



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
ELECTRÓNICA



TESIS

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA UN SISTEMA DE MONITOREO DE SIGNOS VITALES CON APLICACIÓN PARA DISPOSITIVOS MÓVILES

**PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO
ELECTRÓNICO**

ELABORADO POR

Bach. Chunga Limo Luis Esteban

Bach. Roa Martínez Larry Fernando

LAMBAYEQUE – PERÚ

2019

TESIS

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA UN
SISTEMA DE MONITOREO DE SIGNOS VITALES CON
APLICACIÓN PARA DISPOSITIVOS MÓVILES**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRÓNICO**

APROBADO POR:

**Ing. CHICLAYO PADILLA HUGO JAVIER
PRESIDENTE**

**Ing. OBLITAS VERA CARLOS LEONARDO
SECRETARIO**

**Mg. Ing. NOMBERRA LOSSIO MARTIN AUGUSTO
VOCAL**

TESIS

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA UN
SISTEMA DE MONITOREO DE SIGNOS VITALES CON
APLICACIÓN PARA DISPOSITIVOS MÓVILES**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRÓNICO**

ELABORADO POR:

Bach. CHUNGA LIMO LUIS ESTEBAN

Bach. ROA MARTÍNEZ LARRY FERNANDO

ASESOR:

Ing. ROMERO CORTEZ OSCAR UCHELLY

AGRADECIMIENTOS

Gracias a mi Dios y este logro alcanzado no sería posible sin un continuo aporte de personas que han estado conmigo en todas las situaciones y que me han ofrecido su apoyo y su cariño desinteresado; es por esto que quiero agradecer a mis padres y a mi hermano que son muy importantes en mi vida. Además, a mis amigos y compañeros con los que he compartido muchas buenas experiencias y a mis docentes que me brindaron sus conocimientos para mi formación como profesional.

Bach. Roa Martínez Larry Fernando

Le agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi formación universitaria, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

Bach. Chunga Limo Luis Esteban

DEDICATORIA

Siempre me he sentido maravillado por la familia que tengo, se han preocupado por mí, me han formado para saber cómo luchar y salir victorioso ante las diversas adversidades de la vida. Muchos años después, sus enseñanzas no cesan, y aquí estoy con un nuevo logro, mi proyecto de tesis. Gracias por todo su apoyo familia.

Bach. Roa Martínez Larry Fernando

A mis padres por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se los debo a ustedes entro los que se incluye este. Me formaron con reglas y con algunas libertades, pero al final de cuentas, me motivaron constantemente para alcanzar mis anhelos.

Bach. Chunga Limo Luis Esteban

RESUMEN

Este proyecto de tesis tuvo como objetivo principal diseñar e implementar un prototipo de un sistema de monitoreo de signos vitales con aplicación para dispositivos móviles que puede ser usado en niños mayores de 10 años y adultos.

Antes de iniciar con el diseño del prototipo, se recopiló información de fuentes médicas confiables para conocer la importancia de los signos vitales y su influencia en la salud de las personas. Como resultado de esta búsqueda, pudimos conocer que la medición de signos vitales proporciona información valiosa para los médicos, ya que a través de ellos pueden determinar cuál es el padecimiento de las personas y establecer una solución adecuada. Adicionalmente, los especialistas recomiendan realizar una medición periódica de los signos vitales y llevar un registro de estos valores, pues esta información será de utilidad para que el médico tenga conocimiento de cómo se comportan los signos vitales de un paciente fuera del consultorio u hospital y tomar una decisión al respecto.

Al concluir con la búsqueda de información, se determinó que los signos vitales a ser medidos y monitoreados por el prototipo serían la temperatura corporal, el pulso cardíaco y el porcentaje de saturación de oxígeno en la sangre. La información obtenida nos ayudó a determinar los rangos de valores considerados bajos, normales y altos de cada variable.

Luego se procedió a seleccionar los sensores del prototipo teniendo en cuenta que deben cubrir el rango de valores requeridos por cada magnitud. También se tuvo en cuenta el factor económico, sin embargo, esto no fue un limitante para adquirir productos de calidad, pues se requieren sensores con porcentajes de error mínimos y que no requieran calibración excesiva para facilitar su uso. En cuanto a los controladores, se optó por trabajar con placas electrónicas basadas en software y hardware libre (Arduino) ya que estas incluyen librerías que facilitan el manejo de los sensores y de las comunicaciones inalámbricas. Los valores de los signos vitales se podrán observar a través de un Smartphone Android, mientras que en un monitor con interfaz HDMI se mostrará una gráfica con la evolución de los pulsos cardíacos en tiempo real.

Finalmente, las pruebas se realizaron comparando los valores obtenidos por el prototipo con las medidas obtenidas de los instrumentos patrón (termómetro digital y un pulsioxímetro). De esta manera, se pudo determinar la precisión de cada uno de los sensores del prototipo.

ABSTRACT

This thesis project had as main objective to design and implement a prototype of a vital signs monitoring system with application for mobile devices that can be used in children over 10 years and adults.

Before starting with the design of the prototype, information was collected from reliable medical sources to learn about the importance of vital signs and their influence on people's health. As a result of this search, we were able to know that the measurement of vital signs provides valuable information for doctors, since through them they can determine what the suffering of people is and establish an adequate solution. Additionally, specialists recommend periodic measurement of vital signs and keep a record of these values, as this information will be useful for the doctor to know how the vital signs of a patient behave outside the office or hospital and take a decision about it.

At the conclusion of the search for information, it was determined that the vital signs to be measured and monitored by the prototype would be body temperature, heart rate and the percentage of oxygen saturation in the blood. The information obtained helped us determine the ranges of values considered low, normal and high for each variable.

Then the prototype sensors were selected, taking into account that they should cover the range of values required for each magnitude. The economic factor was also taken into account, however this was not a limitation to acquire quality products, as sensors with minimum error percentages and that do not require excessive calibration are required to facilitate its use. As for the controllers, it was decided to work with electronic boards based on free software and hardware (Arduino) since these include libraries that facilitate the handling of sensors and wireless communications. The values of the vital signs can be observed through an Android Smartphone, while on a monitor with an HDMI interface, a graph showing the evolution of the cardiac pulses in real time will be displayed.

Finally, the tests were performed by buying the values obtained by the prototype with the measurements obtained from the standard instruments (digital thermometer and a pulse oximeter). In this way, the accuracy of each of the prototype sensors could be determined.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO

ASPECTOS DE LA INVESTIGACIÓN	2
CAPITULO I	2
1.1. Aspecto informativo	3
1.1.1. Título	3
1.1.2. Personal Investigador	3
1.1.3. Área de Investigación	3
1.1.4. Lugar de ejecución.....	3
1.1.5. Duración	3
1.2. Aspecto de la investigación	3
1.2.1. Situación problemática	3
1.2.2. Antecedentes	4
1.2.3. Formulación del problema científico	6
1.2.4. Objetivos	6
1.2.5. Justificación e importancia de la investigación	7
1.2.6. Hipótesis.....	7
1.2.7. Diseño y contrastación de la hipótesis	8
MARCO TEÓRICO	9
CAPITULO II.....	9
2.1. Los signos vitales	10
2.1.1. Temperatura corporal	10
2.1.2. Frecuencia cardiaca	12
2.1.3. Saturación de oxígeno	18
2.2. Tecnologías de comunicación inalámbricas.....	20
2.2.1. Bluetooth	21
2.2.2. WiFi.....	27
2.3. Raspberry Pi	36
2.4. Arduino	42

DISEÑO DEL PROTOTIPO	46
CAPITULO III	46
3.1. Introducción	47
3.2. Selección de componentes	48
3.2.1. Sensor de temperatura	48
3.2.2. Pulsioxímetro.....	49
3.2.3. Placa Arduino	51
3.2.4. Modulo Bluetooth.....	53
3.2.5. Placa Raspberry Pi.....	54
3.2.6. Monitor.....	55
3.3. Configuración y prueba de dispositivos.....	56
3.3.1. Configuración de la Raspberry Pi	56
3.3.2. Configuración del módulo bluetooth	61
3.3.3. Pruebas del Pulsioxímetro	63
3.3.4. Pruebas del sensor de temperatura	64
3.4. Diseño de la aplicación móvil.....	66
3.5. Interfaz gráfica para el monitor	67
3.6. Conexión entre los dispositivos del prototipo	67
PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	70
CAPITULO IV	70
4.1. Cálculo de la precisión del sensor de temperatura	71
4.2. Cálculo de la precisión del pulsioxímetro	73
4.3. Implementación del prototipo.....	78
COSTOS	80
CAPITULO V	80
5.1. Costo de los sensores.....	81
5.2. Costo de los controladores.....	81
5.3. Costo total	81
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	82
BIBLIOGRAFÍA	84

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Termómetro de mercurio.	10
Figura 2: Medida del pulso cardiaco.	13
Figura 3: Medida de la saturación de oxígeno	18
Figura 4: Tecnología Bluetooth.....	21
Figura 5: Tecnología Wi-Fi.....	27
Figura 6: Raspberry Pi 1.	38
Figura 7: Raspberry Pi 2.	38
Figura 8: Raspberry Pi 3	39
Figura 9: Raspberry Pi 3 B+.	39
Figura 10: Raspberry Pi Zero	40
Figura 11: Raspberry Pi Zero W.	40
Figura 12: Fuente para Raspberry Pi.....	41
Figura 13: Arduino Nano.	45
Figura 14: Sensor LM35.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 15: Señal de salida	¡Error! Marcador no definido.
Figura 16: Señal de salida con referencia.....	50
Figura 17: Pulse Sensor Amplificado.....	51
Figura 18: Características del Arduino Nano.	52
Figura 19: Arduino Nano.	53
Figura 20: HC-05	53
Figura 21: Raspberry Pi 3 B+.	54
Figura 22: Características de la Raspberry Pi 3 B+.....	55
Figura 23: Monitor	55
Figura 24: SO para la Raspberry Pi 3 B+.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 25: Grabación del SO para la Raspberry Pi 3 B+.....	56
Figura 26: Colocación de la memoria Micro SD.....	57
Figura 27: Arquitectura de conexión.....	57
Figura 28: Direcciones IP: Raspberry Pi y PC.	58
Figura 29: Ingreso a la interfaz gráfica	58
Figura 30: Configuración de la Raspberry pi.	59
Figura 31: Configuración del sistema de la Raspberry pi.....	59
Figura 32: Configuración de las interfaces de la Raspberry pi	60
Figura 33: Configuración del rendimiento de la Raspberry pi.....	60
Figura 34: Configuración de localización de la Raspberry pi.....	60
Figura 35: Actualización de paquetes y del SO de la Raspberry Pi.....	61
Figura 36: Conexión entre Módulo Bluetooth HC-05 y el Convertidor USB – TTL.	61
Figura 37: Convertidor USB – TTL.	61
Figura 38: Administrador de dispositivos de Windows.....	62
Figura 39: Puerto COM asignado al Convertidor USB – TTL	62
Figura 40: Configuración del HC-05 mediante el IDE de Arduino	63
Figura 41: Soldadura de cables de extensión	64
Figura 42: Aislamiento de ambas caras del pulsioxímetro	64
Figura 43: Conexión del sensor de temperatura	65
Figura 44: Sketch para el sensor de temperatura.	65
Figura 45: Valores obtenidos por el sensor de temperatura.....	65
Figura 46: Diseño de la aplicación móvil	66

Figura 47: Interfaz gráfica para el monitor.....	67
Figura 48: Conexión entre los dispositivos	68
Figura 49: Diseño de la PCB.....	69
Figura 50: Pruebas del sensor de temperatura	71
Figura 51: 1era medida con instrumento patrón (Temperatura)	71
Figura 52: 2da medida con instrumento patrón (Temperatura).....	72
Figura 53: 3ra medida con instrumento patrón (Temperatura).	72
Figura 54: Pruebas del Pulsioxímetro.....	73
Figura 55: 1ra medida con instrumento patrón (Pulso)	74
Figura 56: 1ra medida con el prototipo (Pulso)..	74
Figura 57: 2da medida con instrumento patrón (Pulso).....	75
Figura 58: 2da medida con el prototipo (Pulso).	75
Figura 59: 3ra medida con instrumento patrón (Pulso).....	76
Figura 60: 3ra medida con el prototipo (Pulso)	76
Figura 61: Medida del porcentaje de saturación de oxígeno en la sangre.....	77
Figura 62: Distribución de dispositivos.....	78
Figura 63: Ubicación de sensores, cable HDMI y el interruptor de POWER.....	78
Figura 64: Prototipo final.....	79

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Valores de pulso cardiaco, según edad.....	14
Tabla 2: Clasificación de los dispositivos Bluetooth	22
Tabla 3: Valores de pulso cardiaco, según la edad.	47
Tabla 4: Cálculo de la precisión del sensor de temperatura	73
Tabla 5: Cálculo de la precisión del pulsioxímetro	77
Tabla 6: Tabla de costos de los sensores	81
Tabla 7: Tabla de costos de los controladores.....	81
Tabla 8: Tabla del costo total del proyecto.....	81

INTRODUCCIÓN

Es este proyecto de tesis, se muestra el diseño y desarrollo de un prototipo monitor de signos vitales (temperatura corporal, pulso cardíaco y saturación de oxígeno en la sangre) con aplicación para dispositivos móviles, el cual puede ser utilizado en niños mayores de 10 años y adultos.

En el Capítulo I se describe la problemática de las personas que presentan algún padecimiento relacionado con la alteración de sus signos vitales. Además, este capítulo incluye la justificación del proyecto de tesis, la cual es sustentada con información de fuentes médicas que indican que tener monitoreado a estos pacientes proporciona información valiosa para los médicos, ya que pueden saber cómo se comportan los signos vitales del paciente fuera del consultorio u hospital.

En el Capítulo II se presenta el fundamento teórico, el cual trata principalmente a los signos vitales, su importancia para la salud de las personas y los instrumentos utilizados para medirlos; también se describen los principales dispositivos electrónicos que existen en el mercado y que son útiles para medir la evolución de los signos vitales.

En el Capítulo III se encuentra el diseño del prototipo. Este capítulo describe paso a paso el diseño del prototipo monitor de signos vitales. Primero se determinan los signos vitales que serán monitoreados y sus rangos de medición, luego se procede a explicar el funcionamiento del prototipo y a la selección y configuración de los dispositivos que formarán parte del sistema. Finalmente, se muestra el desarrollo de la aplicación móvil y de la interfaz del monitor.

En la capítulo IV se muestran las pruebas de funcionamiento y la puesta en marcha del prototipo final. Con la ayuda de instrumentos patrón, se determina el porcentaje de precesión de cada uno de los sensores del prototipo.

Luego se muestran los costos necesarios para implementar el prototipo monitor de signos vitales. A través de tablas, se presentan los costos de todos los dispositivos utilizados en la implementación del prototipo.

Finalmente, se presentan las conclusiones obtenidas luego de finalizar la implementación del prototipo monitor de signos vitales, así como una serie de recomendaciones para incluir mejoras en el sistema.

ASPECTOS DE LA INVESTIGACIÓN

CAPITULO I

1.1. Aspecto informativo

1.1.1. Título

Diseño e implementación de un prototipo de sistema de monitoreo de signos vitales con aplicación para dispositivos móviles.

1.1.2. Personal Investigador

1.1.2.1. Autor

Bach. Chunga Limo Luis Esteban.

1.1.2.2. Autor

Bach. Roa Martínez Larry Fernando.

1.1.2.3. Asesor

Ing. Romero Cortez Oscar Uchelly.

1.1.3. Área de Investigación

Ingeniería Electrónica – Biomédicas.

1.1.4. Lugar de ejecución

Laboratorio de Ingeniería Electrónica de la Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo – Lambayeque.

1.1.5. Duración

04 meses.

1.2. Aspecto de la investigación

1.2.1. Situación problemática

Actualmente, cuando a un paciente se le presenta algún padecimiento, este acude a la clínica más cercana y se le realizan los exámenes correspondientes; una vez obtenidos los resultados se le asigna algún tratamiento acorde a su padecimiento. Sin embargo, cuando el paciente es dado de alta, deja de ser monitoreado, por lo que no es posible registrar anomalías en su padecimiento o tratamiento, prescindiendo de información no registrada que podría ayudar al especialista a proveer un

tratamiento oportuno y personalizado. Es por eso que las instituciones de salud alrededor del mundo están aprovechando las tecnologías inalámbricas y dispositivos móviles como alternativas de comunicación para monitorear la salud de sus pacientes.

La existencia de una gran gama de sensores inteligentes que permiten la interconexión del cuerpo humano con dispositivos móviles (celulares, tablets, note books, etc.), y que, a su vez, estos mismos dispositivos se comuniquen con diferentes instancias para realizar un monitoreo a distancia por un especialista, revela un enorme potencial para las Tecnologías de la Información (TI) en el área de la salud. Es por ello que un monitor de signos vitales, eficiente y de bajo costo, beneficiaría a los pacientes que se encuentran fuera del hospital cuando necesiten registrar el valor de sus signos vitales durante el día.

1.2.2. Antecedentes

1) Diseño y elaboración de un prototipo de monitor de signos vitales aplicando métodos no invasivos con comunicación de datos a dispositivos móviles (2015).

a) Autor: Tintín Duran, Edison Ismael.

b) Institución: Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca - Ecuador.

c) Resumen: Este proyecto de tesis consiste en el diseño de un prototipo de monitor de signos vitales para medir la temperatura corporal, la frecuencia cardiaca y la presión arterial utilizando un microcontrolador de 32 bits y una aplicación móvil para el sistema operativo Android. Este trabajo muestra el diseño de las tarjetas para filtrar y acoplar las señales de los signos vitales hacia el microcontrolador. Luego, el microcontrolador envía esa información con los valores obtenidos hacia una aplicación móvil a través de un módulo bluetooth, en la cual se muestra un posible diagnóstico médico. Por último, se concluye que es factible desarrollar un sistema de monitoreo de signos vitales de bajo

costo y que sea fácil de usar por los pacientes o personas que deseen saber los cambios fisiológicos que ocurren en su cuerpo.

2) Monitor de ritmo cardiaco para dispositivos Android mediante un enlace Bluetooth (2016).

a) Autores: Velásquez Elizondo, Pedro Enrique y Villagrán Valencia, Luis Javier.

b) Universidad: Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México.

c) Resumen: El propósito principal de este proyecto de tesis es generar una herramienta con la cual se pueda brindar un mejor cuidado y tratamiento al corazón de cualquier persona con solo un sensor, un teléfono y una interfaz sencilla y económica. También se estudian las características de las señales eléctricas proporcionadas por el sensor de ritmo cardiaco, el diseño del circuito acondicionador para el sensor, así como la programación del microcontrolador y el diseño de la aplicación móvil. Con este trabajo queda demostrado que gracias a las tecnologías actuales se pueden generar herramientas sofisticadas y fáciles de usar para cualquier usuario, las cuales ayudan a la sociedad a ser más consiente en los temas de salud. Por lo tanto, el trabajo desarrollado en este proyecto puede ser usado por médicos, deportistas o cualquier persona que requiera del monitoreo de su ritmo cardiaco.

3) Diseño y construcción de un sistema de monitoreo de signos vitales (2013).

a) Autores: Olvera Téllez, Diana Janet y Gonzáles Escalona, José Uriel.

b) Universidad: Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México.

c) Resumen: En este proyecto tesis se plantea el diseño y construcción de un instrumento que sea capaz de medir signos vitales como la presión arterial, el ritmo cardiaco y la temperatura en un mismo aparato y en una sola medición. Este instrumento está diseñado para poder ser utilizado en un hospital, clínica o

centro de salud. Además, es un dispositivo portátil y de uso simple que no requiere de un amplio conocimiento en medicina para su uso. El diseño fue implementado usando herramientas tecnológicas que aseguren el buen funcionamiento del prototipo, como son: Proteus, donde se cuenta con librerías de simulación de lenguaje C++ usado en el PIC 18F4550, Orcad Pspice para simular la etapa de amplificación y filtrado del sensor MPX5050DP. Para la construcción del proyecto se utilizó la herramienta de diseño Altium Designer, la cual facilitó el diseño electrónico de PCB's. Finalmente, el prototipo es sometido a pruebas reales para verificar que los valores obtenidos son precisos y fiables para poder dar un diagnóstico médico.

1.2.3. Formulación del problema científico

¿Cómo diseñar e implementar un prototipo de un sistema de monitoreo de signos vitales con aplicación para dispositivos móviles?

1.2.4. Objetivos

1.2.4.1. Objetivo general

Diseñar e implementar un prototipo de un sistema de monitoreo de signos vitales con aplicación para dispositivos móviles.

1.2.4.2. Objetivos específicos

- 1) Conocer la importancia de la medición de signos vitales en la salud de las personas para poder determinar las variables que serán monitoreadas por el prototipo.
- 2) Recopilar información de fuentes médicas confiables para determinar los rangos de medición que son considerados bajos, normales o altos.
- 3) Seleccionar los dispositivos que cumplan las especificaciones técnicas mínimas y se adapten a las condiciones de diseño del prototipo.
- 4) Elaborar el algoritmo de que se encargará de monitorear en tiempo real el valor de los signos vitales.

- 5) Diseñar la aplicación móvil que mostrará los valores de los signos vitales.
- 6) Diseñar la interfaz del monitor que permitirá visualizar una gráfica con la evolución del pulso cardiaco en tiempo real.
- 7) Implementar el prototipo y realizar las pruebas necesarias para comprobar su buen funcionamiento y precisión.

