



# unitec

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE SIGNOS VITALES, IDENTIFICACIÓN Y**

**DETECTOR DE CAÍDAS PARA ADULTOS MAYORES A BAJO COSTO.**

**VDI 2206**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO:**

**INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**PRESENTADO POR:**

**21511260 CARLOS RENÉ PAREDES NOLASCO**

**ASESOR: ING. ALICIA MARÍA REYES DUKE**

**CAMPUS: SAN PEDRO SULA; JULIO, 2021**

## **DEDICATORIA**

A mis padres, Samuel Paredes, Karen Nolasco, Roberto Mena, a mi tía Yolany Paredes y a mis abuelos Samuel Paredes y Dunia Zaldívar; por su apoyo moral, comprensión, confianza, por el gran esfuerzo y por ese gran amor que me han mostrado al ser inseparables en todas las etapas de mi periodo de estudio, sin ellos la finalización de mi carrera no hubiera sido posibles. Han sido mi apoyo durante toda mi vida, en cada paso que he dado, en cada meta que he cumplido, son mi ejemplo de superación, agradezco por su enorme esfuerzo para brindarme todo el conocimiento posible durante mi vida.

A Baloo mi perrito que sin decirlo sin palabras él siempre ha estado apoyándome en todo momento con mis desvelos en el proyecto porque siempre me acompaña sin importarle la hora brindándome una cálida compañía.

## **AGRADECIMIENTOS**

Primeramente, le agradezco a Dios, ya que sin Dios no somos nada, es quien me ha guiado por el mejor camino, dándome sabiduría, entendimiento y además fortaleza para poder afrontar y superar las adversidades que se me han presentado en el camino.

Doy gracias Mi asesora metodológica, la Ing. Alicia María Reyes Duke por ayudarme a contribuir en el desarrollo de mi investigación a lo largo de la tesis apoyándome en todo momento siempre motivándome para salir adelante como un futuro profesional.

A mi novia Tagrid Gabriele la ayuda que me ha brindado a lo largo de mi carrera ha sido incondicional, en todo momento me ha ofrecido su apoyo, su aprecio, ante cualquier momento difícil siempre estuviste ahí para motivarme y sacarme adelante sabiendo que podía lograrlo apoyándome en mis metas tanto personales como profesionales gracias por ser tan especial e importante para mi vida.

A mi amigo Ronaldo Flores con el que compartí una maravillosa experiencia universitaria en las que pasamos buenos y malos momentos siempre apoyándome para salir adelante y por brindarme momentos agradables juntos.

Estoy agradecido en gran manera, con cada catedrático que me ha compartido sus conocimientos, mostrando interés para que pudiera aprender, gracias a estas grandes personas, que nos motivan y nos enseñan.

## **EPIGRAFE**

*Nuestra recompense se encuentra en el esfuerzo y no en el resultado.*

*Un esfuerzo total es una victoria completa.*

*– Mahatma Gandhi*

## RESUMEN EJECUTIVO

Las personas de mayor edad en Honduras son una población que es muy vulnerable a sus problemas físicos ya como son percidos de problemas de salud, problemas al caminar, movilizarse, por lo cual necesitan de un control diario ya que a edad muchas veces las personas mayores sufren problemas de caídas o tropiezos debido a algún problema físico que eso repercute una caída ocasionando un golpe que puede perjudicar gravemente a la persona. Por lo cual esta investigación se basó en utilizar la metodología VDI2206 para el desarrollo de productos mecatrónicos como el desarrollo de un prototipo para el monitoreo de los signos vitales ritmo cardiaco, temperatura corporal, oxigenación en la sangre utilizando el sensor MAX30102 para la obtención de los signos vitales y el resultado de cada uno de los datos obtenidos mostrados con el microcontrolador HiLetgoESP32 utilizando Arduino para su programación , como a su vez la detección de caídas utilizando el acelerómetro MPU 6050 del cual se enviara una alerta del cuidado de la persona mediante correo electrónico estableciendo que la persona tuvo un accidente y la ubicación de ella utilizando la aplicación *Blynk* para la comunicación del brazalete en tiempo real, los datos fueron recolectados cuantitativamente para determinar la precisión de los sensores y el cumplimiento de la hipótesis de investigación en el que se establecía una precisión mínima del 95% de los sensores de signos vitales, se midió la funcionalidad del prototipo con la precisión de los resultados en comparación con un aparato médico.

Palabras claves—Blynk, monitoreo, sensores, signos vitales.

## **ABSTRACT**

The older people in Honduras are a very vulnerable population due to their physical and health problems that they tend to encounter at certain age. Some of the major physical problems that this population face are their full ability to walk properly and move around safely. Therefore, they require a daily control due to their age they can suffer falls or stumble that can have as a consequence to have a bad injury that can damage the person for a long term. With this in mind, this investigation was based off utilizing the VDI2206 methodology for the development of the mecatronics products, the development of a prototype to monitor the vital signs, cardiac rhythm, body temperature, blood oxygen using the MAX30102 sensor to obtain results of all of these data. The results would be shown with a microcontroller HiLetgoESP32 that used Arduino for its set up. Also, the proper detection of falls utilizing the accelerometer MPU 6050 that would send an alert to the designated person through email with detailed information such as accurate location and notification of the accident. The location would use the application Blynk in real time to communicate between the bracelet. The data was gathered quantitatively to determine the precision of the sensors and the fulfillment of the established hypothesis of the investigation. It was established a minimum precision of 95% of the vital signals sensors, it was measured the functionality of the prototype with the results in comparison with a medical device.

Keywords — Blynk, monitoring, sensors, vital signals

## ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	Introducción .....	1
II.	Planteamiento del problema.....	2
2.1	Precedentes del Problema.....	3
2.2	Investigaciones y proyectos realizados .....	3
2.2.1	Vita-Data.....	3
2.2.2	Seizalarm.....	4
2.2.3	Sistema de Monitoreo de Signos Vitales y Alerta de Accidentes para Personas con Problemas de Movilidad .....	5
2.2.4	Diseño e implementación de un sistema robótico de monitoreo e interpretación de signos vitales.....	6
2.3	Definición del problema.....	7
2.4	Justificación.....	7
2.4.1	Análisis De La Situación Actual .....	9
2.4.2	Tipos de Brazaletes existentes en la actualidad .....	9
	Preguntas de investigación .....	14
2.5	Objetivos.....	14
2.5.1	Objetivos Generales.....	14
2.5.2	Objetivos específicos.....	15
III.	Marco Teórico.....	16
3.1	Costo de brazaletes Inteligentes en la actualidad: .....	16
3.2	Teorías del Sustento.....	18
3.3	Técnicas de medición de signos vitales.....	18

3.4	Técnica para tomar la frecuencia cardiaca .....	20
3.4.1	La Temperatura Corporal .....	22
3.4.2	Técnicas para tomar la temperatura.....	22
3.5	Frecuencia Respiratoria .....	23
3.5.1	Técnicas para valorar la frecuencia respiratoria.....	24
3.6	Presión Arterial.....	24
3.7	Saturación de oxígeno en la Sangre.....	26
3.7.1	Técnicas para la toma de valores de la saturación de oxígeno.....	26
3.7.2	Alteración de la saturación de oxígeno.....	26
3.8	Equipos medidores de signos vitales.....	27
3.9	detección de caídas.....	29
3.10	Metodología para Diseño de Productos Mecatrónicos .....	31
3.11	Método PERT.....	32
3.12	Instrumentación.....	32
3.12.2	Impresión 3D .....	34
3.12.3	Blynk.....	34
3.12.4	Microcontrolador .....	36
3.12.5	Acelerómetro .....	37
3.12.6	Sensor de Pulso .....	37
3.12.7	Batería de Litio .....	38
IV.	Metodología.....	38
4.1	Enfoque.....	39
4.2	ALCANCE .....	39



4.3	Variables de Investigación.....	39
4.4	Hipótesis.....	41
4.4.1	Hipótesis de investigación:.....	41
4.5	Materiales .....	42
4.5.1	Microprocesador .....	42
4.5.2	Acelerómetro .....	43
4.5.3	Baterías .....	43
4.5.4	Sensor de Pulso .....	44
4.5.5	Impresión 3D .....	44
4.6	Metodología de Validación.....	45
4.7	Metodología de Estudio.....	46
4.7.1	Etapa Inicial: Requerimientos.....	47
4.7.2	Ciclo a de la metodología V.....	48
4.7.3	Etapa III: Realización De Partes .....	50
4.7.4	Subsistema de Transmisión.....	53
4.7.5	Etapa IV: Integración De Partes.....	55
4.7.6	Etapa V Integración de subsistema.....	56
4.7.7	Etapa VI Integración de Sistemas .....	56
4.7.8	Ciclo B de la metodología V.....	56
4.8	Cronograma de Actividades .....	57
V.	Análisis y Resultado.....	59
5.1	Sistema estructural .....	59
5.2	Sistema de Control .....	62

5.3	Detección de caídas .....	65
5.4	Resultados específicos.....	68
5.4.1	Ritmo Cardíaco.....	68
5.4.2	Saturación de oxígeno en la sangre .....	72
5.4.3	Temperatura Corporal.....	76
5.4.4	Alerta de caídas.....	80
5.4.5	Ubicación del paciente .....	82
5.5	RESULTADOS DE COSTOS DE COMPONENTES Y FABRICACIÓN .....	83
5.6	Producto Funcional.....	86
VI.	Conclusiones .....	87
VII.	Recomendaciones .....	88
VIII.	Bibliografía.....	89
IX.	Anexos .....	96

## ÍNDICE DE ILUSTRACIÓN

Ilustración 1 - Pulsera Vita-Data .....	4
Ilustración 2 – Seizaalarm.....	5
Ilustración 3 - Sistema de monitoreo signos vitales y temperatura.....	6
Ilustración 4 - Pulsera Monitoreo Signos Vitales .....	6
Ilustración 5 - Tasa de caídas mortales en ciudades de América Latina.....	8
Ilustración 6 - Apple Watch Detección Caída .....	10
Ilustración 7 Galaxy Watch 3 .....	12
Ilustración 8 Pulsera en Fitbit.....	13
Ilustración 9 – <i>Lively Wearable 2</i> .....	14
Ilustración 10 – <i>Galaxy Watch 3</i> .....	16
Ilustración 11- <i>Apple Watch 6</i> .....	17
Ilustración 12 - Mi Band Xioami.....	17
Ilustración 13 - Fitbit Versa 3 .....	18
Ilustración 14 - Pulso Radial .....	19
Ilustración 15 - Pulso Carotideo.....	19
Ilustración 16 - Pulso Femoral .....	20
Ilustración 17 - Pulso Braquial .....	20
Ilustración 18 – Monitor Connex Spot .....	28
Ilustración 19 - Esfigmomanómetro Digital.....	28
Ilustración 20 - Medidor de Saturación de Oxígeno.....	28
Ilustración 21 Mecatrónica: (a) General (b) Definición de productos mecatrónicos.....	32
Ilustración 22 - SolidWorks.....	33

Ilustración 23 – Esquema de Funcionamiento de la aplicación Blynk. ....	35
Ilustración 24 – Variables Dependientes e Independientes.....	40
Ilustración 25 – Metodología en V .....	46
Ilustración 26 - Diagrama La Bête A Cornes, Método APTE .....	47
Ilustración 27 – Nivel de los sistemas y subsistemas.....	48
Ilustración 28 - Cronograma de Actividades.....	58
Ilustración 29 – Carcaza inferior del prototipo .....	59
Ilustración 30 – Carcaza Superior.....	60
Ilustración 31 – Impresión del Prototipo.....	61
Ilustración 32 – Diagrama de conexión.....	62
Ilustración 33 – Pruebas de sensores.....	63
Ilustración 34 – Resultados de ritmo, oxígeno en la sangre y temperatura .....	64
Ilustración 35 –Aplicación Blynk.....	64
Ilustración 36 – Información de salud de la persona.....	65
Ilustración 37 – Acelerómetro MPU 6050 .....	66
Ilustración 38 – Diagrama de flujo del MPU con las caídas.....	67
Ilustración 39 – Medición del Brazaletes con el oxímetro.....	71
Ilustración 40 – Comportamiento de las mediciones ritmo cardiaco .....	72
Ilustración 41 – Medición del Brazaletes con el Fingertip.....	75
Ilustración 42 – Comportamiento de las mediciones .....	76
Ilustración 43 – Medición de la temperatura con el Brazaletes .....	79
Ilustración 44 – Comportamiento de medición de la temperatura .....	80
Ilustración 45 – Resultados de la detección de caídas.....	81

Ilustración 46 – Alerta de caída al correo electrónico. ....	82
Ilustración 47 – Mensaje de ubicación del usuario .....	82
Ilustración 48 – Ubicación del usuario .....	83
Ilustración 49 – Tabla de Costos de Fabricación .....	84
Ilustración 50 – Total de Costos .....	84
Ilustración 51 – Precio de brazaletes en la actualidad.....	85
Ilustración 52 – Prototipo Final.....	86

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 - Medición de pulso zonas del cuerpo .....	19
Tabla 2 - Valores normales de frecuencia cardíaca por rango de edad .....	21
Tabla 3 – Valores de la temperatura corporal Normal .....	22
Tabla 4 - Temperatura adultos mayores.....	23
Tabla 5 - Valores Normales de la frecuencia respiratoria.....	24
Tabla 6 – Valores de la Presión Arterial .....	25
Tabla 7 – Saturación de Oxígeno en la sangre hemoglobina .....	26
Tabla 8 – Equipos Medidores de Signos Vitales.....	27
Tabla 9 - Dispositivos detectores de caídas .....	30
Tabla 10 – HiLetgo ESP32.....	42
Tabla 11 – Acelerómetro MPU 650 .....	43
Tabla 12 – Propiedades mecánicas de filamentos de impresión .....	50
Tabla 13. Microcontroladores .....	52
Tabla 14 – Sensor de Pulso.....	52
Tabla 15 Conexiones y comunicación para el brazalete .....	54
Tabla 16 – Valores comparados del Ritmo Cardíaco .....	69
Tabla 17 – Brazalete con respecto al aparato médico.....	70
Tabla 18 – Datos de oxigenación en la sangre.....	73
Tabla 19 – Brazalete porcentaje de error en la oxigenación de sangre .....	74
Tabla 20 – Datos obtenidos de la temperatura corporal.....	77
Tabla 21 – Resultados de la precisión del sensor con el termómetro digital .....	78
Tabla 22 – Muestra de las caídas .....	80

## ÍNDICE DE ECUACIÓN

Ecuación 1 - Formula de Aproximación.....	32
Ecuación 2 – Porcentaje de Error .....	45
Ecuación 3 - Sensibilidad (equivalente a la tasa de positivos verdaderos).....	45

## GLOSARIO

**BLYNK.** Fue diseñado para el Internet de las cosas. Puede controlar el hardware de forma remota, puede mostrar datos de sensores, puede almacenar datos, visualizarlos y hacer muchas otras cosas interesantes.

**MONITOREO.** Es el proceso sistemático de recolectar, analizar y utilizar información para hacer seguimiento al progreso de un programa en pos de la consecución de sus objetivos, y para guiar las decisiones de gestión.

**SIGNOS VITALES.** Reflejan funciones esenciales del cuerpo, incluso el ritmo cardíaco, la frecuencia respiratoria, la temperatura y la presión arterial. Su proveedor de atención médica puede observar, medir y vigilar sus signos vitales para evaluar su nivel de funcionamiento físico.

**SENSORES.** Es un dispositivo que detecta el cambio en el entorno y responde a alguna salida en el otro sistema. Un sensor convierte un fenómeno físico en un voltaje analógico medible (o, a veces, una señal digital) convertido en una pantalla legible para humanos o transmitida para lectura o procesamiento adicional.



## I. INTRODUCCIÓN

La esperanza de vida va aumentando en las personas mayores. Por lo cual no se tienen los mecanismos necesarios para los adultos mayores para mejorar su calidad de vida, muchas de estas personas viven solas sin compañía y sin una atención debido a familiares que viven en otras zonas de la ciudad, algo que es muy común hoy en día. Problemas que suceden debido también a que los familiares pasan trabajando por lo cual los adultos mayores quedan solos y no quedan con la atención y cuidados necesarios a un tiempo completo. Las personas mayores son mucho más vulnerables por problemas físicos y de salud que tienen día a día, por lo cual se necesita de una atención extra para el cuidado de ellos, un problema muy común es que sufren caídas ya sea por problemas físicos, bajadas de presión, por lo cual esto puede ocasionar accidentes graves, en los que si no está alguien del cuidado puede ser muy perjudicial para la persona, por lo que la presente investigación tiene como finalidad diseñar un prototipo de brazalete e insertar un sistema monitoreo de signos vitales y alerta de caídas utilizando un el microcontrolador HiLetgo ESP32 y a su vez se desarrolla mediante un software de diseño CAD en la que se acopla los diseños mecánicos y electrónicos se acoplen para su funcionamiento. La realización de este proyecto contará con los guiamientos del método VDI2206 el cual ayuda para la realización de diseños mecatrónicos. Cada etapa de este método ayudará para poder definir los componentes adecuados que se estarán utilización de este proyecto mediante pruebas y análisis que vayan garantizando el éxito del prototipo.

A continuación, se presentan los capítulos que conforman la tesis y una breve descripción de los mismos: Capítulo 2. Planteamiento del problema. Esta se basará en la descripción del problema que como tiene finalidad ser abordada para su finalidad, se conocerán los precedentes del problema, que conllevan a la realización del proyecto, siendo así desde el ritmo cardiaco hasta el detector de caídas, luego viene la definición del problema, de cuál es la importancia del proyecto como a la vez la justificación de por qué la realización de este e importancia de ello.

Capítulo 3. El Marco teórico. La recopilación de la información requerida y necesaria para la investigación y desarrollo del prototipo, buscando una solución ante el problema, se observan diversos brazaletes en la actualidad, entrar más a fondo sobre los signos vitales, detección de caídas, identificación del paciente,

investigación de otros proyectos similares ante la detección de caídas y cómo funcionan para conocer los diferentes métodos utilizados para el envío de las alertas.

Capítulo 4. Metodología. Esta sección está planteada en la metodología utilizada para el prototipo a desarrollar, siguiendo cada uno de los lineamientos, definir las variables y cada uno de los componentes a utilizar para el brazalete obteniendo un proyecto en menor tiempo sin posibles márgenes de error.

Capítulo 5. Análisis y resultado. Realizado el prototipo se vienen las pruebas finales de todos los componentes montados en el brazalete y su respectiva función utilizada en la persona para observar los resultados de cada prueba, para determinar si el proyecto es viable y funciona de manera correcta.

Capítulo 6. Conclusiones. Se presentan los resultados que se obtienen de las pruebas realizadas dando las conclusiones de ello, partiendo de ello de los objetivos para cada conclusión.

## **II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El objetivo principal es el desarrollo de un brazalete ya que las personas mayores necesitan de un cuidado constante debido a problemas físicos, que les dificultan muchas veces en caminar, moverse y esto

repercute a posibles caídas y accidentes, por lo cual el brazalete sería una solución y ayudaría mucho a este sector público en el cual se mantendría un monitoreo de otra persona ante alguna caída o golpe de la persona portadora del dispositivo.

## **2.1 PRECEDENTES DEL PROBLEMA**

Uno de los riesgos de las caídas es el factor de la edad. Las personas mayores tienen el mayor riesgo de muerte o lesiones graves derivadas de una caída y el riesgo aumenta con la edad. Muchas de las personas que sufren caídas sufren algún tipo de problema dependiendo del tipo de golpe y zona del cuerpo, como hematomas, fracturas de cadera o traumatismos en la cabeza. Este nivel de riesgo puede deberse en parte a cambios físicos, sensoriales y cognitivos asociados con el envejecimiento, en combinación con entornos que no están adaptados para una población que envejece.(World health Organization, 2021)

## **2.2 INVESTIGACIONES Y PROYECTOS REALIZADOS**

A través de los años muchos proyectos e investigaciones han ayudado a las personas con discapacidad motriz; en donde, gracias a los avances tecnológicos, han sido de gran ayuda para que las personas puedan ser más independientes y capaces de hacer cualquier actividad. A continuación, alguno de ellos:

### **2.2.1 VITA-DATA**

La Vita-Data es una pulsera con sensores especiales que se basó con el fin de poder monitorear los signos vitales de las personas en un tiempo real, siendo elaborada en México por estudiantes de Mecatrónica, el desarrollo de esta pulsera contiene un dedal como se pueden ver en Ilustración 1, que permite colocar el dedo de la persona de la cual se quieren registrar los datos mediante los sensores estableciendo una comunicación fácil de la persona hacia algún familiar o doctor para las lecturas correspondientes.

El desarrollo de esta pulsera pretende ofrecer una buena comunicación de transmisión de los sensores en el uso de la persona ya que se pretende que pueda medir el oxígeno que hay en la sangre, mida la temperatura de la persona y el ritmo cardiaco teniendo en claro los parámetros normales que el brazalete demuestre todo esto implementado un medidor de pulso cardiaco, la batería que alimente al dispositivo ya que es en forma de pulsera y a su vez la conexión vía *Bluetooth* con el dispositivo hacia la aplicación.(Campos, 2017)

Una función importante de este prototipo es que puede ser utilizado para cualquier edad sin importar el sexo, siendo muy útil para las personas hoy en día un dispositivo que brinde estas funciones y que a su vez represente los resultados que un médico puede brindarnos al hacernos un examen. (Campos, 2017).



**Ilustración 1 - Pulsera Vita-Data**

Fuente: (Campos, 2017).

### 2.2.2 SEIZALARM

Esta aplicación ha sido desarrollada por Greg Pabst, un joven que padece de epilepsia y ha sido capaz de comercializar una app para cubrir aquellas necesidades que más calidad de vida le restaban. El sistema conecta con un *Apple Watch* que es capaz de realizar una solicitud de ayuda a partir de los 45 segundos de detectar una crisis, a no ser que el usuario la cancele antes, la aplicación conectada con el *Apple watch* monitorea cualquier alerta que tenga la persona en ser signos vitales que bajen, caídas siendo muy utilizable por muchos hoy en día el desarrollo de este prototipo ya viene implementado gracias a la integración del dispositivo *Apple Watch* de los cuales los últimos modelos vienen integrados con sensores de giroscopio, sensor de frecuencias cardiacas, acelerómetros y sensores de luz en el cual la forma de comunicación se hace mediante *Wifi* con la aplicación hacia el dispositivo.(Ferrer, 2015)



**Ilustración 2 – Seizaalarm**

Fuente: (SeizAlarm.; 2016)

### 2.2.3 SISTEMA DE MONITOREO DE SIGNOS VITALES Y ALERTA DE ACCIDENTES PARA PERSONAS CON PROBLEMAS DE MOVILIDAD

El sistema de monitoreo de signos vitales y alerta de accidentes fue realizado en la Universidad Técnica de Ambato basada en una sección de personas en específico. Siendo estas que presentaban problemas de movilidad debido a la edad avanzada, problemas de movilización debido a problemas musculares, siendo muy difícil que pueda movilizarse para realizar chequeos médicos. Los materiales utilizados para el desarrollo de este sistema fue un microcontrolador de Arduino, sensores de frecuencia cardiaca, sensores a prueba de agua y humedad, sensor de temperatura, sensor de pulso, sensor de flujo de aire, sistema de alimentación y carga, la forma de comunicación del dispositivo es por vía *bluetooth* y *GSM*. (Vallejo, 2015)

Lo mostrado en la Ilustración 3, permite medir lo que es la presión arterial, la temperatura corporal y también funciona para detectar si la persona ha sufrido algún golpe y emita una alerta inmediata a su auxilio.

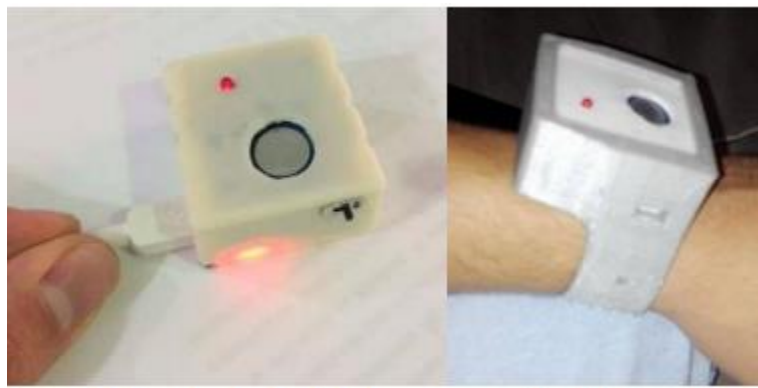


**Ilustración 3 - Sistema de monitoreo signos vitales y temperatura**

Fuente: (Vallejo, 2015)

#### 2.2.4 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ROBÓTICO DE MONITOREO E INTERPRETACIÓN DE SIGNOS VITALES.

Se basa en el diseño y monitoreo de un sistema de signos vitales, la toma de temperatura de la persona, el ritmo cardíaco, basado en personas mayores a su vez incluye un sistema detector de caídas, el diseño del prototipo es basado en forma de una pulsera, utiliza microcontroladores como Arduino Mega, acelerómetros, sensores de alarma, sensores de temperatura como DHT22, sensores de ritmo cardíaco, siendo monitoreado las 24 horas del día por otra persona.



**Ilustración 4 - Pulsera Monitoreo Signos Vitales**

Fuente: (Alberto, Aguilar Cruz, Ortí Maldonado, 2017)

### **2.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

Los adultos mayores tienen más a recurrir caídas físicas esto debido a problemas musculares que tienen muchos de ellos por lo cual una caída puede recurrir a un accidente grave si no hay alguien cerca para el auxilio de la persona, siendo que las personas de edad avanzada necesitan una atención más constante ya sea de parte de un familiar o alguien cercano, ya que los adultos mayores se necesita un mayor monitoreo de signos vitales en tiempo real por lo cual los últimos años han desarrollados dispositivos que pretenden cumplir estas funciones muchos de ellos son de precios muy costosos y poco accesibles.

