4G. Con estos valores se generó la trama a enviar mediante el mensaje de texto que contiene la frecuencia cardíaca, temperatura y fecha en la que se obtuvo la medición.

También se implementó una aplicación móvil que permitirá realizar el registro de ciertos datos personales de diferentes pacientes con el fin de identificar las mediciones recibidas en el mensaje de texto. Los valores obtenidos del texto del mensaje, son almacenados en una base de datos. Estas mediciones podrán ser consultadas en cualquier momento y se mostrará un promedio de sus mediciones actualizado al momento de almacenar una nueva medición.

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:

- Mejorar el diseño del prototipo para aumentar su portabilidad y reducir el error en las mediciones de temperatura.
- Implementar la configuración de los umbrales y temporizador a partir de mensajes de texto enviados desde la aplicación móvil al sistema embebido.
- Implementar características de respaldo de datos a la aplicación móvil, con el propósito de tener los datos de usuario disponibles para su respaldo en caso de ser necesario.
- Realizar un análisis de la información obtenida para la posible predicción de afecciones en el paciente.
- Analizar la posibilidad de incorporar más sensores para la medición de todos los signos vitales.

Parte I

Análisis de la Aplicación Móvil

CAPÍTULO 8

Modelo de Negocio

8.1. 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:

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

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:

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

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

8.2. 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 8.1 y se describen a continuación.

8.2.1. 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 8.1: Perfiles identificados.

8.2.2. 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.

8.2.3. Sistema

Nombre: Sistema

Descripción: Representa el sistema embebido compuesto por el microcontrolador, sensor de pulso cardíaco, sensor de temperatura y el módulo de comunicación 4G.

CAPÍTULO 9

Modelo de Comportamiento

9.1. 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 9.1 muestra los módulos propuestos para el sistema.

Figura 9.1: Módulos del sistema.

9.2. Modelo de comportamiento del módulo Aplicación Móvil

La figura 9.2 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 9.2: Diagrama de casos de uso del módulo Aplicación Móvil.

9.3. Modelo de comportamiento del módulo Sistema Embebido

La figura 9.3 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 9.3: Diagrama de casos de uso del módulo Sistema Embebido.

9.4. 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.

9.5. CU1 Consultar pacientes

9.5.1. 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.

9.5.2. 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:	• Ninguna.
Salidas:	• Nombre da cada uno de los pacientes registrados.
Precondiciones:	• Ninguna.
Postcondiciones:	• Ninguna.
Reglas de negocio:	• Ninguna.
Errores:	• Ninguno.

Caso de Uso:	CU1 Consultar pacientes
Tipo:	Primario

9.5.3. 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.*

9.5.4. 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.

9.6. CU2 Registrar paciente

9.6.1. 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 4G del sistema que utilizará el paciente.

9.6.2. 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:	• Nombre completo del paciente que usará el sistema. Se escribe desde el teclado • Número telefónico de la tarjeta SIM insertada en el módulo GSM del sistema. Se escribe desde el teclado • Fecha de nacimiento del paciente. Se selecciona de un calendario • Sexo del paciente. Se selecciona de una lista

Caso de Uso:	CU2 Registrar paciente
Salidas:	• MSG1 Operación exitosa: Se muestra en la pantalla IU1 Consultar pacientes indicando al actor que el registro del paciente se realizó exitosamente.
Precondiciones:	• Ninguna.
Postcondiciones:	• 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:	• 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:	• 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

9.6.3. 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*.

9.7. CU3 Consultar información del paciente

9.7.1. 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.

9.7.2. 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:	• Paciente del cuál se requiere consultar su información.

Caso de Uso:	CU3 Consultar información del paciente
Salidas:	• 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:	• Ninguna.
Postcondiciones:	• Ninguna.
Reglas de negocio:	• 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:	• Ninguno.
Tipo:	Secundario, extiende del caso de uso CU1 Consultar pacientes.

9.7.3. 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.*

9.7.4. 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.

9.8. CU4 Editar información del paciente

9.8.1. 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.

9.8.2. 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:	• Nombre completo del paciente. Se escribe desde el teclado • Número telefónico de la tarjeta SIM insertada en el módulo 4G del sistema. Se escribe desde el teclado • Fecha de nacimiento del paciente. Se selecciona de un calendario • Sexo del paciente. Se selecciona de una lista

Caso de Uso:	CU4 Editar información del paciente
Salidas:	• 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:	• Ninguna.
Postcondiciones:	• Se actualizarán los datos del paciente en la aplicación móvil.
Reglas de negocio:	• 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:	• 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.