1.2.5. Justificación e importancia de la investigación

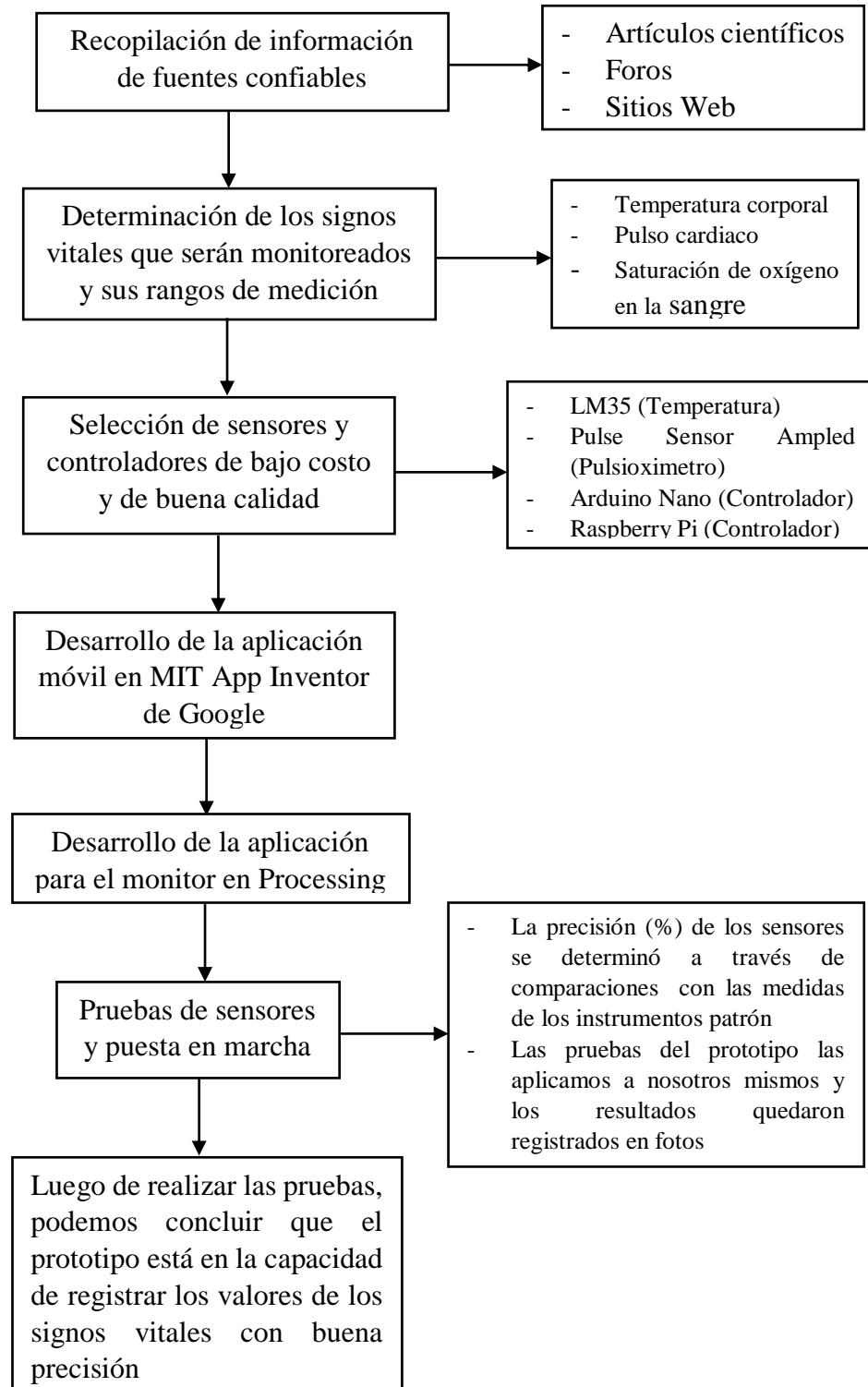
Los signos vitales son una herramienta muy valiosa cuando se necesita determinar el estado de salud de las personas. Es por eso que su interpretación adecuada y oportuna ayuda tanto a los profesionales de salud como al personal que brindan primeros auxilios a decidir conductas de manejo cuando se encuentran en una situación de emergencia. El poder tener monitoreado a estos pacientes, proporciona información de calidad para los médicos, ya que pueden saber cómo se comportan y evolucionan los signos vitales del paciente fuera del hospital. Al tener acceso a estos datos, se obtiene información que permite brindar al paciente un tratamiento adecuado y personalizado. Por lo tanto, el prototipo monitor de signos vitales con aplicación para dispositivos móviles que se pretende desarrollar en este trabajo, será útil en pacientes que necesiten estar en constante chequeo médico para observar cómo evoluciona su padecimiento.

1.2.6. Hipótesis

Con el diseño e implementación de un prototipo de un sistema de monitoreo de signos vitales con aplicación para dispositivos móviles, las personas en buen estado de salud o con algún padecimiento podrán registrar el comportamiento y evolución de sus signos vitales en tiempo real a través de una Smartphone Android y de un monitor con interfaz HDMI.

1.2.7. Diseño y contrastación de la hipótesis

En el siguiente esquema, se resumen los pasos que hemos seguido durante el proceso de elaboración de este proyecto para poder comprobar nuestra hipótesis.



MARCO TEÓRICO

CAPITULO II

2.1. Los signos vitales

Los signos vitales reflejan el estado fisiológico del cuerpo y las alteraciones de las funciones normales del organismo, en este sentido, las mediciones se deben realizar de manera confiable para poder determinar el estado de salud de la persona.

La importancia de la medición de los signos vitales radica en que expresan de manera inmediata los cambios funcionales que suceden en el organismo, cambios que de otra manera no podrían ser cualificados ni cuantificados.

2.1.1. Temperatura corporal

Magnitud física que puede ser determinada por un termómetro y que caracteriza, de manera objetiva, el grado de calor corporal. La temperatura es una magnitud referida a las nociones comunes de caliente, tibio y frío. (Giménez Font, 2014)

El dispositivo tradicional para medir la temperatura corporal es el termómetro. Existen varios tipos de termómetros, aunque el más utilizado es el de mercurio. Se trata de un cilindro de cristal hueco con un depósito lleno de mercurio y una escala graduada que va desde los 35 hasta los 42 °C. En un termómetro de mercurio se distinguen dos partes: el tallo, que comprende la zona de la escala graduada y el bulbo, que es donde se aloja el mercurio. Existen dos tipos de termómetros de mercurio: el buco axilar y el rectal. La única diferencia entre ambos es la forma del bulbo, que en el rectal es más redondeado y corto. (Giménez Font, 2014)



Figura 1: Termómetro de mercurio.

La temperatura corporal puede ser medida en las siguientes partes del cuerpo (Medical Disclaimer, 2018):

- **Boca:** Antes de introducir el termómetro en la boca, se debe comprobar que el paciente no haya fumado o ingerido líquidos fríos o calientes. Luego el enfermo debe abrir la boca para colocar el bulbo del termómetro bajo su lengua. Finalmente, se retira el termómetro cuando hayan pasado unos 3 o 5 minutos. La temperatura se toma en la boca utilizando el termómetro clásico o los termómetros digitales más modernos que usan una sonda electrónica para medir la temperatura.
- **Axila / ingle:** Antes de colocar el termómetro en la axila, se debe comprobar que este seca y que no haya sido friccionada. Si estuviese húmeda, debe secarse mediante toques. Si acaba de ser friccionada, se debe esperar 15 minutos. Luego, se debe colocar el termómetro de tal modo que el bulbo quede en el centro de la axila. Finalmente, se retira el termómetro cuando hayan pasado unos 5 o 7 minutos. La temperatura se toma debajo del brazo utilizando un termómetro de vidrio o digital. Las temperaturas que se toman en esta zona suelen ser de 0,3 a 0,4°F más bajas que las que se toman en la boca.
- **Recto:** Antes de introducir el termómetro en el recto, se debe colocar un poco de lubricante en una gasa y pasarlo por el extremo del bulbo (cubriendo unos 3.5 cm en el adulto y unos 1.5 o 2.5 cm en los niños). Luego se le pide al paciente que realice una inspiración profunda (se relaja el esfínter) para poder introducir el termómetro lentamente. La longitud por introducir dependerá de la edad y la constitución del individuo: 1.5 cm en los bebés, 2.5 cm en los niños y 3.5 cm en los adultos.

La temperatura corporal normal cambia según la persona, la edad, las actividades y el momento del día. La temperatura corporal normal promedio aceptada es generalmente de 98.6°F (37°C). Algunos estudios han mostrado que la temperatura corporal "normal" puede tener un amplio rango que va desde los 97°F (36.1°C) hasta los 99°F (37.2°C). Sin embargo, una temperatura de más de 100.4°F (38°C) casi siempre indica

fiebre a causa de una infección o enfermedad. (MedlinePlus, Temperatura corporal normal, 2019)

Después de haber descrito los valores considerados normales y los diferentes puntos en los que puede ser medida la temperatura del individuo, es importante señalar que existen condiciones que pueden influir en la variación de temperatura sin que esta sea considerada como una patología, entre las que se encuentran (Medical Disclaimer, 2018):

- **Actividad física:** Eleva la temperatura corporal ya que el músculo activo libera más calor, por ello, el temblor (o tiritón) es una forma particular de actividad física que pone en movimiento ciertos músculos para estimular el metabolismo y de ese modo calentar el cuerpo.
- **Ambiente:** La temperatura corporal presenta variaciones entre el día y la noche, las cuales no van más allá de 0,25°C.
- **Ovulación:** Como consecuencia de la ovulación, el ovario fabrica una hormona llamada progesterona, que actúa en el centro de control térmico del cerebro y provoca una suba de 0,5 ° C en la temperatura corporal. Cuando se detecta esta variación se puede inferir la presencia de progesterona, o sea de ovulación.
- **Condiciones de vida:** Si el individuo habita en zonas donde recibe altas concentraciones de calor como en el caso de personas de bajos recursos, su temperatura corporal aumentará sin que esta represente motivos de riesgo para el mismo aparentemente.

2.1.2. Frecuencia cardiaca

La frecuencia cardiaca es una medida del número de veces que el corazón se contrae en un minuto, y es importante conocer su comportamiento por su utilidad práctica como un índice de intensidad para dosificar el ejercicio físico e incentivar el cuidado de la salud. (MedlinePlus, El pulso cardiaco, 2019)

Tanto las personas sedentarias como los deportistas deben conocer su frecuencia cardíaca para realizar un ejercicio físico o plan de entrenamiento de manera controlada, preservando con ello su integridad física y optimizando sus esfuerzos. (MedlinePlus, El pulso cardíaco, 2019)

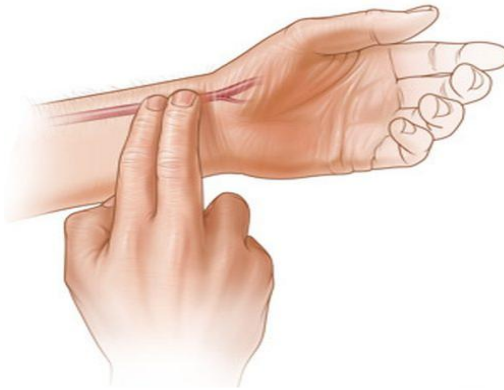


Figura 2: Medida del pulso cardíaco.

La frecuencia cardíaca en reposo depende de los hábitos de vida y está influenciada por el entrenamiento, la recuperación de ejercicios del día anterior, el sueño, el nivel de stress mental y los hábitos alimenticios. (Gama Laudir, s.f.)

La frecuencia cardíaca presenta las siguientes características (Gama Laudir, s.f.):

- **Ritmo:** Tiempo que transcurre entre una pulsación y la otra (regular o irregular).
- **Volumen:** Fuerza con la que se produce las contracciones.
- **Elasticidad:** Capacidad de distensión de la pared arterial a la llegada de la sangre.
- **Gasto cardíaco:** Volumen de sangre impulsada en cada contracción de cada ventrículo por minuto.
- **Simetría:** Propiedades de las mismas características de la arteria contra lateral (simétrico o asimétrico).

Por regla general, la frecuencia normal en reposo oscila entre 50 y 100 latidos por minuto. Sin embargo, existen algunos aspectos que alteran su estado (MedlinePlus, El pulso cardiaco, 2019):

- Cuando nacemos tenemos una frecuencia cardíaca elevada porque la actividad del organismo es muy intensa. A partir del primer mes de vida, va disminuyendo hasta llegar a la edad adulta, manteniéndose estable después de los 20 años.
- Varía a lo largo del día y la noche en respuesta a diversos estímulos, por lo que su medición tiene gran variabilidad.
- Al realizar ejercicio físico, el corazón produce una respuesta normal que es la taquicardia (la frecuencia cardíaca en reposo está por encima de 100 latidos por minuto).
- También puede producirse bradicardia (la frecuencia cardíaca está por debajo de 50 latidos por minuto).

Ahora bien, para mantener una frecuencia cardiaca normal es importante (Gama Laudir, s.f.):

- Practicar ejercicio físico de forma regular. Se estima que con cada una o dos semanas de entrenamiento aeróbico podríamos conseguir una reducción en la frecuencia cardiaca en reposo de un latido por minuto.
- Existen fármacos que son capaces de reducir la frecuencia cardiaca. Algunos de ellos también se utilizan para el tratamiento de la cardiopatía isquémica (infarto o angina de pecho) o la insuficiencia cardiaca.

En la Tabla 1 se muestran los valores normales para la frecuencia cardíaca en reposo. (MedlinePlus, El pulso cardiaco, 2019)

Tabla 1: Valores de pulso cardiaco, según edad.

EDAD	LATIDOS POR MINUTO
Recién nacidos (0 - 3 meses de edad)	100 a 150 latidos por minuto
Bebés (3 - 6 meses de edad)	90 a 120 latidos por minuto
Bebés (6 - 12 meses de edad)	80 a 120 latidos por minuto
Niños de 1 - 10 años	70 a 120 latidos por minuto
Niños de más de 10 años y adultos	60 a 100 latidos por minuto
Atletas bien entrenados	40 a 60 latidos por minuto

La frecuencia cardiaca en reposo consistentemente alta (taquicardia) puede ser indicio de un problema y se debe consultar al médico. También se debe consultar con el médico si dicha frecuencia cardiaca en reposo está por debajo de los valores normales (bradicardia) (Esmandía, 2018):

a) Bradicardia

Se define como un ritmo cardiaco lento o irregular, normalmente de menos de 60 latidos por minuto. A esta frecuencia, el corazón no puede bombear suficiente sangre con altos niveles de oxígeno al cuerpo durante la actividad normal o el ejercicio. (Gama Laudir, s.f.)

Las causas comunes de la bradicardia incluyen (MedlinePlus, El pulso cardiaco, 2019):

- Un defecto cardiaco hereditario.
- Ciertas enfermedades o medicaciones cardiacas.
- El proceso de envejecimiento natural.
- Tejido cicatrizante de un tejido cardiaco.
- Enfermedad del nodo sinusal.
- El marcapasos natural del corazón no está funcionando correctamente.
- Bloqueos cardiacos.

Los síntomas incluyen mareos, síncope, cansancio extremo y falta de aire. (Gama Laudir, s.f.)

El riesgo de desarrollar una frecuencia cardíaca anormalmente lenta (bradicardia) es mayor si (MedlinePlus, El pulso cardíaco, 2019):

- La persona tiene ciertos tipos de enfermedad cardíaca.
- Está tomando ciertas medicinas.
- Tiene 65 años o más.
- Se le ha practicado cirugía cardíaca recientemente.

Solo un médico puede decir si una persona tiene bradicardia y hasta qué punto ha avanzado la afección. Para descartar o confirmar el diagnóstico de bradicardia, se puede pedir una o varias de estas pruebas diagnósticas en función del problema de ritmo cardíaco del cual se sospecha (MedlinePlus, El pulso cardíaco, 2019):

- Electrocardiograma (ECG).
- ECG de esfuerzo o prueba de esfuerzo.
- Monitor Holter (ECG de 24 a 72 horas).
- Prueba de mesa basculante.
- Estudio electrofisiológico.

b) Taquicardia

Si una persona padece de taquicardia, su corazón puede latir hasta 400 veces por minuto. Esto puede provocar mareos o un temblor en el pecho. La taquicardia es un ritmo cardíaco rápido o irregular, normalmente de más de 100 latidos por minuto y hasta 400 latidos por minuto. Con un ritmo tan elevado, el corazón no puede bombear eficazmente sangre con altos niveles de oxígeno al cuerpo. La taquicardia puede ocurrir en las cámaras del corazón superiores (taquicardia auricular) o inferiores (taquicardia ventricular). (Gama Laudir, s.f.)

Entre las causas de la taquicardia se incluyen (MedlinePlus, El pulso cardiaco, 2019):

- Afecciones relacionadas con el corazón, como tensión arterial alta (hipertensión).
- Riego sanguíneo deficiente al músculo cardiaco debido a una arteriopatía coronaria (ateroesclerosis), enfermedad coronaria, insuficiencia cardiaca, enfermedad del músculo cardiaco (cardiomiopatía), tumores o infecciones.
- Otras afecciones médicas como la enfermedad tiroidea, ciertas enfermedades pulmonares, desequilibrio electrolítico y abuso de alcohol o drogas.
- Esfuerzo emocional o ingestión de grandes cantidades de bebidas alcohólicas o con cafeína.

Entre los síntomas de taquicardia se incluyen las dificultades respiratorias, debilidad súbita, temblor en el pecho y vértigo o síncope. (Gama Laudir, s.f.)

Ciertas afecciones pueden aumentar el riesgo de desarrollar taquicardia (MedlinePlus, El pulso cardiaco, 2019):

- Insuficiencia cardiaca (bombeo del corazón deficiente).
- Ataque cardiaco (infarto de miocardio).
- Defectos cardiacos congénitos (afección de nacimiento).
- Afecciones cardiacas inflamatorias o degenerativas.
- Enfermedad pulmonar crónica.

La taquicardia no es un problema aislado. En su diagnóstico, todo es importante: el interrogatorio al paciente, su examen físico, los análisis rutinarios, las pruebas de esfuerzo y especialmente la secuencia de electrocardiogramas. (MedlinePlus, El pulso cardiaco, 2019)

2.1.3. Saturación de oxígeno

La saturación de oxígeno es la medida de la cantidad de oxígeno disponible en sangre. La saturación de oxígeno en la sangre saludable y normal es de entre un 95% y un 100%, se mide en porcentaje ya que representa lo lleno que va el eritrocito de oxígeno. (Preciado Hortigón, 2018)

Su medición se puede realizar con un aparato llamado pulsioxímetro. Se trata de un dispositivo que se sujeta en el dedo o la oreja y mediante luz infrarroja que atraviesa la piel del paciente, lee pequeños cambios en el color de la sangre, lo que a su vez proporciona una estimación inmediata de la saturación de oxígeno en la sangre. Se debe prestar atención a los problemas de circulación periférica, puesto que un pulso deficiente da valores bajos de la saturación. En esta prueba no se usa una aguja ni se necesita una muestra de sangre. (Preciado Hortigón, 2018)



Figura 3: Medida de la saturación de oxígeno.

Para una lectura más precisa de la saturación de oxígeno, se realiza una gasometría. Esta prueba puede ser un poco más dolorosa que otros análisis de sangre (ya que se extrae de una arteria y no de una vena) pero la prueba es rápida y generalmente bien tolerada y con un riesgo mínimo para el paciente. Los resultados de una gasometría están disponibles en cuestión de minutos. Esta prueba, mide la cantidad de oxígeno y dióxido de carbono en la sangre. Cuando una persona respira, sus pulmones inhalan oxígeno y exhalan dióxido de carbono. El desequilibrio entre los niveles de oxígeno y dióxido de carbono en la sangre puede ser un signo de que los pulmones no están funcionando bien. La prueba también analiza el equilibrio de

ácidos y bases, conocido como equilibrio del pH, en la sangre. Un nivel demasiado alto o bajo de acidez en la sangre puede indicar que hay un problema con los pulmones o los riñones. (Preciado Hortigón, 2018)

Se considera que el porcentaje adecuado y saludable de oxígeno en la sangre es de entre el 90% y el 100%. Cuando la saturación se encuentra por debajo del 90% se produce hipoxemia, es decir, el nivel por debajo de lo normal de oxígeno en sangre y cuyo síntoma es la dificultad para respirar. Cuando se da un porcentaje inferior a 80 se considera hipoxemia severa. (Pérez, s.f.)

La medición de la saturación de oxígeno en la sangre debe realizarse en caso de (MedlinePlus, Nivel de oxígeno en la sangre, 2018):

- Tener dificultad para respirar.
- Tener períodos frecuentes de náuseas o vómitos.
- Estar recibiendo tratamiento por una enfermedad pulmonar como asma, enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) o fibrosis quística. La prueba puede averiguar si el tratamiento está dando resultado.
- Lesión de la cabeza o el cuello, ya que esto puede afectar la respiración.
- Tener una sobredosis de drogas.
- Estar recibiendo terapia con oxígeno mientras está en el hospital. La prueba puede servir para asegurar que reciba la cantidad de oxígeno correcta.
- Envenenamiento con monóxido de carbono.
- Lesión por inhalación de humo.

Si los resultados de nivel de oxígeno en la sangre no son normales, eso puede significar que (MedlinePlus, Nivel de oxígeno en la sangre, 2018):

- No se está recibiendo suficiente oxígeno.
- No se está eliminando suficiente dióxido de carbono.
- Existe un desequilibrio ácido-base.

Todos los anteriores pueden ser signos de una enfermedad de pulmón o riñón. La prueba no puede diagnosticar enfermedades específicas, pero si sus resultados no son normales, el médico o profesional de la salud pedirá más pruebas para confirmar o descartar el diagnóstico. (MedlinePlus, Nivel de oxígeno en la sangre, 2018)

2.2. Tecnologías de comunicación inalámbricas

El gran desarrollo de las tecnologías inalámbricas rompió la barrera de los gigabits por segundo (Gbps) con la norma IEEE 801.11ac, la cual hace a un lado una de las principales desventajas de este medio de comunicación (la velocidad de los datos). Este estándar opera en la banda de los 5 GHz con un ancho de banda de canal de 160 MHz. El ancho de banda es el rango de frecuencias en el que se concentra la mayor parte de la potencia de la señal. A pesar de los avances obtenidos con 801.11ac, su banda de frecuencias constituye un recurso limitado pues su espectro es utilizado por otras aplicaciones como los sistemas de radares del gobierno de los Estados Unidos y los climatológicos. El crecimiento en el uso de servicios en tiempo real como telefonía, música, video y una amplia gama de juegos en internet, así como la transmisión de video de alta resolución sin compresión en los hogares, han incrementado exponencialmente el número de usuarios. (Leyva Bravo, 2016)

La operación sin licencia que ofrecen las bandas de 2,4 y 5 GHz significa que los dispositivos no deben causar interferencia perjudicial a otros usuarios y que deben aceptar cualquier interferencia recibida. Su liberación, unido al gran ancho de banda y sus características principales, hacen que sea ideal para comunicaciones inalámbricas a velocidades ultra rápidas, lo que promete ser un gran aporte al desarrollo de los futuros sistemas de comunicaciones inalámbricos de alta velocidad, denominados de quinta generación (5G). (Leyva Bravo, 2016)

Ya en el mercado se encuentran disponibles dispositivos que operan en esta banda de frecuencia. Desde hace varios años comenzó el proceso de estandarización por parte de organizaciones internacionales para establecer el empleo de estas bandas. Entre los que se destacan especificaciones para las redes de acceso inalámbricas: Redes Inalámbricas de Área Personal (WPAN, del inglés Wireless Personal Area Network) y las Redes Inalámbricas de Área Local (WLAN, del inglés Wireless Local Area Network). (Leyva Bravo, 2016)

2.2.1. Bluetooth

Bluetooth es un estándar desarrollado para la comunicación inalámbrica de datos de corto alcance. Entre sus principales características pueden nombrarse su robustez, baja complejidad, bajo consumo y bajo costo. Esta tecnología opera en la banda de 2,4 GHz y tiene la capacidad de atravesar paredes y maletines, por lo cual es ideal tanto para el trabajo móvil, como el trabajo en oficinas. (Mamani, s.f.)