Es por lo que, la presente investigación tiene como finalidad el desarrollo de un prototipo de forma de brazalete utilizando el microcontrolador HiLetgo ESP32 ,un Acelerómetro y el apoyo de ciertos dispositivos electrónicos , desarrollando el prototipo en 3D con todos los componentes integrados, utilizando los productos de menor costo posible, en Honduras es importante ofrecer este tipo de ayuda ya que un prototipo que cumpla estos requisitos es un avance para nuestra sociedad en específico las personas de tercera edad para la obtención de una precisión del 95% de los signos vitales.

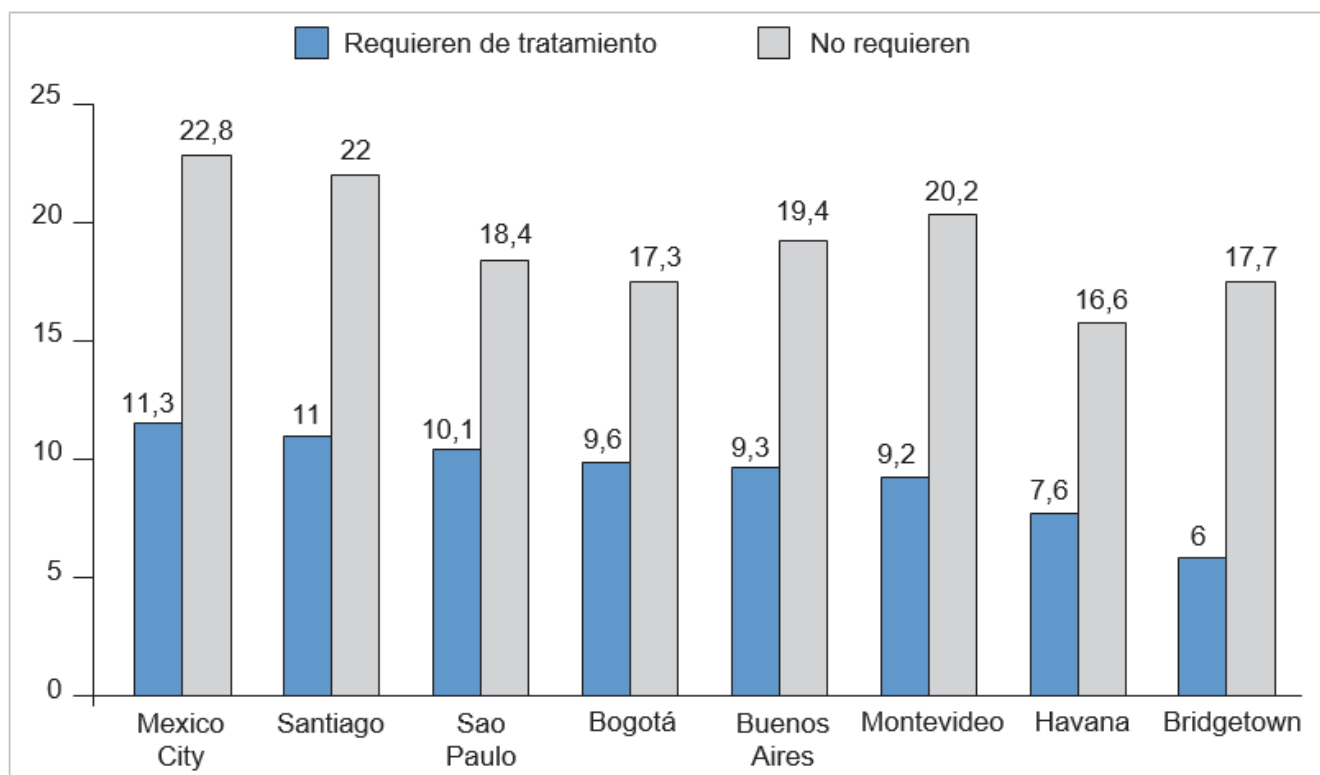
### **2.4 JUSTIFICACIÓN**

A nivel mundial, las caídas son un importante problema de salud pública. Se estima que cada año se producen 684 000 caídas mortales, lo que la convierte en la segunda causa principal de muerte por lesiones no intencionales, después de las lesiones causadas por el tránsito. Más del 80% de las muertes relacionadas con caídas ocurren en países de ingresos bajos y medianos, y las regiones del Pacífico occidental y el sudeste asiático representan el 60% de estas muertes. En todas las regiones del mundo, las tasas de mortalidad son más altas entre los adultos mayores de 60 años\_ (World health Organization, 2021)

Aunque no es fatal, cada año ocurren aproximadamente 37,3 millones de caídas lo suficientemente graves como para requerir atención médica. A nivel mundial, las caídas son responsables de más de 38 millones de AVAD (años de vida ajustados por discapacidad) perdidos cada año y resultan en más años vividos con discapacidad que lesiones por transporte, ahogamiento, quemaduras y envenenamiento combinados. (World health Organization, 2021)

Como se puede ver Ilustración 5 muestras caídas mortales en algunas ciudades de América Latina del cual se dividen en dos porcentajes importantes en las caídas las que requieren de un tratamiento médico

necesario debido al tipo de golpe e impacto que tuvieron , las que no requieren de uno, a pesar de que es más volumen de las personas que no requieren , eso no quita que las personas que necesitan el apoyo medica algunas son casos graves y perjudiciales para la salud mental y física. Las tasas de caídas mortales entre los hombres superan a las de las mujeres para todos los grupos de edad, a pesar de la menor incidencia de caídas entre ellos. Esto se atribuye al hecho de que los hombres padecen más afecciones comórbidas que las mujeres de la misma edad. Se ha informado de una diferencia similar en la mortalidad entre hombres y mujeres después de una fractura de cadera. La incidencia de fractura de cadera es mayor entre las mujeres, mientras que la mortalidad por fractura de cadera es mayor entre los hombres. Un estudio encontró que los hombres informaron tener una salud más precaria y un mayor número de afecciones subyacentes que las mujeres, lo que aumentó sustancialmente el impacto de la fractura de cadera y, en consecuencia, aumentó el riesgo de mortalidad.



**Ilustración 5 - Tasa de caídas mortales en ciudades de América Latina**

Fuente: (Reyes-Ortiz,Pacheco,Slovacek,Jiang,Salinas-Fernandez,Ocampo, 2020)

El cuidado de los adultos mayores suele ser más frecuente ya que no pueden realizar ciertas tareas, como a su vez requieren de una mayor atención y cuidados dependiendo si viven con familiares en su hogar o



viven solos con familiares lejos de ellos, por ende muchas veces son enviados a centros de cuidado donde puedan tener la atención correspondiente, muchas enfermedades se producen en las que son motivo de muchos problemas siendo uno problemas de corazón que esto puede repercutir a bajadas de ritmo cardíaco, generar caídas en la persona y no tener el auxilio en el momento del accidente, por lo cual parte importante es el monitoreo de sus signos vitales , siendo muy difícil para alguien del cuidado estar siempre atento en todo momento, por lo cual se propone un prototipo que mida los signos vitales y que a su vez pueda enviar alertas emitidas en caso de que la persona pudo tener una caída enviando una alerta para la ayuda rápida.(Sabatés, 2019)

En este apartado se mencionarán algunas de los prototipos de brazaletes basados en el apartado de salud para monitoreo de signos, ritmo cardiaco, temperatura que son en la actualidad para uso de personas mayores, se mencionarán algunas de las herramientas, sensores, actuadores o cualquier tecnología que implementan para el desarrollo y control que presenta el brazalete.

#### 2.4.1 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Hablando de lo anterior en la Ilustración 5 - Tasa de caídas mortales en ciudades de América Latina vemos que hay muchas caídas que pueden ser perjudiciales para la vida de una persona adulta por lo cual en la actualidad se han llegado a desarrollar dispositivos que cumplan estas condiciones como lo puede ser la detección de las caídas pero muchas de estas varían ya sea por el tipo de producto y marca, el precio, el lugar donde son fabricadas, siendo muy importantes obtener una investigación de prototipos que son mayormente usados en la actualidad por personas adultas y cuáles son los beneficios y diferencias que traen entre ellos ya que es un fundamento importante para el desarrollo del brazalete haciendo un dispositivo muy completo y eficaz, siendo muy económico para ser accesible para las personas brindando las mismas funciones que otros prototipos que hay actualmente por lo cual veremos cada uno de ellos sus funciones y herramientas que brindan teniendo sus ventajas y desventajas para así partir del desarrollo del brazalete.

#### 2.4.2 TIPOS DE BRAZALETES EXISTENTES EN LA ACTUALIDAD

A continuación, se detallará los brazaletes comerciales que existen en el mercado:

### 2.4.2.1 APPLE WATCH SERIES 6

Es una opción popular tanto para los amantes de la tecnología como para los amantes de Apple, y es mucho más que un dispositivo llamativo. Es la cima del mercado por una razón. El *Apple Watch Series 6* tiene una gran variedad de funciones perfectas para personas mayores que intentan mantener su independencia. Su monitorización de la frecuencia cardíaca es de primera categoría, con un ecocardiograma incorporado. Otras características de bienestar incluyen un contador de pasos, métricas de salud personalizadas y notificaciones útiles para mantenerte en movimiento durante todo el día.

Al igual que con otros relojes inteligentes de primera línea, *Apple Watch* tiene capacidades de *GPS*, la capacidad de recibir y hacer llamadas, así como mensajes de texto, e incluso consultar las redes sociales.

*Apple Watch* también tiene algunas funciones de notificación de emergencia bastante importantes. Puede notificar a los servicios de emergencia si detecta una caída repentina. Estas características han demostrado ser fiables y han salvado numerosas vidas a lo largo de los años.

Este reloj inteligente puede ser el mejor de la línea, pero eso también significa que tiene un costo superior. La duración de la batería también deja algo que desear y no siempre funciona bien con teléfonos inteligentes que no son de Apple. Por lo siguiente es un dispositivo muy completo con una amplia variedad de herramientas su problema es su gran costo ya que representa poca accesibilidad a muchas personas implicando que solo es para dispositivos *Apple* por lo cual el prototipo que se pretende realizar cumplirá con las funciones de temperatura, el ritmo de la persona y a su vez la emisión de alerta ante la caída de una persona , los datos de la persona como la edad, sexo, nombre y siendo muy importante ya que el prototipo se cumplirá con los mismos requisitos que un *Apple Watch 6* a un menor costo ya que se pretende realizar las mismas funciones con un precio accesible para las personas mayores.



**Ilustración 6 - Apple Watch Detección Caída**

Fuente: (Usar la detección de caídas con el Apple Watch, 2020)

#### 2.4.2.2 SAMSUNG GALAXY WATCH 3

Otra potencia de alta tecnología es el Samsung *Galaxy Watch 3*. En comparación con el *Apple Watch*, tiene una pantalla sustancialmente más grande, lo que significa un texto más grande si sus ojos ya no son tan nítidos.

Está habilitado para GPS y Bluetooth y dura días con una sola carga. También es resistente al agua y tiene capacidades de voz a texto que pueden hacer que enviar mensajes de texto sea mucho más fácil. El reloj inteligente de Samsung también tiene excelentes funciones de salud y seguridad, incluida la detección de caídas, al igual que el *Apple Watch*. También, puede rastrear los niveles de estrés y la frecuencia cardíaca, y notificarle cuando necesite relajarse. Este reloj es ideal para usuarios de Android, ya que el sistema operativo funcionará mejor en conjunto que emparejar un iPhone con un reloj que no sea de *Apple*. El dispositivo de *Galaxy Watch 3* es un reloj que cumple muchas funciones ya que tiene incorporados, acelerómetros, sensores de medidores de presión, sensores de alarma, la facilidad de ser emparejado con la gama Android que es más utilizada, el problema es que un Dispositivo muy sofisticado que trae muchas herramientas y uso que se le puede dar por lo cual para una persona mayor que no esté tan actualizada a la tecnología se le podría complicar entender el funcionamiento de este y al ser un reloj es un poco más pesado para la persona, por lo cual el prototipo que se desarrollara cumplirá con funciones similares a las del *Galaxy Watch 3*, pero mejorando muchos aspectos que son la ergonomía que sea ligero y cómodo, brindando un sistema de control mucho más fácil y entendible para la persona adulta y la ventaja del monitoreo de la persona a través de la aplicación en todo momento, del cual se emitirán las alertas, se medirán los valores de ritmo, temperatura cumpliendo las mismas funciones y todo a un costo más económico y accesible.



**Ilustración 7 Galaxy Watch 3**

Fuente: (*5 Best Smartwatches for Seniors*, 2021)

#### 2.4.2.3 FITBIT

Pulsera de buen tamaño, cómodo para la persona que esta trae implementando un monitoreo del sueño y la actividad física de la persona, mide el ritmo cardiaco las 24 horas del día como una de sus grandes ventajas viendo así que son muy similares a pulseras para ejercicio que miden los ritmos cardiacos, a diferencia la del apple watch que si cumplen la función que se desea emplear en el proyecto que es la detección de las caídas su problema radica en que es una pulsera enfocada más en las actividades físicas de la persona pero una de las ventajas que ofrece es que es un brazalete muy accesible de utilizar y a la vez es muy cómodo y ligero para la persona por lo cual el diseño del Fitbit es un punto muy clave para el desarrollo del brazalete ya que se pretende que sea de uso cómodo para la persona mayor.



**Ilustración 8 Pulsera en Fitbit**

Fuente: (5 Best Smartwatches for Seniors, 2021)

#### 2.4.2.4 LIVELY WEARABLE 2

El *Lively Wearable 2* es desarrollado para adultos mayores. El *Lively* tiene su propio servicio de emergencia las 24 horas, los 7 días de la semana, que puede usar para obtener ayuda en cualquier momento. Tiene una opción de botón para presionar en caso de una emergencia e inmediatamente se comunicarán con la persona para saber la gravedad. Luego, informará a un familiar cercano o cuidador si necesita ayuda.

El problema de este dispositivo es que es utilizado solamente en Estados Unidos debido a que es una aplicación de paga que se debe subscribir para la alerta de caídas, las llamadas de emergencias tienen una tarifa mensual para el pago del dispositivo y aplicación siendo esto un punto negativo del dispositivo, por lo cual el dispositivo a utilizar si podría ser utilizado por una aplicación que estaría conectado a varias personas a la persona del cuidado a un menor costo, utilizando Arduino ofrece la ventaja de ser utilizado este prototipo en otros países sin problema alguna para la comunicación entre el brazalete y la aplicación.



**Ilustración 9 – Lively Wearable 2**

Fuente: (*5 Best Smartwatches for Seniors*, 2021)

### **PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

- ¿Cuáles son los componentes electrónicos necesarios para el brazalete?
- ¿Cuál es la manera más rápida para el envío de la caída mediante wifi o *bluetooth*?
- ¿Cuál será el diseño más adecuado para el acople de los productos y seguridad de los sensores ante golpes?
- ¿Cuál sería el método para tener el costo del proyecto y comparación de otros prototipos similares en la actualidad?

## **2.5 OBJETIVOS**

En esta sección se presentan los objetivos de la investigación.

### **2.5.1 OBJETIVOS GENERALES**

Desarrollar un prototipo de monitoreo de signos vitales, identificación, detector de caídas y emisión de alerta ante la caída para personas mayores.

### 2.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar un sistema de monitoreo de signos vitales para adultos mayores.
- Realizar un sistema de detección de caídas y envío de alerta automáticamente.
- Elaborar un diseño ergonómico en SolidWorks del prototipo final en base a las dimensiones de todos los elementos que se utilizarán.
- Determinación de costos por medio del método PERT.

### III. MARCO TEÓRICO

Hay muchas consecuencias que dificultan a las personas mayores debido a problemas físicos que tienen como al caminar, una bajada depresión, que necesitan de la atención de una persona y en caso de que no estar cerca la utilización del brazalete para el monitoreo de la persona en cuidado del adulto mayor. A continuación, se expondrán todos los temas desde el investigativo hasta el teórico para lograr el objetivo del proyecto.

#### 3.1 COSTO DE BRAZALETES INTELIGENTES EN LA ACTUALIDAD:

Es importante mencionar las características y precio comercial de los brazaletes electrónicos ya que se pretende que accesible para su desarrollo. A continuación, se mostrarán los diversos modelos mostrando el precio y lugar de venta.

- ✓ Capacidad de peso: 6.4 onzas.
- ✓ Sistema de medición de Ritmo Cardíaco.
- ✓ Detección de caídas.
- ✓ Medidor de oxígeno
- ✓ GPS
- ✓ Lugar de venta: Amazon.
- ✓ Precio: Lps.10,130.
- ✗ Precio muy Elevado.



**Ilustración 10 – Galaxy Watch 3**

Fuente: (Amazon.com: Samsung Galaxy Watch 3 reloj inteligente, 2020)



- ✓ Capacidad de peso: 1.7 onzas.
- ✓ Sistema de medición de Ritmo Cardíaco.
- ✓ Detección de caídas.
- ✓ Medidor de oxígeno
- ✓ GPS
- ✓ Lugar de venta: Amazon.
- ✓ Precio: Lps.8000.
- ✗ Precio muy Elevado.
- ✗ Solo dispositivos Apple.



**Ilustración 11-Apple Watch 6**

Fuente: (Amazon.com: Apple Watch Series 5, 2020)

- ✓ Capacidad de peso: 0.45 onzas.
- ✓ Sistema de medición de Ritmo Cardíaco.
- ✓ Lugar de venta: Amazon.
- ✓ Precio: Lps.1600
- ✗ No incluye más funciones de salud.
- ✗ GPS



**Ilustración 12 - Mi Band Xioami**

Fuente: (Amazon.com: Xiaomi Mi Band 6, 2020)

- ✓ Capacidad de peso: 0.71 onzas.
- ✓ Mide los niveles de oxígeno
- ✓ Sistema de medición de Ritmo Cardíaco.
- ✓ Lugar de venta: Amazon.
- ✓ Precio: Lps.3738.
- ✗ Pulsera enfocada más en actividades físicas de las personas.
- ✗ GPS



**Ilustración 13 - Fitbit Versa 3**

Fuente: (Amazon.com: Reloj inteligente Fitbit, 2021)

### **3.2 TEORÍAS DEL SUSTENTO**

Las teorías del sustento es toda aquella información que permitirá conocer más acerca del proyecto y la forma en la que éste se puede realizar correctamente. Las teorías del sustento estarán divididas en varios temas y subtemas que permiten comprender mejor todo el proyecto de investigación.

### **3.3 TÉCNICAS DE MEDICIÓN DE SIGNOS VITALES**



Los signos vitales nos ayudan a tener un resultado de la circulación de la persona , mediante su respiración ante sus estímulos fisiológicos y patológicos, de la parte fisiológica son varias que nos determinan la medición de los signos vitales a través de varias técnicas empleadas, como son saber la frecuencia de la respiración de la persona , la temperatura corporal, la oximetría un instrumento muy utilizado en la actualidad para la medición de la sangre, la presión arterial siendo estas importantes para la obtención de los signos vitales de la persona garantizando que está en estado vivo y en funcionamiento de todo su organismo. Un resultado más allá del no esperaba repercute que la persona puede tener una alteración o algún problema de salud y esto puede ser perjudicial hacia la persona si no está enterada de que su signo vital no es el correspondiente.

En los signos vitales añaden que la saturación de oxígeno es muy importante para el monitoreo en los pacientes, ya sean personas con problemas por alguna enfermedad o edad adulta, ya que un nivel bajo

de oxígeno puede generar dificultades para respirar, generando desmayos que pueden ocasionar caídas, también puede causar problemas respiratorios. (Da Costa, Pasluosta, Eskofier, Da Silva, & Righi, 2018)

Hay varias formas en que se puede medir los signos vitales de la persona, sin importar el rango de edad o sexo de la persona, técnicas que son muy importantes para garantizar el estado saludable de la persona, la medición parte desde la circulación de la sangre y la respiración de la persona, basándonos en la frecuencia que tenga la persona es decir la cantidad de latidos del corazón y el ritmo que tenga si es lento, acelerado o estable.

**Tabla 1 - Medición de pulso zonas del cuerpo**

Pulso	Técnica	Ejemplo de Medición de pulso zonas del cuerpo
<b>Radial</b>	El pulso radial se siente en la muñeca, justo debajo del pulgar. (Dugdale, 2020)	 <p><b>Ilustración 14 - Pulso Radial</b></p> <p><i>Fuente: (Dugdale, 2020)</i></p>
<b>Carotideo</b>	Para controlar su pulso sobre la arteria carótida, coloque los dedos índice y medio en el cuello al costado de la tráquea luego cuente el número de latidos en 15 a 20 segundos. Multiplique este número por 4 para obtener su frecuencia cardíaca por minuto.	 <p><b>Ilustración 15 - Pulso Carotideo</b></p> <p><i>Fuente: (Checking Pulse over the Carotid Artery, 2020)</i></p>

Pulso	Técnica	Ejemplo de Medición de pulso zonas del cuerpo
Femoral	Se palpa por debajo del ligamento inguinal en su línea media.(Gazitua, 2007)	 <p><b>Ilustración 16 - Pulso Femoral</b></p> <p>Fuente: (<i>¿Qué es el pulso femoral?</i>, 2015)</p>
Braquial	El pulso braquial se puede localizar palpando el tendón del bíceps en el área de la fosa cubital. Mueva las yemas de los tres dedos en sentido medial (unos 2 cm) del tendón y unos 2-3 cm por encima de la fosa cubital para localizar el pulso.(Lapum et al., 2018)	 <p><b>Ilustración 17 - Pulso Braquial</b></p> <p>Fuente: (Lapum et al., 2018)</p>

### 3.4 TÉCNICA PARA TOMAR LA FRECUENCIA CARDIACA

La frecuencia cardíaca es uno de los parámetros del cuerpo humano medidos con más frecuencia y juega un papel importante en determinar la salud de un individuo. Varios métodos utilizados para medir la frecuencia cardíaca incluyen electrocardiografía, fotopletismografía, oscilometría (

Método del monitor de presión arterial) y Fonocardiografía. Cada uno de estos métodos mide diferentes fenómenos que ocurren en el cuerpo humano durante el latido del corazón o el ciclo cardíaco para determinar la frecuencia cardíaca.(Kumar, 2019)

Para medir la frecuencia cardíaca es recomendable que la persona se relaje y respire profundo. Coloque el dedo índice en cualquiera de los puntos expuestos en Tabla 1. Cuando sienta su pulso, cuente el número

de latidos en un lapso de 15-20 segundos. Multiplique este número por cuatro para calcular sus latidos por minuto.(Laskowski, 2020)

Circunstancias o factores que pueden afectar la frecuencia cardíaca, entre ellos:

- Edad
- Niveles de actividad y condición física
- Ser fumador
- Tener enfermedad cardiovascular, colesterol alto o diabetes.
- Temperatura del aire
- Posición del cuerpo (de pie o acostado, por ejemplo)
- Emociones
- Tamaño corporal
- Medicamentos

(Laskowski, 2020)

En la Tabla 2 se encuentran los valores normales de frecuencia cardiaca en reposo:

**Tabla 2 - Valores normales de frecuencia cardíaca por rango de edad**

Edad	Latidos por minuto
Recién nacido	140 – 160
Un año	115 – 130
Doce años	100 – 115
Adultos	70 – 80
Adultos mayores	60 – 70

Fuente: (Talamas, 2016)

La frecuencia cardíaca en reposo normal para los adultos mayores de 10 años, incluidos los adultos mayores, es de entre 60 y 100 latidos por minuto (lpm) .Tomando en cuenta los valores normales de una persona adulta si se tienen alteraciones de la frecuencia cardiaca ya sea por debajo de los 60 puede la persona sufrir una bradicardia y si es por arriba de los 100 se le llama taquicardia.(Stephens, 2021)

### 3.4.1 LA TEMPERATURA CORPORAL

La temperatura corporal es la parte de calor concentrado en nuestro organismo siendo generado por nuestro metabolismo como comer y acciones musculares que hagamos como caminar, existen varias formas que la temperatura puede cambiarse ya sea por un resfriado, ejercicio, adrenalina, drogas presentando otras temperaturas de las estables del cuerpo humano, la temperatura se puede medir en 3 lugares diferentes para obtener sus valores, la más conocida es la bucal es la toma del termómetro obteniendo rangos entre  $36.8 \pm 0.4^{\circ}\text{C}$ , también la medición puede ser por la cavidad rectal que su diferencia de rango con respecto a la bucal no varía mucho en la cual es  $36.8 \pm 0.3^{\circ}\text{C}$  y por último la medida de temperatura por la axila que estipula rangos entre  $36.8 \pm 0.6^{\circ}$ .

La medición de la temperatura en alguna zona diferente aplicada en el cuerpo, en una temperatura ambiental puede ser muy diferenciada la toma de la temperatura ya que esta varía entre 2 o 4 °C menos de la temperatura aplicada en una de las zonas mencionadas anteriormente. (Álvarez, 2011)

Para medir la temperatura sabemos que el instrumento para realizar la medición es el termómetro de mercurio, ya que podemos medir en cualquiera de las zonas explicadas anteriormente. Cómo se puede observar el instrumento en la

### 3.4.2 TÉCNICAS PARA TOMAR LA TEMPERATURA

La mejor manera de poder medir la temperatura de una persona, es importante siempre desinfectar el termómetro para el uso respectivo en la zona donde se medirá en la persona, el termómetro debe marcar menos de los 35 Celsius, en cada una de las zonas aplicadas el termómetro son aplicados diferentes tiempos, en la bucal es recomendado dejar el termómetro 3 minutos, mientras que la axila entre 3 a 5 minutos, y en la rectal 1 minuto obteniendo los resultados de la temperatura de la persona, en la siguiente Tabla 3 – Valores de la temperatura corporal Normal podremos los valores normales de la temperatura corporal.(Talamas, 2016)

**Tabla 3 – Valores de la temperatura corporal Normal**

EDAD	GRADOS CENTÍGRADOS (°C)
Recién nacido	36.1 – 37.7
Lactante	37.2

EDAD	GRADOS CENTÍGRADOS (°C)
2 a 8 años	37.0
8 a15 años	36.5 – 37.0
Adulto	36.4 – 37.2
Vejez	35.8<37.5

Fuente: (Talamas, 2016)

En la siguiente observamos el rango de variación de temperatura que pueden tener los adultos mayores en cada una de las zonas del cuerpo.