9.8.3. Trayectorias del caso de uso

Trayectoria principal

1 Da clic en el icono 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 icono ✓ 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*.

9.9. CU5 Eliminar paciente

9.9.1. Resumen

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

9.9.2. 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:	• Ninguna.
Salidas:	• MSG1 Operación exitosa: Se muestra en la pantalla IU1 Consultar pacientes indicando al actor que la información del paciente se eliminó exitosamente.
Precondiciones:	• Ninguna.
Postcondiciones:	• La información del paciente seleccionado será eliminada. • El actor no podrá solicitar más mediciones de signos vitales para el paciente eliminado.
Reglas de negocio:	• Ninguna.

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

9.9.3. Trayectorias del caso de uso

Trayectoria principal

1 Da clic en el icono 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 Sí 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 No del mensaje.

A-2 Muestra la pantalla CU3 Consultar información del paciente.

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

9.10. CU6 Consultar registros de signos vitales

9.10.1. Resumen

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

9.10.2. 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 consultat el historial de mediciones de un paciente.
Entradas:	• Ninguna.
Salidas:	• Tabla que muestra Fecha, hora, valor de temperatura y valor de frecuencia cardíaca de cada medición registrada del paciente.
Precondiciones:	• Ninguna.
Postcondiciones:	• Ninguna
Reglas de negocio:	• Ninguna.
Errores:	• 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.

9.10.3. Trayectorias del caso de uso

Trayectoria principal

1 Da clic en el icono 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.*

CAPÍTULO 10

Modelo de Interacción con el Usuario

10.1. 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.

10.2. Interfaces de usuario

10.2.1. 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 10.1 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 registra un nuevo paciente mediante el icono ⊕ .

Comandos

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

Figura 10.1: IU1 Consultar pacientes

10.2.2. 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 10.2 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 4G 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 10.2: IU2 Registrar paciente

10.2.3. IU3 Consultar información del paciente

Objetivo

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

Diseño

En la figura 10.3 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 10.3: IU3 Consultar información del paciente

10.2.4. 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 10.4 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 4G 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 10.4: IU4 Editar información del paciente

10.2.5. 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 10.5 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 10.5: IU6 Consultar registros de signos vitales

10.3. 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.

10.3.1. 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 parámentros, 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.

10.3.2. 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. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1787/9789264230491-en

[2] WHO (2017). Las 10 principales causas de defunción. Organización Mundial de la Salud. Disponible en: http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs310/es/index2.html

[3] INEGI (s.f.). Mortalidad. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Disponible en: 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,ïn IEEE Microwave Magazine, vol. 10, no. 1, pp. 47-56, February 2009. Disponible en: 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. Disponible en: 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. Disponible en: 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. Disponible en: 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. Disponible en: 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. Disponible en: https://www.medicalnewstoday.com/articles/291182.php

[15] How's your heart rate and why it matters?. (2017) Disponible en: https://www.health.harvard.edu/heart-health/hows-your-heart-rate-and-why-it-matters

[16] Frecuencia cardíaca. Disponible en: 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. Disponible en: http://healthlibrary.uchospitals.edu/Spanish/DiseasesConditions/Adult/NonTraumatic/85,P03963

[18] Body temperature. (s.f). Royal College of Nursing. Disponible en: 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. Disponible en: http://famen.ujed.mx/doc/manual-de-practicas/a-2016/03_Prac_01.pdf

[20] Proakis, J. G., & Manolakis, D. G. (1992). Digital signal processing: Principles, algorithms, and applications. New York: Macmillan.

[21] Rojas, K., & Romero, C., & Romero, P. (2013). Modelo de procesamiento digital de señales cardiacas desarrollado en Matlab. Télématique, 12 (2), 21-36.

[22] Edmund, L. (2003) Practical Digital Signal Processing, BEng.

[23] Vahid, F & Givargis, F. (1999). Embedded System Design: An Unified Hardware/-Software Approach. University of California Riverside. Disponible en: https://pdfs.semanticscholar.org/3b62/7703e5b937954ec4637c04dc62637e218166.pdf

[24] Kamal, R. (2008). Embedded systems: Architecture, programming and design. Boston: McGraw-Hill Higher Education.