Figura 4: Tecnología Bluetooth.

La clasificación de los dispositivos Bluetooth como "Clase 01", "Clase 02" o "Clase 03" es únicamente una referencia de la potencia de transmisión del dispositivo, siendo totalmente compatibles los dispositivos de una clase con los de la otra. En la siguiente tabla se muestra los rangos de cada clase. (Mamani, s.f.)

Tabla 2: Clasificación de los dispositivos Bluetooth.

Clase	Potencia máx.	Rango
Clase 01	20 dBm	~100 metros
Clase 02	4 dBm	~20 metros
Clase 03	0 dBm	~1 metro

Cabe mencionar que, en la mayoría de los casos, la cobertura efectiva de un dispositivo de clase 2 se extiende cuando se conecta a uno de clase 1. Esto es así gracias a la mayor sensibilidad y potencia de transmisión del dispositivo de clase 1. Es decir, la mayor potencia de transmisión del dispositivo de clase 1 permite que la señal llegue con energía suficiente hasta el de clase 2. Por otra parte, la mayor sensibilidad del dispositivo de clase 1 permite recibir la señal del otro pese a ser más débil. (Mamani, s.f.)

La tecnología Bluetooth ha evolucionado a lo largo de los años, aumentando las tasas de transferencia de datos, el rango de alcance, mejorando la gestión de la energía y, por supuesto, aumentando la compatibilidad entre dispositivos. Por ello se va a repasar brevemente la evolución del sistema hasta llegar al Bluetooth 5. (Martínez, 2016)

- **Bluetooth 1.x:** En 1994, Ericsson inició un estudio para investigar la viabilidad de una nueva interfaz de bajo costo y consumo para la interconexión vía radio (eliminando así cables) entre dispositivos como teléfonos móviles y otros accesorios. El estudio partía de un largo proyecto que investigaba unos multicomunicadores conectados a una red celular, hasta que se llegó a un enlace de radio de corto alcance, llamado MC link. Conforme este proyecto avanzaba se fue haciendo claro que este tipo de enlace podía ser utilizado ampliamente en un gran número de aplicaciones, ya que tenía como principal virtud que se basaba en un chip de radio. A diferencia de la 1.1, la versión 1.2 provee una solución inalámbrica complementaria para coexistir Bluetooth y Wi-Fi en el espectro de los 2,4 GHz, sin interferencia entre ellos. La versión 1.2 usa la técnica "Adaptive Frequency Hopping (AFH)", que ejecuta una transmisión más eficiente y un cifrado más

seguro. Para mejorar las experiencias de los usuarios, la V1.2 ofrece una calidad de voz (Voice Quality - Enhanced Voice Processing) con menor ruido ambiental, y provee una más rápida configuración de la comunicación con los otros dispositivos bluetooth dentro del rango del alcance, como pueden ser PDAs, HIDs (Human Interface Devices), computadoras portátiles, computadoras de escritorio, impresoras y teléfonos móviles.

- **Bluetooth 2.x:** La variante más popular, especialmente en su versión 2.1. Esta revisión consiguió que fuera más fácil emparejar diferentes dispositivos (incluso de diferentes fabricantes) y también aumentó la fiabilidad durante el proceso de emparejamiento. Por supuesto, esta versión también introdujo una evidente mejora de velocidad.
- **Bluetooth 3.x:** Esta revisión de la tecnología introdujo la característica de alta velocidad que permitía tasas de transferencia de hasta 24 Mbps. Para conseguirlo se empezó a trabajar en la combinación del Bluetooth con Wi-Fi, mediante el protocolo 802.11 PAL. Gracias a ello se potenció el intercambio de archivos multimedia de mayor tamaño.
- **Bluetooth 4.x:** La versión previa a la que hoy recibimos cuenta soporte para la recogida de datos de los dispositivos que generan datos a una velocidad muy baja. De esta manera la cuarta versión de Bluetooth garantiza un mayor nivel de compatibilidad con dispositivos antiguos. Como decíamos con anterioridad, también incluye un protocolo de bajo consumo de energía para alargar la vida de la batería de los dispositivos en los que está presente.
- **Bluetooth 5.x:** Deja atrás los dispositivos móviles para centrarse en el Internet de las Cosas gracias al paso de los 24 Mbps a los 50 Mbps y a su un menor consumo de energía. Por supuesto, el mayor alcance de la señal también potencia su uso en la domótica del hogar.

Bluetooth brinda una conexión punto a punto o punto a multipunto. Como elementos a destacar tenemos un maestro que puede tener hasta siete esclavos activos, además puede haber muchos más esclavos en estado parked o aparcados (en realidad un número ilimitado de ellos). Estos

esclavos no están activos en el canal, sin embargo, están sincronizados con el maestro con el fin de asegurar una rápida iniciación de comunicación. El maestro (Master) es el responsable de la sincronización entre los dispositivos, su reloj y saltos de frecuencia que controlan al resto de dispositivos. Además, el maestro es quien lleva a cabo el procedimiento de búsqueda y establecimiento de la conexión. Los esclavos simplemente se sincronizan y siguen la secuencia de saltos determinada por el maestro. (ADSLZone, s.f.)

Existen dos tipos de enlaces físicos entre maestros y esclavos (ADSLZone, s.f.):

- **Enlace SCO (Synchronous Connection-Oriented):** El enlace SCO es una conexión simétrica punto a punto con un ancho de banda fijo entre el maestro y un esclavo específico. Para lograr la comunicación, el enlace SCO reserva slots en intervalos regulares en la iniciación, por esto el enlace puede ser considerado como una conexión de conmutación de circuitos. En este tipo de enlace no es necesario asegurar la entrega y suele ser utilizado para comunicaciones de voz.
- **Enlace ACL (Asynchronous Connection-Less):** El enlace ACL es una conexión simétrica o asimétrica punto a multipunto entre el maestro y uno o más esclavos activos sin reserva de ancho de banda. Este enlace de comunicación es un tipo de conexión de conmutación de paquetes. Aquí, a diferencia del anterior, se necesita asegurar la entrega de datos y es utilizado para transferencia de datos sin requerimientos temporales.

La modulación que emplea bluetooth es GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying) con un producto ancho de banda por tiempo $BT=0.5$ y el índice de modulación debe estar entre un 0.28 y 0.35. Un uno binario se representa por una desviación positiva de frecuencia y un cero binario como una desviación negativa. (Martínez, 2016)

Para establecer nuevas conexiones se utilizan los procedimientos de acceso que son los de búsqueda o paging y los de pregunta o inquiry. Si no se conoce nada sobre el dispositivo remoto debe seguirse tanto el procedimiento inquiry como el de paging. Si se conocen algunos detalles del dispositivo remoto sólo será necesario el procedimiento de paging. (Martínez, 2016)

- **Pregunta (Inquiry):** El procedimiento de “inquiry” permite a un dispositivo descubrir qué dispositivos están en su zona de cobertura, determinando sus direcciones y el reloj de todos aquellos que respondan al mensaje de búsqueda. Entonces, si el dispositivo emisor lo desea, establecerá una conexión con alguno de los dispositivos descubiertos. El mensaje de búsqueda no contiene ningún tipo de información sobre la fuente emisora del mensaje, no obstante, puede indicar qué clase de dispositivos deberían responder. Para poder conseguir esto existe un código de acceso de pregunta (GIAC) para preguntar por algún tipo de dispositivo en especial, y una serie de códigos de acceso de pregunta dedicados (DIAC) para tipos de dispositivos. Así pues, un dispositivo que quiera conectar con otro dispositivo en concreto continuamente transmite el mensaje GIAC en diferentes frecuencias de salto. La secuencia de saltos está determinada en la parte menos significativa de la dirección del GIAC, incluso cuando se utilizan los DIAC. Un dispositivo que quiera ser descubierto, cada cierto tiempo entrará en un estado de escáner de preguntas llamado “inquiry scan” para atender a estos mensajes. Una vez atendida la pregunta, el dispositivo destino, entrará en el modo “inquiry response” y transmite un mensaje de respuesta que consiste en un paquete FHS (Frequency Hop Synchronization), que tiene los parámetros del dispositivo. El maestro escucha las diferentes respuestas, pero nada más leer una respuesta continúa escaneando por diferentes respuestas. En el caso de que exista contienda entre diferentes dispositivos, éstos, al no recibir respuesta del maestro, esperan un número aleatorio de slots y se mantienen a la escucha de un nuevo mensaje de pregunta del maestro.

- **Búsqueda (Paging):** El procedimiento de “paging” sigue al de “inquiry”. El procedimiento de paging pregunta por la dirección de un dispositivo Bluetooth con el que se quiere establecer la conexión. Este identificador del dispositivo se obtenido de las siguientes tres formas: Obtenida en la respuesta de un “inquiry”, introducida por el usuario o pre programada por el fabricante del dispositivo. Entonces el dispositivo maestro, que se encuentra en el estado page, inicia la transmisión del código de acceso o DAC (Device Access Code) al dispositivo que desea que sea esclavo de forma repetida en diferentes canales de salto. Debido a que los relojes del maestro y del esclavo no están sincronizados, el maestro no sabe exactamente cuándo y en qué frecuencia de salto se activará el esclavo por lo tanto maestro se quedará a la escucha entre los diversos intervalos de transmisión hasta recibir respuesta del esclavo. Después de haber recibido su propio código de acceso de dispositivo, el esclavo transmite un mensaje de respuesta, simplemente indicará su código de acceso, y se queda activado en espera de la llegada del paquete FHS (Frequency Hop Synchronization), Cuando el maestro ha recibido este paquete ACK, envía un paquete de control con información acerca de su reloj, dirección, clase de dispositivo, etc. El maestro se queda a la espera de una respuesta. El esclavo se activa y responde con un nuevo mensaje ACK donde envía de nuevo su dirección y a la vez cambia el código de acceso del canal y su reloj, tomando los del maestro incluido en el paquete FHS. El esclavo establece la conexión usando para ello el reloj y la BD_ADDR del maestro para determinar la secuencia de salto del canal y el código de acceso. Si el maestro no obtiene esta respuesta en un determinado tiempo, él reenvía el paquete de control. Si el esclavo excede el tiempo de espera, entonces vuelve al estado de page scan. Si es el maestro quien lo excede, entonces vuelve al estado de page e informa a las capas superiores. Con el ACK, el maestro entra en modo de conexión establecida y usa su BD_ADDR para cambiar a una nueva secuencia.

2.2.2. WiFi

Una red Wi-Fi es una red de comunicaciones de datos y, por lo tanto, permite conectar servidores, PC, impresoras, etc., con la particularidad de alcanzarlo sin necesidad de cableado. (Leyva Bravo, 2016)

Vale decir que el acrónimo Wi-Fi se utiliza para identificar los productos que incorporan cualquier variante de la tecnología sin hilos de los estándares IEEE 802.11, que permiten la creación de redes de área local sin hilos conocidas como WLAN, y que son plenamente compatibles con los de cualquier otro fabricante que utilice estos estándares. (Leyva Bravo, 2016)



Figura 5: Tecnología Wi-Fi.

Las características generales de funcionamiento de una red Wi-Fi son las mismas que las de una red con cableado. La particularidad es que el Wi-Fi utiliza el aire como medio de transmisión. (Leyva Bravo, 2016)

En un principio, las redes sin hilos fueron concebidas para la creación de redes de área local de empresa. Con el tiempo, sin embargo, su uso ha evolucionado hacia redes de área extendida, principalmente en núcleos urbanos. Eso es debido al hecho de que la arquitectura, a pesar de ser sencilla, es muy fácilmente escalable. (Camargo Pacheco, 2015)

Los elementos que forman una red Wi-Fi son los siguientes (Camargo Pacheco, 2015):

- **Punto de acceso (AP):** Es el dispositivo que gestiona la información transmitida y la hace llegar a destino. Asimismo, proporciona la unión entre la red Wi-Fi y la red fija.
- **Antena:** Las antenas son los elementos que envían al aire señales en forma de ondas electromagnéticas que contienen la información dirigida en el dispositivo de destino; y a la vez, captan del aire las señales de las cuales se extraerá la información que llega de otro dispositivo. Cada tipo de antena tiene unas propiedades geométricas que hacen que dirija la energía electromagnética en unas ciertas direcciones del espacio. Las antenas omnidireccionales emiten en todas direcciones mientras que las antenas sectoriales u otros de más direccionales todavía, como las antenas parabólicas reducen progresivamente el sector angular hacia el cual emiten. Concentrando la energía enviada (o captada), se pueden obtener comunicaciones entre antenas además distancia. Una antena omnidireccional, en cambio, ofrece una superficie de cobertura más extendida. Determinar el tipo y número de antenas que hay que utilizar para dar cobertura a un área es una tarea que hace falta llevar a cabo para cada situación concreta en la definición del proyecto, en función de la morfología de los territorios y de las ciudades y de la frecuencia de la señal para emitir.
- **Dispositivo externo Wi-Fi:** La tarjeta Wi-Fi es una tarjeta de red de área local (CHAL) que cumple la certificación Wi-Fi y permite por lo tanto la conexión de un terminal de usuario en una red 802.11. Hay tarjetas diferentes para cada sub estándar (a, b o g), pero también hay mixtas. Estos dispositivos externos pueden conectarse a ranuras PCI o PCMCIA o en puertos USB. Las principales diferencias entre este tipo de tarjetas y una tarjeta Ethernet convencional son el cifrado de datos, el identificador de red Wi-Fi (ESSID), el canal y el ajuste de velocidad.

- **Antena de usuario y conector pigtail:** La antena de usuario proporciona la cobertura necesaria a un usuario para el acceso a la red Wi-Fi. El conector pigtail es un tipo de cable que conecta y adapta la tarjeta Wi-Fi y la antena del usuario. Hay que decir que el pigtail no es un elemento estándar, depende del fabricante de la tarjeta. En ciertos casos la tarjeta Wi-Fi trae integrada la antena de usuario, como es el caso de las tarjetas para portátiles, PDA, etc. Si es así, entonces no es necesaria otra antena externa.

En las redes Wi-Fi podemos encontrar dos tipos de topologías (Camargo Pacheco, 2015):

- **Redes sin infraestructura:** Las redes Wi-Fi sin infraestructura no necesitan un sistema fijo que interconecte algunos elementos de la arquitectura. Son redes que no han tenido un importante éxito comercial. Los ejemplos más habituales que podemos encontrar son las redes AD HOC y las redes MESH. Las primeras consisten en un grupo de terminales que se comunican cada uno directamente con los otros a través de las señales de radio sin utilizar ninguno punto de acceso. Los terminales de esta red Wi-Fi que quieran comunicarse entre sí tienen que utilizar el mismo canal radio y configurar un identificador específico de Wi-Fi (nombrado ESSI) en modo AD HOC. Las configuraciones AD HOC son comunicaciones de tipo punto a punto. Un ejemplo de red ad hoc sería la comunicación directa entre dos ordenadores mediante señales de radio. En cambio, las redes tipos MESH utilizan puntos de acceso que trabajan con diferentes canales de frecuencia. Por una parte, ofrecen cobertura a los terminales portátiles, y para la otra, se comunican entre sí formando una red pescada o trillada que les permite cubrir grandes superficies sin necesidad de un cableado previo.
- **Red en modo infraestructura:** Una red en modo infraestructura trabaja utilizando puntos de acceso. Presenta una eficiencia superior a la red AD HOC, ya que este modo gestiona y transporta cada paquete de información en su destino, mejorando la velocidad del conjunto. En

este modo de funcionamiento, la tarjeta de red se configura automáticamente para utilizar el mismo canal radio que utiliza el punto de acceso más próximo de la red. En una red en modo infraestructura, los puntos de acceso pueden trabajar como interconexión entre dos redes. En esta topología se encontrarían dos posibilidades: la primera consiste a que el punto de acceso actúe como interconexión entre la red Wi-Fi y otra red sobre cables, como una red de área local, un acceso ADSL, etc. El segundo escenario consiste que el punto de acceso actúe como interconexión entre dos puntos de acceso que dan acceso Wi-Fi a usuarios ubicados en zonas diferentes.

La creación de los estándares que han dado lugar al Wi-Fi es una tarea llevada a cabo por el International Electrical and Electronic Engineers (Asociación Internacional de Ingenieros Electrónicos y de Telecomunicaciones), conocido por las siglas IEEE. Este organismo es una asociación profesional que se encarga de la publicación de artículos, realización de conferencias y redacción de estándares, como el muy popular Ethernet. (Leyva Bravo, 2016)

El IEEE dispone de una extensa familia de estándares correspondientes a las redes de área local, la 802. Dentro de esta familia se encuentran iniciativas bien diferentes, separadas esencialmente por el alcance que se pretende obtener. Así, la subfamilia 802.15.4, más conocida como ZigBee, está dedicada a la estandarización de protocolos orientados a redes de sensores, donde el bajo consumo y la alta variabilidad de la topología son fundamentales. El Bluetooth (802.15.1), por contra, está orientado en las redes personales, donde los diferentes accesorios que un individuo puede llevar encima o en su entorno inmediato (pocos metros) se han de interconectar. Algunos ejemplos son el teléfono móvil con el equipo de sonido del coche, o el móvil con el micrófono sin hilos. Por otra parte, el 802.16, más conocido como WiMAX, busca dar un alcance de hasta el vigésimo de kilómetros, con capacidades de centenares de Mbps. (Leyva Bravo, 2016)

Para el caso concreto de las redes sin hilos de alcance reducido, con coberturas de menos de 100 metros y capacidades de unos pocos Mbps (es decir, para el nicho entre WiMAX y ZigBee o Bluetooth), se creó la subfamilia de estándares nombrada 802.11, popularmente conocida como Wi-Fi. (Leyva Bravo, 2016)

Independientemente de la banda de frecuencia en que trabajan, todos los estándares de la subfamilia 802.11 comparten algunas limitaciones que es conveniente conocer antes de tomar una decisión sobre coberturas, alcance o velocidades que se pueden alcanzar. (Leyva Bravo, 2016)

Estas limitaciones son cinco (Leyva Bravo, 2016):

- **Alcance:** Aunque comercialmente se habla típicamente de un alcance de hasta 100 metros, este dato depende, en primer lugar, de la ubicación y de la presencia de obstáculos en el camino entre el punto de acceso y el terminal, y, en segundo lugar, de las condiciones meteorológicas y de las interferencias. Así, en espacio abierto, con buenas condiciones meteorológicas y antenas exteriores de los terminales, este alcance puede ser bastante superior. Sin embargo, en el interior de un edificio, donde las paredes representan un obstáculo muy importante, la distancia será notablemente inferior. Asimismo, si hay otras redes Wi-Fi próximas, o sencillamente otras fuentes de interferencias, es también mucho probable que las distancias disminuyan.
- **Ancho de banda:** Nominalmente, los diferentes estándares pueden alcanzar, físicamente (es decir, en el canal aéreo, descontando cualquier ineficiencia que puedan introducir los protocolos superiores), las velocidades mencionadas en la mesa o tabla presentada a el apartado anterior. Ahora bien, a causa del efecto de los protocolos necesarios para transportar la información de usuario sobre el canal aéreo, la velocidad útil es mucho menor. Además, en función de las condiciones del entorno y, por lo tanto, de la calidad de cada comunicación entre un terminal y el punto de acceso, la anchura de lado de esta comunicación se adapta, con el fin de utilizar

codificaciones más robustas ante interferencias y/o errores. Es por eso por lo que a veces nos encontremos con una conexión con el punto de acceso de 11 Mbps, otros en 5 Mbps, en 2 Mbps o, incluso, en 1 Mbps.

- **Calidad de servicio:** No todo el tráfico tiene la misma importancia desde el punto de vista de cada usuario. Así, se puede considerar que una llamada de VoIP tendría que tener prioridad sobre una transferencia de ficheros. Los protocolos más extendidos de Wi-Fi, como ahora b y g, no incluyen ningún mecanismo para priorizar un tipo de tráfico sobre uno otro, lo cual resulta muy perjudicial cuando se mezclan flujos de tráfico con requerimientos muy diferentes, como voz y datos. La consecuencia es que Wi-Fi es poco adecuado para transportar tráfico exigente en términos de calidad, como VoIP, no tanto para que no funcione adecuadamente, como porque no se puede garantizar cuándo y en qué condiciones funcionará. El 802.11e, como se vea después, introduce mejoras en este aspecto.
- **Seguridad:** En un principio, las redes Wi-Fi no presentaban mecanismos de seguridad muy sofisticados, ya que el énfasis se puso en cómo transmitir datos sobre el aire, que era un desafío tecnológico más urgente. Con el éxito de esta tecnología, sin embargo, y la publicación de las debilidades de los mecanismos de seguridad originales, se hizo necesario introducir mejoras en este aspecto. De hecho, la falta de seguridad de estas redes, a pesar de que muy exagerada en la mente de la opinión pública, es uno de los suyos grandes detractores. Como veamos, el 802.11i resuelve la mayoría de las debilidades originales, hasta el punto de hacerlas comparables en seguridad en las redes fijas.
- **Movilidad:** Popularmente, se considera que las redes Wi-Fi son móviles, ya que no hay que conectarse desde una ubicación fija para acceder a los servicios que nos ofrece, y además se puede ir caminando y navegando por Internet o leyendo el correo electrónico al mismo tiempo. Estrictamente hablando, eso se considera itinerancia, y no movilidad. De hecho, no es posible utilizar una red Wi-Fi desde un vehículo en movimiento a velocidad normal, por razones físicas

asociadas a la velocidad. Además, incluso cuando nos movemos a baja velocidad (caminando), a causa del escaso alcance de cobertura de un punto de acceso, rápidamente tenemos que establecer conexión con otro punto de acceso, la cual cosa implica "saltar" del uno al otro. También en este aspecto el estándar presenta deficiencias que pueden hacer que perdamos brevemente la conexión e incluso hayamos de volver a conectarnos manualmente. Para compensar ambas restricciones, están desarrollando nuevos estándares, y es de esperar que pronto se dispondrá de productos en el mercado.