**Tabla 4 - Temperatura adultos mayores**

Tipo de medición	Adultos mayores 65 años en adelante
Oral	96.4–98.5°F (35.8–36.9°C)
Rectal	97.1–99.2°F (36.2–37.3°C)
Axilla	96.0–97.4°F (35.6–36.3°C)
Oído	96.4–99.5°F (35.8–37.5°C)

Fuente: (Sampson, 2020)

### 3.5 FRECUENCIA RESPIRATORIA

La frecuencia respiratoria es y posiblemente el signo vital más importante porque se rompen sus valores normales antes que los de otros signos vitales en casi todos los estados de declive clínico ya que es la cantidad de respiraciones que hace la persona por minuto. Los cambios en la frecuencia respiratoria son a menudo la advertencia más temprana de problemas, síndrome de respuesta inflamatoria sistémica, shock e insuficiencia respiratoria, entre otros.(Loughlin et al., 2018)

Estetoscopio, instrumento médico utilizado para escuchar los sonidos producidos dentro del cuerpo, principalmente en el corazón o los pulmones.(Tikkanen, 2020)

### 3.5.1 TÉCNICAS PARA VALORAR LA FRECUENCIA RESPIRATORIA

La frecuencia cardiaca se puede medir de dos formas simples, una de ellas es mediante la revisión de uno mismo la persona se relaja, respira profundo y pausado durante 30 segundos y cada movimiento de la respiración se hace una multiplicación por 2 para saber si está en el rango establecido que se verá en la Tabla 5, la siguiente forma para medir la frecuencia cardiaca en este caso con ayuda de un doctor es poner a la persona sentada con los pies y la espalda juntos en forma de una bola, de ahí se hace la respiración por 30 segundos a 1 minuto y se multiplica por 2 para ver si la persona se encuentra en rango estable.

A continuación, se mostrarán los valores normales de la respiración por rangos de edad.

**Tabla 5 - Valores Normales de la frecuencia respiratoria**

<b>EDAD</b>	<b>RESPIRACIONES POR MINUTO</b>
Recién nacido	30 – 80
Lactante menor	20 – 40
Lactante mayor	20 – 30
2 a 4 años	20 – 30
6 a 8 años	20 – 25
Adulto	15 – 20

Fuente:(Talamas, 2016)

### 3.6 PRESIÓN ARTERIAL

La presión arterial es la parte de la sangre en el cuerpo humano que la impulsa el corazón por todos los vasos sanguíneos en nuestro organismo. Para la presión hay dos formas en las cuales una es la contraria que esta es donde la fuerza de la sangre actúa sobre las paredes arteriales y la segunda la equivalente es la opuesta a las paredes arteriales en donde se centra la tensión de las arterias. Para poder tomar la presión de una persona hay tres maneras de poder obtener los datos, la presión sistólica es la presión de la sangre en los ventrículos, la presión diastólica es la relajación que se tiene en los ventrículos y la presión media es la se mide por el gasto cardiaco, la forma más común de medir la presión arterial de una persona es colocar el esfigmomanómetro en el brazo de la persona. Luego el instrumento al apretarlo de la



bombilla empieza a ejercer la presión sobre el hombro para su inflación y presión de esta forma se obtiene la presión de la persona ya que tienen un manómetro que muestra la presión que se está ejerciendo y así se mide el pulso de la persona obteniendo los resultados en la siguiente Tabla 6 – Valores de la Presión Arterial

A continuación, se mostrarán conocer los valores normales de la presión arterial.

**Tabla 6 – Valores de la Presión Arterial**

<b>Edad</b>	<b>Presión sistólica (mmHg)</b>	<b>Presión diastólica (mmHg)</b>
Lactante	60 - 90	30 – 62
2 años	78 – 112	48 – 78
8 años	85 – 114	52 – 85
12 años	95 – 135	58 – 88
Adulto	100 - 140	60 – 90

Fuente:(Talamas, 2016)

Hay dos maneras de saber la alteración que puede tener una persona por la presión arterial ya muy conocida la presión alta y la presión baja. La presión alta es una complicación que esta puede generar ciertos problemas en las personas gravemente, muchos factores pueden alterar la presión y hacer que esta misma se suba como lo son el estrés, fumar, exceso de alcohol, exceso de bebidas con alta cafeína, bajas temperaturas, siendo un problema más para las personas mayores ya que estos estas más propensos a tener subidas de presión debido a estrés o el exceso de cafeína generando un problema al corazón. La presión baja se produce cuando no se recibe la suficiente sangre en el corazón disminuyendo los latidos cardiacos, esto puede suceder por factores como los antidepresivos, desmayos, la diabetes, bajada de azúcar y deshidratación, en las personas mayores es más recurrente la bajada de presión ante la falta de azúcar o algún desmayo lo que esto llega a provocar muchas veces caídas por tener una presión muy baja que puede ser muy grave si no es atendido rápidamente.

### 3.7 SATURACIÓN DE OXÍGENO EN LA SANGRE

La medición de oxígeno es una manera de estimar la saturación que hay en la sangre, una función esencial del sistema cardiovascular es proporcionar al organismo suficiente oxígeno. De las cuales hay en la saturación de encuentran dos aspectos en la saturación de lo cual una es la venosa central de oxígeno y la otra es la venosa mixta de oxígeno que estas dos sirven para evaluar el nivel de consumo y relación que se tiene del oxígeno en la sangre.

#### 3.7.1 TÉCNICAS PARA LA TOMA DE VALORES DE LA SATURACIÓN DE OXÍGENO.

Para la toma del oxígeno se utiliza el dispositivo conocido como el pulsioxímetro, el cual es este se coloca en el dedo índice, tiene forma como de gancho que al presionar en el dedo hace la fuerza para hacer la medición correspondiente en el cual en la pantalla muestra la saturación de oxígeno en la sangre un método muy útil hoy en día. La medición de la saturación de oxígeno proporciona conclusiones sobre la función de los pulmones. Al determinar la saturación de la sangre venosa, se puede evaluar el flujo sanguíneo, la absorción de oxígeno y la actividad metabólica del tejido.

**Tabla 7 – Saturación de Oxígeno en la sangre hemoglobina**

100-98%		Normal
97-95%		Insuficiente, Tolerable
94-90%		Necesita intervención inmediata
<90%		Estado Critica
<80%		Requiere hospitalización
<70%		Riesgo de vida

Fuente: (Schade, 2020)

#### 3.7.2 ALTERACIÓN DE LA SATURACIÓN DE OXÍGENO

Uno de los problemas que se puede dar con el exceso del oxígeno es la hipoxemia es cuando hay una baja presión de oxígeno en la sangre que esto puede perjudicar a daños dentro del organismo,

Demasiado oxígeno es tóxico para el cuerpo y puede causar inflamación, estrés oxidativo o constricción de los vasos sanguíneos en los pulmones, los sistemas cardiovascular y nervioso. Si la saturación de oxígeno es demasiado baja, esto se conoce como hipoxemia o hipoxia. Con la hipoxemia, el contenido de oxígeno en la sangre arterial se reduce. La hipoxia es la falta de oxígeno en todo el organismo o en ciertos tejidos. Los síntomas pueden incluir ansiedad e inquietud, disnea (dificultad para respirar), taquicardia (frecuencia cardíaca alta) y aumento de la presión arterial.


Problemas que pueden generar lecturas erróneas de la saturación de oxígeno en una persona:

- Interferencia con otros dispositivos eléctricos.
- Anemia
- Luz ambiental intensa.
- Movimientos incorrectos.

### 3.8 EQUIPOS MEDIDORES DE SIGNOS VITALES

Para la medición de signos vitales existen varios equipos tanto móviles como fijos los cuales se caracterizan por su tiempo de respuesta, precisión y exactitud.

**Tabla 8 – Equipos Medidores de Signos Vitales**

Equipo Medidor de Signo	Descripción	Ilustración
Monitor Connex Spot	Pantalla táctil que tiene como función demostrar la presión arterial y el monitoreo por segundos de la persona siendo muy precisa y exacta en presentar los datos, contiene una batería que mantiene un periodo de duración entre 16-18 horas ofrece datos muy confiables pero su precio es	

Equipo Medidor de Signo	Descripción	Ilustración
	demasiado costoso.	<p align="center"><b>Ilustración 18 – Monitor Connex Spot</b></p> <p>Fuente: (Welch, 2018)</p>
Esfigmomanómetro Digital	Es un dispositivo que posee una gran exactitud a la hora de tomar valores de la presión, puede ser utilizable para forma de brazalete ya que se puede colocar en la parte del hombro, tiene una amplia batería para 100 mediciones, posee conexión <i>USB</i> para ofrecer un sistema de mayor control.	 <p align="center"><b>Ilustración 19 - Esfigmomanómetro Digital</b></p> <p>Fuente: (Welch, 2018)</p>
<p>Medidor de Saturación de Oxígeno.</p> <p>Medidor de Saturación de Oxígeno.</p>	Muchos de los problemas que pueden reflejar las enfermedades cardiacas, problemas en la dificultad para respirar pueden ser reflejadas en la saturación de oxígeno que hay en la sangre, estos dispositivos son muy utilizados en la actualidad y tiene una gran oferta de demanda por su bajo costo y utilidad ya que contiene una pantalla LCD donde la	 <p align="center"><b>Ilustración 20 - Medidor de Saturación de Oxígeno.</b></p>

Equipo Medidor de Signo	Descripción	Ilustración
	<p>persona puede al poner su dedo obtener los resultados de la saturación de oxígeno en la sangre.</p>	<p>Fuente: («Pulso Oxímetro De Dedo Pro - Pediátrico y Adultos», 2018)</p>

### 3.9 DETECCIÓN DE CAÍDAS

Uno de los factores que puede provocar lesiones, moretes, en el cuerpo humano son las caídas algo que muy comúnmente le pasa a las personas pero sobre todo a las personas de una edad más avanzada que presentan más problemas para desplazarse ya que físicamente la edad afecta, de caídas de personas mayores de 65 años en adelante 1 de cada 3 la sufre en algún momento en su casa en un año y más de la mitad de ellos puede tener más de una, las caídas no pueden ser todas graves dependiendo del grado de impacto hacia el piso o algún objeto bajo ello, pero si puede llegar algunas graves a ocasionar muchos problemas para un adulto mayor ya que puede sufrir quebraduras de hueso, derrames, incluso la persona puede perder su confianza ya que siente que no se siente apto para algo tan normal para caminar ya que al caerse ve que pierde cierto equilibrio por el cual ante la tecnología se han empleado herramientas que ayuden a este tipo de problemas. (Falls, 2018)

Los problemas que generan las caídas de las personas es la debilidad de los músculos, el bajo peso y la osteoporosis ocasionando que la persona se mueva mucho menos, no tenga la misma agilidad, reflejos y tiempos de reacción ante alguna caída. (Espínola, 2020)

Problema grave que puede presentar una caída es la Onda inmovilidad es una vía frecuente por la que muchos adultos pasan que esto produce enfermedades en las personas mayores producen un mayor problema que es la discapacidad. (Walsh et al., 1999).

Existen varios sistemas de detección de caídas y estos depende de la forma de su funcionamiento ya que algunos actúan en forma de monitoreo de actividades realizada por la persona, alguna caída, movimientos bruscos que repercuten una caída, grabaciones a tiempo real para establecer si la persona se encuentra bien etc.

Existen diferentes tipos de detectores de caídas, divididos en dos grupos en cuanto la forma de detección en la siguiente Tabla veremos de ellos:

**Tabla 9 - Dispositivos detectores de caídas**

	<b>Detección inmediata</b>	<b>Detección de comportamiento inusual</b>
<b>Aparatos portátiles</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Al haber una caída emite una emisión de alerta.</li> <li>Tecnologías utilizadas: el acelerómetro, sensores de posición, sensores de posición.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No detectan una caída.</li> <li>No envían alarmas inmediatamente al haber una caída.</li> <li>Tecnologías que usan, sensores de ritmo cardiaco, temperatura, sensor de posición.</li> </ul>
<b>Monitorización del entorno</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Detección de cambios que en el entorno puede ser indicio de una caída.</li> <li>Tecnologías usadas: cámaras de video, análisis de imágenes, sensores de</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Monitoreo de las actividades por las personas.</li> <li>Análisis de comportamiento.</li> <li>Tecnología usadas sensores de proximidad, sensores de contacto en puertas, ventanas.</li> </ul>

<b>Detección inmediata</b>	<b>Detección de comportamiento inusual</b>
choque, sensores de proximidad.	

---

Fuente: (Guillaume Pérolle e Igone Etxebarria Arritxabal, 2006)

### **3.10 METODOLOGÍA PARA DISEÑO DE PRODUCTOS MECATRÓNICOS**

Para emplear la metodología para el proyecto a realizar tenemos que definir que es la mecatrónica.

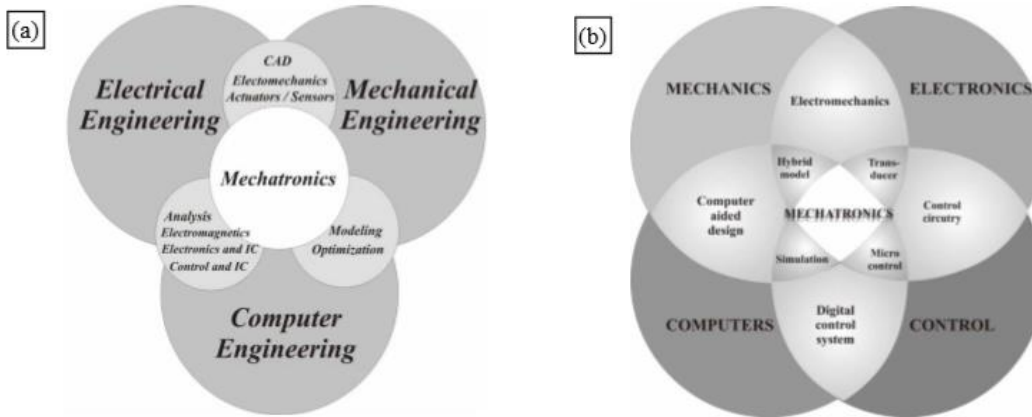
Vasic & Lazarevic (2008) afirma que la mecatrónica es "integración sinérgica de Ingeniería mecánica con electrónica e inteligente control informático en el diseño y fabricación de productos y procesos industriales. (p,1) Por otro lado, Vasic & Lazarevic (2008) mencionan que independientemente de la definición, la mecatrónica integra las siguientes disciplinas:

- Sistemas mecánicos: elementos mecánicos, máquinas, mecánica de precisión;
- Sistemas electrónicos: microelectrónica, electrónica de potencia, tecnología de sensores y actuadores.
- Tecnología de la información: teoría de sistemas, automatización, ingeniería de software, inteligencia artificial.

La mecatrónica integra las siguientes disciplinas para su definición.:

- Sistemas mecánicos - elementos mecánicos, máquinas, mecánica de precisión;
- Sistemas electrónicos: microelectrónica, energía, electrónica, tecnología de sensores y actuadores
- Tecnología de la información - teoría de sistemas, automatización, ingeniería de software, artificial inteligencia. Vasic & Lazarevic (2008)

Descripción de la mecatrónica en cada una de las disciplinas utilizadas para el desarrollo de productos mecatrónicos.



**Ilustración 21 Mecatrónica: (a) General (b) Definición de productos mecatrónicos**

Fuente: (Vasic & Lazarevic, 2008).

### 3.11 MÉTODO PERT

Para calcular el costo se utilizó el método PERT método que es utilizado en 3 variables para determinar una aproximación del costo de la cuales se basa en el costo más probable (m) en el costo más optimista (a) y por último el costo más pesimista (b). (Gbenedji, 2015)

$$CE = \frac{a + 4 * m + b}{6}$$

**Ecuación 1 - Formula de Aproximación**

### 3.12 INSTRUMENTACIÓN

Para la realización del brazalete se necesitan de algunos componentes electrónicos para realizar la función del prototipo. Además, se necesita de una herramienta de diseño CAD, que permite realizar el modelado y la integración de los componentes para mejor acoplamiento y montaje, se necesita del uso de una aplicación móvil para el monitoreo de la persona y alerta de la caída.



### 3.12.1.1 *DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADORA (CAD)*

Los avances de la tecnología son un gran beneficio ya que han incrementado mucho en los últimos años siendo muy beneficiosos para la parte de diseños de productos y uno de ellos es el diseño de brazaletes en el que es muy útil para la realización del prototipo y pruebas para comprobar la funcionalidad del mismo.

El CAD se utiliza a lo largo de todo el proceso de ingeniería, desde el diseño de productos conceptual y la estructura pasando por el análisis de ensambles hasta la definición del método de fabricación. El CAD es una herramienta que nos facilita hacer todo tipo de pruebas, para reducir costes en el desarrollo de productos, mejorar la productividad y asegurar la calidad del producto.

Con el avance de los softwares computacionales se ha logrado desarrollar mejores programas para realizar dibujos, piezas y ensambles, además de mejores herramientas para realizar análisis de comportamientos. Uno de los programas que mayor impacto tiene en esta área es SOLIDWORKS.

SOLIDWORKS es un software CAD creado en 1995, siendo un programa que permite crear piezas, ensambles y dibujos. Este software también tiene la capacidad de realizar análisis a las piezas realizadas y simulaciones de esfuerzos y desplazamientos permitiendo mejorar la calidad que cuentan los productos, realizar mejoras de geometrías y analizar los materiales que mejor se adapten a su función. (Rodríguez Vidal, 2015)



**Ilustración 22 - SolidWorks**

Fuente: (Rodríguez Vidal, 2015)

### 3.12.2 IMPRESIÓN 3D

El término impresión 3D abarca una serie de procesos y tecnologías que ofrecen un espectro completo de capacidades para la producción de piezas y productos en diferentes materiales. Esencialmente, lo que todos los procesos y tecnologías tienen en común es la forma en que la producción se lleva a cabo capa por capa en un proceso aditivo que contrasta con los métodos tradicionales de producción que implican métodos sustractivos o procesos de moldeo / fundición.

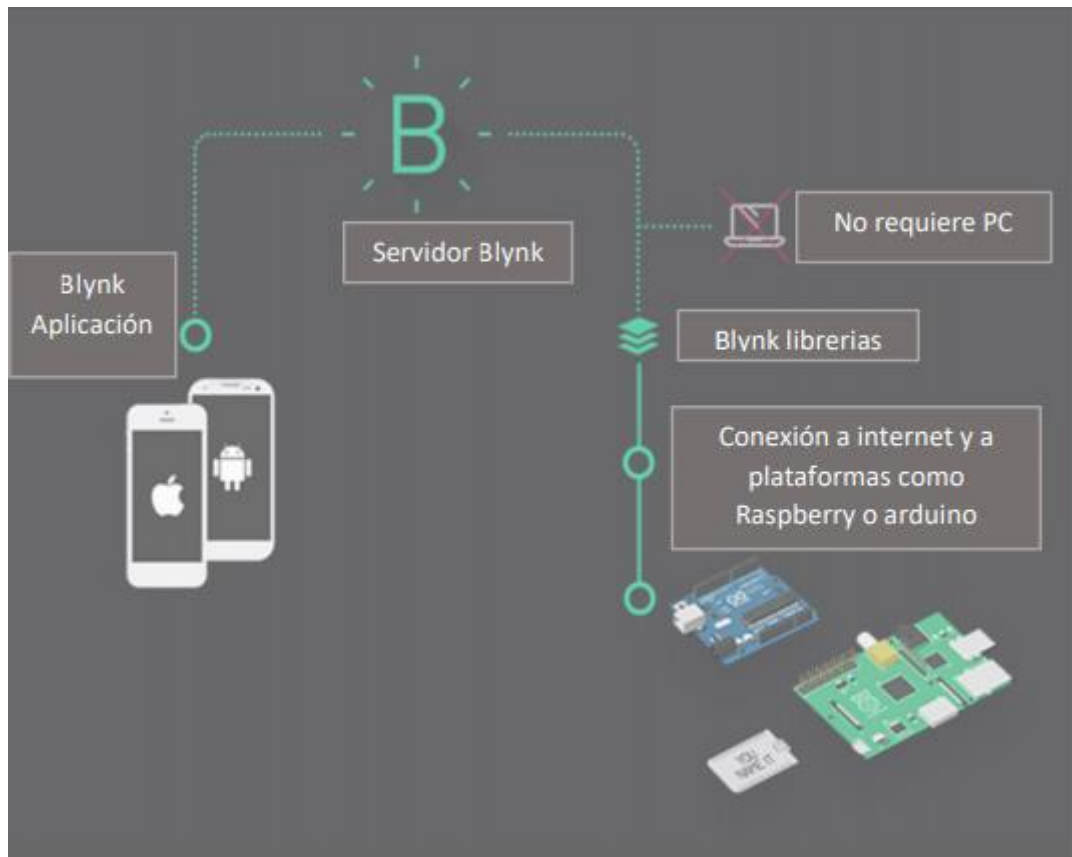
La impresión 3D es una tecnología habilitadora que fomenta e impulsa la innovación con una libertad de diseño sin precedentes, al mismo tiempo que es un proceso sin herramientas que reduce los costos prohibitivos y los plazos de entrega. La impresión 3D también está emergiendo como una tecnología de eficiencia energética que puede proporcionar eficiencias ambientales en términos tanto del proceso de fabricación en sí, utilizando hasta el 90% de los materiales estándar, como durante toda la vida útil de los productos, a través de un diseño más liviano y resistente.

### 3.12.3 BLYNK

Con *Blynk*, puede crear aplicaciones para teléfonos inteligentes que le permiten interactuar fácilmente con microcontroladores o incluso computadoras completas como la Raspberry Pi. El objetivo principal de la plataforma *Blynk* es facilitar el desarrollo de la aplicación para teléfonos móviles. La aplicación *Blynk* es realmente un editor de aplicaciones.

Permite crear uno o más proyectos.

Cada proyecto puede contener widgets gráficos, como LED virtuales, botones, pantallas de valores e incluso un terminal de texto, y puede interactuar con uno o más dispositivos. Con la ayuda de la biblioteca *Blynk*, es posible controlar los pines Arduino o ESP32 directamente desde el teléfono, sin tener que escribir ningún código.



**Ilustración 23 – Esquema de Funcionamiento de la aplicación Blynk.**

Fuente: (*Documentation for Blynk, the most popular IoT platform for businesses.*, 2021)

Características que tiene:

- Tiene conexión de forma *wifi, bluetooth, USB y GSM*.
- Sus widgets son muchas fáciles al momento de utilizarlos.
- Muy fácil de integrar y de incluir nuevas funcionalidades.
- Aplicación que constantemente se va actualizando para mejoras.
- Monitoreo de datos a través de *SuperChart*.
- Comunicación de los dispositivos que tengan la aplicación de un teléfono a otro.
- Hace envío de notificaciones, hace avisos de correo electrónico.

### 3.12.3.1 UBICACIÓN DEL PACIENTE CON GPS

El GPS es una forma que podemos ver la ubicación de una persona en tiempo real, la forma de mostrar esto es compartiendo la ubicación en el dispositivo móvil en la cual la persona ya estaría compartiendo

la ubicación este punto es importante ya que si se desea emplear una comunicación del brazalete con la aplicación Blynk es importante que el usuario habilite la opción de la Ubicación de permiso a la App ya que al uso de comunicación que se mantenga el brazalete con la aplicación a un sector que no sea dentro de la casa la otra persona pueda saber la ubicación de la persona ante alguna caída que pudo repercutir a algún accidente siendo muy importante ya que se conocerá la ubicación de la persona en tiempo real si sufrió una caída para la ayuda inmediata.

#### 3.12.4 MICROCONTROLADOR

Un microcontrolador (a veces llamado MCU o Unidad de microcontrolador) es un solo circuito integrado (IC) que generalmente se usa para una aplicación específica y está diseñado para implementar ciertas tareas. Los productos y dispositivos que deben controlarse automáticamente en determinadas situaciones, como electrodomésticos, herramientas eléctricas, sistemas de control de motores de automóviles y computadoras, son excelentes ejemplos, pero los microcontroladores van mucho más allá de estas aplicaciones.(Gudino, 2018)

Esencialmente, un microcontrolador recopila entradas, procesa esta información y genera una determinada acción en función de la información recopilada. Los microcontroladores generalmente operan a velocidades más bajas, alrededor del rango de 1MHz a 200 MHz, y deben diseñarse para consumir menos energía porque están integrados dentro de otros dispositivos que pueden tener un mayor consumo de energía en otras áreas.(Gudino, 2018)

Los microcontroladores son muy fundamentales ya que su función es poder interpretar las lecturas mandadas por el usuario para su programación, en el diseño de circuitos, lo cual lo hace más sencillo, y sistemas que los incluyan es indispensable. El beneficio del uso de un programa en los microcontroladores es que permite la modularidad y flexibilidad, ya que en un mismo circuito se puede utilizar para que realice diferentes funciones, por lo tanto, solo se requiere cambiar el programa para ajustar nuevas necesidades y solo están limitadas por la imaginación de los usuarios. Los microcontroladores se encuentran en diversas áreas, por ejemplo, en la robótica y la automatización, en la industria de entretenimiento y las telecomunicaciones, en el hogar, en los automóviles o la instrumentación, etc. (Talavera, 2020)

### 3.12.5 ACELERÓMETRO

Los acelerómetros miden la aceleración lineal. También se pueden utilizar para fines específicos, como la medición de inclinación y vibración. Los acelerómetros MEMS incorporan varias funciones útiles para la detección de movimiento y aceleración, incluida la caída libre, el despertar, el reconocimiento de una o dos pulsaciones, la detección de actividad e inactividad. La fuerza causada por la vibración o un cambio en el movimiento (aceleración) hace que la masa "apriete" el material piezoeléctrico que produce una carga eléctrica que es proporcional a la fuerza ejercida sobre él. Dado que la carga es proporcional a la fuerza y la masa es una constante, entonces la carga también es proporcional a la aceleración. Estos sensores se utilizan de diversas formas, desde estaciones espaciales hasta dispositivos portátiles, y es muy probable que ya tenga un dispositivo con un acelerómetro.