[25] Delkin Industrial. (s.f.). Using Embedded Systems in Healthcare. Disponible en: https://www.delkin.com/blog/using-embedded-systems-in-healthcare/

[26] Nadal, A. (s.f.). Sistemas Embebidos. Disponible en: http://server-die.alc.upv.es/asignaturas/paeees/2005-06/a07%20-%20sistemas%20embebidos.pdf

[27] Heath, S. (2005). Embedded systems design. Oxford: Newnes.

[28] Vermesan, O & Friess, P. Internet of Things - From Research and Innovation to Market Deployment. Disponible en: http://www.internet-of-things-research.eu/pdf/IERC_Cluster_Book_2014_Ch.3_SRIA_WEB.pdf

[29] N. D. Lane, E. Miluzzo, H. Lu, D. Peebles, T. Choudhury, and A. T. Campbell, "A survey of mobile phone sensing," IEEE Communications magazine, vol. 48, no. 9, 2010.

[30] Sikder, Amit Kumar & Petracca, Giuseppe & Aksu, Hidayet & Jaeger, Trent & Uluagac, Selcuk. (2018). A Survey on Sensor-based Threats to Internet-of-Things (IoT) Devices and Applications.

[31] Salazar, J. Redes Inalámbricas. České vysoké učení technické v Praze Fakulta elektrotechnická. Disponible en: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/100918/LM01_R_ES.pdf

[32] Camargo, j.(2009) Modelo de Cobertura para Redes Inalámbricas Interiores. (Tesis de licenciatura). Universidad de Sevilla, Escuela Superior de Ingenieros. Disponible en: http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11761

[33] Yunquera, J. Diseño de una red Wi-Fi para la E.S.I. (Tesis de Licenciatura). Universidad de Sevilla, Escuela Superior de Ingenieros. Disponible en: http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11138/direccion/memoria%252F

[34] GSM. Disponible en: https://www.gsma.com/aboutus/gsm-technology/gsm

[35] 2G/3G/4G - Is it all about the speed. (2016) Disponible en: https://www.mikroe.com/blog/2g-3g-4g-speed

[36] Wifi. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Wifi

[37] What is a Temperature Sensor?. (2001). Trerice. Disponible en: http://www.cpinc.com/Trerice/Temperature/63%20-%2064%20temperature.pdf

[38] Glossary Definition for Temperature Sensor. Maxim integrated. Disponible en: https://www.maximintegrated.com/en/glossary/definitions.mvp/term/Temperature-Sensor/gpk/846

[39] Agarwal, T. Temperature Sensors - Types, Working & Operation. Disponible en: https://www.elprocus.com/temperature-sensors-types-working-operation/

[40] Davis, N. (2017). Introduction to Temperature Sensors: Thermistors, Thermocouples, RTDs, and Thermometer ICs. Disponible en: https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/introduction-temperature-sensors-thermistors-thermocouples-thermometer-ic/

[41] Termopar: Tipos y Aplicaciones. Disponible en: https://mx.omega.com/prodinfo/termopar.html

[42] Types of Temperature Sensors and Their working Principles. (2016). Disponible en: https://www.elprocus.com/temperature-sensors-types-working-operation/

[43] 4 Most Common Types of Temperature Sensor. (2018). Disponible en: https://www.ametherm.com/blog/thermistors/temperature-sensor-types

[44] Introduction to Temperature Measurement with Thermistors. Disponible en: https://www.omega.com/prodinfo/thermistor.html

[45] Sensores. Universidad Nacional Experimental de Táchira. Disponible en: http://www.unet.edu.ve/~ielectro/sensores.pdf

[46] Introduction to Integrated Circuit Temperature Sensors. Disponible en: https://www.omega.com/prodinfo/Integrated-Circuit-Sensors.html

[47] Thermal Management Handbook (2014). Disponible en: https://pdfserv.maximintegrated.com/en/an/AN4679.pdf

[48] Soenh, A. (2017). Measuring the Heart - How do ECG and PPG Work?. Disponible en: https://imotions.com/blog/measuring-the-heart-how-does-ecg-and-ppg-work/

[49] Módulo ritmo cardíaco ECG AD8232 con sondas. Disponible en: https://naylampmechatronics.com/biomedico/324-modulo-sensor-de-pulsos-ecg-ad8232-con-sondas.html

[50] What is ECG and How Does Id Work?. (2017). Disponible en: https://imotions.com/blog/what-is-ecg/

[51] Salvatore, E. (2011). A Brief Look at ECG Sensor Technology. Disponible en: https://www.ecnmag.com/article/2011/08/brief-look-ecg-sensor-technology

[52] Agarwal, T. Heartbeat Sensor - Working & Application. Disponible en: https://www.elprocus.com/heartbeat-sensor-working-application/

[53] García, V. (2017). Introducción. Trabajo presentado en clase de Introducción a los Microcontroladores, México.