A continuación, se expondrán brevemente las características más destacadas de cada tecnología, con el fin de poder hacer una elección adecuada, en función de cada necesidad (Camargo Pacheco, 2015):

- **Aspectos tecnológicos de 802.11b:** Este estándar define la creación de redes sin hilos a la frecuencia de 2.4 GHz, con una tipología de modulación que permite alcanzar velocidades de transmisión "en el aire" de hasta en 11 Mbps, cosa que supone una velocidad efectiva para los usuarios de aproximadamente 5.5 Mbps. Hasta hace poco era la tecnología más extendida, pero ahora ha sido sustituida por 802.11g, que ofrece las mismas ventajas (banda de uso libre, simplicidad de funcionamiento), pero con más anchura de lado, y que, además, es compatible con b, lo cual permite mezclar dispositivos de ambos tipos en la misma red.
- **Aspectos tecnológicos de 802.11a:** Este estándar define la creación de redes sin hilos a la frecuencia de 5 GHz. La información de un usuario se transmite modulando digitalmente una señal de la banda de 5 GHz con los datos del usuario. La modulación que se utiliza en este estándar difiere de la del 802.11b, y es especialmente útil en entornos donde pueden aparecer grandes interferencias, por ejemplo, en transmisiones móviles en trenes. En cambio, es incompatible con 802.11b, ya que trabaja en otra frecuencia. El estándar 802.11a permite alcanzar velocidades de transmisión máximas de hasta 54 Mbps, cosa que supone una velocidad efectiva de aproximadamente 36 Mbps.

- **Aspectos tecnológicos de 802.11g:** Este estándar mejora el 802.11b, ya que trabaja igualmente a la frecuencia de 2.4 GHz, pero varía la modulación (en este caso es idéntica a la de 802.11a) hasta alcanzar igualmente velocidades de transmisión máximas de hasta 54 Mbps, cosa que supone una velocidad efectiva de aproximadamente 36 Mbps. Su capacidad de trabajar juntamente con el equipamiento 802.11b lo hace doblemente interesante, porque permite mantener el equipamiento anterior y migrar lentamente al nuevo estándar.
- **Aspectos tecnológicos de 802.11n:** El objetivo del nuevo estándar 802.11n es mejorar todavía más el alcance y sobre todo la anchura de lado de las redes Wi-Fi, de manera que sea comparable a las redes de área local fijas. Cómo hoy en día eso es sinónimo de Ethernet, la velocidad que se pretendía alcanzar como a mínimo eran 100 Mbps. Se tiene que decir que este estándar todavía se encuentra en proceso de finalización, y, por lo tanto, aunque ya se conocen las características principales, encara allí hay espacio para modificaciones. Es por eso por lo que no se pueden dar datos definitivos sobre velocidad que, en todo caso, con certeza, se moverán en torno a los 100 Mbps. La solución utilizada en 802.11n consiste a reducir las ineficiencias, pero sobre todo a aprovechar lo que en principio es una gran desventaja de los sistemas sin hilos: las interferencias provocadas por las reflexiones de la señal en paredes, edificios, etc., que hacen que lleguen diversas copias de la misma señal ligeramente distorsionadas y retrasadas en el receptor. La gran innovación del 802.11n es el uso de más de una antena en cada punto de acceso y en cada terminal, de manera que se puedan aprovechar los "rebotes" y combinarlos para obtener una señal mejor. Al mismo tiempo, se puede enviar más de una señal a la vez (diversas antenas). Combinando ambos efectos, se consigue una transmisión más eficaz y más robusta, y, en definitiva, más anchura de lado para el usuario. Esta técnica se llama MIMO (Multiple – input, Multiple - output). Se prevé que este estándar pronto saldrá al mercado, ahora bien, ya se pueden encontrar al mercado productos pre estándar de algunos fabricantes. Básicamente, estos productos son versiones

propietarias que implementan la técnica MIMO, pero que no necesariamente serán compatibles con el futuro estándar. Además, lógicamente están en muchas ocasiones incompatibles entre sí, ya que cada despliegue se liga a un único fabricante. También hay problemas de compatibilidad con los productos b y g (incluso del mismo fabricante), con los cuales el 802.11n tendría que ser compatible. No hay que confundir estos productos anteriores al 802.11n con otras soluciones, también propietarias de cada fabricante, que ofrecen velocidades similares basadas en modificaciones de 802.11g. Normalmente tienen el apelativo "Turbo-g" o similar.

- **Aspectos tecnológicos de 802.11e:** Como se ha indicado, uno de los grandes problemas de las redes Wi-Fi es que no proveen ningún mecanismo para dar prioridad a ciertos tipos de tráfico sobre otros (calidad de servicio). Eso es especialmente grave si se mezclan voz y datos en la misma red sin hilos. El nuevo estándar 802.11e da respuesta a este problema. Hace falta evaluar qué necesidad real, para un uso concreto, tenemos de mecanismos de este estilo. Claro está que son convenientes en el caso de querer dar VoIP de buena calidad, todo y que hay despliegues con tecnología 802.11g que ofrecen el servicio sencillamente dimensionando la red para que haya capacidad excedente sobradamente, y, por lo tanto, no haya nunca "atascos". En la mayoría de los escenarios, sin embargo, la necesidad de QoS es más difícil de justificar.
- **Aspectos tecnológicos de 802.11i:** Éste es uno de los aspectos más importantes para la popularización definitiva de las redes Wi-Fi. Todas las tecnologías radio son vulnerables a priori por el hecho de utilizar el aire como medio de transmisión (ya que en principio es un medio accesible a todo el mundo, que quiera escuchar nuestras comunicaciones), por eso hay que imponer estrictas medidas de seguridad a la hora de implementar estas redes.

2.3. Raspberry Pi

Raspberry es un proyecto ideado en 2006 pero no fue lanzado al mercado hasta febrero de 2012. Fue desarrollado por un grupo de la Universidad de Cambridge con la misión de fomentar la enseñanza de las ciencias de la computación. En sus primeros diseños la Raspberry Pi se basaba en el microcontrolador Atmel ATmega644. El primer prototipo basado en ARM fue montado en un paquete del mismo tamaño que una memoria USB. Tenía un puerto USB en un extremo y un puerto HDMI en el otro. (ABC Tecnología, 2013)

En mayo de 2009, la Fundación Raspberry Pi fue fundada en Caldecote, South Cambridgeshire, Reino Unido, como una asociación caritativa que es regulada por la Comisión de Caridad de Inglaterra y Gales. La fundación Raspberry Pi surge con un objetivo en mente: Desarrollar el uso y entendimiento de los ordenadores en los niños. La idea es conseguir ordenadores portables y muy baratos que permitan a los niños usarlos sin miedo, abriendo su mentalidad y educándolos en la ética del “ábrelo y mira cómo funciona”. El ideólogo del proyecto, David Braven, un antiguo desarrollador de videojuegos, afirma que su objetivo es que los niños puedan llegar a entender el funcionamiento básico del ordenador de forma divertida, y sean ellos mismos los que desarrollen y amplíen sus dispositivos. El cofundador de la fundación es Eben Upton, un antiguo trabajador de la empresa Broadcom, el cual es el responsable de la arquitectura de software y hardware de la Raspberry Pi. Eben Upton, se puso en contacto con un grupo de profesores, académicos y entusiastas de la informática para crear un ordenador con la intención de animar a los niños a aprender informática como lo hizo en 1981 el ordenador Acorn BBC Micro. (Castellanos, 2017)

En agosto de 2011, se fabricaron cincuenta placas Alpha del modelo inicial, el Model A (o modelo A). En diciembre de 2011, 25 placas Beta del modelo B fueron ensambladas y probadas de un total de 100 placas vacías. Durante la primera semana de diciembre de 2011, se pusieron a subasta diez placas en eBay. Debido al anticipado anuncio de puesta a la venta a final de febrero de 2012, la fundación sufrió colapso en sus servidores web debido a los refrescos de páginas desde los navegadores de gente interesada en la compra de la placa. El primer lote de 10.000 placas se fabricó en Taiwán y China, en vez de Reino Unido, con

esto se conseguía un abaratamiento en los costes de producción y acortar el plazo de entrega del producto, ya que los fabricantes chinos ofrecían un plazo de entrega de 4 semanas y en el Reino Unido de 12. (ABC Tecnología, 2013)

Las primeras ventas comenzaron el 29 de febrero de 2012 (Modelo B). Las dos tiendas que vendían las placas, Premier Farnell y RS Components, tuvieron una gran carga en sus servidores inmediatamente después del lanzamiento. En los seis meses siguientes llegarían a vender 500.000 unidades. El 16 de abril de 2012 los primeros compradores empezaron a informar que habían recibido su Raspberry Pi. El 6 de septiembre se anunció que se llevaría la producción de placas al Reino Unido, a una fábrica de Sony y que en ella se producirían 30.000 unidades cada mes, y se crearían 30 nuevos puestos de trabajo. (Castellanos, 2017)

El 4 de febrero de 2013, se lanzó el modelo A, que venía con solo 256 MB de RAM y sin puerto Ethernet a un precio más asequible que el modelo B. (Castellanos, 2017)

Actualmente existen 3 modelos diferentes de Raspberry Pi. El primero, el modelo A, se diferencia del modelo B porque tiene un solo puerto USB, carece de controlador Ethernet, y por supuesto cuesta menos que el modelo B, el cual tiene 4 puertos USB, comunicación Wireless/Bluetooth y un controlador Ethernet integrado. A pesar que el Modelo A no tiene un puerto RJ45, se puede conectar a una red usando un adaptador USB-Ethernet suministrado por el usuario. El último modelo es el modelo Zero, el cual posee 2 versiones (Zero y Zero W), las cuales cuentan con 512 MB de memoria RAM, un puerto USB, pero carecen de conectividad Ethernet, WiFi y Bluetooth. (LLamas, s.f.)

También se suele dividir a la Raspberry Pi en dos familias. La familia “normal” y una de tamaño más reducido llamado “Zero” (LLamas, s.f.):

- **Modelo Raspberry Pi 1:** El modelo 1 tiene un SOC Broadcom BCM2835, chip gráfico VideoCore IV y procesador ARM1176JZF-S de un núcleo a 700 MHz, aunque puede hacerse overclock hasta 1000 MHz. El modelo A cuenta con 512MB de SDRAM, 1 puerto USB, y carece de conectividad Ethernet. El modelo B cuenta con 512MB de SDRAM, 2 puertos USB, y añade un puerto Ethernet. Por su parte, el modelo B+ amplía a 4 los puertos USB, y

cambia la tarjeta SD por una micro SD. Todos los modelos 1 contienen salidas de video RCA, HDMI, y DSI para un panel LCD. Como salidas de audio tienen un conector Jack de 3.5 mm y salida por el HDMI. Como dispositivos electrónicos, uno de los aspectos más interesantes y diferenciadores de Raspberry Pi, es que todos los modelos disponen de 8 GPIO, SPI, I²C y UART.



Figura 6: Raspberry Pi 1.

- **Modelo Raspberry Pi 2:** La Raspberry Pi 2 B fue una versión actualizada del Raspberry Pi B cuyo principal cambio fue una potencia de cálculo muy superior. Monta un SOC Broadcom BCM2836, un procesador ARM Cortex A7 de cuatro núcleos a 900 MHz y 1GB de SDRAM y mantiene el chip gráfico VideoCore IV. La Raspberry Pi 2 cuenta con 4 puertos USB y un puerto Ethernet 10/100. La tarjeta de memoria es Micro SD. El número de pines GPIO se amplía a 17, manteniendo las funciones SPI, I²C y UART.



Figura 7: Raspberry Pi 2.

- **Modelo Raspberry Pi 3:** La Raspberry Pi 3 B buscaba principalmente un cambio de conectividad, ya que la principal novedad fue la inclusión de Bluetooth 4.1 y WiFi 802.11n. La potencia se amplía con un SOC Broadcom BCM2837, y un procesador ARMv8 de cuatro núcleos a 1.2GHz de 64 bits.

Por su parte, la familia Raspberry Pi Zero, una serie de modelos de muy pequeño tamaño y bajo costo, permite la integración con dispositivos IoT. (LLamas, s.f.)

- **Raspberry Pi Zero:** La Raspberry Pi Zero tiene, a grandes rasgos, la misma potencia que un Raspberry Pi 1 B, en un tamaño muy inferior. Al igual que el Raspberry Pi 1 B, el Raspberry Pi Zero monta el SOC Broadcom BCM2835, procesador ARM1176JZF-S a 1GHz y cuenta con 512MB de SDRAM. Debido al pequeño tamaño, prescinde del conector DSI y del puerto RJ45 (por lo tanto de la conectividad Ethernet). Además, cuenta únicamente con un puerto Micro USB. Mantiene, sin embargo, las funciones electrónicas GPIO, SPI, I2C y UART.

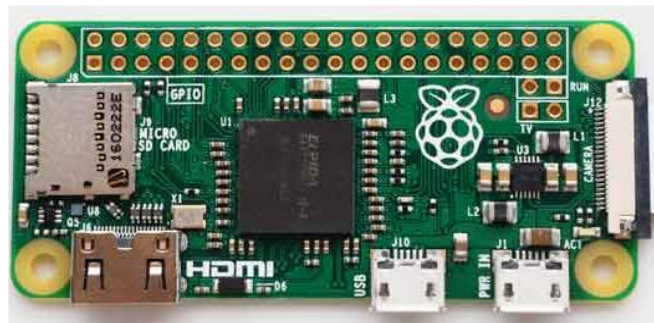


Figura 10: Raspberry Pi Zero.

- **Raspberry Pi Zero W:** Es una actualización de la Raspberry Pi Zero original que añade Bluetooth 4.1 y WiFi 802.11n, manteniendo el resto de características.



Figura 11: Raspberry Pi Zero W.

Muchos cargadores diseñados para Smartphone funcionarán con la Raspberry Pi, pero no todos, ya que algunos solo suministran hasta 500 mA y la Raspberry Pi consume más energía que la mayoría de los dispositivos micro USB y requiere de al menos 700mA para funcionar. (ABC Tecnología, 2013)



Figura 12: Fuente para Raspberry Pi.

Una diferencia importante entre la Raspberry Pi y el PC de escritorio o portátil, aparte de su tamaño y su costo, es el sistema operativo (el software que permite controlar el ordenador) que utiliza. (ABC Tecnología, 2013)

La mayoría de los PC's y portátiles disponibles hoy en día funcionan con alguno de estos dos sistemas operativos: Microsoft Windows o Apple OS X. Ambas plataformas son de código cerrado, creados en un ambiente reservado utilizando técnicas patentadas. Estos sistemas operativos son conocidos como de código cerrado por la naturaleza de su código fuente, es decir, la receta en lenguaje de computadora que le dice al sistema que hacer. En el software de código cerrado, esta receta es mantenida como un secreto muy bien guardado. Los usuarios pueden obtener el software terminado, pero nunca ver cómo está hecho. (Castellanos, 2017)

La Raspberry Pi, por el contrario, está diseñada para ejecutar el sistema operativo GNU/Linux. A diferencia de Windows u OS X, Linux es de código abierto. Esto quiere decir que es posible descargar el código fuente del sistema operativo por completo y hacer los cambios que uno desee. Nada es ocultado, y todos los cambios hechos están a la vista del público. Este espíritu de desarrollo de código abierto ha permitido a Linux rápidamente ser modificado para poder ejecutarse sobre la Raspberry Pi, un proceso conocido como portabilidad. (Castellanos, 2017)

Varias versiones de Linux (conocidas como distribuciones) han sido portadas al chip BCM2835 de la Raspberry Pi, incluyendo Debian, Fedora Remix y Arch Linux. Las distintas distribuciones atienden diferentes necesidades, pero todas ellas tienen algo en común: son de código abierto. Además, por lo general, todas

son compatibles entre sí: el software escrito en un sistema Debian funcionará perfectamente bien en uno con Arch Linux y viceversa. (Castellanos, 2017)

Igual que con la diferencia entre la arquitectura ARM y la x86, hay un punto clave que hace la diferencia práctica entre Windows, OS X y Linux: el software escrito para Windows u OS X no funciona en Linux. Afortunadamente, hay un montón de alternativas compatibles para la gran mayoría de los productos de software comunes y lo mejor, casi todos son de libre uso y de código abierto como lo es el propio sistema operativo. (Castellanos, 2017)

2.4. Arduino

Arduino nació en el año 2005 en el Instituto de Diseño Interactivo de Ivrea (Italia), centro académico donde los estudiantes se dedicaban a experimentar con la interacción entre humanos y diferentes dispositivos. Arduino fue diseñado por la necesidad de contar con un dispositivo de calidad en las aulas y que contará con las siguientes características: bajo costo, funcionar bajo cualquier sistema operativo, contar con documentación y fácil utilizar por personas ajenas a mundo de la informática y la electrónica. (Torrente, 2013)

El Instituto Diseño Interactivo de Ivrea tuvo que cesar sus actividades académicas precisamente en 2005. Ante esta situación, se optó por liberar toda la documentación de Arduino para que todo aquel que decidiera aportar con el proyecto pueda hacerlo sin ningún problema. Actualmente, la colaboración de muchísima gente ha logrado que Arduino sea considerado un proyecto de hardware y software libre de ámbito mundial. (Torrente, 2013)

El creador de la idea y diseño de Arduino es Massimo Banzi (profesor en aquella época del Instituto Ivrea), acompañado del “Arduino Team”, formado por David Cuartielles (profesor de la Escuela de Artes y Comunicación de la Universidad de Mälmo, Suecia), David Mellis (quien fue estudiante en Ivrea y actualmente miembro del grupo de investigación High – Low Tech del MIT Media Lab), Tom Igoe (profesor de la Escuela de Arte Tisch de Nueva York), y Gianluca Martino (responsable de la empresa fabricante de los prototipos de las placas). (Torrente, 2013)

Las placas Arduino cuentan con muchas funcionalidades, pero sus características más importantes son las siguientes («Arduino: Diseño y Manufactura», s. f.):

- **Es una placa de hardware libre:** Arduino cuenta con un microcontrolador y un conjunto de conectores hembra (unidos internamente a las patillas de E/S del microcontrolador) que permiten conectar allí diferentes sensores y actuadores. Los microcontroladores incorporados en las diferentes placas Arduino son del tipo AVR, una arquitectura de microcontroladores desarrollada y fabricada por la marca Atmel. La placa Arduino es una PCB fabricada con material no conductor (fibra de vidrio reforzada, cerámica o plástica) sobre la cual se encuentran las pistas de material conductor (normalmente cobre). El diseño de la PCB está disponible para todos, por lo que cualquier persona pueda descargar los planos y realizar modificaciones que se ajusten a su aplicación.
- **Es un software gratis, libre y multiplataforma:** Arduino es un software que debe ser instalado en un computador que permita escribir, verificar y guardar en la memoria del microcontrolador de la placa Arduino el código de programación que debe ejecutar. El código se transfiere al Arduino a través de una conexión USB, sin embargo, al tipo de conector USB puede variar según modelo de placa Arduino. La gran ventaja es que el software Arduino es gratis y funciona en Linux, MacOS y Windows.
- **Tiene lenguaje de programación libre:** Un lenguaje de programación es un idioma artificial creado para expresar instrucciones (siguiendo unas determinadas reglas sintácticas) que pueden ser llevadas a cabo por máquinas. En Arduino, existen elementos parecidos a otros lenguajes de programación como los bloques condicionales, los bloques repetitivos, las variables, funciones, etc. que permiten realizar de forma clara y coherente el código con las instrucciones necesarias para que el microcontrolador de la placa cumpla con la tarea que se le ha asignado. El entorno de desarrollo (IDE) y el lenguaje de programación de Arduino están inspirados en Processing, el cual fue desarrollado inicialmente por Ben Fry y Casey Reas.

En el mercado existen otras placas similares a Arduino, pero de diferentes fabricantes, además incorporan diferentes modelos de microcontroladores. Estas placas también cuentan con un entorno de desarrollo agradable, fácil de usar y con un lenguaje de programación sencillo y completo. Sin embargo, la plataforma Arduino (hardware y software) ofrece una serie de ventajas (Torrente, 2013):

- **Arduino es libre y extensible:** Esto permite que cualquier persona pueda ampliar y mejorar el hardware de las placas, así como el entorno de desarrollo hasta el lenguaje de programación, pues actualmente las placas Arduino pueden ser programadas a través de softwares como LabVIEW, Matlab, etc.
- **Arduino tiene una gran comunidad:** Las personas que utilizan las placas Arduino contribuyen en la documentación y comparten sus trabajos a través de foros de internet.
- **Su entorno de programación es multiplataforma:** Puede ser instalado y ejecutado en sistemas Windows, Mac OS X y Linux, lo cual no ocurre con el software de otras placas.
- **Su entorno y el lenguaje de programación son simples y claros:** Existen una gran cantidad de proyectos documentados con ejemplos sencillos y detallados, que permiten familiarizarse con el entorno y lenguaje de programación.
- **Las placas Arduino son baratas:** La placa Arduino UNO cuesta alrededor de 20 euros. Sin embargo, Arduino es hardware libre, por lo que uno mismo la podría implementar adquiriendo los componentes por separado para reducir los costos.

Entre las principales placas que ofrece Arduino, se pueden encontrar los siguientes modelos («Placas Arduino | Aprendiendo Arduino», s. f.):

- **Arduino Uno:** Es la placa estándar y posiblemente la más conocida y documentada. Salió a la luz en septiembre de 2010 sustituyendo a su predecesor Duemilanove con varias mejoras de hardware que consisten básicamente en el uso de un USB HID propio en lugar de utilizar un conversor FTDI para la conexión USB. Es 100% compatible con los modelos

Duemilanove y Diecimila. Viene con un Atmega328 con 32Kbytes de ROM para el programa.