### 3.12.6 SENSOR DE PULSO

Una onda de pulso es el cambio en el volumen de un vaso sanguíneo que ocurre cuando el corazón bombea sangre, y un detector que monitorea este cambio de volumen se llama sensor de pulso. Los sensores de pulso utilizan el método fotoeléctrico. Los sensores de pulso que utilizan el método de onda de pulso fotoeléctrico se clasifican en 2 tipos según el método de medición: transmisión y reflexión. Los tipos de transmisión miden las ondas de pulso emitiendo luz roja o infrarroja desde la superficie del cuerpo y detectando el cambio en el flujo sanguíneo durante los latidos del corazón como un cambio en la cantidad de luz transmitida a través del cuerpo.

Los sensores de pulso de tipo reflexión (sensores ópticos para monitor de frecuencia cardíaca) emiten luz infrarroja, roja o verde (~ 550 nm) hacia el cuerpo y miden la cantidad de luz reflejada mediante un fotodiodo o fototransistor. La hemoglobina oxigenada presente en la sangre de las arterias tiene la característica de absorber la luz incidente, por lo que al detectar la tasa de flujo sanguíneo cambio en el volumen de los vasos sanguíneos que cambia después de las contracciones cardíacas a lo largo del tiempo, podemos medir la señal de la onda del pulso. Además, dado que se mide la luz reflejada, el rango de áreas adecuadas no está limitado como con los sensores de pulso de tipo transmisión. Este método se limita a áreas donde la luz puede penetrar fácilmente, como la yema del dedo o el lóbulo de la oreja.

### 3.12.7 BATERÍA DE LITIO

Las baterías de litio, incluidas las de hidruro de litio y las de iones de litio, se han vuelto populares para los dispositivos electrónicos de consumo debido a su bajo peso, alta densidad de energía y vida útil relativamente larga. El litio es extremadamente reactivo y puede estallar en llamas si se expone al agua, pero las celdas de litio modernas usan litio ligado químicamente para que no reaccione fácilmente. Al igual que con el níquel, existen varias variantes de celdas de litio, pero la más popular hoy en día es la celda de iones de litio. Estos están diseñados para que no haya litio libre presente en ninguna etapa durante el ciclo de carga o descarga. (Moseley, Garche, 2015).

## **IV. METODOLOGÍA**

En este capítulo se procede con la metodología y los diferentes procesos que se llevan a cabo para elaborar el prototipo del brazalete. De igual manera se explicará cada uno de los niveles de sistema

aplicados en el desarrollo del proyecto en el cual este se basará en la parte mecánica, electrónica y de control con el fin de hacer el brazalete con cada una de sus funciones establecidas a bajo costo.

#### **4.1 ENFOQUE**

La presente investigación tiene un enfoque descriptivo y cuantitativo. El enfoque descriptivo es un método de investigación cuantitativa que se considera concluyente y se utiliza para probar hipótesis específicas y describir características o funciones, siendo utilizado este método para describir cada una de las variables independientes que parten de la variable dependiente del brazalete explicando el funcionamiento que tendrá cada una de ellas para el desarrollo de un prototipo funcional.

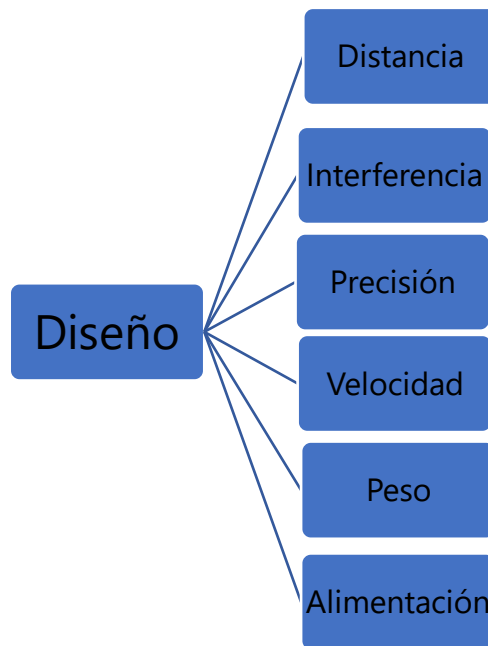
El enfoque cuantitativo provee datos que ayudaran a la hora de utilizar el método PERT para calcular el costo estimado del proyecto para poder hacer la comparación del producto final.

#### **4.2 ALCANCE**

En la presente investigación se define un alcance descriptivo. Con el cual se pretende describir cada uno de los sistemas y subsistemas integrados para el prototipo.

#### **4.3 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN**

Con el enfoque ya establecido para la investigación, se procede a identificar las variables que están involucradas para la realización de la misma. Estas variables están relacionadas entre sí y suelen clasificarse como dependientes e independientes. La variable dependiente es la razón de la investigación y las variables independientes son aquellas en las cuales las alteraciones que se presenten pueden perjudicar a la variable dependiente.



**Ilustración 24 – Variables Dependientes e Independientes**

Fuente: Elaboración Propia.

La variable dependiente no se manipula, la medición de esta se utiliza para determinar el grado de afectación que las variables independientes ejercen sobre ella. Para la presente investigación se seleccionó el diseño ya que esta determinara cada una de las demás variables independientes puestas en el prototipo para su correcto funcionamiento.

Las variables independientes de esta investigación son todas aquellas que afectarán el diseño del brazalete en cuanto a su precisión, alertas de manera indirecta o directa.

Distancia es un parámetro técnico para la transmisión de los resultados obtenidos por los sensores reflejados en la aplicación esta pretende que pueda ser empleado sin ningún tipo de problema ya sea mediante datos móviles que porte el usuario para compartir la comunicación de internet del brazalete con la aplicación.

Interferencia es el tiempo de comunicación que se tardara de emitir los datos desde el brazalete hacia la aplicación y por siguiente el envío de la alerta de comunicación al correo.

Precisión variable que depende del margen de error y eficiencia que tendrá cada uno de los sensores medidos por el brazalete por lo cual se medirá ante equipo médico que tiene una eficiencia de 100% para saber el margen de error que tendrá cada uno de los sensores.



Velocidad esta variable parte de la detección de caídas ya que se debe establecer que rango de aceleración para que el sensor detecto si fue una caída para emitir la alerta y no hacer falsos positivos como un gesto.

Peso el prototipo debe ser elaborado de un tamaño cómodo y ergonómico para la persona que no sienta molestia en portarlo en su brazo y a su vez no tenga mayor peso, puesto que también debe ofrecer una buena resistencia el brazalete ante la caída por los sensores.

Alimentación se encargará de darle el tiempo de alimentación al brazalete para que este pueda funcionar y trabajar por horas sin ningún tipo de problema.

#### **4.4 HIPÓTESIS**

La hipótesis de la presente investigación está dirigida a evaluar si la detección de caídas cumple con la precisión exacta en determinar un movimiento normal o brusco.

##### **4.4.1 HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN:**

(Hi): El diseño presentado para el brazalete elaborado es capaz de emitir envío de alerta de caídas, determinar el ritmo cardíaco y temperatura con una precisión mínima de 95%.

Hipótesis nula

(Ho): El diseño presentado para el brazalete elaborado no es capaz de emitir envío de alerta de caídas, determinar el ritmo cardíaco y temperatura con una precisión mínima de 95%.

##### **Técnicas e Instrumentación**

Para el óptimo desarrollo del presente proyecto se recurrió a la información adquirida de distintas fuentes como:

- Libros electrónicos
- Artículos publicados en revistas científicas
- Tesis elaboradas en distintas universidades a nivel mundial.
- Arduino IDE

Se empleará el uso de SOLIDWORKS para el diseño del brazalete y los diferentes análisis que se realizaran al diseño y los esquemas de conexión de cada uno de los componentes en el brazalete.

## 4.5 MATERIALES

Los materiales usados fueron con el propósito de un correcto funcionamiento del brazalete, veremos a continuación los más importantes:

- Microprocesador es un circuito integrado que procesara los datos en forma programable.
- Acelerómetros: sensor que sirve para medir los movimientos.
- Baterías: funcionan para la alimentación del dispositivo.
- Sensor de pulso: utilizado para las lecturas del ritmo cardiaco.
- Impresión 3D

### 4.5.1 MICROPROCESADOR

En la siguiente Tabla 10 – HiLetgo ESP32 se mostrarán algunas especificaciones del Microcontrolador ESP32:

**Tabla 10 – HiLetgo ESP32**

Características del HiLetgo ESP32	
• Voltaje	Voltaje de funcionamiento: 3,3 V a 7 V
• Temperatura	Rango de temperatura de funcionamiento: -40 ° C a + 90 ° C
• Datos	Admite los modos <i>Sniffer</i> , <i>Station</i> , <i>softAP</i> y <i>Wi-Fi Direct</i>
• Velocidad	Velocidad de datos: 150 Mbps, 11n HT40,72 Mbps, 11n HT20,54 Mbps, 11g, 11 Mbps @ 11b
• Potencia	Potencia de transmisión: 19,5 dBm a 11b, 16,5 dBm a 11g, 15,5 dBm a 11n
• Sensibilidad	Hasta - 98 dBm
• UDP	Rendimiento de 135 Mbps

Fuente: (Amazon.com: HiLetgo ESP32 OLED, 2020)

#### 4.5.2 ACCELERÓMETRO

En la siguiente Tabla 11 – Acelerómetro MPU 650 se enseñarán algunas especificaciones básicas del MPU 650:

**Tabla 11 – Acelerómetro MPU 650**

<b>Características del Acelerómetro MPU 6050</b>	
<b>Voltaje del 650</b>	Voltaje de funcionamiento: 3,3 V a 7 V
<b>Regular de voltaje en placa</b>	Si
<b>Grados de libertad</b>	6
<b>Rango del acelerómetro</b>	2g/4g/8g/16g
<b>Rango de Giroscopio</b>	250Grad/Seg, 500Grad/Seg, 1000Grad/Seg, 2000Grad/Seg
<b>Sensibilidad del giroscopio</b>	131 LSBs/dps
<b>Interfaz</b>	I2C
<b>Tamaño</b>	2.0cm x 1.6cm x 0.3cm

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.5.3 BATERÍAS

Se detallarán algunas características de las baterías de Litio de 1100 mAH con conexión para ESP32.

Especificaciones:

- Voltaje estándar: 3.7V
- Capacidad: 1100 mAh.
- Peso aproximado: 0.67 oz.
- Dimensiones  $(\pm 0.079 \text{ in})$ : 1.850 x 1.102 x 0.307 in.
- Tasa de descarga: 1C
- Corriente de trabajo: 1.5A
- La corriente de descarga máxima: 3C
- Protección contra sobre corriente: 1.8-2.1A

- Tipo de conector: Micro JST 1.25

#### 4.5.4 SENSOR DE PULSO

Las siguientes características son del sensor MAX30100 ya que es el que es más completo en cuanto a la medición de pulso cardiaco y la oxigenación de sangre:

- Voltaje de Operación: 5V DC
- Regulador de voltaje de 3.3V y 1.8V en placa
- Led rojo de 660nm
- Led infrarrojo de 920nm
- Filtro de luz entre 50 y 60Hz
- Protocolo de comunicación: I2C
- ADC delta sigma de hasta 16 bits
- Temperatura de trabajo: -40°C hasta +85°C
- Dimensiones: 14mm x 17mm

#### 4.5.5 IMPRESIÓN 3D

- **PLA (Ácido Polilactico):** En comparación con otros materiales, es muy fácil de imprimir, además, el PLA se considera generalmente un material más sostenible y seguro que otros materiales.

Características del PLA:

- Es permanente, claro y brillante.
- Es muy resistente a la humedad y la grasa.
- Es similar al polietileno en la formación de una barrera de sabor y olor.
- Tiene suficiente escalabilidad y flexibilidad.
- Su inflamabilidad es muy baja, por lo que es estable a la luz ultravioleta.
- Aunque 3D PLA es flexible, puede hacerse rígido.
- Puede copolimerizarse con otros materiales.
- Para utilizar las propiedades mecánicas, se puede cambiar el proceso de fabricación.

#### 4.6 METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN

Para validar que el estudio cumple con la hipótesis de investigación, que dice que la precisión del brazalete debe ser mínimo del 95%, se realizarán diferentes pruebas con cada una de las variables independientes, esto para determinar el rango de operación válido para el prototipo.

Se realizarán 40 pruebas a diferentes valores, los datos obtenidos de cada una de estas pruebas se recolectarán, para posteriormente ser analizados y determinar el cálculo estadístico de la precisión del prototipo ante el aparato médico que es el valor de referencia.

##### **Ecuación 2 – Porcentaje de Error**

$$\% \text{ Error} = \frac{(\text{Valor Medido} - \text{Valor de Referencia})}{\text{Valor de Referencia}} \times 100$$

$$\text{Precisión} = 100 - \% \text{ Error}$$

Fuente: (*Formula de porcentaje de error*, 2020)

Se realizarán 40 pruebas para determinar la sensibilidad que tenga el MPU 650 en la detección de caídas por lo cual se determinara la cantidad de veces que acierta el prototipo con la cantidad de veces que falla para darse a conocer la sensibilidad del acelerómetro.

##### **Ecuación 3 - Sensibilidad (equivalente a la tasa de positivos verdaderos)**

$$\text{Sensibilidad} = \frac{TP}{TP + FN}$$

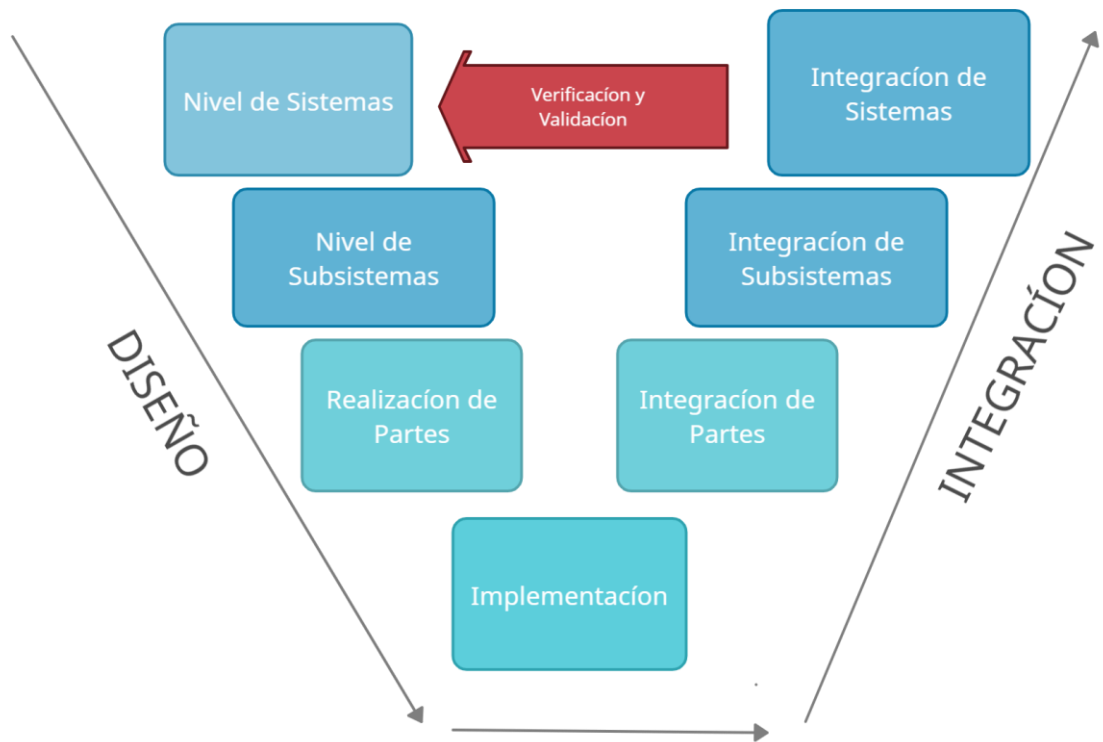
Fuente: (*Análisis detallado de sensibilidad y especificidad*, 2020)

TP = Verdadero Positivo

FN= Falso Negativo

#### 4.7 METODOLOGÍA DE ESTUDIO

Se opto por utilizar la metodología en "V" ya que está enfocada en la producción y desarrollo de dispositivos mecatrónicos que incluye las partes electrónicas y mecánicas, desde todo tipo de microprocesadores y sensores. La metodología se basa en dos ciclos el ciclo A y el ciclo B. En el ciclo A se realiza el diseño y análisis, una vez fabricado el prototipo e implementado todos los componentes en el dispositivo se procede al Ciclo B que se realizan las pruebas y correcciones con el fin de obtener el prototipo funcionando correctamente sin errores ni fallas.



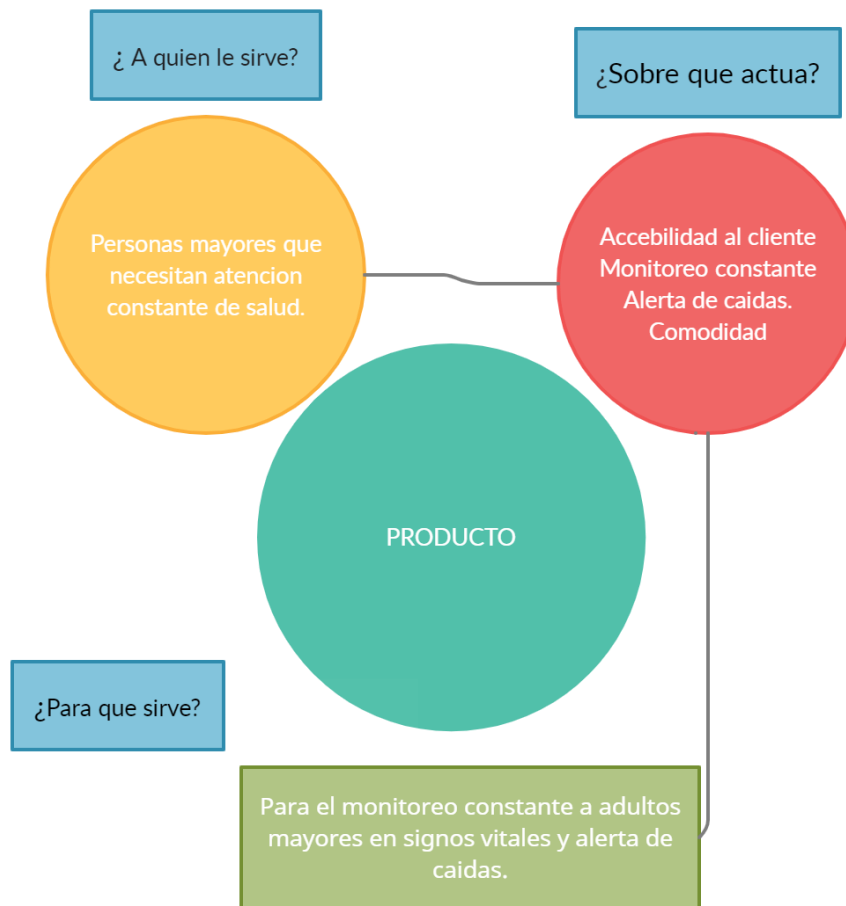
**Ilustración 25 – Metodología en V**

Fuente: (Standard Industrial Guideline for Mechatronic Product Design)

Este ciclo estará dividido en diferentes etapas mostradas en la Ilustración 25 – Metodología en V. **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Ilustración 25 – Metodología en V , cada etapa tendrá un objetivo y proceso para el desarrollo del prototipo. Para mejorar la eficiencia de la metodología del sistema mecatrónico se a utilizar un proceso de diseño de sistema mecatrónico que se realizan en dos ciclos que contiene 6 etapas.

#### 4.7.1 ETAPA INICIAL: REQUERIMIENTOS

Un diagrama *diagramme bête à cornes* es una herramienta para el análisis de necesidades funcionales. Es un diagrama que muestra si el producto es útil para el usuario, si satisface sus necesidades. Este es el primer paso del método APTE.



**Ilustración 26 - Diagrama La Bête A Cornes, Método APTE**

Fuente: Propia (2020).

Basado en la identificación de necesidades, se realiza un análisis funcional para definir las funciones globales del sistema en general. Este análisis debe definir tres tipos diferentes de funciones:

1. La función principal que satisfacen las necesidades y es razones por la que se debe automatizar una silla de ruedas a bajo costos es para que sea más accesible económicamente para los usuarios.
2. En la función de Restricción se tiene que verificar que el sistema de control funcione correctamente en la silla de ruedas y así poder garantizar la seguridad y confianza al usuario.

3. La función complementaria del producto sería una silla de ruedas de bajo costo con una larga vida útil.

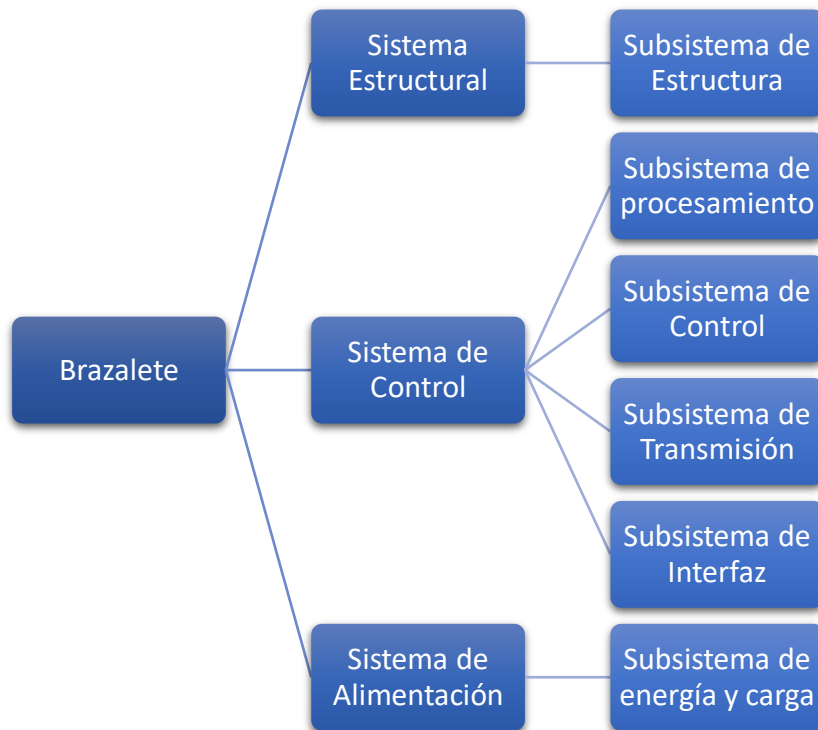
La solución final dependerá en gran medida de este análisis: la mayoría de las diferencias entre dos productos que tienen las mismas funciones principales resultan de la restricción y las funciones complementarias.

#### 4.7.2 CICLO A DE LA METODOLOGÍA V

A continuación, se habla de manera detalla cada etapa realizada en el ciclo A.

##### 4.7.2.1 ETAPA I NIVEL DE LOS SISTEMAS

Para el desarrollo del brazalete se definieron los niveles de los sistemas. Para este proyecto se presentan tres sistemas: el sistema estructural, el sistema de control y el sistema de energía, con sus respectivos subniveles Ilustración 27 – Nivel de los sistemas y subsistemas.



**Ilustración 27 – Nivel de los sistemas y subsistemas**

Fuente: Elaboración Propia.



Sistema estructural: se necesita la elección del material que brinde la característica primordial que se toman en cuenta es que sea cómodo, ligero y posea una buena resistencia. En este sistema se diseña una estructura en donde todos sus componentes se acoplen perfectamente. Se tomará en cuenta el peso final del brazalete con todo integrado, la dificultad de obtención del material y el precio que presente el mismo.

Sistema de Control: sistema basado en los sensores y microcontroladores que estos son los encargados de leer y transmitir la información recibida en el brazalete del cual sea portado por la persona. A su vez el sistema es el encargado del envío de información desde el brazalete hasta una aplicación móvil para la lectura de datos. Para seleccionar los componentes, se hará una tabla comparativa con los distintos tipos que se encuentran en el mercado, seleccionando el que mejor se adapte al proyecto.

Sistema de alimentación: importante siempre tener la capacidad de alimentación y duración de batería del prototipo ya que es la manera de mantener correctamente trabajando a la parte electrónica siendo importantes las baterías para la vida útil del producto.

#### *4.7.2.2 ETAPA II: NIVEL DE LOS SUBSISTEMAS*

Luego de definir cada uno de los sistemas se procede con la definición de los subsistemas.

#### *4.7.2.3 SUBSISTEMA ESTRUCTURAL*

Se conformará por el material del que se acople mejor a una mayor resistencia, que no sea tan pesado y a que su vez acople muy bien todos los componentes del sistema de control en el cual tendrá integrado todos los sensores y necesitan de la protección y cuidado de cada uno como a su vez la comodidad del usuario al usar el brazalete.

#### *4.7.2.4 SUBSISTEMA DE PROCESAMIENTO*

Se requiere de un microprocesador para que sea capaz de procesar la información que estará emitiendo el detector de caídas, el sensor de temperatura y de ritmo cardiaco, así transmitiendo las lecturas correspondientes en la pantalla del brazalete.

#### *4.7.2.5 SUBSISTEMA DE CONTROL*

El sistema de control se basará en el dispositivo del ESP32 que este será la comunicación entre el sensor y acelerómetro que serán proseguidos del siguiente subsistema.

#### 4.7.2.6 SUBSISTEMA DE TRANSMISIÓN

Basado en la transmisión de datos desde el brazalete hasta el dispositivo que se quiere llegar la información desde los datos del microprocesador, acelerómetro y sensores.