[54] Gardner, H & Davis, K. La Generación App. Como los jóvenes gestionan su identidad, su privacidad y su imaginación. Paidós, México. Disponible en: https://www.popularlibros.com/archivos/9788449329852.pdf

[55] Desarrollo de aplicaciones móviles nativas, web o híbridas. IBM Software. Disponible en: ftp://ftp.software.ibm.com/la/documents/gb/commons/27754_IBM_WP_Native_Web_or_hybrid_2846853.pdf

[56] Demetrio, J. (2013). Web App vs App Nativa. Disponible en: https://www.northware.mx/wp-content/uploads/2013/09/Art%C3%ADculo_Agosto_Northware.pdf

[57] Los 3 Tipos de Aplicaciones Móviles: Ventajas E Inconvenientes. (2014). Disponible en: https://www.lancetalent.com/blog/tipos-de-aplicaciones-moviles-ventajas-inconvenientes/

[58] 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.

[59] Garrido, R. (2018). Bandas y frecuencias en las que trabajan los operadores de México. Disponible en: https://www.xataka.com.mx/telecomunicaciones/estas-son-las-bandas-y-frecuencias-en-las-que-trabajan-los-operadores-de-mexico

[60] How to Choose the Right Platform for Mobile App Development. Disponible en: https://steelkiwi.com/blog/how-to-choose-the-right-platform-for-mobile-app-development

[61] Introducción Android OS. Disponible en: https://androidos.readthedocs.io/en/latest/data/introduccion/

[62] Developers (2018). Introducción a Android. Disponible en: https://developer.android.com/guide/

[63] Nations, D. (2018). What Is the iPhone OS (iOS)?. Disponible en: https://www.lifewire.com/what-is-ios-1994355

[64] Swift. Disponible en: https://www.apple.com/mx/swift/

CAPÍTULO 11

Glosario

- **Frecuencia.** Magnitud que mide el número de repeticiones por unidad de tiempo de cualquier fenómeno o suceso periódico.
- **Señal.** Cualquier cantidad física que varía con el tiempo, espacio o cualquier otra variable independiente.
- **ADC**. Convertidor analógico-digital.
- **Muestreo.** Consiste en tomar muestras de una señal analógica a una frecuencia o tasa de muestreo constante, para cuantificarlas posteriormente.
- **Sensor.** Un sensor es un dispositivo que está capacitado para detectar acciones o estímulos externos y responder en consecuencia.
- **Circuito integrado.** Circuito electrónico cuyos componentes, como transmisores y resistencias, están dispuestos en una lámina de material semiconductor.
- **Oscilador.** Un oscilador electrónico es un circuito electrónico que produce una señal electrónica repetitiva, a menudo una onda senoidal o una onda cuadrada.
- **Memoria.** Dispositivo de una máquina donde se almacenan datos o instrucciones que posteriormente se pueden utilizar.
- **SMS.** El servicio de mensajes cortos es un servicio que permite el envío de mensajes de texto entre teléfonos móviles.
- **Aplicación.** Programa preparado para una utilización específica.

- **Interfaz.** Conexión, física o lógica, entre una computadora y el usuario, un dispositivo periférico o un enlace de comunicaciones.
- **SIM.** Una tarjeta SIM es una tarjeta inteligente desmontable usada en teléfonos móviles que almacena de forma segura la clave de servicio del suscriptor usada para identificarse ante la red.
- **Formato Q.** Q es un formato de número de punto fijo donde se especifica el número de bits fraccionarios, y opcionalmente el número de bits de números enteros). Por ejemplo, un número Q15 indica que contiene 15 bits fraccionarios.
- **Baudio.** Unidad de medida de la velocidad de transmisión de señales que se expresa en símbolos por segundo.