- **Arduino Mega:** Es con mucha diferencia el más potente y el que más pines I/O tiene, apto para trabajos ya algo más complejos, aunque tengamos que sacrificar un poco el espacio, cuenta con el microcontrolador Atmega2560 con más memoria para el programa, más RAM y más pines que el resto de los modelos.
- **Arduino Ethernet:** Incorpora un puerto Ethernet, está basado en el Arduino Uno y nos permite conectarnos a una red o a Internet mediante su puerto de red.
- **Arduino Due:** Arduino con la mayor capacidad de procesamiento, basado en un microcontrolador de 32 bit y arquitectura ARM: Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3 CPU. Este Arduino está alimentado a 3.3V y dado que gran parte de los shields, sensores y actuadores para Arduino y otros elementos compatibles se alimentan a 5 VDC limita el uso de este Arduino, pero cada vez se ven más elementos donde se puede elegir el voltaje entre 3,3 y 5 VDC.
- **Arduino Leonardo:** La diferencia de este Arduino con el resto es que trae un único MCU ATmega32u4 que tiene integrado la comunicación USB, lo que elimina la necesidad de un segundo procesador.
- **Arduino Nano:** El Arduino Nano es una pequeña y completa placa basada en el ATmega328 (Arduino Nano 3.0) o el ATmega168. Tiene más o menos la misma funcionalidad que el Arduino Duemilanove, pero con una presentación diferente. No posee conector para alimentación externa, y funciona con un cable USB Mini-B.

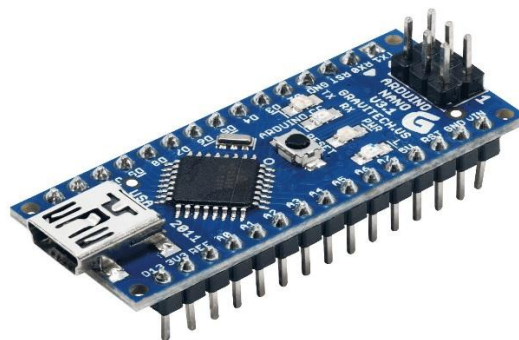


Figura 13: Arduino Nano.

DISEÑO DEL PROTOTIPO

CAPITULO III

3.1. Introducción

El prototipo del sistema de monitoreo de signos vitales realizará la lectura de tres magnitudes: temperatura corporal, pulso cardíaco y saturación de oxígeno. Los valores obtenidos se podrán visualizar en una aplicación para dispositivos móviles que funcionen con el sistema operativo Android, y que además cuenten con tecnología inalámbrica para el intercambio de información, mientras que la evolución del pulso cardíaco en el tiempo real se mostrará en un monitor de alta resolución. Por seguridad, se recomienda que los resultados mostrados por el prototipo sean ratificados por un médico especialista para evitar problemas.

Para la medición de temperatura, el rango aceptable estará basado en la temperatura corporal normal promedio aceptada: 37°C. Sin embargo, algunos estudios han mostrado que la temperatura corporal "normal" puede tener un amplio rango que va desde los 35°C hasta los 37,2°C. Por otro lado, una temperatura de más de 38°C casi siempre indica fiebre a causa de una infección o enfermedad. Por lo tanto, el sensor seleccionado debe estar en la capacidad de cubrir un rango de temperatura que oscile entre 0 y 40°C como mínimo.

Para el pulso cardíaco, los rangos serán seleccionados en base a los valores mostrados en la Tabla 3.

Tabla 3: Valores de pulso cardíaco, según la edad.

EDAD	LATIDOS POR MINUTO
Recién nacidos (0 - 3 meses de edad)	100 a 150 latidos por minuto
Bebés (3 - 6 meses de edad)	90 a 120 latidos por minuto
Bebés (6 - 12 meses de edad)	80 a 120 latidos por minuto
Niños de 1 - 10 años	70 a 120 latidos por minuto
Niños de más de 10 años y adultos	60 a 100 latidos por minuto
Atletas bien entrenados	40 a 60 latidos por minuto

En la Tabla 3 se encuentran los valores de pulso cardíaco considerados normales para cada persona de acuerdo a su edad. Para niños de más de 10 años y adultos, un valor menor a 60 bpm es considerado como bradicardia, mientras que un valor

mayor a 100 bpm es considerado como taquicardia. Si el valor del pulso leído se encuentra en el rango de 60 a 100 bpm, se considera que el pulso es normal.

Para medir la cantidad de oxígeno presenta en la hemoglobina, se considerará que el porcentaje adecuado y saludable de oxígeno en la sangre se encuentra en el rango de 90% al 100%. Cuando el porcentaje de saturación de oxígeno se encuentre por debajo del 90%, se considera como hipoxemia, mientras que cuando el porcentaje es inferior a 80% se considera como hipoxemia severa.

Para la lectura del pulso cardiaco y el porcentaje de saturación de oxígeno, se deberá utilizar un pulsioxímetro que este en la capacidad de cubrir el rango de valores para cada magnitud.

Las medidas de los signos vitales serán tomadas en las siguientes partes del cuerpo:

- La temperatura corporal será tomada en la axila del usuario.
- El pulso cardiaco y el porcentaje de saturación de oxígeno serán medidos el dedo índice o el lóbulo de la oreja.

3.2. Selección de componentes

3.2.1. Sensor de temperatura

Para medir la temperatura corporal se eligió el sensor LM35, el cual tiene un rango de medida aceptable que se adapta a las condiciones de diseño del sistema de monitoreo de signos vitales.

A continuación, se muestran las características principales del sensor de temperatura LM35:

- El LM35 es un sensor de temperatura analógico, con una precisión calibrada de 1°C.
- No necesita circuitería externa ni ajustes de calibración para funcionar correctamente.
- Su rango de medición va desde -55°C hasta 150°C.
- La salida es lineal y cada grado centígrado equivale a 10 mV..

- Es ideal para aplicaciones remotas ya que consume menos de 60 uA de corriente.
- Compatible con Arduino, PIC, EMBED, AVR o cualquier microcontrolador.

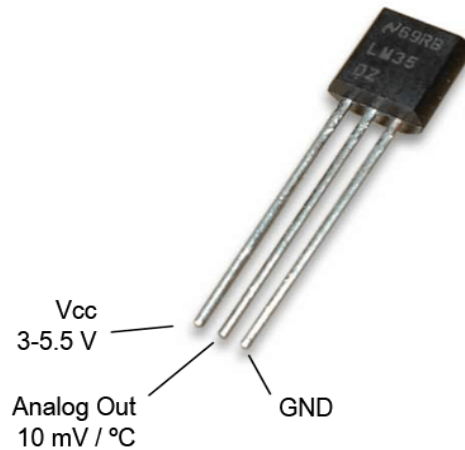


Figura 14: Sensor LM35.

3.2.2. Pulsioxímetro

El Pulse Sensor Amped usa un sensor de luz ambiental o fotodiodo (APDS-9008) y un LED verde brillante de 565 nm (AM2520ZGC09), ambos de montaje superficial. En la parte frontal del sensor hay un agujero por donde sale la luz emitida desde el LED que se encuentra en la parte posterior y justo debajo del agujero se encuentra un sensor de luz ambiente. La parte frontal del sensor de pulso es la que está en contacto con la piel y preferiblemente en alguna parte translúcida del cuerpo, ya sea la punta del dedo o el lóbulo de la oreja.

Esta nueva versión del sensor agrega un diodo de protección en la línea eléctrica, por lo que se evitan cortocircuitos si se alimenta con la polaridad de la batería invertida. Adicionalmente, cuenta con un filtro activo para hacer que la forma de onda del pulso sea más fácil de detectar por un microcontrolador o una placa Arduino.

El efecto del filtro activo hace una gran diferencia en cómo se ve la forma de onda de los latidos del corazón. La versión anterior emite la forma de onda del latido del corazón como una pequeña onda de diente de sierra que circula sobre un voltaje de CC (ver Figura 15).

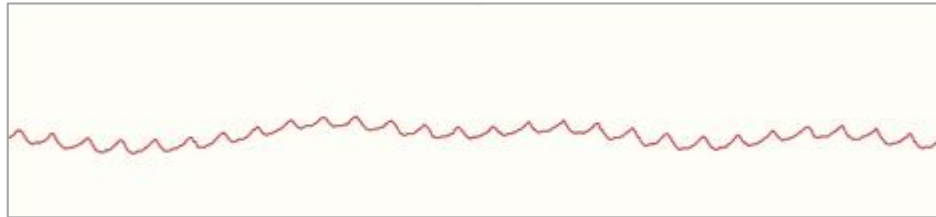


Figura 15: Señal de salida.

En la Figura 15 se puede observar que la señal del pulso está presente, pero no es la señal más fácil de detectar con una placa Arduino debido a que la señal de diente de sierra circula sobre un voltaje de CC fluctuante. La nueva versión de hardware del sensor utiliza un filtro y un amplificador para aumentar la amplitud de la onda de pulso y normalizar la señal alrededor de un punto de referencia. Cuando el Sensor de Pulso Amplificado está sin contacto con los dedos o los lóbulos de la oreja u otras partes, la señal analógica se sitúa alrededor del punto medio del voltaje, o $V_{cc}/2$. Cuando el Sensor de Pulso Amplificado está en contacto cercano con la punta del dedo o el lóbulo de la oreja (u otra parte), el cambio en la luz reflejada cuando la sangre bombea a través de los tejidos hace que la señal fluctúe alrededor de ese punto de referencia (ver Figura 16).

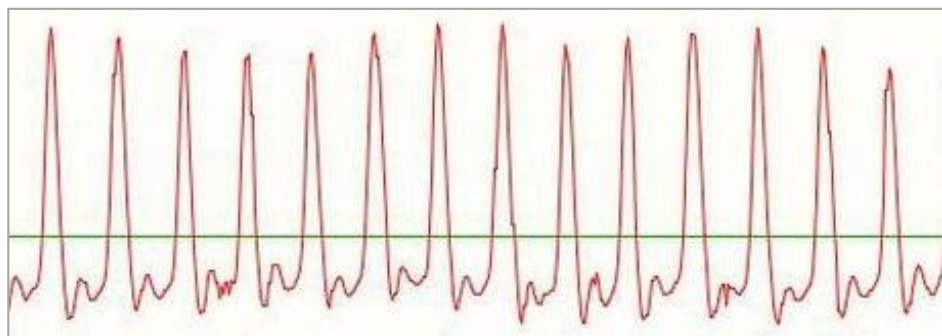


Figura 16: Señal de salida con referencia.

El controlador observa la señal analógica del Sensor de Pulso Amplificado y decide que detecta un pulso cuando la señal se eleva por encima del punto medio. Ese es el momento en que los tejidos capilares se cierran con una oleada de sangre. Luego, cuando la señal cae por debajo del punto medio, el controlador se prepara para encontrar el siguiente pulso.

El Sensor de Pulso Amplificado dispone de 03 cables de conexión:

- **Vin (rojo):** Cable de alimentación del sensor. Se puede alimentar desde 3 hasta 5V, por lo tanto, podrá ir conectado al pin de 3,3V de la placa Arduino como al de 5V.
- **GND (negro):** Cable de masa. Irá conectado al pin GND de la placa Arduino.
- **Señal (morado):** Cable por donde se transfieren los datos recogidos por el fotosensor. Es una señal analógica, por lo tanto, irá a una de las 6 entradas analógicas de la placa Arduino.



Figura 17 Pulse Sensor Amplificado.

3.2.3. Placa Arduino

La placa Arduino Nano está pensada para ser montada en un protoboard y facilitar las pruebas que se deseen realizar. La disposición de sus pines facilita la conexión de componentes sin necesidad de muchos cables. La otra gran ventaja, está en su reducido tamaño. Además, tiene la misma cantidad de E/S (Digitales y analógicas) y protocolos de comunicación que un Arduino UNO, pero su costo es menor

La placa Arduino Nano puede ser alimentada usando el cable USB Mini – B, con una fuente externa no regulada de 7 – 12 VDC (pin 30), o con una fuente externa regulada de 5 VDC (pin 27). La fuente de alimentación es seleccionada automáticamente a aquella con mayor tensión.

En la Figura 18 se muestran las principales características de la placa Arduino Nano.

Microcontrolador	ATmega328
Voltaje operativo (logic level)	5 V
voltaje de entrada al regulador(recommended)	7-12 V
limites de voltaje en la entrada del regulador (limits)	6-20 V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Entradas Analogicas Pins	8
corriente I/O Pin	40 mA
Flash Memory	16 KB (ATmega168) or 32 KB (ATmega328) of which 2 KB used by bootloader
SRAM	1 KB (ATmega168) or 2 KB (ATmega328)
EEPROM	512 bytes (ATmega168) or 1 KB (ATmega328)
Velocidad de Reloj	16 MHz
Dimensiones	0.73" x 1.70"

Figura 18: Características del Arduino Nano.

Cada uno de los 14 pines digitales de la placa Arduino Nano pueden ser usados como entradas o salidas, usando las funciones `pinMode ()`, `digitalWrite ()`, y `digitalRead ()`. Cada pin puede proveer o recibir un máximo de 40 mA y poseen una resistencia de pull – up (desconectada por defecto) de 20 a 50 K Ω .

La placa Arduino Nano posee 8 entradas analógicas, cada una de ellas cuenta con 10 bits de resolución (1024 valores diferentes). Por defecto miden entre 5 voltios y masa, sin embargo es posible cambiar el rango superior usando la función `analogReference ()`.

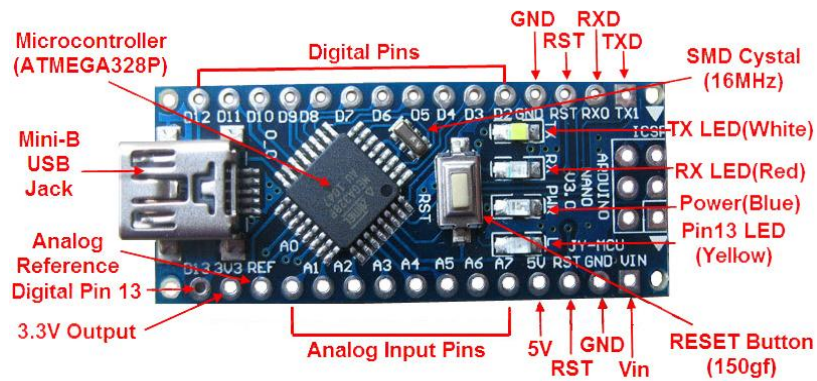


Figura 19: Arduino Nano.

3.2.4. Modulo Bluetooth

El módulo de bluetooth HC – 05 ofrece la mejor relación de precio y características. Es un módulo Maestro – Esclavo, esto quiere decir que además de recibir conexiones desde una PC o Smartphone, también es capaz de generar conexiones hacia otros dispositivos bluetooth. Esto nos permite, por ejemplo, conectar dos módulos bluetooth y formar una conexión punto a punto para transmitir datos entre dos microcontroladores o dispositivos.

El HC - 05 tiene un modo de comandos AT que debe activarse mediante un estado alto en el pin 34 mientras se enciende (o se resetea) el módulo. En las versiones para protoboard este pin viene marcado como “Key”. Una vez que estamos en el modo de comandos AT, podemos configurar el módulo bluetooth y cambiar parámetros como el nombre del dispositivo, password, modo maestro/esclavo, etc.

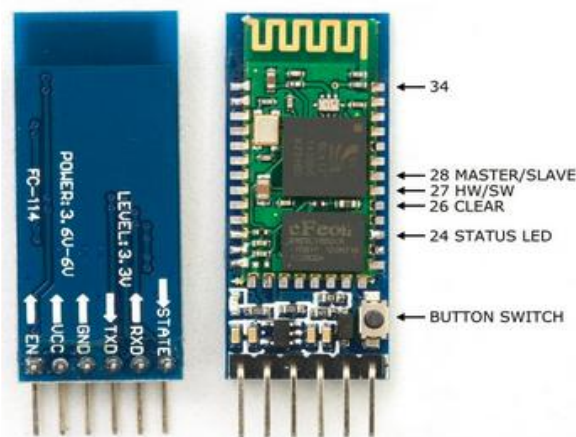


Figura 20: HC-05.

A continuación, se muestran las principales características del módulo bluetooth HC – 05:

- Velocidad en baudios (Modo de comandos AT): 38400, Bits de datos: 8, Bit de parada: 1, Paridad: Sin paridad.
- Tasa de velocidad de modulación en baudios soportadas: 9600, 19200, 38400, 57600, 115200, 230400, 460800.
- Auto conexión del dispositivo con la última configuración por defecto.
- Conecta el dispositivo emparejado de forma predeterminada.
- NAME por defecto: HC-05.
- PINCODE por defecto: "1234".
- Reconexión automática en 30 minutos cuando se desconecta como consecuencia de pérdida de conexión por salirse del rango de alcance.

3.2.5. Placa Raspberry Pi

La nueva Raspberry Pi 3 B+ incluye un nuevo procesador de 1,4 GHz quad – core ARM Córtex A53 de 64 bits, que en realidad es una ligera actualización del modelo del 2016 (Raspberry Pi 3 B). Mantiene 1GB de memoria SDRAM e incluso los mismos puertos: HDMI de tamaño completo, 04 puertos USB 2.0, Micro SD para memoria interna, conector CSI y DSI.



Figura 21: Raspberry Pi 3 B+.

Donde se logra apreciar la actualización de velocidad, es en su conexión inalámbrica y de cable. El nuevo modelo tiene Wi-Fi 802.11ac de doble banda (2,4 GHz y 5 GHz), Bluetooth 4.2 de bajo consumo y un nuevo puerto Ethernet de 300 Mbps.

ESPECIFICACIONES	RASPBERRY PI 3 MODEL B+ (2018)
PROCESADOR	Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 (ARMv8) 64-bit SoC @ 1.4GHz
RAM	1GB RAM
CONECTIVIDAD	WiFi 802.11.b/g/n/ac de doble banda 2.4GHz y 5GHz Bluetooth 4.2 Puerto Ethernet de hasta 300Mbps
PUERTOS	HDMI completo, 4 USB 2.0, Micro SD, CSI camera, DSI display

Figura 22: Características de la Raspberry Pi 3 B+.

3.2.6. Monitor

Respecto al monitor, hay muchas opciones para elegir. Esto dependerá de la solvencia económica del usuario final, pues existen muchos modelos que varían su precio de acuerdo a sus características.

A continuación, se muestran 03 características con las deberá contar el monitor seleccionado:

- Marca: HP, Lenovo, PHILLIPS o similar.
- Resolución: Full HD para obtener imágenes nítidas y detalladas.
- Puertos: HDMI, VGA, etc.



Figura 23: Monitor.

3.3. Configuración y prueba de dispositivos

3.3.1. Configuración de la Raspberry Pi

A continuación, se muestran los pasos que se deben seguir para configurar la Raspberry Pi 3 B+ correctamente:

- a) Instalar el Sistema Operativo: Raspbian es el SO oficial de la Fundación Raspberry. El SO se puede descargar gratuitamente desde la página oficial: <https://www.raspberrypi.org/downloads/raspbian/>.

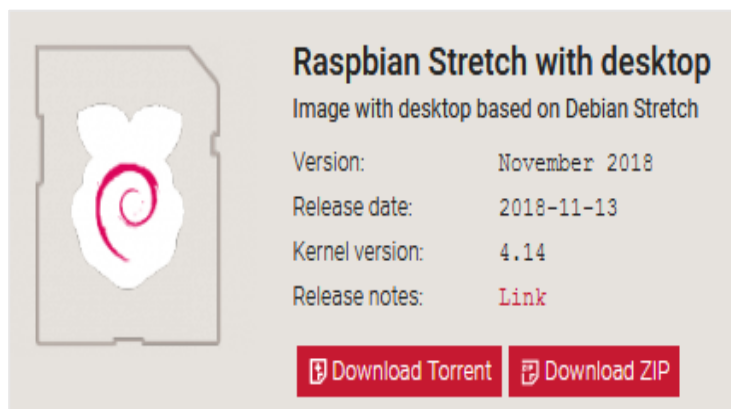


Figura 24: SO para la Raspberry Pi 3 B+.

- b) Descargar el software Win32DiskImager para grabar la imagen binaria del S.O en una memoria micro SD. Este software se puede descargar desde: <https://sourceforge.net/projects/win32diskimager/>. Una vez extraída la imagen binaria del SO, esta debe ser grabada en la tarjeta micro SD. Para esto, se ejecuta el programa Win32DiskImager.

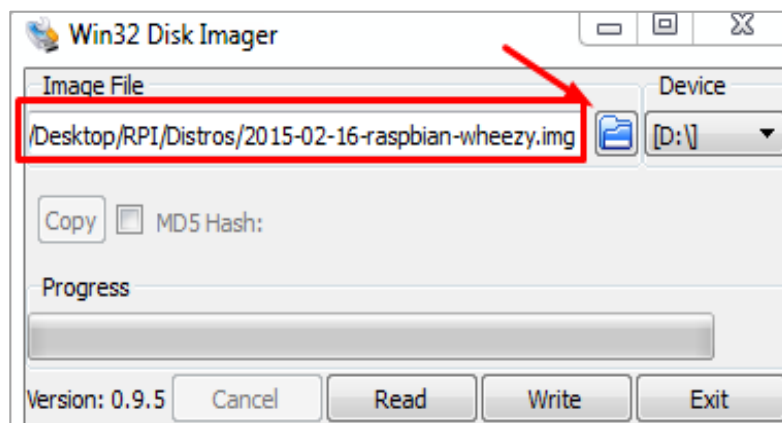


Figura 25: Grabación del SO para la Raspberry Pi 3 B+.

- c) Luego de grabar el SO en la memoria micro SD, ésta debe ser colocada en la Raspberry Pi.



Figura 26: Colocación de la memoria Micro SD.

- d) Después de arrancar la Raspberry Pi, se debe acceder remotamente a la interfaz gráfica mediante el software VNC Viewer para actualizar los paquetes y el SO de la placa. Para lograr esto, se deben conectar la Raspberry Pi y la PC a un router con salida a internet. Además, para identificar las direcciones IP asignadas a los dispositivos se utiliza el software Advanced IP Scanner, el cual está disponible en: <http://www.advanced-ip-scanner.com/es/>.