#### 4.7.2.7 SUBSISTEMA DE INTERFAZ

Se requiere del uso de una aplicación para la transmisión de información desde el brazalete hacia el dispositivo donde se registren los datos y lecturas correspondientes.

#### 4.7.2.8 SUBSISTEMA DE ENERGÍA Y CARGA

Se compone por la forma en la que se conseguirá alimentar los distintos componentes electrónicos que se encontraran en cada subsistema y a que a su vez determina la vida útil del prototipo.

### 4.7.3 ETAPA III: REALIZACIÓN DE PARTES

Definido cada uno de los subsistemas y los requisitos que presentan los mismos, se procedió a especificar los distintos materiales y componentes que se requieren para el desarrollo de los subsistemas.

#### 4.7.3.1 SUBSISTEMA ESTRUCTURAL

En la siguiente tabla veremos los siguientes materiales para el desarrollo del prototipo que será fabricado en 3D de los cuales los más comunes son el PLA, ABS Y NYLON, realizando las comparaciones para ver cuál es el que mejor se adapta y presenta mejores características.

**Tabla 12 – Propiedades mecánicas de filamentos de impresión**

Propiedades		PLA	ABS	NYLON
<b>Tipo de Material</b>		Termoplástico	Termoplástico	Termoplástico
<b>Propiedades Mecánicas</b>		Rígido Ligero Fuerte	Rígido Resistente a Impacto Resistente al Calor	Resistente Flexible Resistente al calor

Propiedades		PLA	ABS	NYLON
<b>Humedad de Absorción</b>		Mínimo	Mínimo	Absorbe Agua
<b>Temperatura</b>		220 Celsius	220- 250 Celsius	125- 265 Celsius
<b>Precio</b>		13\$	11\$	20\$
<b>Impresión</b>		Fácil	Moderada	Difícil de Imprimir
<b>Aplicaciones</b>		Para todo tipo	Cajas de plástico	Tornillo Engranajes
<b>Impresora 3D Cerrada</b>		No requiere	Recomendado	Recomendado
<b>Elasticidad</b>		2346,5 MPa	1681,5 MPa	579,0 MPa
<b>Resistencia de Flexión</b>		103,0 MPa	70,5 MPa	21,0 MPa

Fuente: («FDM 3D Printing Materials», 2020)

En la table se muestran las diferentes características que tiene cada uno de los materiales de impresión en el cual el que presenta mayores ventajas ante calidad y precio es el PLA, ya que obtiene mayor ventaja sobre los otros principalmente que presenta mejor calidad en las características sobre todo ante más similar contra el ABS pero que el PLA gana en puntos más importantes como la manera fácil de impresión, mayor soporte de resistencia y elasticidad por lo cual el material elegido para el desarrollo del brazalete será el PLA.

#### 4.7.3.2 SUBSISTEMA DE PROCESAMIENTO

Se selecciona el microcontrolador que mejor se adapte a las necesidades y sea compatible con las librerías para el acelerómetro, sensor de pulso, voltajes de entrada del microcontrolador como a su vez la comunicación que mantenga el prototipo hacia la comunicación de la aplicación.

**Tabla 13. Microcontroladores**

Microcontrolador	Voltaje de entrada	Voltaje de salida	Procesador	Librería	Pantalla
NODE MCU ESP8266	5-12 V	3.3-5V	32 bits	Sí	No
Arduino HiLetgo ESP32	5-12 V	3.3-7V	32 bits	Si	Si

Fuente: Propia.

Se muestran las características del MCU ESP8266 y las del HiLetgo ESP32 de las cuales el microcontrolador seleccionado es el HiLetgo32 ya que brinda mayores opciones como lo es implementada una pantalla de LCD de 0.96 pulgadas y que a su vez soporta la carga de la batería, y mantiene la conexión con el subsistema de transmisión y de interfaz mediante la conexión de vía *wifi* o *bluetooth*.

Para la elección del detector de caídas se usará el acelerómetro MPU 6050 ya que es de los tipos de acelerómetros más utilizados actualmente, teniendo un factor a favor es su tamaño ya que es muy pequeño y se ajusta adecuadamente para el brazalete y a su vez su accesible precio.

#### 4.7.3.3 SUBSISTEMA DE CONTROL

El subsistema de control se basará en la medición de los sensores ya que estos serán los encargados de la transmisión de los datos en el brazalete por el cual se deberá elegir la mejor opción ante la comparación de diferentes tipos siempre basándonos en un precio económico y que cumplan con las funciones requeridas.

En la siguiente Tabla 14 – Sensor de Pulso veremos algunos sensores de pulso cardíaco:

**Tabla 14 – Sensor de Pulso**

Fuente: Elaboración Propia

Nombre del sensor de pulso.	Características
<b>ADPS-9008</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Entrada de voltaje de 3-5V</li><li>• Corriente: 20 mA</li><li>• Peso: 2 gramos</li><li>• Tamaño: 15.9 x 3.3 mm</li><li>• Baja sensibilidad de variación en la luz</li><li>• Comunicación Digital</li></ul>
<b>MAX30102</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Entrada de voltaje: 1.8 a 3.3V</li><li>• Filtro luz 60 Hz</li><li>• Dimensión 15x17x1,1 mm</li><li>• Peso: 2 gramos</li><li>• Comunicación: I2C</li></ul>
<b>HEARTBEAT</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Entrada de voltaje: 5V</li><li>• Salida analógica</li><li>• Filtro de Luz: 60hz</li><li>• Peso: 2 gramos</li><li>• Dimensión 21x10x3.0 mm</li></ul>

El sensor escogido es el MAX30102 ya que por su comodidad y precio es el que mejor se integra para el desarrollo del brazalete. Debido a que es de un tamaño adecuado es el que tiene las librerías más desarrolladas y este a su vez emplea la saturación de oxígeno y la medición de la temperatura siendo un sensor muy completo en el que podemos nos brindara la información necesaria para la comunicación del ESP32.

#### 4.7.4 SUBSISTEMA DE TRANSMISIÓN

Para el subsistema de transmisión ya se tiene escogido el Arduino HiLetgo ESP32 ya que brinda las distintas herramientas de calidad precio, siendo importante la manera de la comunicación que se tenga

desde el brazalete al dispositivo con la aplicación siendo que el HiLetgo ESP32 integra las dos formas de comunicarse de manera *wifi* y *bluetooth*.

En la siguiente Tabla 15 Conexiones y comunicación para el brazalete veremos las maneras de mandar señales de datos de un lugar a otro:

**Tabla 15 Conexiones y comunicación para el brazalete**

	<i>Bluetooth</i>	<i>WiFi</i>	Radio Frecuencia
<b>Frecuencia</b>	2.4 GHz	2.4,3.6 y 5 GHz	<b>900 a 3 GHz</b>
<b>Ancho de Banda</b>	24 Mbps	1Gbps	<b>2 Mbps</b>
<b>Seguridad</b>	Moderada	Moderada	<b>Baja</b>
<b>Rango</b>	Puede llegar a 25-30 dependiendo de la versión	Alcanza hasta los 300 metros	<b>Hasta 150 Metros</b>
<b>Consumo</b>	<b>Bajo</b>	<b>Alto</b>	<b>Alto</b>

Fuente: (Brito, 2017)

Lo visto en la tabla anterior nos demuestra las ventajas que presenta tanto el *Wifi* como el *Bluetooth* el rango que tiene cada uno teniendo como mayor ventaja lo que es el *Wifi* ya que puede ser utilizado también con datos móviles para compartir la información del brazalete hacia la aplicación sin importar el lugar en donde este lo único que es necesario es siempre tener conectado a internet el brazalete para la transmisión de datos hacia el otro usuario que visualiza a la persona

#### 4.7.4.1 SUBSISTEMA DE INTERFAZ

El subsistema de interfaz se basará en el desarrollo de una aplicación para tener los registros del brazalete para así tener un monitoreo de la otra persona usando la aplicación en tiempo real de las lecturas estipulada por los otros subsistemas de control.

#### 4.7.4.2 SUBSISTEMA DE ENERGÍA Y CARGA

Subsistema importante ya que es la que ofrecerá el rendimiento y vida útil del prototipo y es la que hará funcionar y mantener constantemente trabajando a los demás subsistemas por lo cual es importante conseguir una buena fuente de alimentación al brazalete y un largo periodo de uso sin problemas.

Por lo cual la batería a utilizar será una batería de Litio de 3.7 V con 1100 mAh, ya que son baterías utilizables para microcontroladores de Arduino de Esp32 por lo cual es la conveniente en cuestión de tamaño ya que mide 1.850 x 1.102 x 0.307 pulgadas, pesando 0.67 onzas, siendo muy útil para el sistema de procesamiento con el HitLego32 ya que es el utilizar siendo compatible con la batería de litio. Para el sistema de carga se usará el *ArdaFruit PowerBoost 1000c* ya que era el que mostraba mayor características y beneficios para el cargador de batería y para su tamaño era el más adecuado para el brazalete.

Se realizaron pruebas de uso del brazalete para determinar el tiempo de duración que podía ofrecer al usuario, obteniendo resultados muy favorables ya que puesto al no ser sensores de alto consumo y tener una batería con una buena alimentación de carga , el *PowerBoost 1000c* abastecía con 5V de carga a la batería por lo que llegaba a mantener un tiempo de vida útil 1 día y media , el brazalete no consumía mucha energía lo que si consume energía como todo dispositivo es el teléfono con la aplicación teniendo que el uso del brazalete que porte la persona depende del uso de vida de su celular para la comunicación que establece con *Blynk*.

#### 4.7.5 ETAPA IV: INTEGRACIÓN DE PARTES

Se realizaron las pruebas experimentales para cada uno de los subsistemas con los componentes ya escogidos, se realizaron las pruebas en Arduino y SolidWorks de los sistemas, cada componente fue revisado para comprobar su correcto funcionamiento, se realizaron pruebas de control con el microprocesador y su comunicación. En el sistema de energía se comprobó el correcto funcionamiento

de la batería y de la calidad de vida que esta trae y el tiempo de carga que aportaría al sistema para ofrecer una buena autonomía, se realizaron las pruebas del Acelerómetro para determinar los movimientos si son los correctos.

#### 4.7.6 ETAPA V INTEGRACIÓN DE SUBSISTEMA

La siguiente etapa se basó en integrar cada uno de los subsistemas y comprobar su funcionamiento fuera el correcto, se realizaron pruebas experimentales a cada uno de ellos.

#### 4.7.7 ETAPA VI INTEGRACIÓN DE SISTEMAS

Se integraron cada uno de los sistemas para la construcción del prototipo de brazaletes, se realizaron las pruebas necesarias para verificar que todos los componentes funcionan a la vez en conjunto, con los resultados obtenidos de cada sistema podemos obtener algunos errores que nos sirven para hacer cambios y mejoras en el ciclo B del modelo V.

#### 4.7.8 CICLO B DE LA METODOLOGÍA V

El segundo ciclo de la metodología vía se analizaron los resultados obtenidos del Ciclo A, obtenido de las pruebas realizadas donde eran prueba y error del prototipo de las cuales se harán los cambios para obtener el producto final.

##### 4.7.8.1 ETAPA I NIVEL DE SISTEMA

Etapa que mantiene cada uno de los sistemas mencionados anteriormente sin cambiar ninguno.

##### 4.7.8.2 ETAPA II NIVEL DE SUBSISTEMAS

En esta etapa cada uno de los subsistemas se mantendrán sin agregar ni eliminar ninguno.

##### 4.7.8.3 ETAPA III REALIZACIÓN DE PARTES

Debido a que los únicos errores o fallas que se obtuvieron en el prototipo fueron por los componentes ya que los sensores costo que leyera el pulso de las personas, el microcontrolador también generaba mucho problema en conectar la comunicación con el acelerómetro para realizar las pruebas. Por lo cual se estuvieron haciendo varias pruebas y errores para la solución entre la comunicación del microcontrolador y la medición del pulso hasta tener las lecturas correspondientes y la comunicación sin ningún problema.



#### *4.7.8.4 ETAPA IV INTEGRACIÓN DE PARTES*

Se realizaron las pruebas respectivas para el microcontrolador, el acelerómetro y sensor de pulso el cual respondieron adecuadamente sin ningún problema de conexión y establecían las lecturas estimadas de los sensores.

#### *4.7.8.5 ETAPA V INTEGRACIÓN DE SUBSISTEMA*

Comprobado cada uno de los componentes se vuelve a la integración de cada uno de los subsistemas a los sistemas para realizar las pruebas con el producto todo integrado en el brazalete.

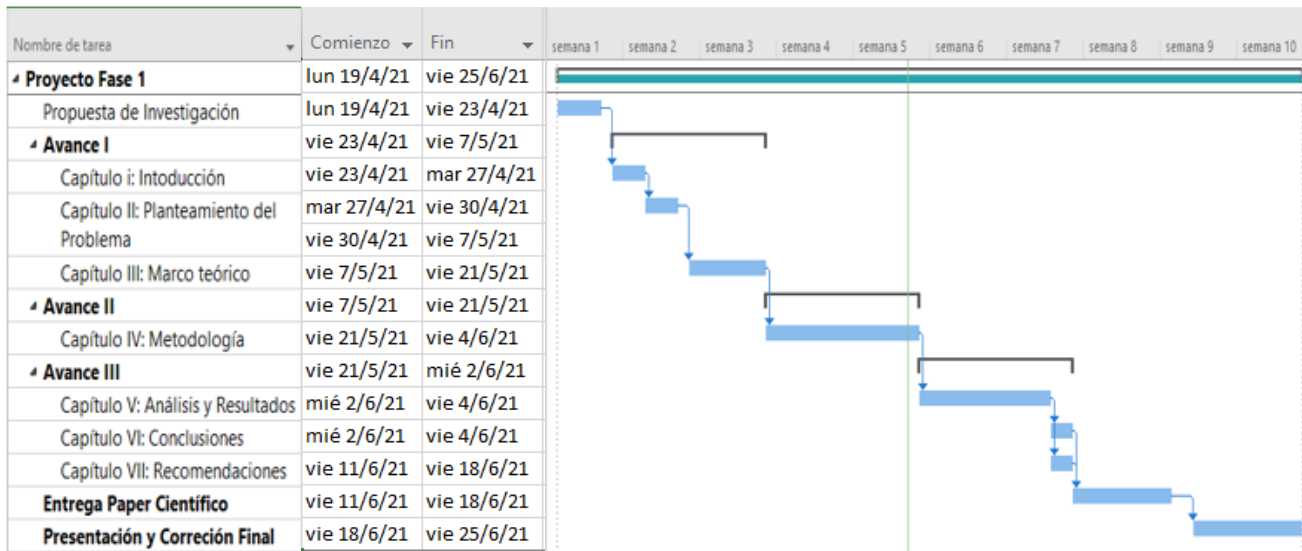
#### *4.7.8.6 ETAPA VI PRODUCTO FUNCIONAL*

La última etapa teniendo todo funcionado correctamente se procedió a integrar cada uno de los subsistemas al sistema de la estructura que alojara a cada uno de ellos para obtener el producto final que es el "Brazalete para detección de caídas, monitoreo para adultos mayores"

### **4.8 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES**

Se describirá cada una de las actividades específicas a realizar a lo largo de la tesis de la cual tiene un plazo de 10 semanas para la realización del proyecto, siendo primero dado la respuesta, la realización de la problemática y recopilación de toda la información esencial para el desarrollo del producto asegurando tener los objetivos y entregas de cada actividad en el tiempo establecido.

**Ilustración 28 - Cronograma de Actividades**



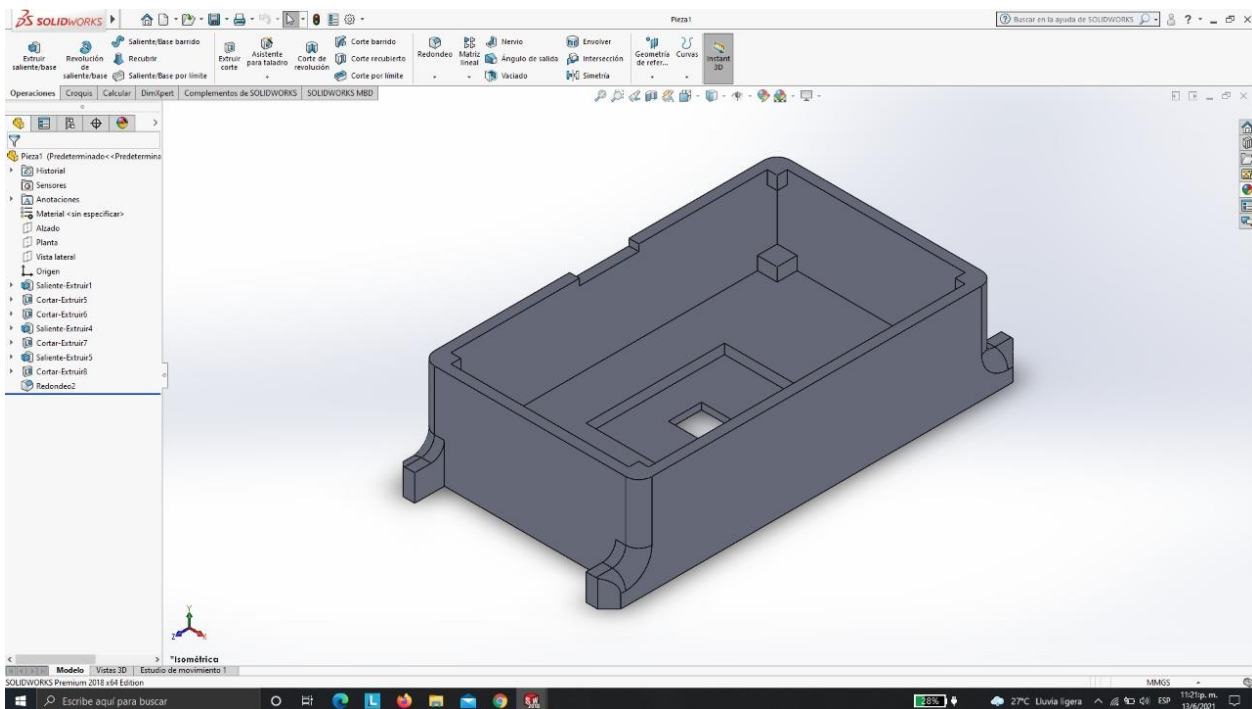
Fuente: Propia (2020).

## V. ANÁLISIS Y RESULTADO

En este capítulo se tiene como objetivo dar a conocer los aportes generados gracias a las teorías de sustento que se dieron a conocer en el marco teórico. Como también de forma resumida, se describirán los aspectos abordados a lo largo de la investigación realizada, los resultados obtenidos y su análisis.

### 5.1 SISTEMA ESTRUCTURAL

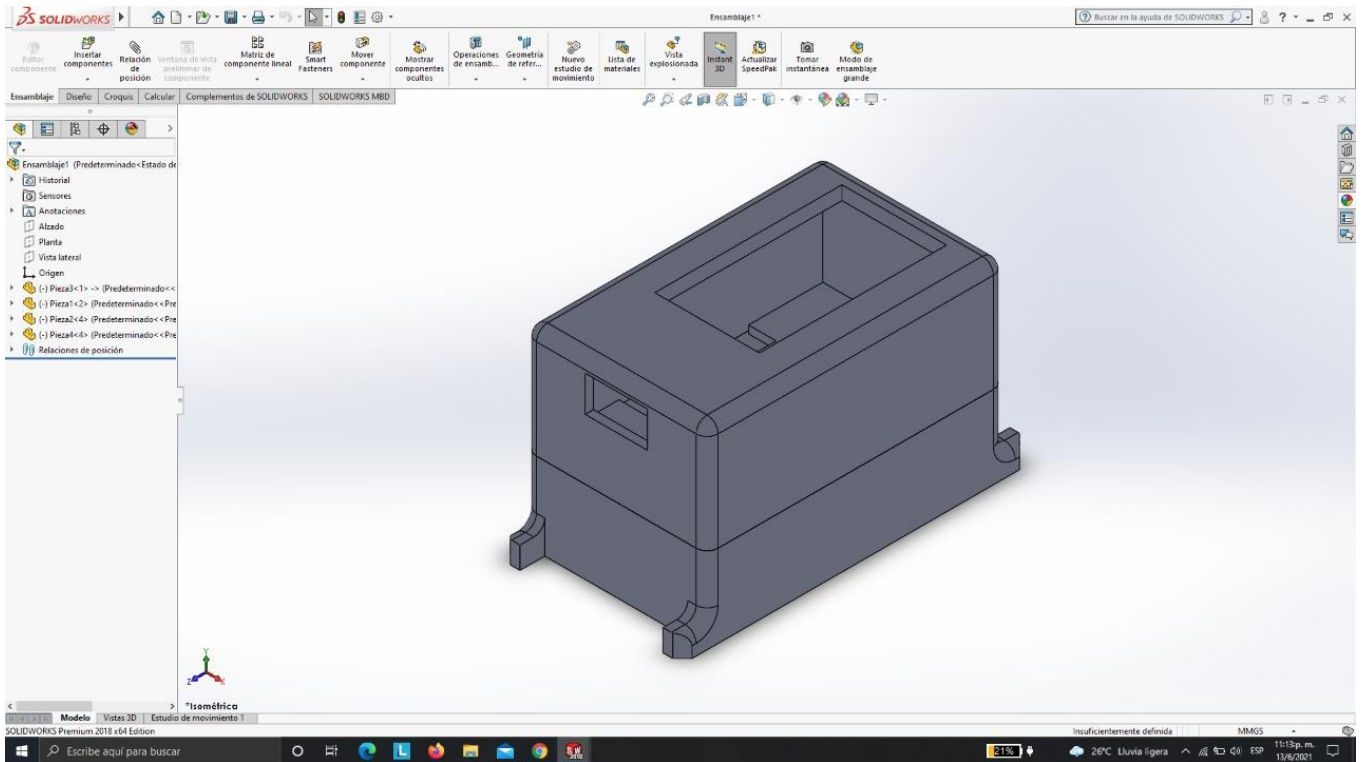
El sistema estructural es en donde van acoplados todos los componentes que conforman el brazaletes, para dicho prototipo se realizó el diseño en *SolidWorks* en función de cada tamaño de sensor y de la pantalla del ESP32 que es la que mostrara los resultados en el brazaletes.



**Ilustración 29 – Carcasa inferior del prototipo**

Fuente: Elaboración propia

Se prosiguió a desarrollar la carcasa superior del brazaletes en donde integramos el espacio para acoplar correctamente la pantalla del ESP32 y a su vez un espacio lateral derecho de *USB* para la carga misma del brazaletes.



**Ilustración 30 – Carcasa Superior**

Fuente: Elaboración propia

Una vez terminado el prototipo en SolidWorks se procedió a realizar la impresión 3D correspondiente y haciendo el acoplamiento de la correa para la comodidad al gusto de la persona.



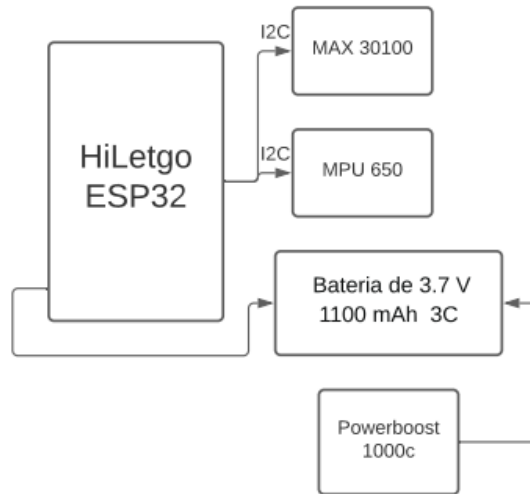
**Ilustración 31 – Impresión del Prototipo**

Fuente: Elaboración Propia

Después del desarrollo del sistema estructural proseguimos a la prueba del sistema de control y alimentación para la prueba de cada uno de los sensores para posterior hacer las pruebas de estudio del funcionamiento del brazalete a 20 personas entre las edades de 65 años en adelante.

## 5.2 SISTEMA DE CONTROL

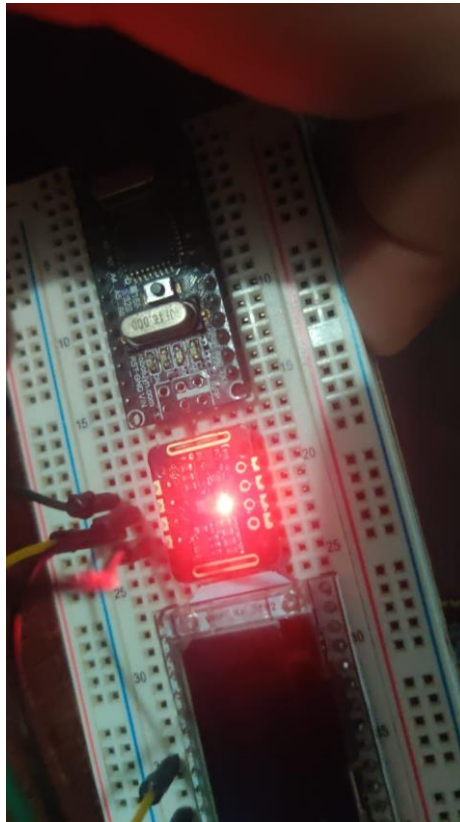
En la siguiente Ilustración 32 – Diagrama de conexión se mostrará la conexión que tendrá los sensores, la fuente de alimentación con el ESP32 mencionando anteriormente que el ESP32 se trata de la comunicación y demostración de los datos a través de su Display de 96 pulgadas.