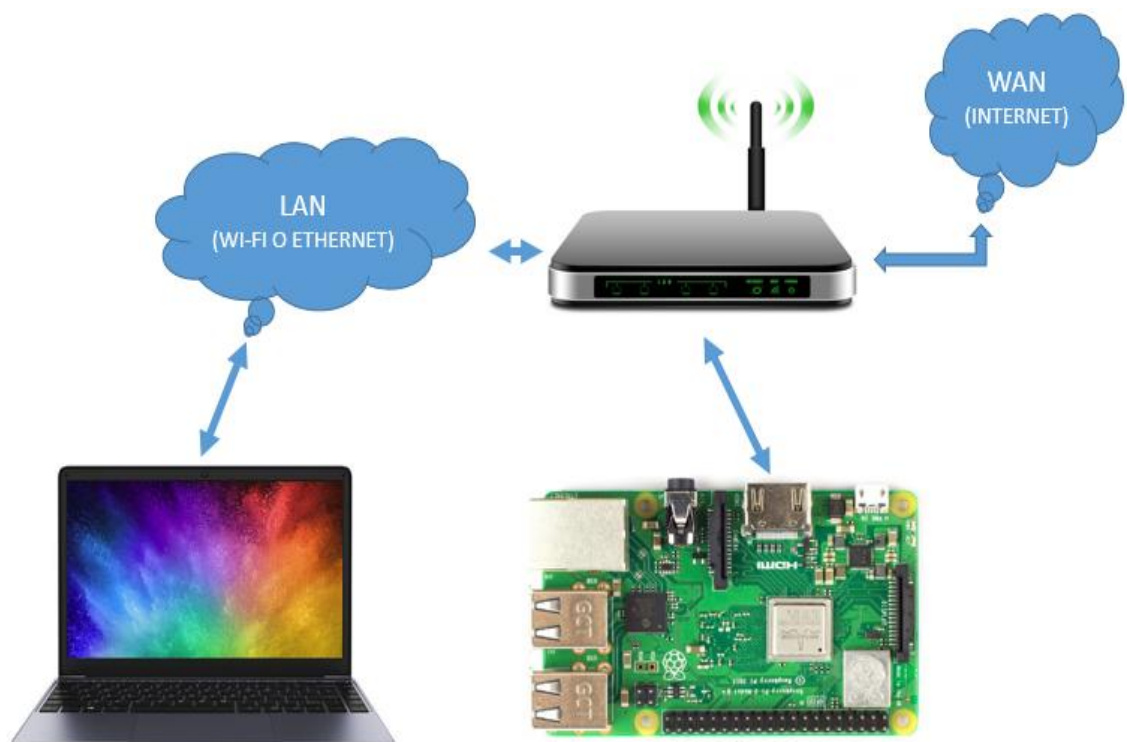


Figura 27: Arquitectura de conexión.

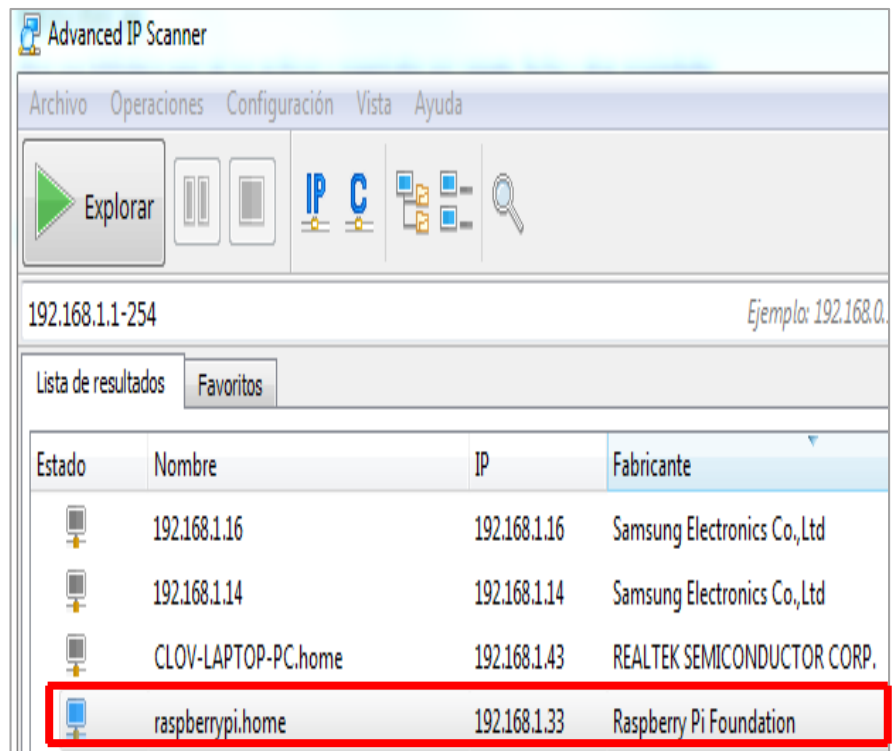


Figura 28: Direcciones IP: Raspberry Pi y PC.

- e) Luego se debe ejecutar el software VNC Viewer para poder ingresar a la interfaz gráfica de la Raspberry pi.

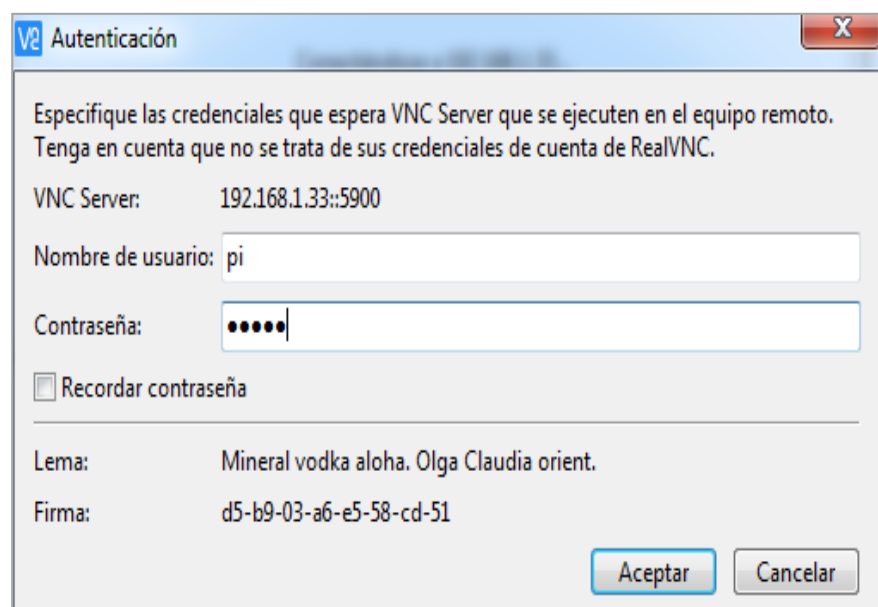


Figura 29: Ingreso a la interfaz gráfica.

- f) El siguiente paso es configurar las opciones de: Sistema, Interfaces, Rendimiento y Localización de la Raspberry Pi.

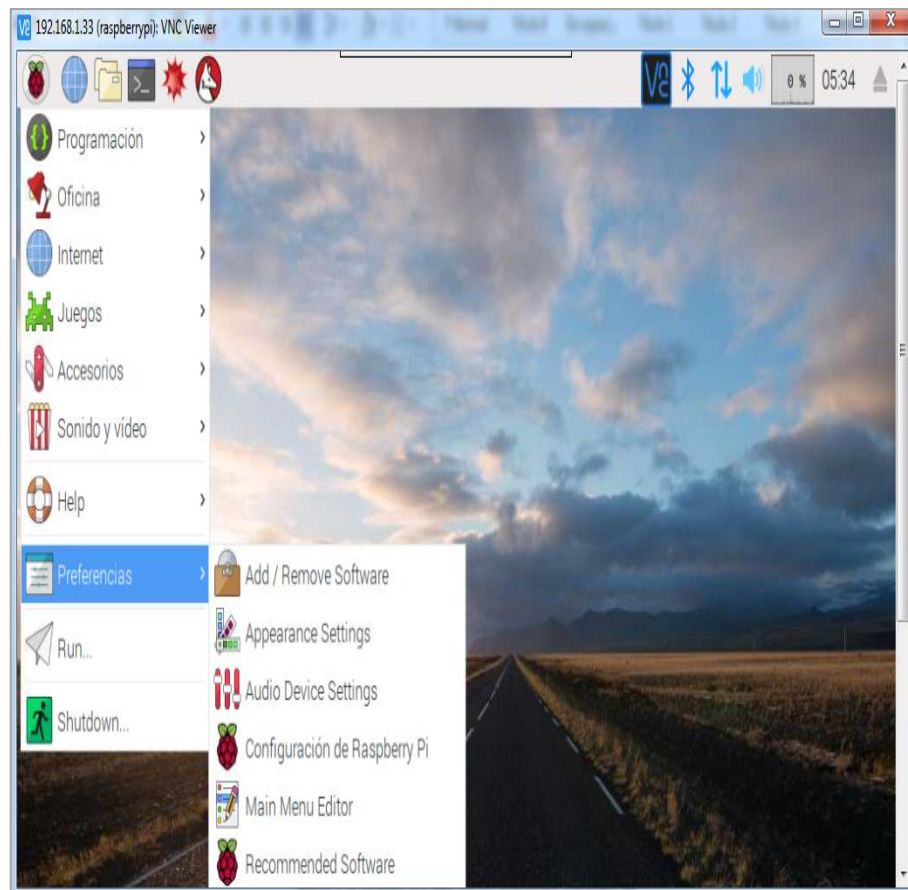


Figura 30: Configuración de la Raspberry pi.

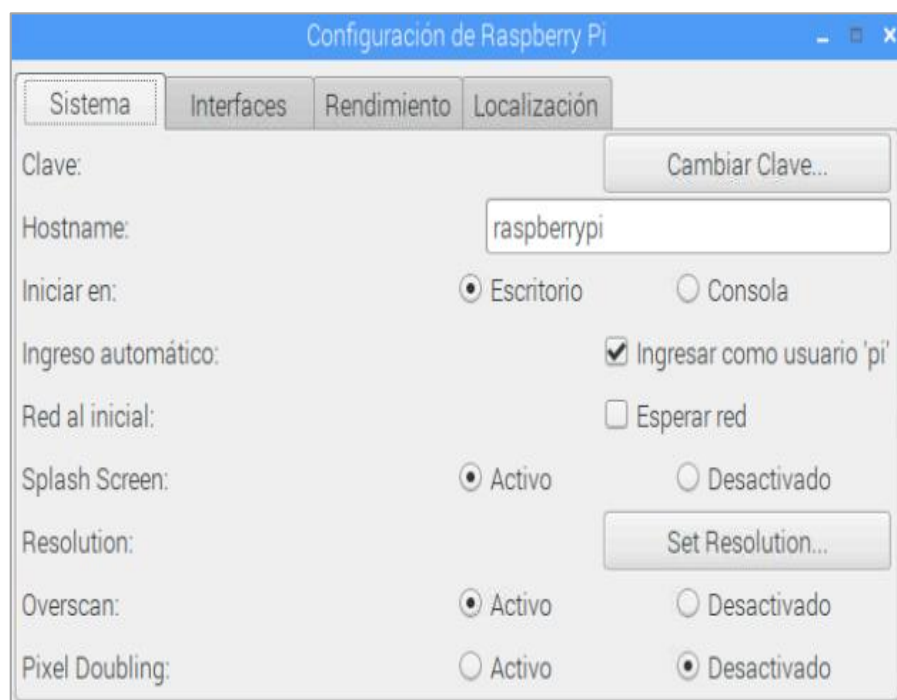


Figura 31: Configuración del sistema de la Raspberry pi.

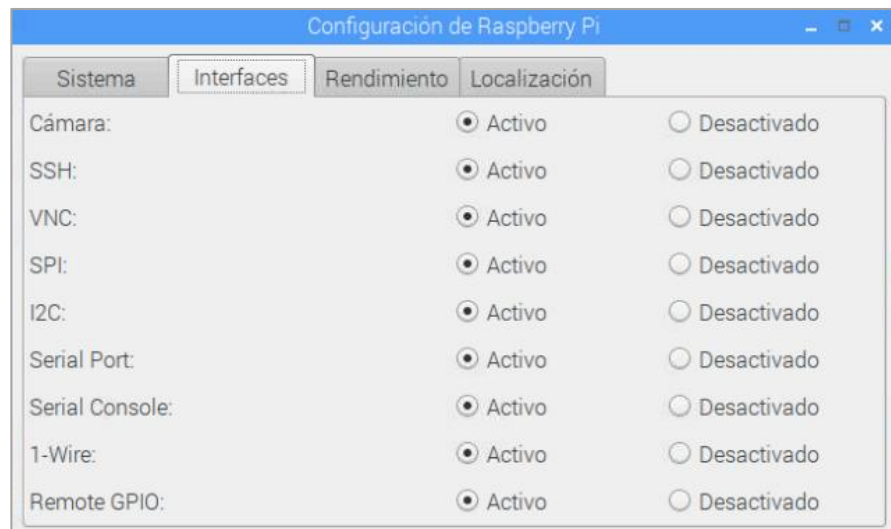


Figura 32: Configuración de las interfaces de la Raspberry pi.

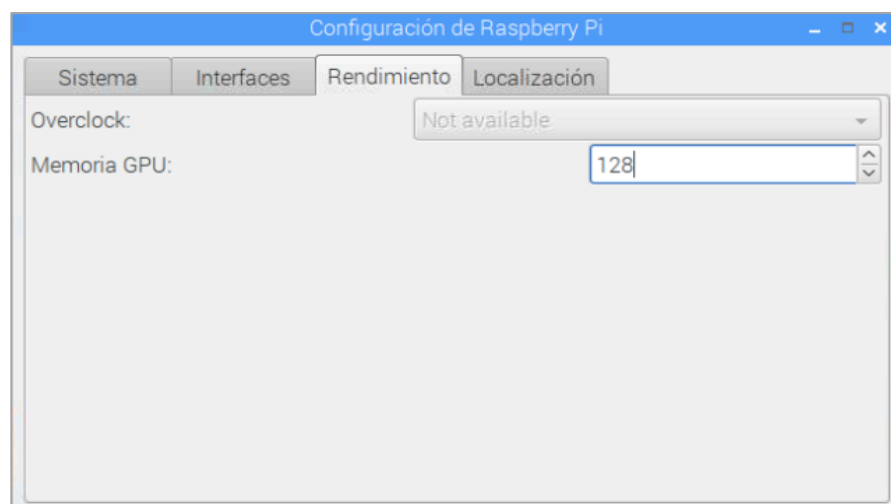


Figura 33: Configuración del rendimiento de la Raspberry pi.

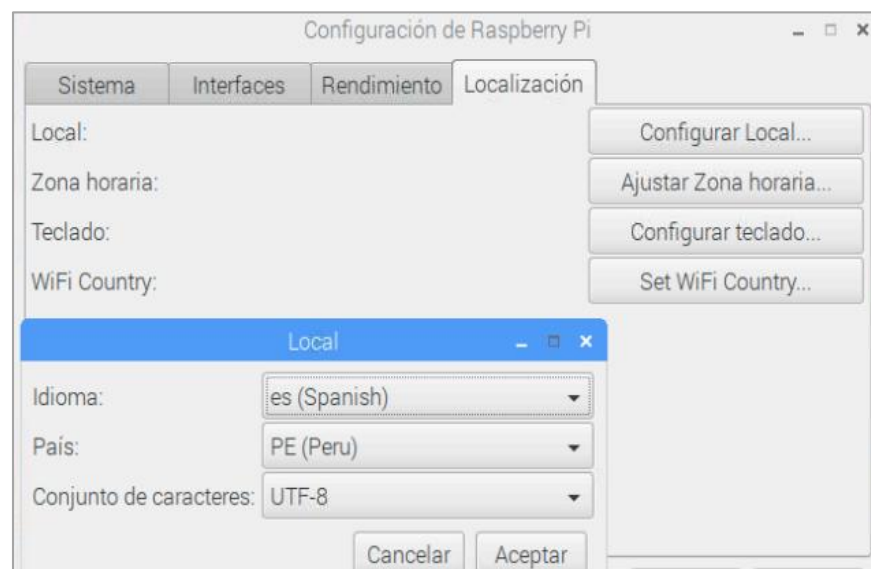


Figura 34: Configuración de localización de la Raspberry pi.

- g) Finalmente se deben actualizar la lista de paquetes y el S.O de la Raspberry Pi escribiendo los comandos “sudo apt-get update” y “sudo apt-get upgrade” en la ventana de comandos. Para esto, hay que tener la conexión a internet habilitada.



```
pi@raspberrypi: ~  
Archivo Editar Pestañas Ayuda  
pi@raspberrypi:~$ sudo apt-get upgrade  
Leyendo lista de paquetes... Hecho  
Creando árbol de dependencias  
Leyendo la información de estado... Hecho  
Calculando la actualización... Hecho  
Los siguientes paquetes se han retenido:  
  sense-emu-tools  
0 actualizados, 0 nuevos se instalarán, 0 para eliminar y 1 no actualizados.  
pi@raspberrypi:~$ sudo apt-get update  
0% [Conectando a raspbian.raspberrypi.org] [Conectando a archive.raspberrypi.org]
```

Figura 35: Actualización de paquetes y del SO de la Raspberry Pi.

3.3.2. Configuración del módulo bluetooth

A continuación, se muestran los pasos que se deben seguir para configurar el Módulo Bluetooth HC-05 a través de comandos AT:

- a) Conectar los pines del módulo bluetooth a un convertidor USB – TTL, como se muestra en la Figura 36.

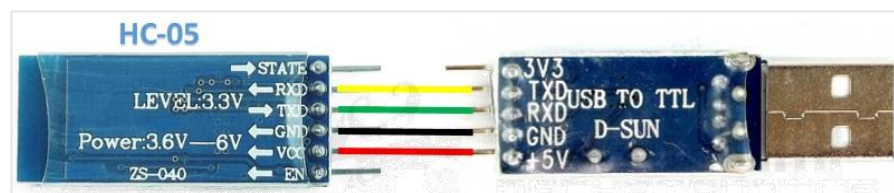


Figura 36: Conexión entre Módulo Bluetooth HC-05 y el Convertidor USB – TTL.

- b) Conectar el Convertidor USB – TTL al puerto USB de la PC o laptop.



Figura 37: Convertidor USB – TTL.

- c) Si se está utilizando el S.O Windows, se debe buscar en el “Administrador de dispositivos” el puerto COM asignado al Convertidor USB – TTL.

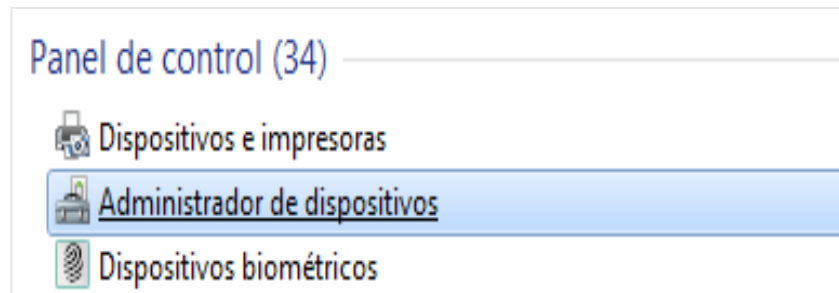


Figura 38: Administrador de dispositivos de Windows.

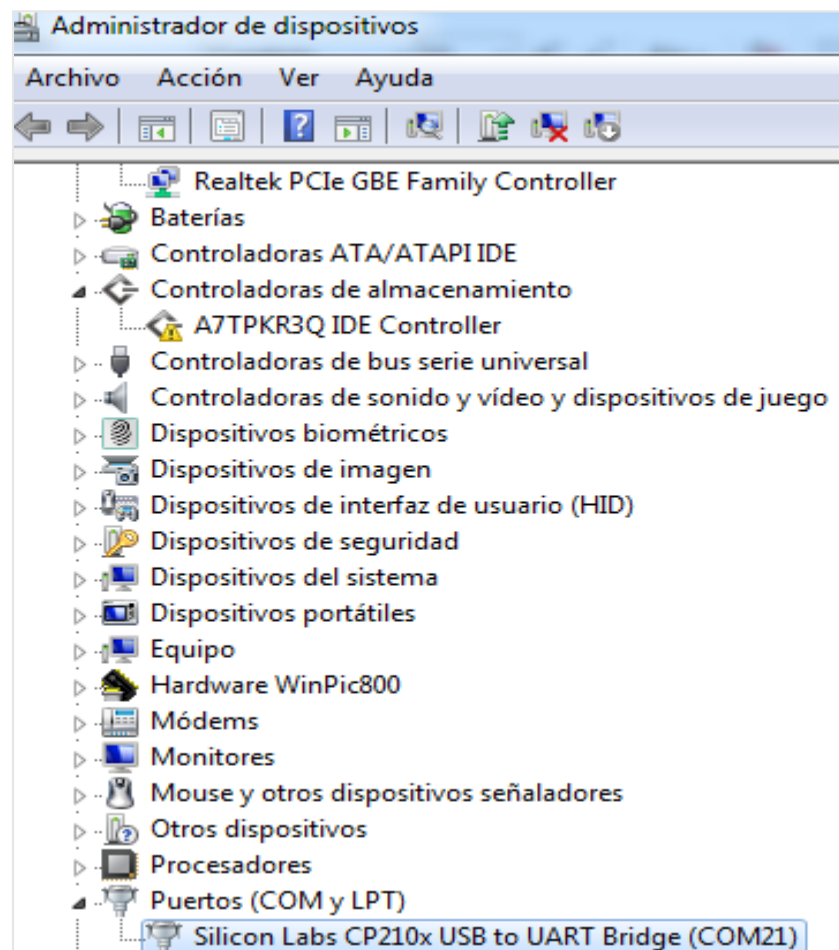


Figura 39: Puerto COM asignado al Convertidor USB – TTL.

- d) Abrir el IDE de Arduino y seleccionar el puerto COM correcto para poder configurar el Módulo Bluetooth.

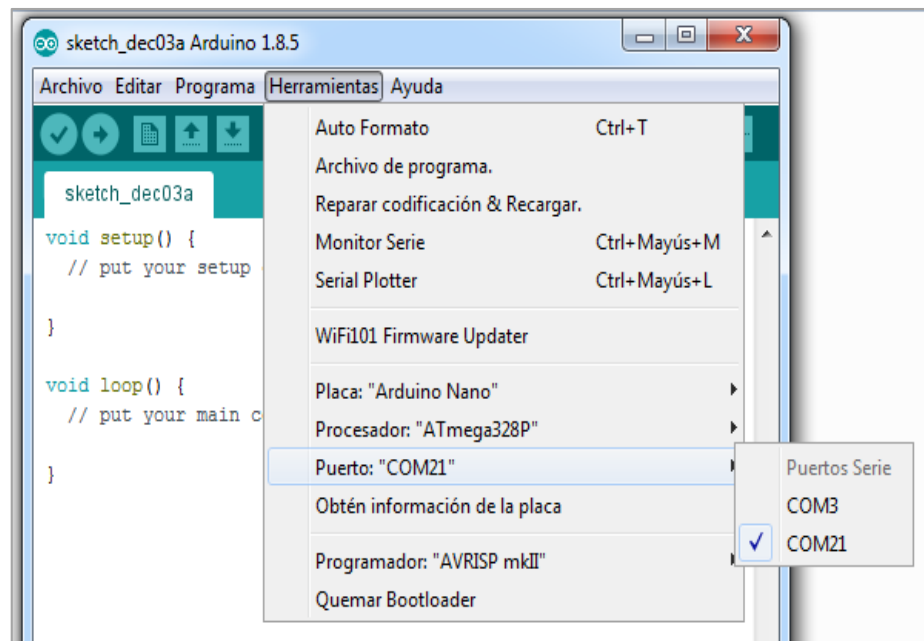


Figura 40: Configuración del HC-05 mediante el IDE de Arduino.

e) Finalmente, se deben escribir los comandos AT en el monitor serial del IDE de Arduino para configurar el Módulo Bluetooth con los siguientes parámetros:

- AT+NAME: LUIS.
- AT+PSWD: 1234.
- AT+UART: 9600.
- AT+ROL: SLAVE.

3.3.3. Pruebas del Pulsioxímetro

Este sensor está formado por una placa de circuito impresa, la cual está expuesta y si se tocan los puntos de soldadura, se podría cortocircuitar o introducir un ruido de señal no deseado. Por lo tanto, se debe aislar la placa de los dedos (sudorosos) mediante un pliegue de silicona en ambas caras del sensor, con la finalidad de evitar contactos que podrían dañar su circuitería interna.

En las siguientes figuras se muestra el proceso de aislamiento realizado en ambas caras del sensor.



Figura 41: Soldadura de cables de extensión.



Figura 42: Aislamiento de ambas caras del pulsioxímetro.

3.3.4. Pruebas del sensor de temperatura

El sensor de temperatura LM35 es un dispositivo semiconductor que no requiere calibración ni circuitos de filtrado.

Para comprobar el buen funcionamiento del sensor, se realizó un sketch en el IDE de Arduino que permite visualizar el valor de la temperatura ambiental a través del Monitor Serial.

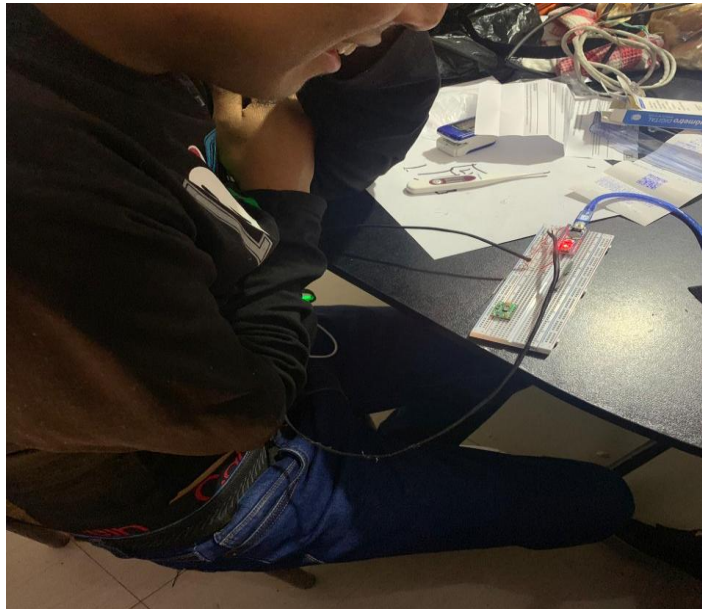


Figura 43: Conexión del sensor de temperatura.

```

Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
✓ ↻ 📄 ⬆️ ⬇️ Verificar
sketch_aug02a$

const int sensor_Temp = A0; // Pin Analogico para el sensor de temperatura.
void setup()
{
  Serial.begin(9600); // Inicializacion de la comunicacion serial.
}

void loop()
{
  int valor = analogRead(sensor_Temp); // En la variable "valor" se almacena
                                     // la lectura obtenida en el pin analogico.
  float milivolts = (valor / 1023.0) * 5000; // Conversion a milivoltios.
  float temperatura = milivolts / 10; // Conversion a temperatura.
  Serial.println(temperatura); // Mostrar el valor de la temperatura en el monitor serial
}

```

Figura 44: Sketch para el sensor de temperatura.

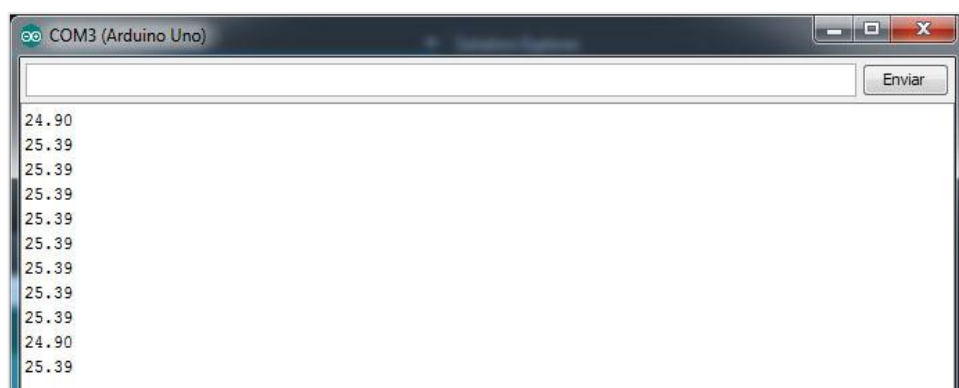


Figura 45: Valores obtenidos por el sensor de temperatura.

3.4. Diseño de la aplicación móvil

La aplicación móvil será desarrollada con la herramienta online MIT App Inventor, la cual está disponible en Google a través de una cuenta de gmail. El entorno de desarrollo se encuentra disponible en: <https://appinventor.mit.edu/>



Figura 46: Diseño de la aplicación móvil.

Antes de ejecutar la aplicación, el Smartphone deberá vincularse previamente con el Módulo Bluetooth. Luego, a través del botón “SELECCIONAR”, se desplegará una lista con los dispositivos móviles que se encuentren con la opción de “Conexión a través Bluetooth” activada.

Para iniciar el intercambio de información, se deberá presionar el botón “CONECTAR”.

3.5. Interfaz gráfica para el monitor

Processing cuenta con una aplicación disponible para visualizar el valor de BPM, una gráfica de la evolución del pulso cardiaco y el tiempo transcurrido entre cada latido del corazón (IBI). El sketch se encuentra disponible en: <https://pulsesensor.com/pages/processing-visualization>

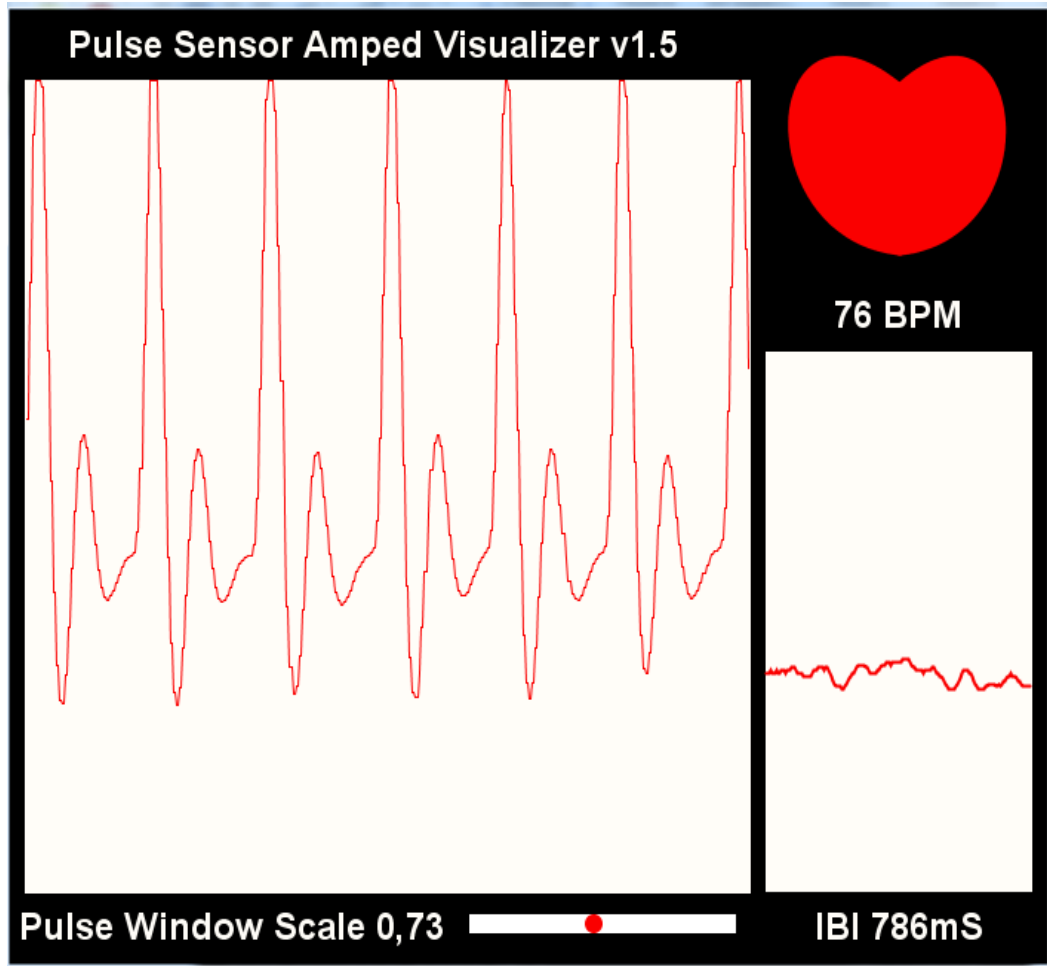


Figura 47: Interfaz gráfica para el monitor.

3.6. Conexión entre los dispositivos del prototipo

Las lecturas de los tres mediciones serán recogidas y procesadas por la placa Arduino Nano a través de sus entradas analógicas. Para este caso, el sensor de temperatura LM35 estará conectado al pin analógico A0, mientras que el Pulsioxímetro estará conectado en el pin analógico A1. Después de realizar las lecturas, la placa Arduino Nano empieza el proceso de convertir los valores analógicos a digitales para almacenarlos en su memoria de datos.

La conexión entre la placa Arduino Nano y el módulo Bluetooth HC – 05 se realizará a través de los pines Tx y Rx (Transmisión y Recepción), los cuales son utilizados para establecer una comunicación del tipo serial. El módulo bluetooth será el encargado de recibir la petición del celular, a través de la aplicación móvil, para poder visualizar los valores obtenidos por los sensores.

El intercambio de información entre la placa Arduino Nano y la placa Raspberry Pi 3 Modelo B + se realizará utilizando un cable USB Mini B. Luego de esto, la placa Raspberry PI enviará los datos hacia al monitor a través de su puerto HDMI (o VGA usando un adaptador) para poder visualizar la evolución del pulso cardiaco en tiempo real a través de la interfaz gráfica de Processing.

Es importante acotar que todos los dispositivos del prototipo deben contar con el nivel de tensión adecuado para trabajar correctamente. Esta labor la realizará una fuente de alimentación conmutada, la cual cuenta con protección contra cortocircuitos y sobrecargas.

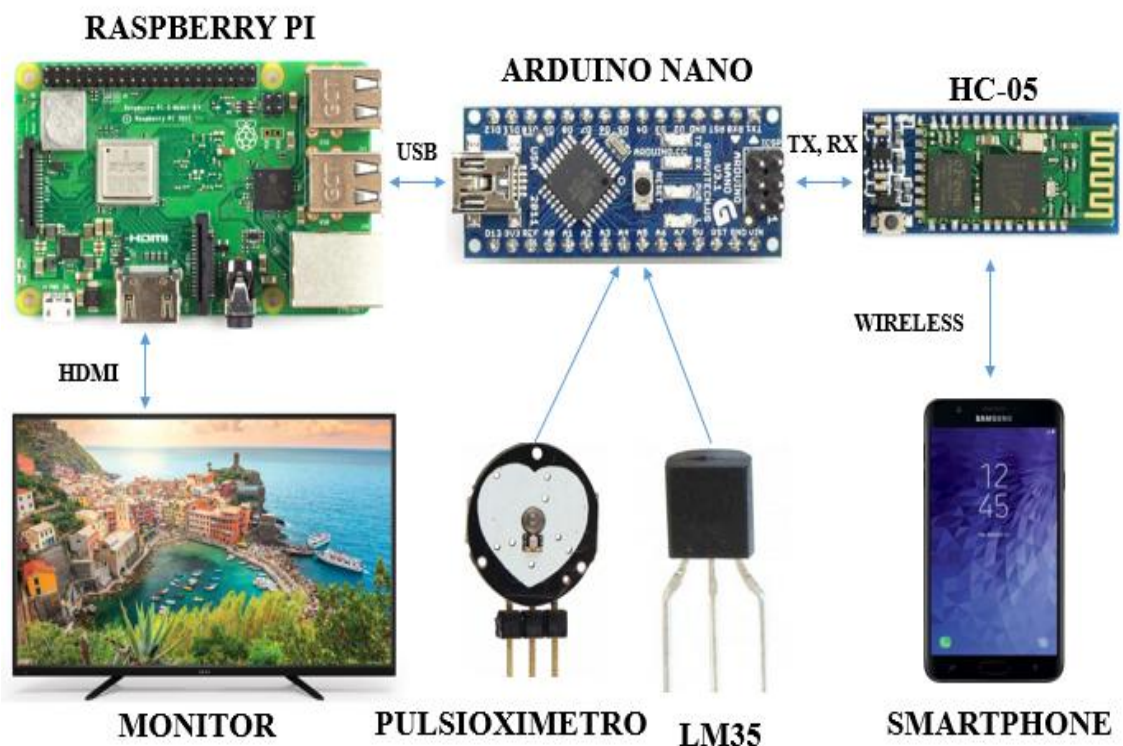


Figura 48: Conexión entre los dispositivos.

La conexión de todos los dispositivos del prototipo se realizará en una PCB de fibra de vidrio. Para el diseño de la PCB se utilizará el software Proteus Profesional v8.1.

En la Figura 49 se muestra el diseño final de la PCB con la interconexión de los dispositivos del prototipo.

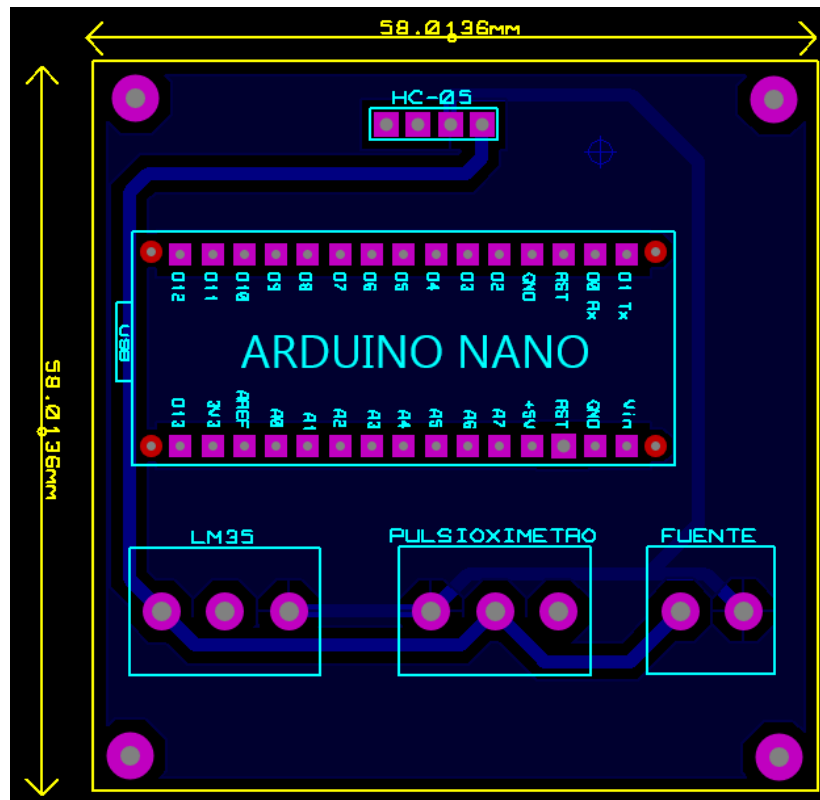


Figura 49: Diseño de la PCB.

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

CAPITULO IV

4.1. Cálculo de la precisión del sensor de temperatura

Para comprobar el buen funcionamiento y la precisión del sensor de temperatura, se realizaron medidas con un instrumento patrón. Para este caso, se utilizó como instrumento patrón el termómetro digital modelo BT-A11CN de la marca med cell el cual tiene una precisión de $\pm 0,1\%$.



Figura 50: Pruebas del sensor de temperatura.

Las reglas seguidas para el cálculo de la precisión del sensor de temperatura son las siguientes:

- 1) La medida con el instrumento patrón se deberá repetir tres veces para intentar neutralizar el error accidental. Simultáneamente, se realizarán tres medidas con el prototipo.



Figura 51: 1era medida con instrumento patrón (Temperatura).



Figura 52: 2da medida con instrumento patrón (Temperatura).

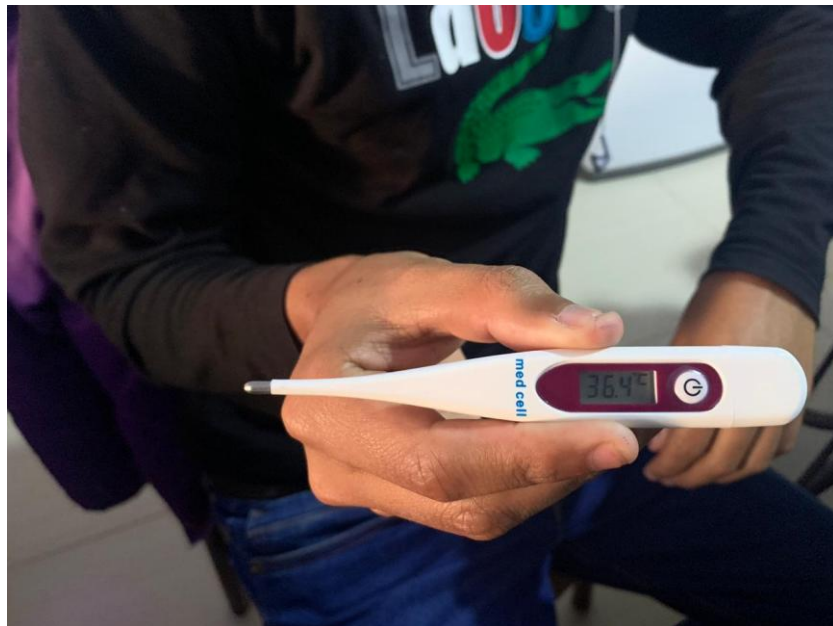


Figura 53: 3ra medida con instrumento patrón (Temperatura).

El prototipo arrojó las siguientes medidas: la primera medida fue 35,77 °C; la segunda medida fue 36 °C y la tercera medida fue 36,3 °C.

- 2) Se tomará como valor real (que se acerca al valor exacto) al promedio o media aritmética simple de los resultados obtenidos con el instrumento patrón.
- 3) El error absoluto se calculará como la diferencia entre cada una de las medidas del prototipo y el valor tomado como exacto, es decir el promedio.

- 4) El error relativo de cada medida se calculará como el error absoluto de la misma dividido por el valor asumido como exacto (promedio).
- 5) La precisión del prototipo se calculará como la media aritmética simple de los errores relativos de cada medida del prototipo.

Tabla 4: Cálculo de la precisión del sensor de temperatura.

Instrumento patrón	Promedio	Prototipo	Error absoluto	Error relativo (%)	Precisión (%)
35,85	36,12	35,77	0,35	0,96	0,6
36,1		36	0,12	0,32	
36,4		36,3	0,18	0,51	

De este análisis, se concluye que la precisión del sensor de temperatura es de $\pm 0,6\%$.

4.2. Cálculo de la precisión del pulsioxímetro

Para comprobar el buen funcionamiento y la precisión del pulsioxímetro, se realizaron medidas con un instrumento patrón. Para este caso, se utilizó como instrumento patrón el Pulsioxímetro digital modelo CMS50D+ de la marca CONTEC, el cual tiene una precisión de $\pm 0,1\%$.



Figura 54: Pruebas del Pulsioxímetro.

Las reglas seguidas para el cálculo de la precisión del pulsioxímetro (cuando mide el pulso cardiaco) son las siguientes:

- 1) La medida con el instrumento patrón se deberá repetir tres veces para intentar neutralizar el error accidental. Simultáneamente, se realizarán tres medidas con el prototipo.



Figura 55: 1ra medida con instrumento patrón (Pulso).