**Ilustración 32 – Diagrama de conexión**

Fuente: Elaboración propia

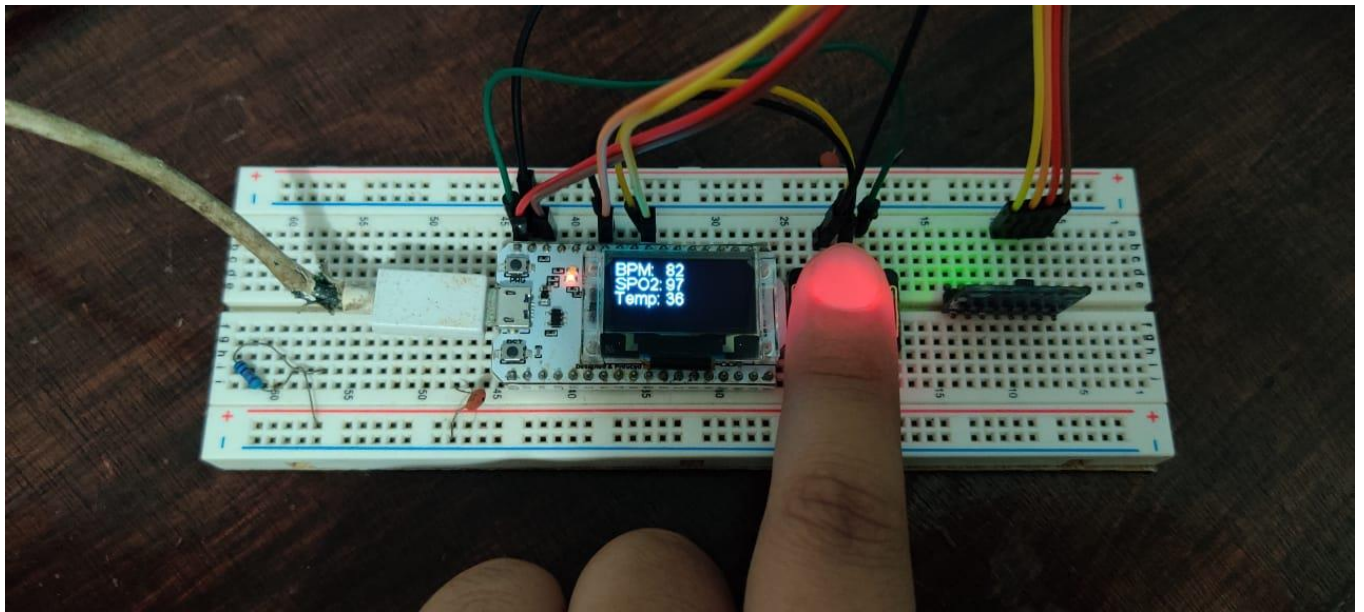
Se procedió a realizar las pruebas para cada uno de los sensores y del ESP32 para comprobar el correcto funcionamiento de cada uno de ellos con el Arduino para luego realizar el acoplamiento con el sistema estructural para proseguir a realizar las pruebas de funcionamiento para la validación.



**Ilustración 33 – Pruebas de sensores**

Fuente: Elaboración propia

Al realizar la prueba de los sensores se procedió a realizar la conexión con el ESP32 en el cual con su LCD mostraría los resultados que obtendría al estar en contacto con el brazo del usuario por lo siguiente se obtuvieron las pruebas de oxigenación de la sangre puesta como SPO2, el pulso del ritmo cardiaco que se puso como SPM y la TEMP referida a la temperatura corporal de la persona.



**Ilustración 34 – Resultados de ritmo, oxígeno en la sangre y temperatura**

Fuente: Elaboración propia

Con la aplicación Blynk y el ESP32 se realizará la comunicación por vía *Bluetooth* para establecer el manejo de resultados que establece el ESP32 siendo enviados hacia la aplicación para el monitoreo de ellos de la persona poniendo el ritmo cardiaco, la temperatura y oxigenación de la sangre.



**Ilustración 35 –Aplicación Blynk**

Fuente: Elaboración propia



Se logro transmitir correctamente los datos que obtiene el ESP32 con cada uno de los sensores para la comunicación con la aplicación en la que detalla la respuesta de cada uno de ellos, en la aplicación Blynk se puede dar la identificación de la persona poniendo datos importantes como lo es su edad, fecha de nacimiento, residencia, sexo.



**Ilustración 36 – Información de salud de la persona**

Fuente: Elaboración propia

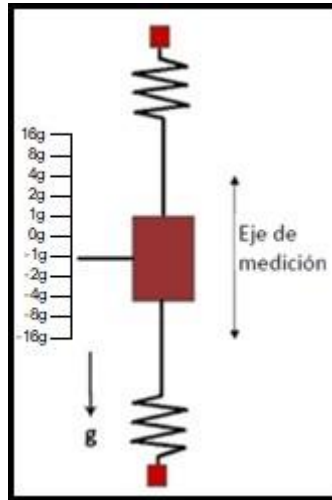
### 5.3 DETECCIÓN DE CAÍDAS

Para el sistema que detectara las caídas se toma a considerar las variantes de caídas y reacciones que pueda tener la persona portando el brazalete como un gesto de un saludo, un movimiento de un objeto al moverlo y de variantes que puedan dar un falso positivo.

Para la detección de caídas se utiliza el rango más amplio del acelerómetro MPU 6050 que es el de 16G y un tiempo de respuesta de 3 milisegundos, de tal forma que si existe un cambio de aceleración en el tiempo de 3 milisegundos este puede detectar el evento.

Mediante las pruebas realizadas del acelerómetro se establece que una aceleración menor al rango de 16G puede llegar a generar esto falsos positivos de una caída ya que ante menor rango el sensor es más sensible ante el movimiento. El tiempo debe estar entre un rango entre los 2.5 y 3.5 ms para detectar la

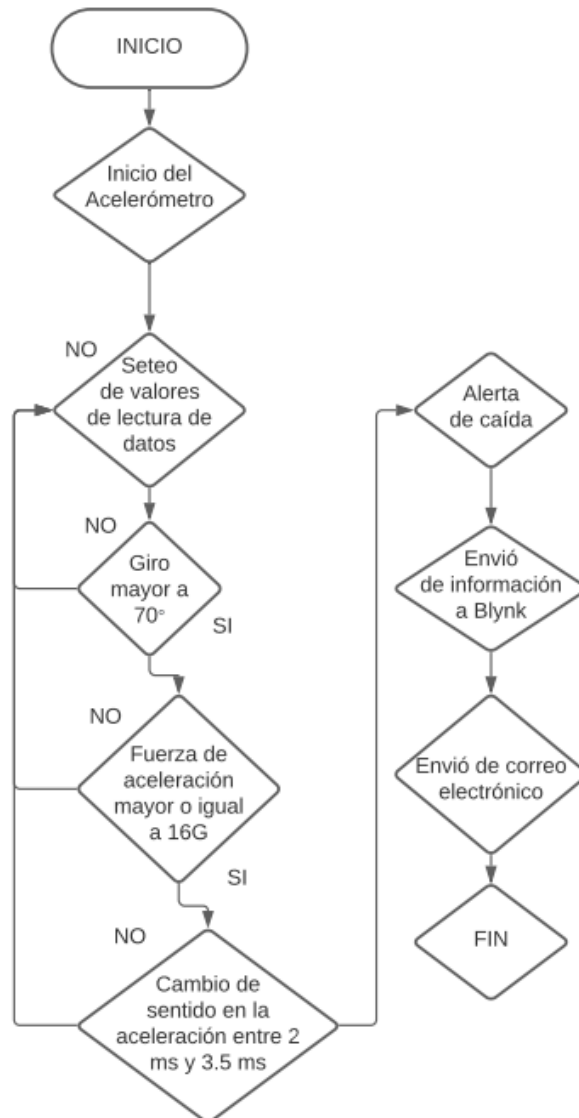
caída, si se amplía en ese tiempo el evento no se puede llegar a conocer y si es antes no se reconoce un sentido de cambio en el acelerómetro.



**Ilustración 37 – Acelerómetro MPU 6050**

Fuente: (MPU6050, Acelerómetro y Giroscopio, 2016)

En la Ilustración 38 – Diagrama de flujo del MPU con las caídas se muestra el funcionamiento de la alerta de la caída.



**Ilustración 38 – Diagrama de flujo del MPU con las caídas**

Fuente: Elaboración propia.

Con el diagrama de funcionamiento se procede a realizar la prueba del acelerómetro respondiendo adecuadamente para el envío de la caída mandando el correo electrónico a la persona enviándolo instantáneamente una vez el MPU 650 determino la caída de la persona, el mensaje de la alerta de caída puede ser enviado a otros usuarios para el monitoreo del usuario.

## **5.4 RESULTADOS ESPECÍFICOS**

En esta sección se muestran los resultados obtenidos para cada uno de los sensores y las pruebas realizadas en el prototipo. Se realizaron análisis individuales de cada tipo de sensor para conocer la precisión del prototipo comparando los resultados con equipo médico. A continuación, se ilustran los resultados obtenidos:

### **5.4.1 RITMO CARDIACO**

Se procedió a realizar las pruebas para comprobar los resultados entre el aparato medidor de ritmo cardiaco con un oxímetro.

A continuación, mostraremos los valores presentados tanto de los dispositivos usados como el valor medido por el brazalete realizado.

**Tabla 16 – Valores comparados del Ritmo Cardíaco**

## Ritmo Cardíaco

Aparato médico (PPM)	Brazalete (PPM)	Aparato médico (PPM)	Brazalete (PPM)
71	73	71	72
68	71	67	68
64	70	70	69
70	72	72	72
74	70	69	69
75	73	73	72
74	70	71	74
72	70	72	69
74	72	74	72
71	72	68	70
68	74	70	70
66	71	71	72
68	72	71	70
64	72	71	71
68	75	72	72
72	74	74	75
68	73	75	74
71	75	69	71
76	71	71	72
76	75	72	70

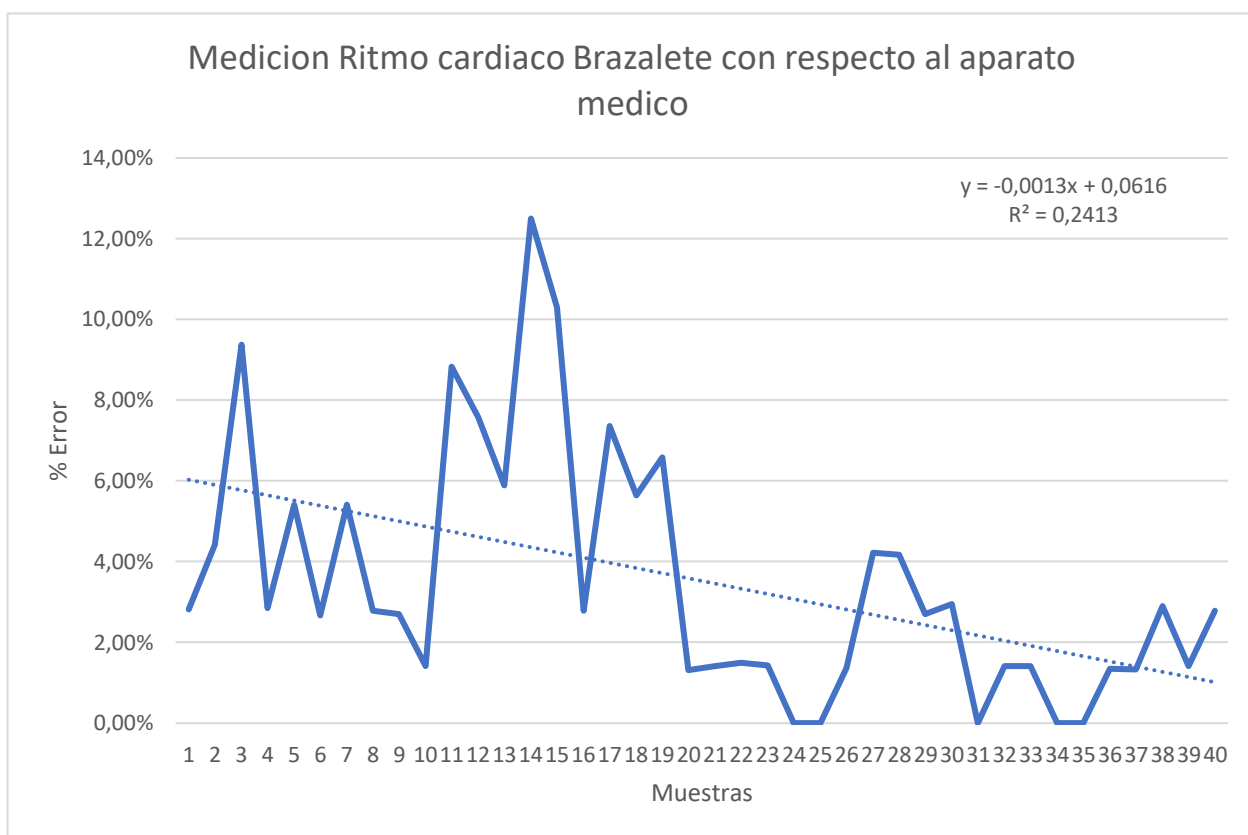
Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 17 – Brazaletes con respecto al aparato médico**

<b>% Error</b>	<b>Precisión sensor</b>	<b>% error</b>	<b>Precisión sensor</b>	<b>% error</b>	<b>Precisión sensor</b>
<b>2.82%</b>	97.18%	<b>8.82%</b>	91.18%	<b>1.41%</b>	<b>98.59%</b>
<b>4.41%</b>	95.59%	<b>7.58%</b>	92.42%	<b>1.49%</b>	98.51%
<b>9.38%</b>	90.63%	<b>5.88%</b>	94.12%	<b>1.43%</b>	98.57%
<b>2.86%</b>	97.14%	<b>12.50%</b>	87.50%	<b>2.78%</b>	97.22%
<b>5.41%</b>	94.59%	<b>10.29%</b>	89.71%	<b>2.90%</b>	97.10%
<b>2.67%</b>	97.33%	<b>2.78%</b>	97.22%	<b>1.37%</b>	98.63%
<b>5.41%</b>	94.59%	<b>7.35%</b>	92.65%	<b>4.23%</b>	95.77%
<b>2.78%</b>	97.22%	<b>5.63%</b>	94.37%	<b>4.17%</b>	95.83%
<b>2.70%</b>	97.30%	<b>6.58%</b>	93.42%	<b>2.70%</b>	97.30%
<b>1.41%</b>	98.59%	<b>1.32%</b>	98.68%	<b>2.94%</b>	97.06%
<b>4.29%</b>	98.59	<b>1.41%</b>	98.59%	<b>1.41%</b>	98.59%
<b>1.39%</b>	98.61	<b>1.35%</b>	98.65%	<b>1.33%</b>	98.67%
<b>2.90%</b>	97.10	<b>1.41</b>	98.59%	<b>2.78%</b>	97.22%
<b>2.94%</b>	97.01%				

Fuente: Elaboración propia

Obtenido los datos medidos de la Ilustración 39 – Medición del Brazaletes con el oxímetro. obtenemos una precisión del sensor de ritmo cardiaco del con un margen de error de la media del 3.52% este resultado es obtenido sacando el promedio de la 40 muestras tomadas por el sensor de ritmo, siendo muy eficiente a la hora de comprobarlo con el oxímetro ya que presenta un error mínimo en los datos siendo muy correcto a la hora de medir el pulso cardiaco teniendo una precisión del 96.52%.

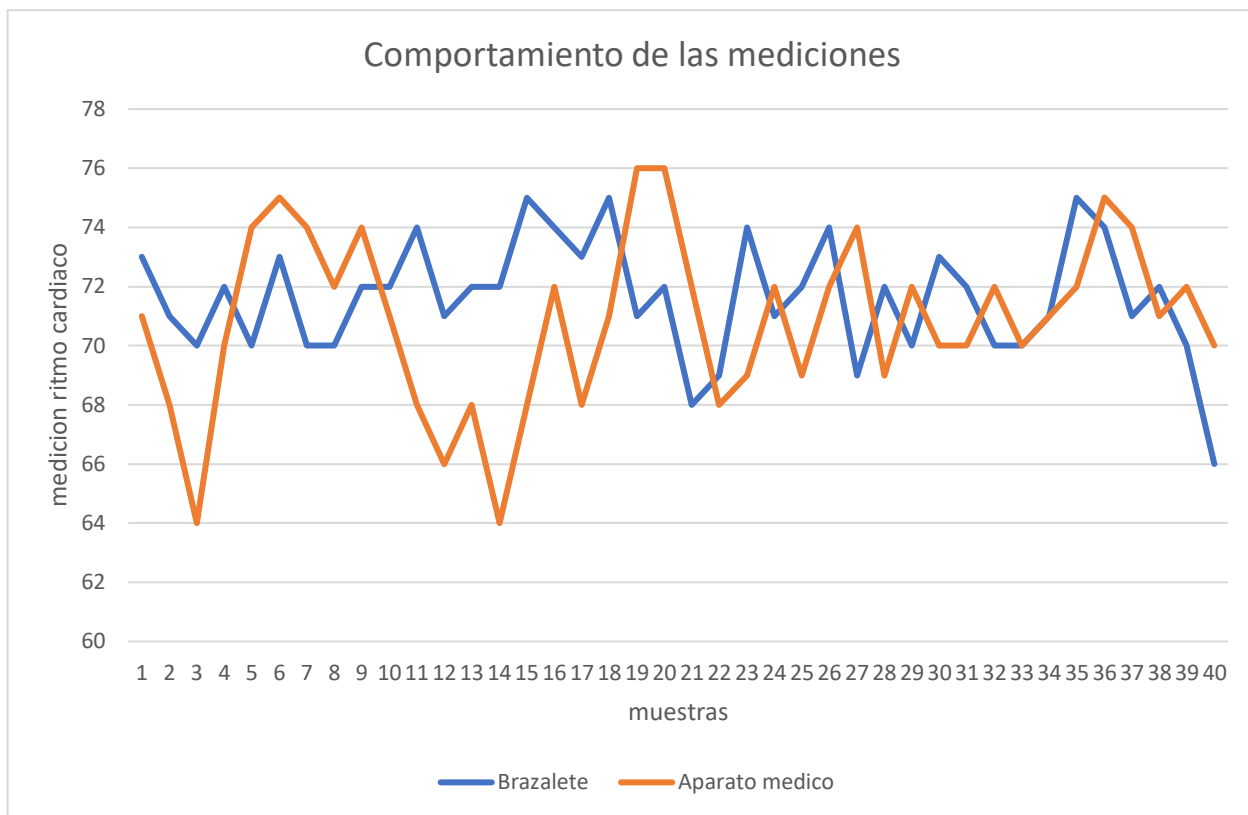


**Ilustración 39 – Medición del Brazaletes con el oxímetro.**

Fuente: Elaboración Propia

Como podemos observar en la Ilustración 40 – Comportamiento de las mediciones ritmo cardiaco se muestra el comportamiento que tuvo el sensor de ritmo respecto al aparato

medico reflejando que las mediciones eran muy cercanas al oxímetro.



**Ilustración 40 – Comportamiento de las mediciones ritmo cardiaco**

Fuente: Elaboración Propia

El comportamiento mostrado en el pulso del ritmo era muy similar al del oxímetro por lo cual las pruebas fueron positivas.

#### 5.4.2 SATURACIÓN DE OXÍGENO EN LA SANGRE

Los valores para la saturación de oxígeno son tomados con un pulsioxímetro o fingertip, los mismos comparamos con los datos calculados por el brazaletes realizado.



**Tabla 18 – Datos de oxigenación en la sangre**

## Oxigenación de la sangre

<b>FINGERTIP (%)</b>	<b>Brazaletes (%)</b>	<b>FINGERTIP (%)</b>	<b>Brazaletes (%)</b>
89	94	92	93
90	96	94	99
91	96	93	89
90	92	90	94
92	98	91	94
91	110	92	98
89	89	92	91
94	93	91	98
93	93	89	92
90	93	90	94
89	94	90	97
92	94	91	84
92	94	91	90
90	93	92	92
89	93	94	93
93	94	93	96
92	93	94	97
94	96	93	94
91	97	90	89
89	118	89	92

Fuente Elaboración Propia

**Tabla 19 – Brazalete porcentaje de error en la oxigenación de sangre**

<b>% Error</b>	<b>Precisión sensor</b>	<b>% error</b>	<b>Precisión sensor</b>	<b>% error</b>	<b>Precisión sensor</b>
5.62%	94.38%	1.08%	98.92%	7.69%	92.31%
6.67%	93.33%	1.09%	98.91%	3.37%	96.63%
5.49%	94.51%	2.13%	97.87%	4.44%	95.56%
2.22%	97.78%	6.59%	93.41%	7.78%	92.22%
6.52%	93.48%	32.58%	67.42%	7.69%	92.31%
20.88%	79.12%	1.09%	98.91%	1.10%	98.90%
0.00%	100.00%	1.09%	98.91%	0.00%	100.00%
1.06%	98.94%	5.32%	94.68%	1.06%	98.94%
0.00%	100.00%	4.30%	95.70%	3.23%	96.77%
3.33%	96.67%	4.44%	95.56%	3.19%	96.81%
5.62%	94.38%	3.30%	96.70%	1.08%	98.92%
2.17%	97.83%	6.52%	93.48%	1.11%	98.89%
2.17%	97.83%	1.09%	98.91%	3.37%	96.63%

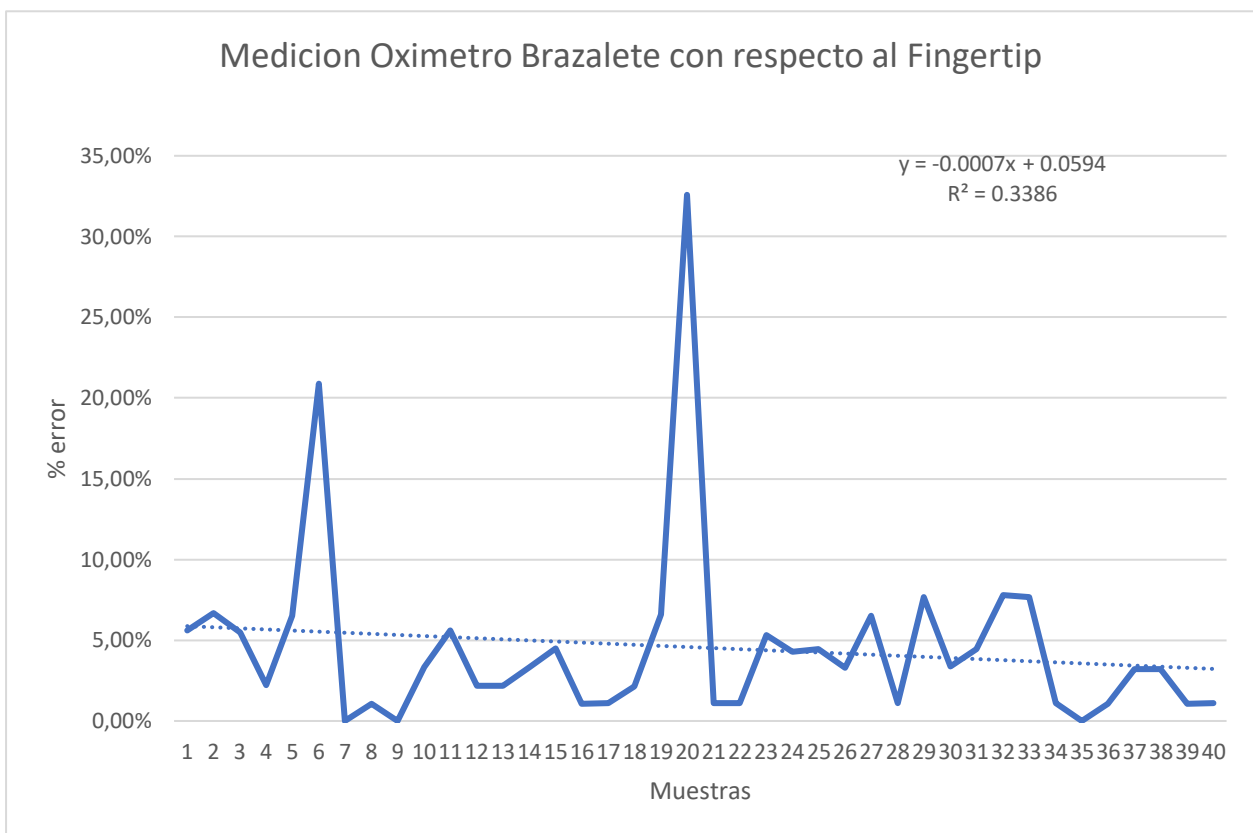
3.33%

96.67%

Fuente: Elaboración Propia

Obtenido los resultados de la tabla 19 el brazalete respecto al aparato medico tiene una media de error del 4.52% obtenido del promedio de las 40 muestras realizada para la oxigenación en la sangre que esto representa la saturación de oxígeno en la sangre tiene una precisión del 95.48%.

Entre más preciso llegue a tender el sensor de saturación de oxígeno en la sangre más tendera el R llegar un aproximado a 0.