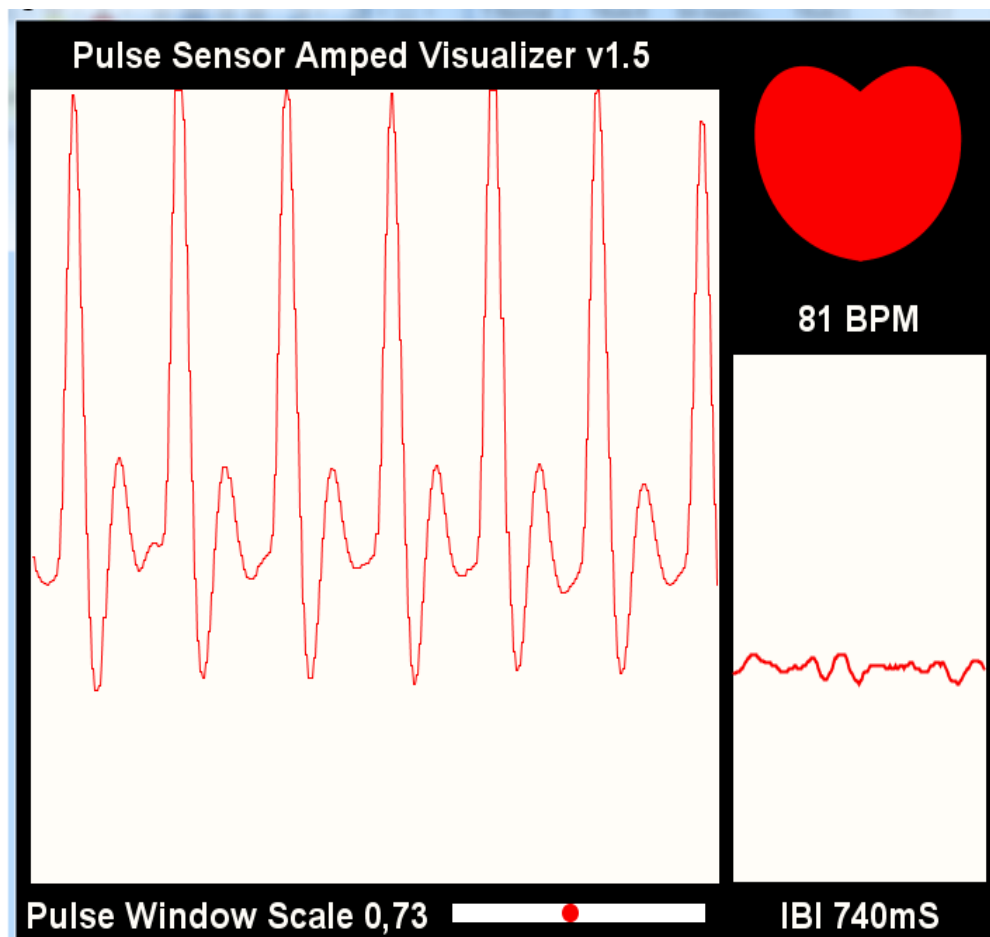


Figura 56: 1ra medida con el prototipo (Pulso).

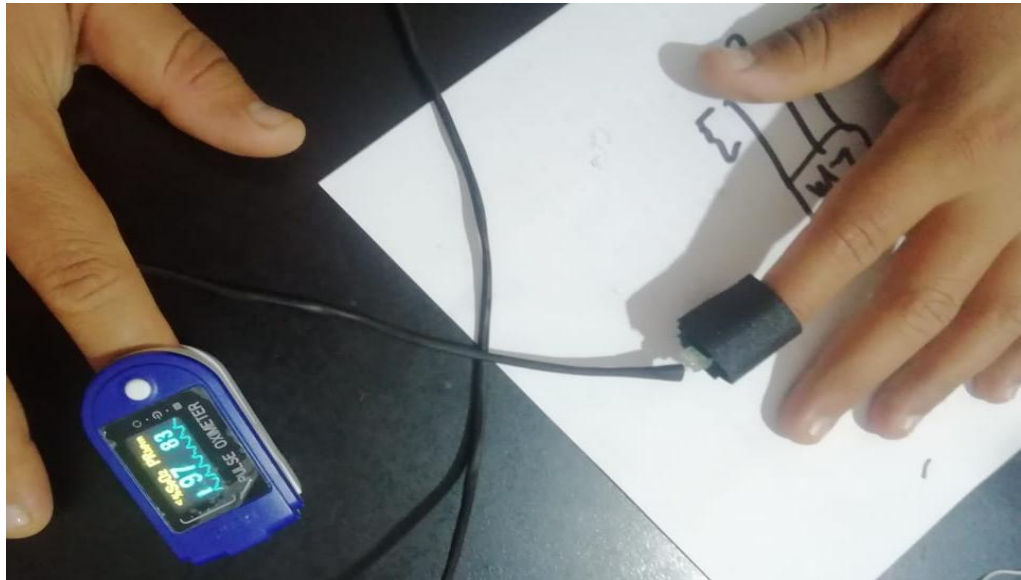


Figura 57: 2da medida con instrumento patrón (Pulso).

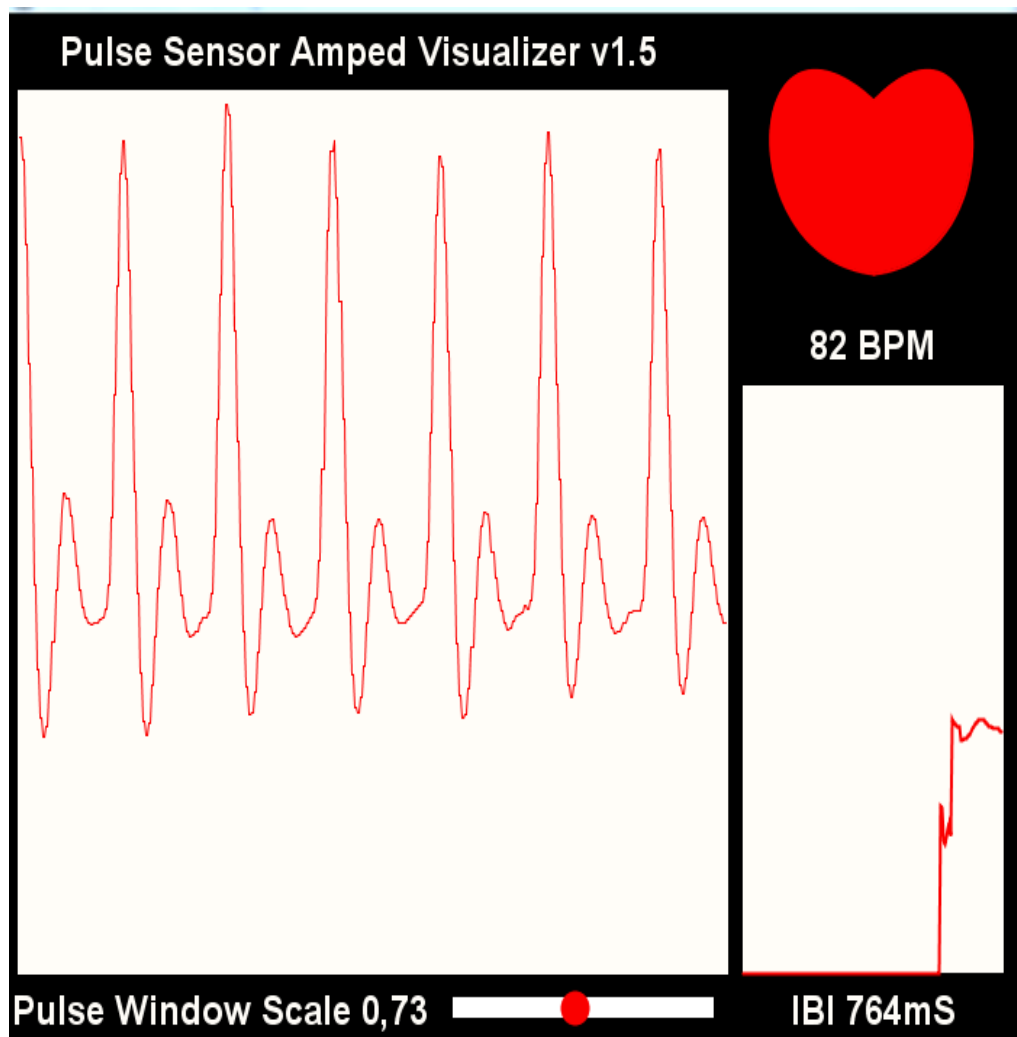


Figura 58: 2da medida con el prototipo (Pulso).



Figura 59: 3ra medida con instrumento patrón (Pulso).

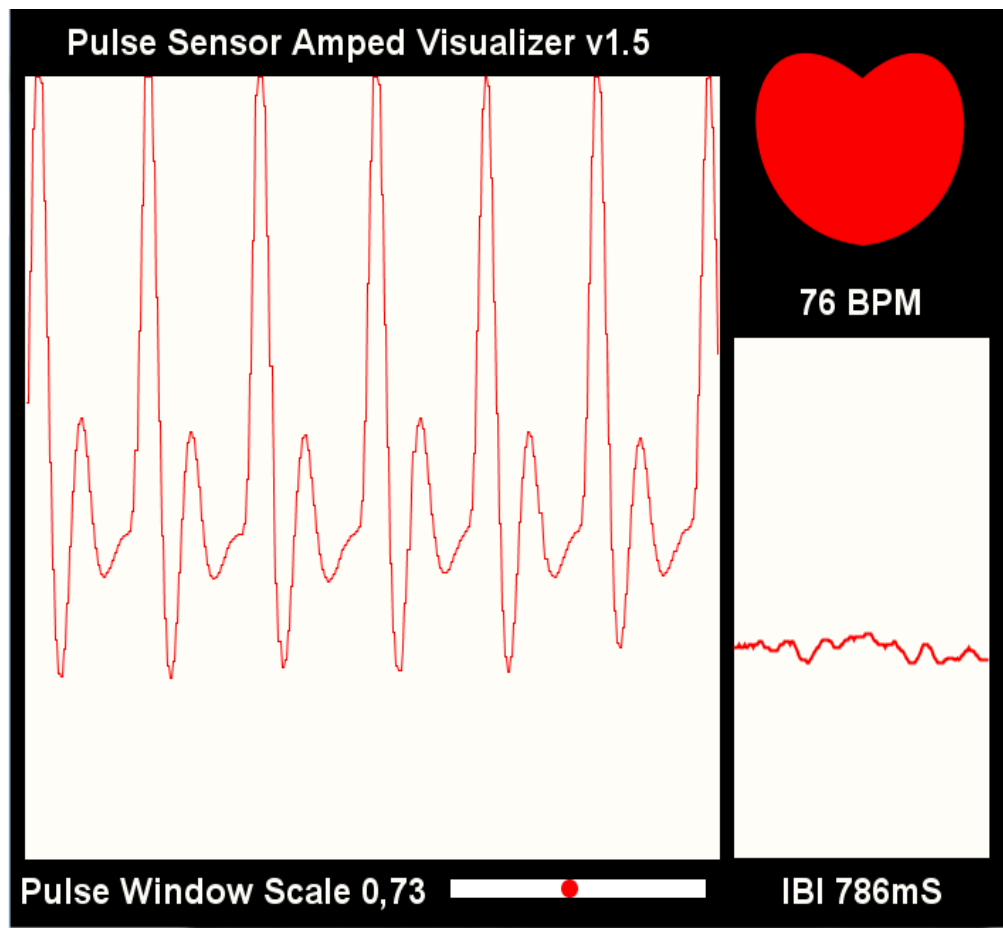


Figura 60: 3ra medida con el prototipo (Pulso).

- 2) Se tomará como valor real (que se acerca al valor exacto) al promedio o media aritmética simple de los resultados obtenidos con el instrumento patrón.
- 3) El error absoluto se calculará como la diferencia entre cada una de las medidas del prototipo y el valor tomado como exacto, es decir el promedio.
- 4) El error relativo de cada medida se calculará como el error absoluto de la misma dividido por el valor asumido como exacto (promedio).
- 5) La precisión del prototipo se calculará como la media aritmética simple de los errores relativos de cada medida del prototipo.

Tabla 5: Cálculo de la precisión del pulsioxímetro.

Instrumento patrón	Promedio	Prototipo	Error absoluto	Error relativo (%)	Precisión (%)
81	80,67	81	0,33	0,41	2,62
83		82	1,33	1,65	
78		76	4,67	5,79	

De este análisis, se concluye que la precisión del pulsioxímetro al momento de medir el pulso cardiaco es de +/- 2,62%.

Respecto a la medida del porcentaje de saturación de oxígeno en la sangre, el prototipo y el instrumento patrón marcaron 98% en las 03 medidas realizadas.

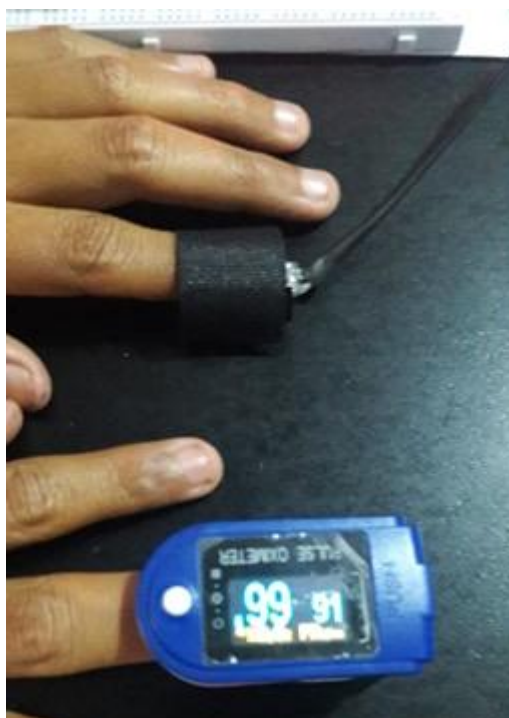


Figura 61: Medida del porcentaje de saturación de oxígeno en la sangre.

4.3. Implementación del prototipo

En la Figura 62, se puede observar la distribución de todos los dispositivos dentro de una carcasa metálica. En la Figura 63, se observan las conexiones de los sensores, el cable HDMI y el interruptor de POWER.



Figura 62: Distribución de dispositivos.

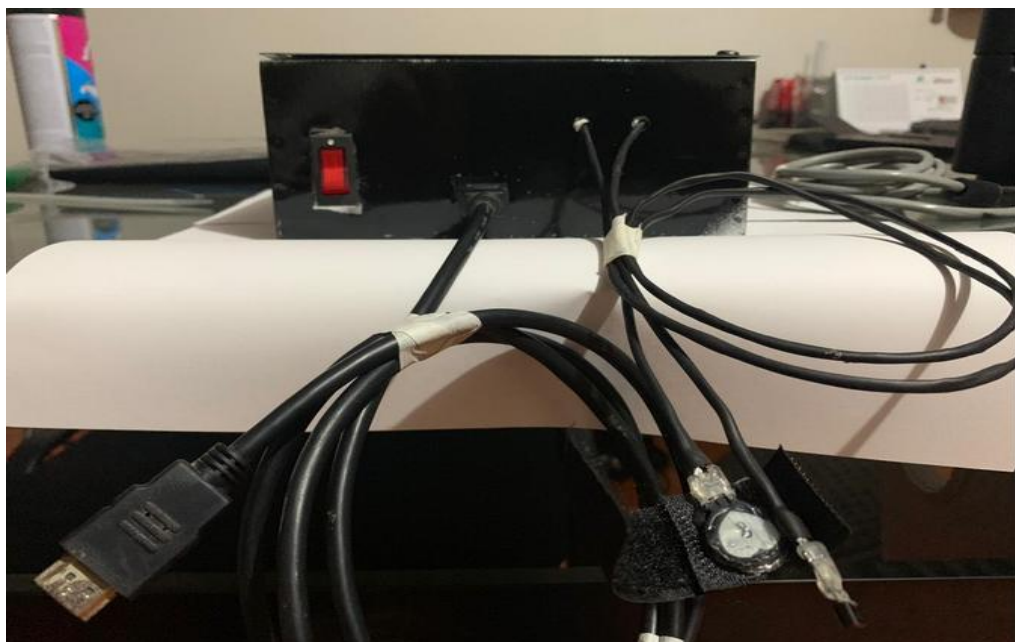


Figura 63: Ubicación de sensores, cable HDMI y el interruptor de POWER.

En la Figura 64, se muestra el prototipo final.



Figura 64: Prototipo final.

COSTOS

CAPITULO V

5.1. Costo de los sensores

En la Tabla 6 se muestran los precios de los sensores. La lista de precios fue obtenida en tiendas electrónicas de la Ciudad e Chiclayo.

Tabla 6: Tabla de costos de los sensores.

Referencia	Descripción	Costo unitario (/S.)	Cantidad	Precio (/S.)
LM35	Sensor de temperatura	6,00	01	6,00
Pulse Sensor Amped	Pulsioxímetro	24,00	01	24,00

5.2. Costo de los controladores

En la Tabla 7 se muestran los precios de los controladores. La lista de precios fue obtenida en tiendas de la Ciudad e Chiclayo.

Tabla 7: Tabla de costos de los controladores.

Referencia	Descripción	Costo unitario (/S.)	Cantidad	Precio (/S.)
Arduino Nano	Controlador	30,00	01	30,00
Raspberry Pi 3 B+	Microcomputadora	200,00	01	200,00
Kit de accesorios	Micro SD de 16 GB, Fuente de poder (5V-2A), Ventilador, Case de protección, HDMI	120,00	01	120,00

5.3. Costo total

En la Tabla 8 se muestra el precio total del proyecto.

Tabla 8: Tabla del costo total del proyecto.

Costo	Precio (/S.)
Costo de los sensores	30,00
Costo de los controladores	350,00
Costo Total	380,00

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- 1) Se logró diseñar e implementar un prototipo para un sistema de monitoreo de signos vitales con aplicación para dispositivos móviles. El prototipo tendrá la capacidad de realizar lecturas de temperatura corporal, de pulso cardíaco y de porcentaje de saturación de oxígeno en niños mayores de 10 años y adultos.
- 2) Al realizar las pruebas necesarias, se pudo comprobar el buen funcionamiento del prototipo monitor de signos vitales. Las pruebas consistieron en comparar las medidas obtenidas por los sensores del prototipo con las medidas de un instrumento médico reconocido en el mercado. Las pruebas arrojaron que el prototipo tiene una precisión de $\pm 0,6\%$ para la medición de temperatura y $\pm 2,62\%$ para la medida de pulso cardíaco. En cuanto a la medida del porcentaje de saturación de oxígeno en la sangre, el prototipo siempre obtuvo la misma medida que el instrumento patrón, es decir 99% .
- 3) Finalmente, se concluye que el prototipo es una herramienta fiable, pues su margen de error es pequeño y cercano al de los instrumentos patrón utilizados para realizar las pruebas. Además, el costo del prototipo es bajo en comparación con los sofisticados equipos médicos. Sin embargo, es importante recordar que el diagnóstico médico ofrecido por el prototipo debe ser analizado por un especialista.

RECOMENDACIONES

- 1) Se recomienda que las mediciones sean realizadas en un espacio donde la luz solar no influya sobre el pulsioxímetro, pues este sensor basa su funcionamiento en la cantidad de luz que atraviesa el dedo o el lóbulo de la oreja.
- 2) Se puede sustituir el módulo bluetooth por un módulo Ethernet con conexión a internet, de esta manera el médico puede tener acceso al registro de valores en tiempo real través de un interfaz web o una base de datos.
- 3) En la aplicación móvil, se puede incluir una opción que permita desplegar gráficas de la evolución en tiempo real de las magnitudes medidas por el prototipo.

BIBLIOGRAFÍA

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABC Tecnología. (21 de Julio de 2013). *Raspberry Pi*. Obtenido de <https://www.abc.es/tecnologia/informatica-hardware/20130716/abci-raspberry-como-201307151936.html>
- ADSLZone. (s.f.). *¿Qué es el Bluetooth?* Obtenido de https://www.adslzone.net/bluetooth_info.html
- Aranaz Tudela, J. (Enero de 2012). *DESARROLLO DE APLICACIONES PARA DISPOSITIVOS MÓVILES SOBRE LA PLATAFORMA ANDROID DE GOOGLE*. Obtenido de https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/6506/PFC_Jaime_Aranaz_Tudela_2010116132629.pdf;jsessionid=55B4ABA80477AFD0901756424B660DE4?sequence=1
- Camargo Pacheco, B. C. (26 de Junio de 2015). *Tecnología Wi-Fi*. Obtenido de <https://www.gestiopolis.com/tecnologia-wi-fi/>
- Castellanos, J. C. (14 de Marzo de 2017). *Historia de la Raspberry Pi*. Obtenido de <https://teslabem.com/blog/historia-de-raspberry-pi/>
- Edu Makers. (s.f.). *App Inventor*. Obtenido de <http://www.edumakers.es/index.php/programa/app-inventor>
- Esmandía, C. (28 de Julio de 2018). *Síntomas de taquicardia: qué hacer y cuándo ir al médico*. Obtenido de https://www.clara.es/bienestar/salud/taquicardia-arritmia-palpitaciones-sintomas-pruebas-tratamientos_11540
- Gama Laudir, C. (s.f.). *FRECUENCIA CARDIACA*. Obtenido de <https://edoc.site/frecuencia-cardiaca-y-pulsopdf-pdf-free.html>
- Giménez Font, X. (04 de Junio de 2014). *¿Termómetros digitales o termómetros de mercurio? Parte I*. Obtenido de <https://www.investigacionyciencia.es/blogs/fisica-y-quimica/39/posts/termómetros-digitales-o-termómetros-de-mercurio-parte-i-12145>
- Leyva Bravo, J. (2016). *La comunicación inalámbrica*. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202016000200011
- LLamas, L. (s.f.). *Modelos de Raspberry Pi*. Obtenido de <https://www.luisllamas.es/modelos-de-raspberry-pi/>
- Mamani, V. (s.f.). *Tecnología Bluetooth*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/348781490/4-Tecnologia-A-Bluetooth>
- Martínez, M. (16 de Junio de 2016). *Todas las novedades de Bluetooth 5 y evolución de la tecnología inalámbrica*. Obtenido de <https://www.movilzona.es/2016/06/16/bluetooth-5-llega-con-mas-velocidad-y-alcance-bajo-el-brazo/>

- Medical Disclaimer. (30 de Enero de 2018). *Cómo Tomar La Temperatura* . Obtenido de https://www.drugs.com/cg_esp/c%C3%B3mo-tomar-la-temperatura-oral.html
- MedlinePlus. (7 de Noviembre de 2018). *Nivel de oxígeno en la sangre*. Obtenido de <https://medlineplus.gov/spanish/pruebas-de-laboratorio/nivel-de-oxigeno-en-la-sangre/>
- MedlinePlus. (07 de Enero de 2019). *El pulso cardiaco*. Obtenido de <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/003399.htm>
- MedlinePlus. (07 de Enero de 2019). *Temperatura corporal normal*. Obtenido de <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/001982.htm>
- Pérez, G. (s.f.). *Saturación de oxígeno en sangre*. Obtenido de https://www.gasometria.com/saturacion_de_oxigeno_en_sangre
- Preciado Hortigón, M. (15 de Mayo de 2018). *LA IMPORTANCIA DE UNA BUENA SATURACIÓN DE OXÍGENO* . Obtenido de <https://alzheimerterritierradebarros.es/component/k2/1-noticias-de-alzheimer/768-la-importancia-de-una-buena-saturacion-de-oxigeno>