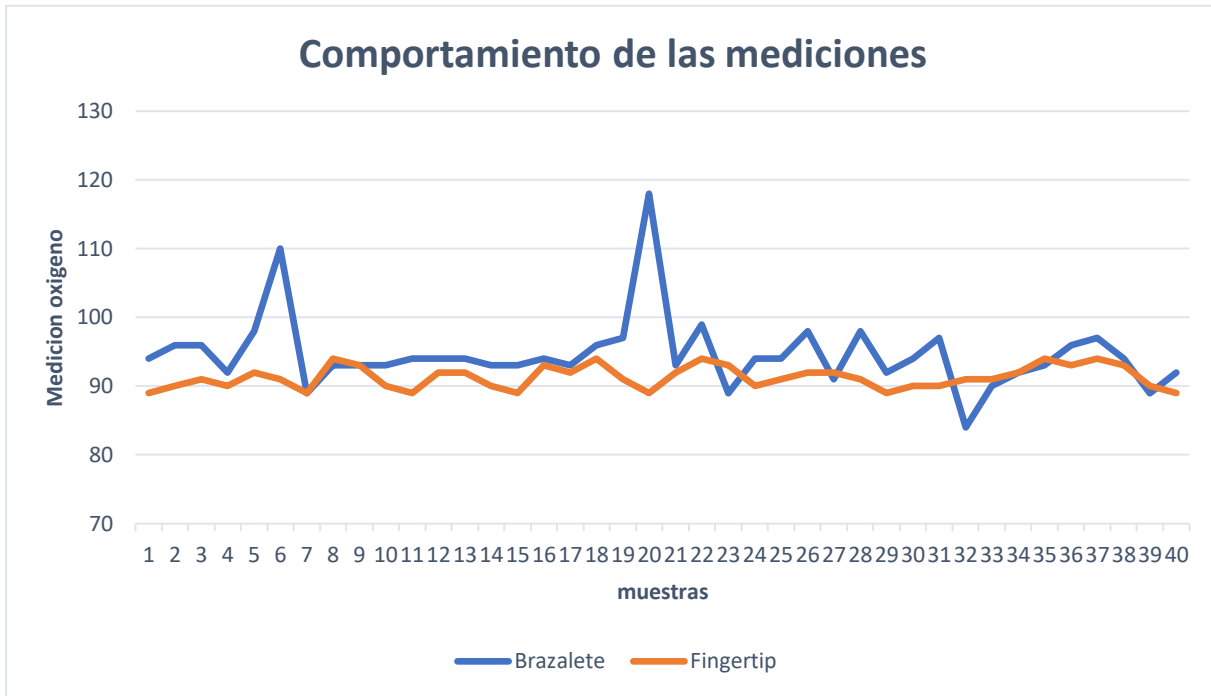


**Ilustración 41 – Medición del Brazaletes con el Fingertip**

Fuente: Elaboración Propia

En el comportamiento de la oxigenación de la sangre hay momentos de las muestras que crece

mucho esto es debido a que pesar que tenga una precisión similar al oxímetro el poco desarrollo de las librerías para el oxímetro demuestra que fue el sensor más bajo en precisión ya que era el más variado.



**Ilustración 42 – Comportamiento de las mediciones**

Fuente: Elaboración propia

### 5.4.3 TEMPERATURA CORPORAL

Las pruebas que se realizaron para la medición de la temperatura corporal se realizaron con un termómetro digital y el brazalete obteniendo los siguientes resultados

**Tabla 20 – Datos obtenidos de la temperatura corporal**

## Temperatura corporal

Termómetro (°C)	Brazalete (°C)	Termómetro (°C)	Brazalete (°C)
36.5	35.4	36.8	35.4
36.7	37.2	36.7	36.8
36	35.5	36	34.5
37	37.8	37.1	36.5
37	38	36.8	36.7
36.8	35.2	36.5	36.1
36.5	35.2	36.7	36.2
36.7	35.1	36.4	36.4
36.9	35	37.1	36
37	35	36.8	35.1
36.9	35	36.7	35.4
36.4	35.6	36.4	35.6
36	35.4	36.1	35.8
36.2	35.9	36.2	36.8
37	36.1	36.9	35
37.1	35	37.1	35.6
37.3	36.1	37.2	35.4
37.4	36.4	37.2	35.1
36.4	35.4	36.1	34.8
36.8	35.7	33.1	34

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 21 – Resultados de la precisión del sensor con el termómetro digital**

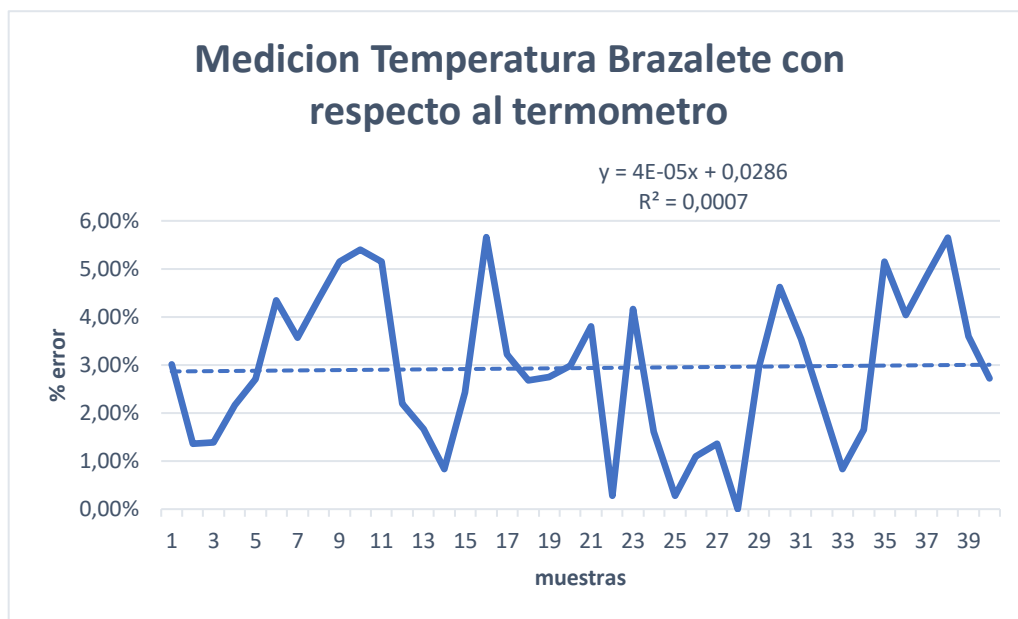
<b>% Error</b>	<b>Precisión sensor</b>	<b>% error</b>	<b>Precisión sensor</b>	<b>% error</b>	<b>Precisión sensor</b>
<b>3.01%</b>	96.99%	2.43%	97.57%	1.36%	98.64%
<b>1.36%</b>	98.64%	5.66%	94.34%	0.00%	100.00%
<b>1.39%</b>	98.61%	3.22%	96.78%	2.96%	97.04%
<b>2.16%</b>	97.84%	2.67%	97.33%	4.62%	95.38%
<b>2.70%</b>	97.30%	2.75%	97.25%	3.54%	96.46%
<b>4.35%</b>	95.65%	2.99%	97.01%	2.20%	97.80%
<b>3.56%</b>	96.44%	<b>3.80%</b>	<b>96.20%</b>	0.83%	99.17%
<b>4.36%</b>	95.64%	0.27%	99.73%	1.66%	98.34%
<b>5.15%</b>	94.85%	4.17%	95.83%	5.15%	94.85%
<b>5.41%</b>	94.59%	1.62%	98.38%	4.04%	95.96%
<b>5.15%</b>	94.85%	0.27%	99.73%	4.84%	95.16%
<b>2.20%</b>	97.80%	1.10%	98.90%	5.65%	94.35%

<b>1.67%</b>	98.33%	2.43%	97.57%	3.60%	96.40%
<b>0.83%</b>	99.17%				

Fuente: Elaboración Propia

Con los resultados de la temperatura aplicando la ecuación se obtiene una media de error del 2.94% teniendo así una eficiencia del sensor de temperatura de un 97.06% medido con el termómetro digital presentando resultados favorables y factibles.

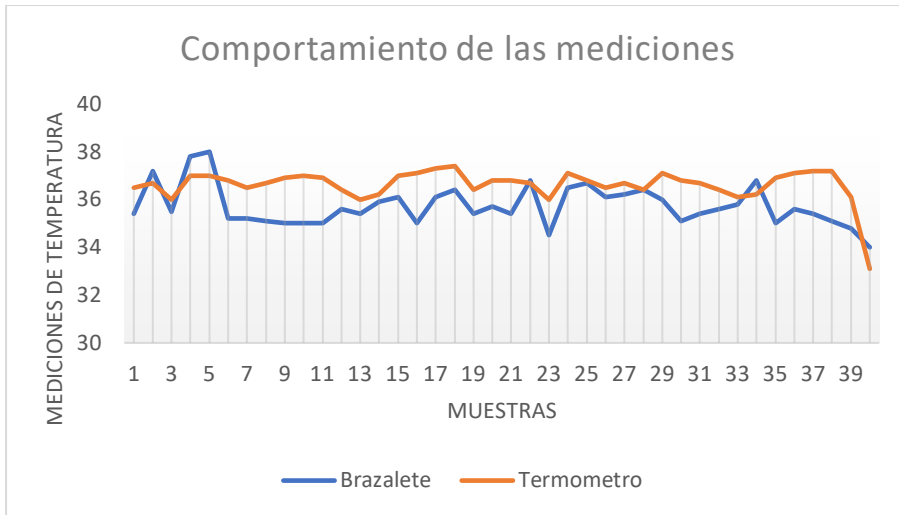
Entre más preciso llegue a tender el sensor de temperatura más tendera el R llegar un aproximado a 0.



**Ilustración 43 – Medición de la temperatura con el Brazaletes**

Fuente: Elaboración Propia

El comportamiento de las mediciones comparando en la temperatura notamos que las muestras realizadas con el sensor y el termómetro tienen un comportamiento similar por lo que nuestro sensor de temperatura responde correctamente.



**Ilustración 44 – Comportamiento de medición de la temperatura**

Fuente: Elaboración Propia

#### 5.4.4 ALERTA DE CAÍDAS

En la siguiente Tabla 22 – Muestra de las caídas se mostrarán de las muestras las que detecto el sensor y envió el correo y las pruebas que dieron falso negativo.

**Tabla 22 – Muestra de las caídas**

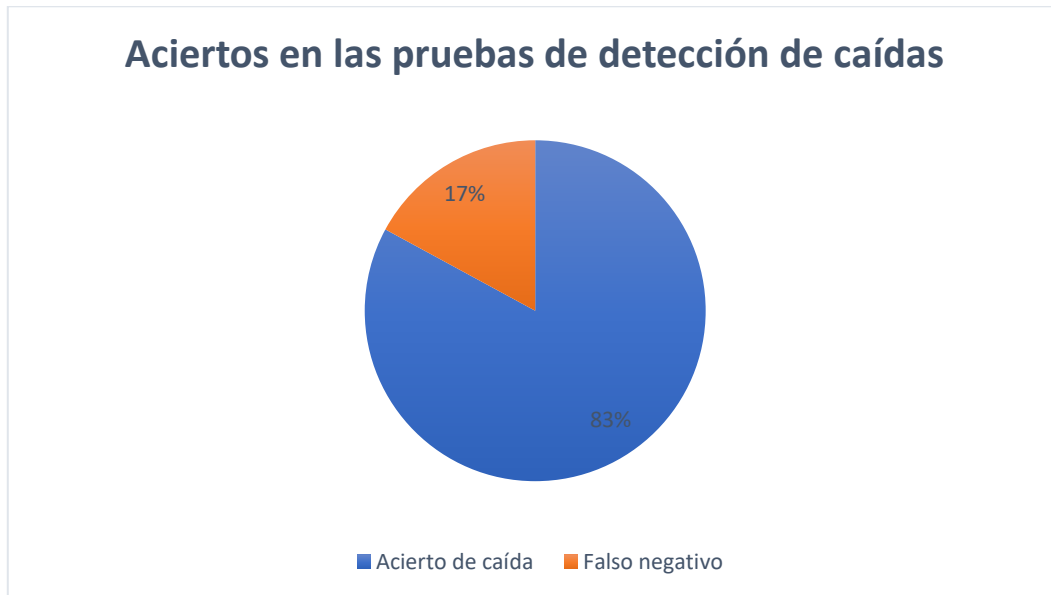
Muestra	Detecto Caída	Muestra	Detecto Caída	Muestra	Detecto Caída	Muestra	Detecto Caída
1	SI	11	SI	21	NO	31	SI
2	SI	12	NO	22	SI	32	SI
3	SI	13	SI	23	SI	33	NO
4	SI	14	SI	24	SI	34	SI
5	NO	15	SI	25	NO	35	SI
6	SI	16	SI	26	SI	36	NO
7	SI	17	SI	27	SI	37	SI
8	SI	18	SI	28	SI	38	SI



<b>9</b>	SI	19	SI	29	NO	39	SI
<b>10</b>	SI	20	SI	30	SI	40	SI

Fuente: Elaboración Propia

Se realizaron 40 pruebas de las cuales serán medido el MPU 6050 con la detección de caída.



**Ilustración 45 – Resultados de la detección de caídas**

Fuente: Elaboración Propia

Al analizar un total de 40 pruebas se obtuvo una sensibilidad del 83% obtenidas de 33 pruebas positivas así como lo muestra la gráfica vista anteriormente esto sugiere que las pruebas realizadas del acelerómetro responden bien a la a muchas de las pruebas realizadas fallando el 17% que son 7 pruebas de las cuales el MPU 6050 no detectaba la caída ya sea que no reconocía el evento de velocidad que pasaba en ese instante por lo cual no se envió el correo de la caída dándonos un falso negativo en las pruebas.



**Blynk** Hace 5 días  
para mí ▾



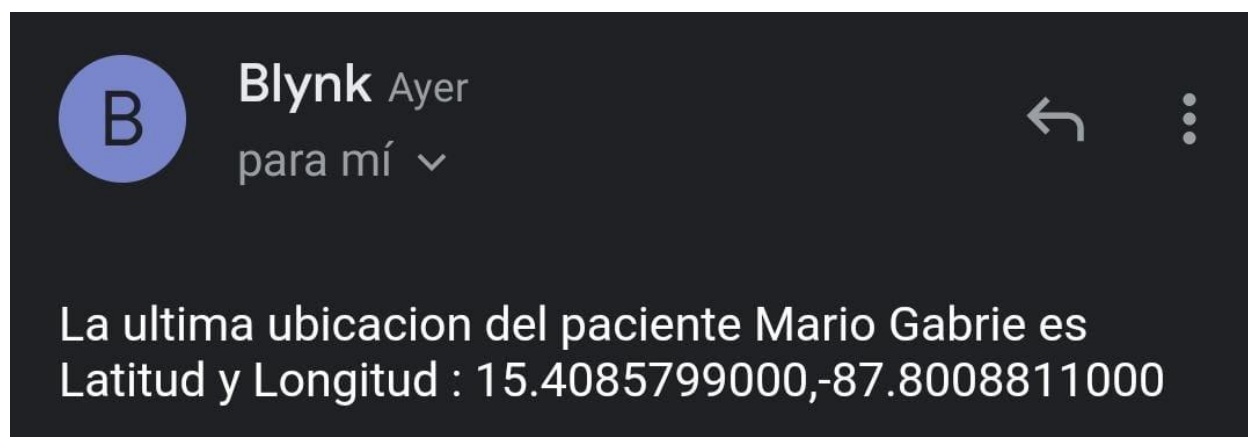
El paciente tuvo una caída, por favor comunicarse con el paciente o llamar al 911.

**Ilustración 46 – Alerta de caída al correo electrónico.**

Fuente: Elaboración Propia

5.4.5 UBICACIÓN DEL PACIENTE

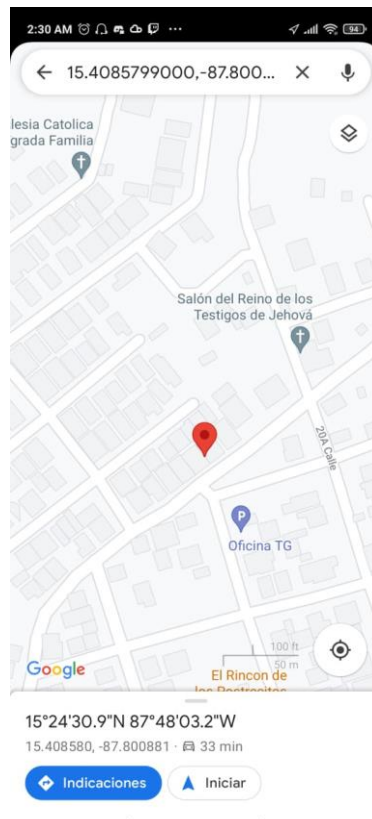
La ubicación del paciente se logró realizar correctamente, al momento de brazaletes detectar una caída enviado el primero correo alertando de la caída en un lapso de 5-9 segundos manda otro correo con el que manda la ubicación del usuario con el cual con la aplicación Blynk se puede conocer donde está la persona ubicada mente por lo que se necesitan de dos datos importantes que son la Altitud y Latitud la persona de monitoreo que revisa la ubicación del usuario recibirá los datos números de donde está el usuario por lo cual la persona debe pegar y copiar los números exactamente ya sea en Google *Maps* o Google para así conocer la ubicación de la persona como se podrá ver en la siguiente Ilustración 47 – Mensaje de ubicación del usuario



**Ilustración 47 – Mensaje de ubicación del usuario**

Fuente: Elaboración Propia

Obtenido los datos de Latitud y Longitud se procede a pegarlos en Google Maps para obtener la ubicación vista en la siguiente



**Ilustración 48 – Ubicación del usuario**

Fuente: Elaboración Propia

## **5.5 RESULTADOS DE COSTOS DE COMPONENTES Y FABRICACIÓN**

Se definieron tres costos, el más probable el cual se decidió que es el costo unitario de los materiales para la realización de 10 brazaletes. El costo más optimista, el cual sería el costo unitario de los materiales para la realización de 50 brazaletes y por último el más pesimista el cual sería el costo unitario para la realización de 20 brazaletes.

Para sacar el costo total se realizó una tabla con la lista de todos los materiales utilizados en la elaboración del producto final, como también se incluyó la cantidad de materiales necesario. Para

tener un mayor orden se dividieron los materiales en los 3 sistemas que se mencionaron el anteriormente.

Componentes	Cantidad	Costo Unitario /10	Costo Unitario / 20	Costo Unitario /50	Total /10	Total / 20	Total / 50	Rango aproximado de costo
<b>Sistema Estructural</b>								
Impresión 3D	1	\$ 4.81	\$ 3.97	\$ 3.50	\$ 0.48	\$ 0.04	\$ 0.15	\$ 7.68
<b>Sistema de Control</b>								
HiLetgo ESP32	1	\$ 14.00	\$ 13.14	\$ 12.95	\$ 1.13	\$ 1.13	\$ 0.65	\$ 13.68
Acelerometro 6050	1	\$ 4.87	\$ 1.94	\$ 1.86	\$ 0.49	\$ 0.01	\$ 0.04	\$ 3.88
Max30100	1	\$ 4.31	\$ 2.01	\$ 1.94	\$ 0.43	\$ 0.10	\$ 0.04	\$ 3.53
MLX90614	1	\$ 10.42	\$ 8.77	\$ 7.69	\$ 1.04	\$ 0.44	\$ 0.15	\$ 9.69
Blynk	1	\$ 6.00	\$ 6.00	\$ 6.00	\$ 6.00	\$ 6.00	\$ 6.00	\$ 6.00
Cargador de Batería	1	\$ 18.00	\$ 17.70	\$ 17.00	\$ 1.80	\$ 0.89	\$ 0.34	\$ 17.78
<b>Sistema de Alimentacion</b>								
Bateria de Lipo	1	\$ 5.00	\$ 4.20	\$ 3.66	\$ 0.50	\$ 0.21	\$ 0.07	\$ 4.64
<b>Otros</b>								
Cables	1	\$ 0.50	\$ 0.38	\$ 0.22	\$ 0.05	\$ 0.02	\$ 0.04	\$ 0.43
Soldadura electrica	1	\$ 2.42	\$ 2.01	\$ 1.68	\$ 0.24	\$ 0.10	\$ 0.03	\$ 2.22
Pegamento UHU	1	\$ 4.60	\$ 4.18	\$ 3.60	\$ 0.46	\$ 0.21	\$ 0.07	\$ 4.36
Correa y Pin	1	\$ 5.02	\$ 4.78	\$ 4.00	\$ 0.50	\$ 0.24	\$ 0.15	\$ 0.39

**Ilustración 49 – Tabla de Costos de Fabricación**

Fuente: Elaboración propia

<b>Total / 10</b>	<b>\$ 79.95</b>
<b>Total / 20</b>	<b>\$ 69.08</b>
<b>Total / 50</b>	<b>\$ 64.1</b>
<b>Rango aproximado de costo</b>	<b>\$ 75.5</b>

$$CE = \frac{(a+4)(m+b)}{6}$$


$$CE = \frac{(64.1 + 4)(79.95 + 69.08)}{6}$$

$$CE = \$ 75.5$$

### Ilustración 50 – Total de Costos

Fuente: Elaboración propia

Gracias al método PERT que nos ayuda a determinar una simulación de lo que sería el costo del proyecto el cual sería el rango aproximado de precio que se muestra en la ilustración Al tener la cantidad aproximado se pudo realizar la comparación con los precios de los brazaletes existentes en el mercado.



justfast Spare Parts Store

Apple Watch Series 6 GPS + Cellular 40MM/44MM Aluminum Case with 5 Colors Sport Band Remote Smartwatch LTE iwatch 6

★★★★★ 5.0 ~ 1 Review 3 orders

Shop next-level deals


HNL 12,895.39 - 14,798.12

After discounts: from US \$528.44

**Summer Sale**  
Ends in  
**12 : 25 : 51**

HNL 47.99 New User Coupon
HNL 215.95 off on HNL 1,319.68
Get coupons

Color:



Size:

Quantity:

−  + 1874 pieces available

Original Samsung Galaxy Watch 3 Smart watch 45mm/41mm BT version Waterproof | IP68 | NFC | GPS | Bluetooth/ For Android iOS

★★★★★ 5.0 ~ 4 Reviews 8 orders


HNL 7,736.18 - 9,382.17

HNL 15,788.12 ~ 19,147.29 -51%

After discounts: from US \$321.42

HNL 47.99 New User Coupon
HNL 23.99 off on HNL 24.23
Get coupons

Color:



Quantity:

−  + 1194 pieces available

**Shipping: HNL 118.53**


Fitbit Versa Lite SE Health Waterproof Fitness Smart watch with Heart Rate, Music & Swim Tracking support Payment

HNL 3,080.36 ~~HNL 6,160.97~~ -50%

After discounts: US \$126.38

HNL 47.99 New User Coupon
HNL 47.99 off on HNL 48.23
Get coupons

Color:



Ships From:

Quantity:

−  + 11988 pieces available

Please select the country you want to ship from

SAMSUNG



Galaxy Watch3 <sup>BT</sup>

41mm/45mm

china version

global Universal

100% Original Samsung brand new

4+ Day Battery Life

Store & Play 300+ Songs

Water Resistant to 50m

Apps, Clock Faces & Notifications

Female Health Tracking Compatibility

**Ilustración 51 – Precio de brazaletes en la actualidad**

Fuente: (Ali express, 2021)

## 5.6 PRODUCTO FUNCIONAL

Finalmente, se construyó un prototipo brazalete sujeto a pruebas de rendimiento para los resultados finales de validación obtenidos anteriormente.



**Ilustración 52 – Prototipo Final**

Fuente: Elaboración propia

Por lo que se puede concluir el producto final que se realizó cumple con todas expectativas, ya que se logró que el brazalete pudiera emitir la alerta de caída ante un correo electrónico a un familiar. El brazalete resulto ser cómodo para la persona y con peso ligero del cual fue uno de los objetivos planteados en la investigación

## VI. CONCLUSIONES

- Se diseñó y construyó un sistema de monitoreo de signos vitales, el cual transmite los valores de la temperatura corporal de la persona, la oxigenación de la sangre y su ritmo cardiaco, con un error el cual, devuelve el valor de la temperatura corporal, saturación de oxígeno y ritmo cardiaco, con un error del ritmo cardíaco del 3.84%, de la temperatura corporal del 2.94% y de la oxigenación de sangre del 4.52%. teniendo un margen de error considerable comparado con el oxímetro.
- La detección del brazalete se realizó en base a un giro mayor a 70°, con una fuerza de aceleración de 16 detectado por el MPU 650 y con cambio en la aceleración entre un tiempo de 2.5 ms a 3.5 ms teniendo una sensibilidad del sensor del 83% para detectar la caída. La comunicación más recomendada es vía *Wifi* ya que esta ofrece una mejor comunicación estable con el ESP32.
- El diseño del brazalete se centró en la comodidad del usuario ya que basaba usar materiales del cual no fueran de mucho peso para no incomodar a la persona, basándonos en los materiales comprados para el desarrollo del brazalete en longitud y espesor acoplándose al tamaño de cada uno de ellos, los materiales escogidos fueron para ofrecer la mejor comodidad y resistencia por lo que se empleó el uso de una correa para que la persona lo ajuste a su gusto.
- Con la ayuda del método PERT podemos llegar a la conclusión que el proyecto realizado tiene un precio significativamente menor y realizando las mismas funciones de los productos antes mencionados teniendo un costo de 1802.00Lps el brazalete siendo un precio accesible con todo lo que se brinda para la persona mayor, haciendo comparaciones con dispositivos como marcas Apple y Samsung. En Honduras el precio de un dispositivo de esta ronda entre los 8000.00-1400.00Lps lo cual no es accesibles para los usuarios de clase media-baja por lo que un precio que es seis veces menor les da la oportunidad de cumplir con las mismas funciones para el monitoreo de personas mayores.

## VII. RECOMENDACIONES

- El prototipo genera resultados favorables de precisión de los sensores por lo que se recomienda utilizar los mismos sensores para la precisión o una investigación amplia de otros que cumplan las mismas o mejores funciones en cuanto a la precisión de los signos vitales.
- Para mejorar los aciertos en las caídas y subir el porcentaje del 83% se recomienda usar otro tipo de sensores de mejor precisión y mayor coste ya que el proyecto funciono correctamente a un precio considerable por lo que se pueden emplear mejoras en la detección de caídas y rediseño del prototipo para hacer un prototipo mucho más preciso para las caídas ya que al tener un precio accesible se pueden hacer más mejoras en ese punto.
- Las actividades normales que tiene una persona como un gesto o saludo puede crear un falso positivo por lo que se recomienda siempre en el brazalete mantener la aceleración a 16G.
- A futuras investigaciones se recomienda buscar áreas de mejora en el diseño del prototipo para así obtener las mejores prestaciones posibles y el diseño más ergonómico.
- Con el método implementando para calcular el costo estimado del proyecto se puede comprobar la variación de precios con otros brazaletes y hacer la comparación de precio así también para emplearse en otros proyectos.
- La comunicación del brazalete se recomienda que sea más vía *Wifi* o red móvil ya que al utilizar bluetooth generaba mayor interferencia e interrupción de los datos en la comunicación.
- Se propone hacer una investigación más amplia para incluir el GSM para mantener una red móvil dentro del dispositivo del cual se pueda realizar una llamada de emergencia y a su vez mensajes por vía WhatsApp ante algún accidente.



## VIII. BIBLIOGRAFÍA

5 *best smartwatches for seniors*. (2021, enero 26). Komando.Com.  
<https://www.komando.com/shopping/smartwatches-for-seniors/755420/>

*Accelerometers—MEMS and Sensors—STMicroelectronics*. (2019). <https://www.st.com/en/mems-and-sensors/accelerometers.html>

Alberto, Aguilar Cruz, Ortí Maldonado. (2017). *Diseño e implementación de un sistema robótico de monitoreo e interpretación de signos vitales de personas de edad avanzada basado en OPENHAB*.

*Ali express*. (2021). [https://www.aliexpress.com/af/galaxy-watch-3.html?d=y&origin=n&SearchText=galaxy+watch+3&catId=0&initiative\\_id=AS\\_20210625103402](https://www.aliexpress.com/af/galaxy-watch-3.html?d=y&origin=n&SearchText=galaxy+watch+3&catId=0&initiative_id=AS_20210625103402)

Álvarez, M. S. (2011). *Termorregulación y manejo perioperatorio*. 16, 18.

*Amazon.com: Apple Watch Series 5*. (2020). [https://www.amazon.com/-/es/renovado-deportiva-Carcasa-aluminio-espacial/dp/B0849M7QPQ/ref=sr\\_1\\_4?\\_\\_mk\\_es\\_US=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&dchild=1&keywords=apple%2Bwatch%2B4&qid=1620008162&sr=8-4&th=1](https://www.amazon.com/-/es/renovado-deportiva-Carcasa-aluminio-espacial/dp/B0849M7QPQ/ref=sr_1_4?__mk_es_US=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&dchild=1&keywords=apple%2Bwatch%2B4&qid=1620008162&sr=8-4&th=1)

*Amazon.com: HiLetgo ESP32 OLED*. (2020). <https://www.amazon.com/-/es/pulgadas-pantalla-Bluetooth-Internet-desarrollo/dp/B07DKD79Y9>

Amazon.com: *Reloj inteligente Fitbit.* (2021). [https://www.amazon.com/inteligente-frecuencia-integrada-medianoche-incluidas/dp/B08DFPZG71/ref=sr\\_1\\_2\\_sspa?\\_\\_mk\\_es\\_US=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&dchild=1&keywords=Fitbit&qid=1620008488&rdc=1&sr=8-2-spons&psc=1&spLa=ZW5jcnlwdGVkUXVhbGlmaWVyPUExUUFC5jk5WkJaUk1UJmVuY3J5cHRIZElkPUeWNDkyNzg3M0dUTDUyVWhGWVNPTyZlbnNyeXB0ZWZlbnNyeWU4NTUzMlplOUdVIS01TVTQ2NCZ3aWRnZXROYW1lPXNwX2F0ZiZhY3Rpb249Y2xpY2tSZWRpc mVjdCZkb05vdExvZ0NsaWNrPXRydWU=](https://www.amazon.com/inteligente-frecuencia-integrada-medianoche-incluidas/dp/B08DFPZG71/ref=sr_1_2_sspa?__mk_es_US=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&dchild=1&keywords=Fitbit&qid=1620008488&rdc=1&sr=8-2-spons&psc=1&spLa=ZW5jcnlwdGVkUXVhbGlmaWVyPUExUUFC5jk5WkJaUk1UJmVuY3J5cHRIZElkPUeWNDkyNzg3M0dUTDUyVWhGWVNPTyZlbnNyeXB0ZWZlbnNyeWU4NTUzMlplOUdVIS01TVTQ2NCZ3aWRnZXROYW1lPXNwX2F0ZiZhY3Rpb249Y2xpY2tSZWRpc mVjdCZkb05vdExvZ0NsaWNrPXRydWU=)

Amazon.com: *Samsung Galaxy Watch 3 reloj inteligente.* (2020). [https://www.amazon.com/Samsung-Galaxy-Watch-reloj-inteligente/dp/B089DNNJ1S/ref=sr\\_1\\_1\\_sspa?\\_\\_mk\\_es\\_US=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&dchild=1&keywords=Galaxy+Watch+3+series&qid=1622685518&sr=8-1-spons&psc=1&spLa=ZW5jcnlwdGVkUXVhbGlmaWVyPUFBNUJDUIZCWENFM yZlbnNyeXB0ZWZlbnNyeWU4NTUzMlplOUdVIS01TVTQ2NCZ3aWRnZXROYW1lPXNwX2F0ZiZhY3Rpb249Y2xpY2tSZWRpc mVjdCZkb05vdExvZ0NsaWNrPXRydWU=](https://www.amazon.com/Samsung-Galaxy-Watch-reloj-inteligente/dp/B089DNNJ1S/ref=sr_1_1_sspa?__mk_es_US=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&dchild=1&keywords=Galaxy+Watch+3+series&qid=1622685518&sr=8-1-spons&psc=1&spLa=ZW5jcnlwdGVkUXVhbGlmaWVyPUFBNUJDUIZCWENFM yZlbnNyeXB0ZWZlbnNyeWU4NTUzMlplOUdVIS01TVTQ2NCZ3aWRnZXROYW1lPXNwX2F0ZiZhY3Rpb249Y2xpY2tSZWRpc mVjdCZkb05vdExvZ0NsaWNrPXRydWU=)

Amazon.com: *Xiaomi Mi Band 6.* (2020). [https://www.amazon.com/-/es/pulgadas-pantalla-impermeable-inteligente-magn%C3%A9tica/dp/B091L98XMS/ref=sr\\_1\\_3?\\_\\_mk\\_es\\_US=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&dchild=1&keywords=mi+band+6&qid=1620007059&sr=8-3](https://www.amazon.com/-/es/pulgadas-pantalla-impermeable-inteligente-magn%C3%A9tica/dp/B091L98XMS/ref=sr_1_3?__mk_es_US=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&dchild=1&keywords=mi+band+6&qid=1620007059&sr=8-3)

*Análisis detallado de sensibilidad y especificidad.* (2020). XLSTAT, Your data analysis solution.

<https://www.xlstat.com/es/soluciones/funciones/analisis-detallado-de-sensibilidad-y-especificidad>

Brito, J. D. S. (2017). *Electroestimulación inalámbrica: Radio Frecuencia vs Bluetooth.* 8.

Campos, T. (2017, julio 19). *Vita-Data una pulsera hecha por mexicanos que envía información y alertas de los pacientes a los médicos.* Xataka México.

<https://www.xataka.com.mx/investigacion/vita-data-una-pulsera-hecha-por-mexicanos-que-envia-informacion-y-alertas-de-los-pacientes-a-los-medicos>

Carrillo-Esper, R. (2007). *Saturación venosa central. Conceptos actuales.* 3, 7.

*Checking pulse over the carotid artery.* (2020). Mayo Clinic. <https://www.mayoclinic.org/healthy-lifestyle/fitness/multimedia/checking-pulse-over-the-carotid-artery/img-20006075>

*Documentation for Blynk, the most popular IoT platform for businesses.* (2021).

<https://docs.blynk.cc/>

Dugdale, D. (2020a). *Pulso radial: MedlinePlus.*

[https://medlineplus.gov/spanish/ency/esp\\_imagepages/19395.htm](https://medlineplus.gov/spanish/ency/esp_imagepages/19395.htm)

Dugdale, D. (2020b). *Radial pulse: MedlinePlus Medical.*

<https://medlineplus.gov/ency/imagepages/19395.htm>

Espinola, I.-. (2020). Inmovilidad en el adulto mayor. *Escuela de Medicina.*

<https://medicina.uc.cl/publicacion/inmovilidad-adulto-mayor/>

*Falls.* (2018, mayo 1). Nhs.Uk. <https://www.nhs.uk/conditions/falls/>

FDM 3D Printing Materials: PLA vs ABS vs Nylon. (2020, abril 19). *SMLease Design*.

<https://www.smlease.com/entries/manufacturing/what-is-the-difference-between-pla-abs-nylon-material-for-3d-printing/>

Ferrer, S. (2015, junio 10). *Un joven con epilepsia crea una «app» para Apple Watch que avisa en caso de ataque*.

[https://www.elconfidencial.com/tecnologia/2015-06-10/apple-watch-epilepsia-ataque-app-seizalarm-greg-pabst\\_876060/](https://www.elconfidencial.com/tecnologia/2015-06-10/apple-watch-epilepsia-ataque-app-seizalarm-greg-pabst_876060/)

*Fitbit Inspire e Inspire HR | Pulseras de salud y actividad física*. (2020).

<https://www.fitbit.com/cl/inspire>

*Formula de porcentaje de error*. (2020, noviembre 2). Esta es la forma de calcular el porcentaje de error.

<https://www.greelane.com/es/ciencia-tecnología-matemáticas/ciencia/how-to-calculate-percent-error-609584>

Gazitua, R. (2007). *Pulso Arterial*. Pulso Arterial.

<http://publicacionesmedicina.uc.cl/ManualSemiologia/180PulsoArterial.htm>

Gbegnedji, G. (2015, diciembre 3). 7.2. Estimar los Costos del Proyecto. *Project Management | Gladys Gbegnedji*.

<https://www.gladysgbegnedji.com/estimar-los-costos-del-proyecto/>

Gudino, M. (2018). *What is a Microcontroller? A Look Inside a Microcontroller | Arrow.com*.

Arrow.Com. <https://www.arrow.com/en/research-and-events/articles/engineering-basics-what-is-a-microcontroller>

Guillaume Pérolle e Igone Etxeberria Arritxabal. (2006). *Detector automático de caídas y monitorización de actividad para personas mayores*.

[https://doi.org/DOI: 10.1016/S0210-5705\(09\)71003-9](https://doi.org/DOI: 10.1016/S0210-5705(09)71003-9)

Kumar, S. (2019). *Efficient Heart Rate Monitoring*. 6.

Lapum, J. L., Verkuyl, M., Garcia, W., St-Amant, O., & Tan, A. (2018). Brachial Pulse. En *Vital Sign Measurement Across the Lifespan—1st Canadian edition*.  
<https://pressbooks.library.ryerson.ca/vitalsign/chapter/brachial-pulse/>

Laskowski, E. (2020). *2 easy, accurate ways to measure your heart rate*. Mayo Clinic.  
<https://www.mayoclinic.org/healthy-lifestyle/fitness/expert-answers/heart-rate/faq-20057979>

Loughlin, P. C., Sebat, F., & Kellett, J. G. (2018). Respiratory Rate: The Forgotten Vital Sign—Make It Count! *The Joint Commission Journal on Quality and Patient Safety*, 44(8), 494-499.  
<https://doi.org/10.1016/j.jcjq.2018.04.014>

Moseley, Garche, P., Jurgen. (2015). *Electrochemical Energy Storage for Renewable Sources and Grid Balancing*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2012-0-01253-7>

*MPU6050, Acelerómetro y Giroscopio*. (2016). Naylamp Mechatronics - Perú.  
[https://naylampmechatronics.com/blog/45\\_tutorial-mpu6050-acelerometro-y-giroscopio.html](https://naylampmechatronics.com/blog/45_tutorial-mpu6050-acelerometro-y-giroscopio.html)

Pulso Oxímetro De Dedo Pro—Pediátrico y Adultos. (2018). *HomeLife*.  
<https://www.homelife.com.co/producto/pulso-oximetro-de-dedo-pro/>

*¿Qué es el pulso femoral?* (2015). Curiosoando. <https://curiosoando.com/que-es-el-pulso-femoral>

Reyes-Ortiz, Pacheco, Slovacek, Jiang, Salinas-Fernandez, Ocampo, C., Soraira, Cedar, Meng, Ivania, Jose M. (2020). *Caídas médicas entre adultos mayores en ciudades latinoamericanas*. <https://doi.org/10.15446/rsap.v22n5.84883>

Rodríguez Vidal, C. (2015). *Diseño mecánico con SolidWorks 2015*. RA-MA Editorial.

Sabatés, R. (2019, febrero 14). Un teléfono grande y otros artículos para que las personas mayores estén seguras y cómodas en casa. *El País*.  
[https://elpais.com/elpais/2019/02/13/escaparate/1550096205\\_625111.html](https://elpais.com/elpais/2019/02/13/escaparate/1550096205_625111.html)

Sampson, S. (2020, enero 18). *Body temperature: Normal ranges in adults and children*.  
<https://www.medicalnewstoday.com/articles/323819>

Schade, M. (2020). Oxygen saturation: Normal values & measurement. *Cosinuss*°. <https://www.cosinuss.com/en/measured-data/vital-signs/oxygen-saturation/>

*SeizAlarm*: (2016). SeizAlarm: Seizure Detection. <http://seizalarm.com/>

Stephens, C. (2021, enero 20). *Heart rate: What is a normal heart rate?*  
<https://www.medicalnewstoday.com/articles/235710>

Talamas, J. (2016). *Toma de Signos Vitales*. <http://famen.ujed.mx/doc/manual-de-practicas/7N.pdf>

Talavera, M. V. C. (2020). *PICmicro® MCU Estudio—¿qué es un microcontrolador?* Electronica Estudio. <https://www.estudioelectronica.com/que-es-un-microcontrolador/>

*The Free Beginner's Guide*. (2017). 3D Printing Industry. <https://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide/>

Tikkanen, A. (2020). *Stethoscope | instrument*. Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/technology/stethoscope>

*Usar la detección de caídas con el Apple Watch*. (2020). [Soporte Técnico]. Apple. <https://support.apple.com/es-lamr/HT208944>

Vallejo, G. P. (2015). *Sistema de Monitoreo de Signos Vitales y Alerta de Accidentes para Personas con Problemas de Movilidad.*

[https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/15108/1/Tesis\\_t1071ec.pdf](https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/15108/1/Tesis_t1071ec.pdf)

Vasic, V. S., & Lazarevic, M. P. (2008). Standard Industrial Guideline for Mechatronic Product Design. *FME Transactions*, 36(3), 103-108.

Walsh, K., Roberts, J., & Bennett, G. (1999). Mobility in old age. *Gerodontology*, 16(2), 69-74.  
<https://doi.org/10.1111/j.1741-2358.1999.00069.x>

Welch, A. (2018). *Connex Spot Monitor | Hillrom*. <https://www.hillrom.com/en/products/connex-spot-monitor/>

World Health Organization (Ed.). (2008). *WHO global report on falls prevention in older age*. World Health Organization.

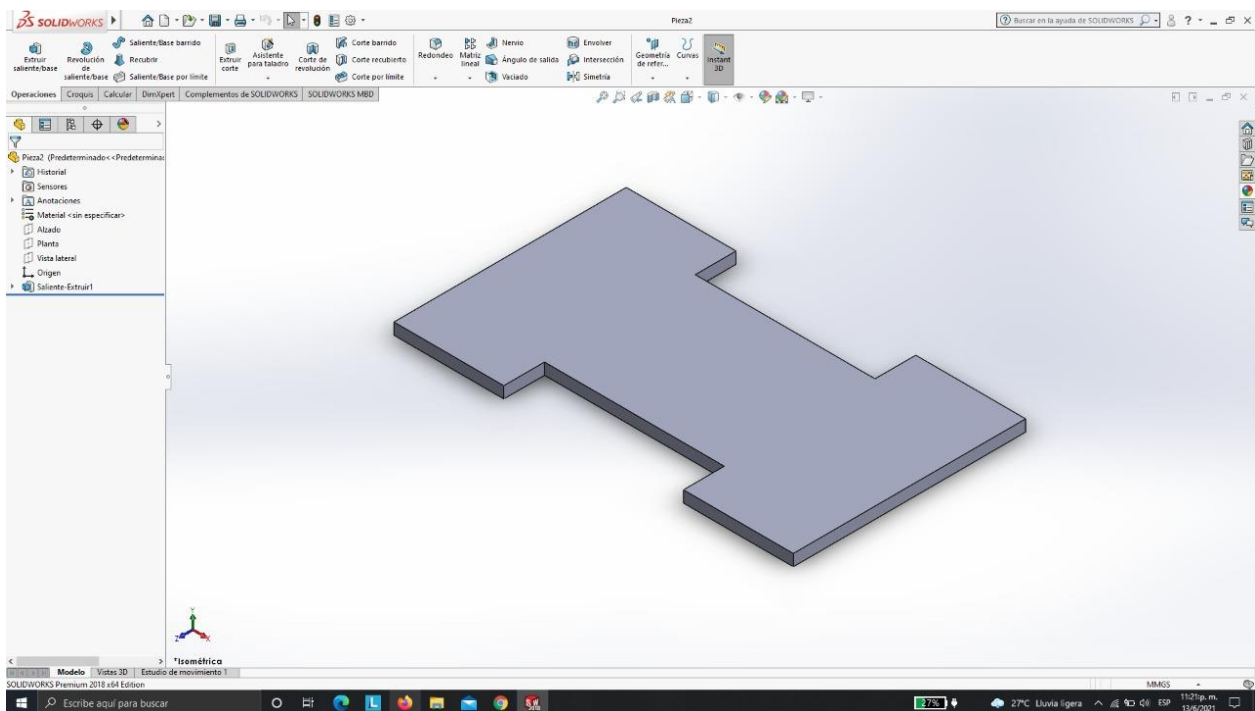
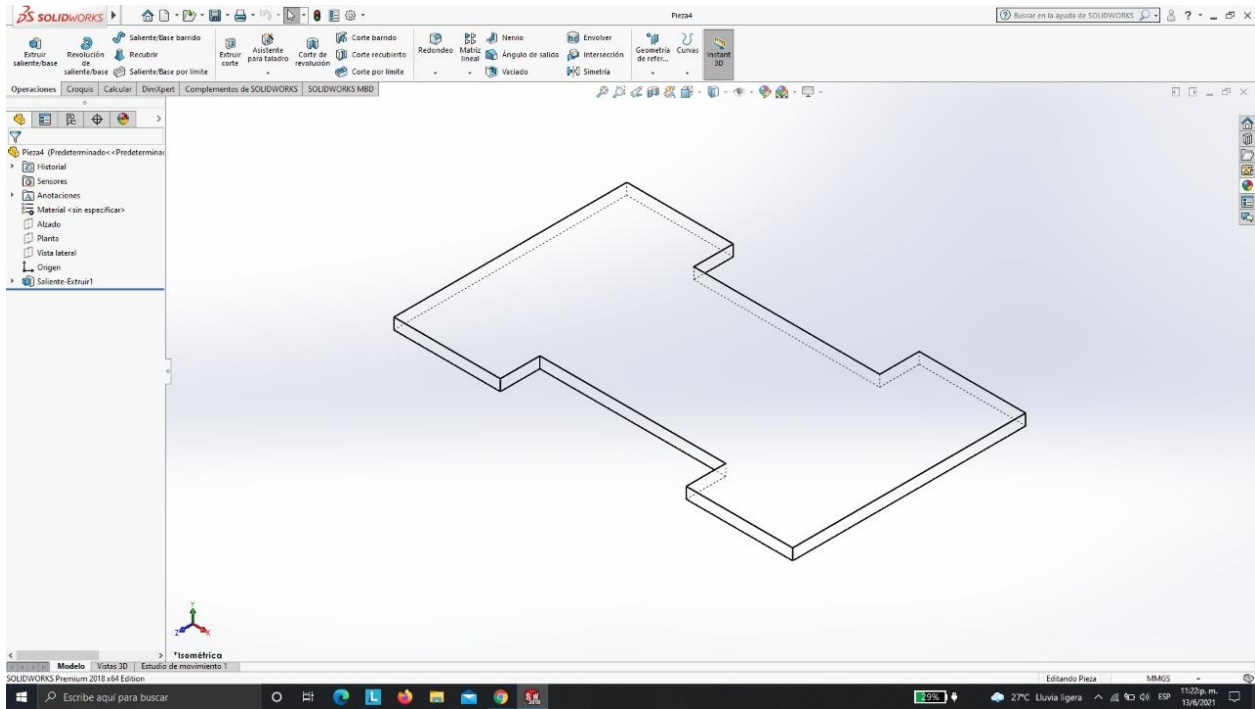
World health Organization. (2021). *Falls*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/falls>

(World Health Organization, 2008)

(*Fitbit Inspire e Inspire HR | Pulseras de salud y actividad física*, 2020)

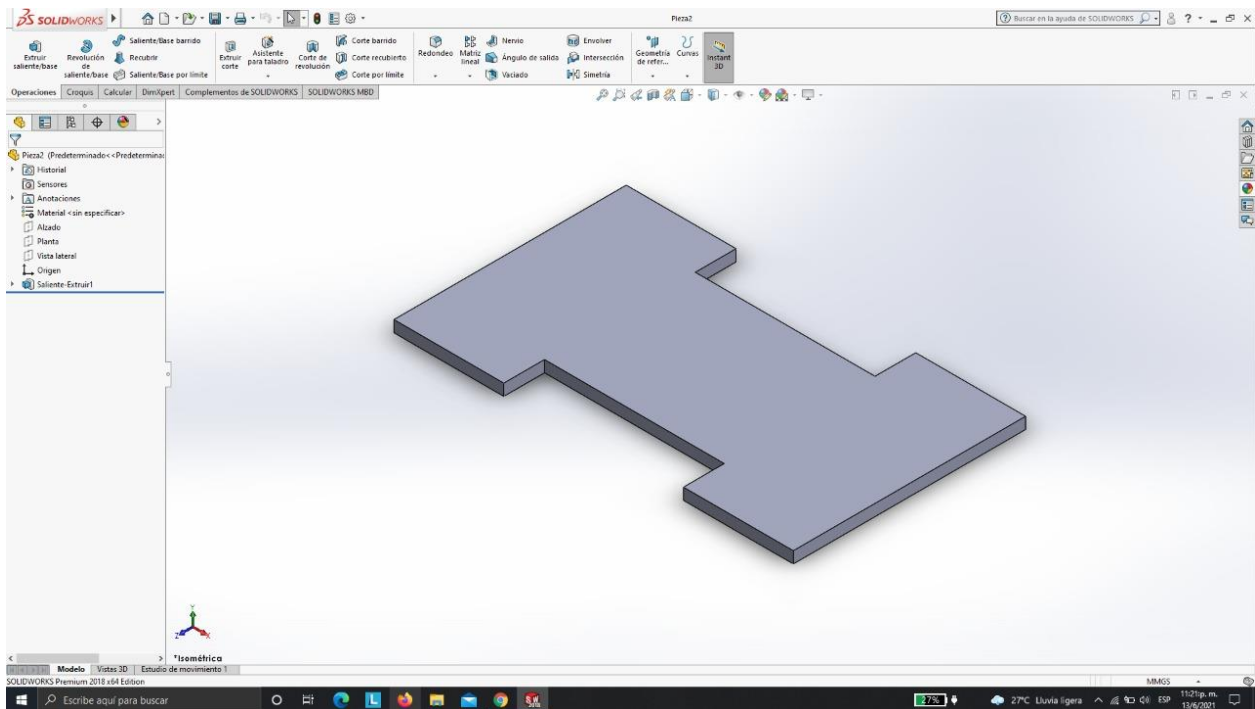
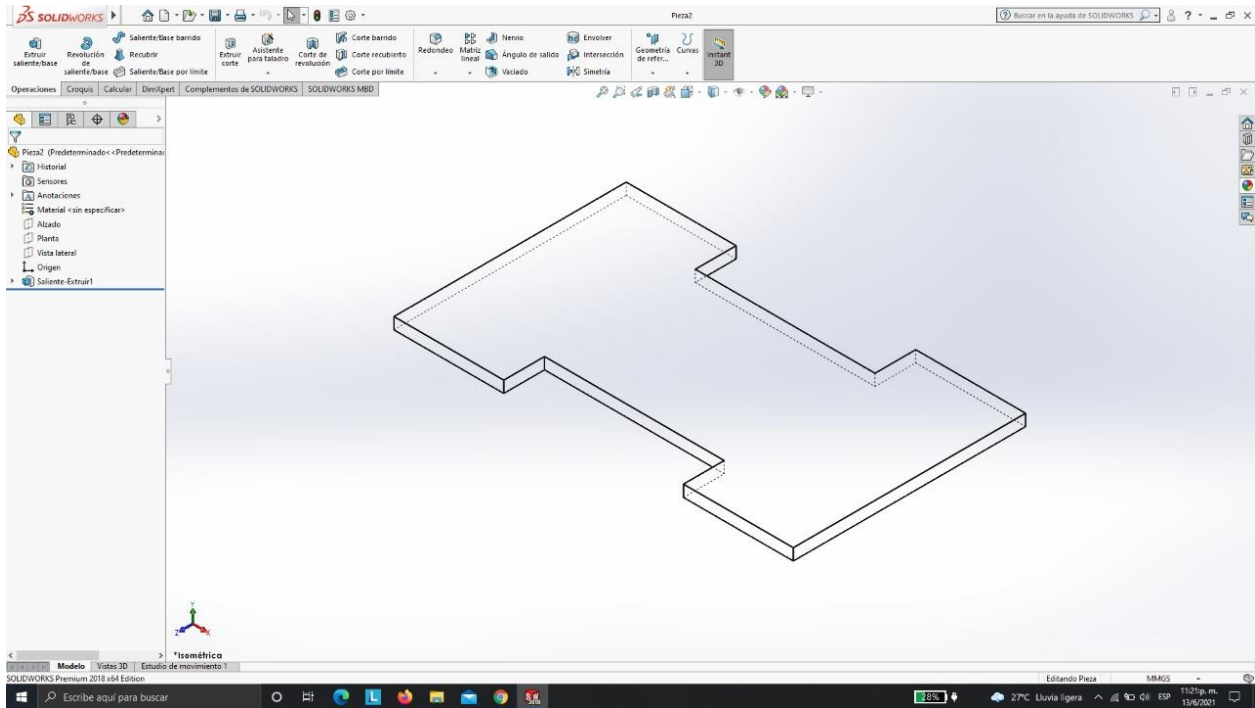
# IX. ANEXOS

## Sostenedor Inferior

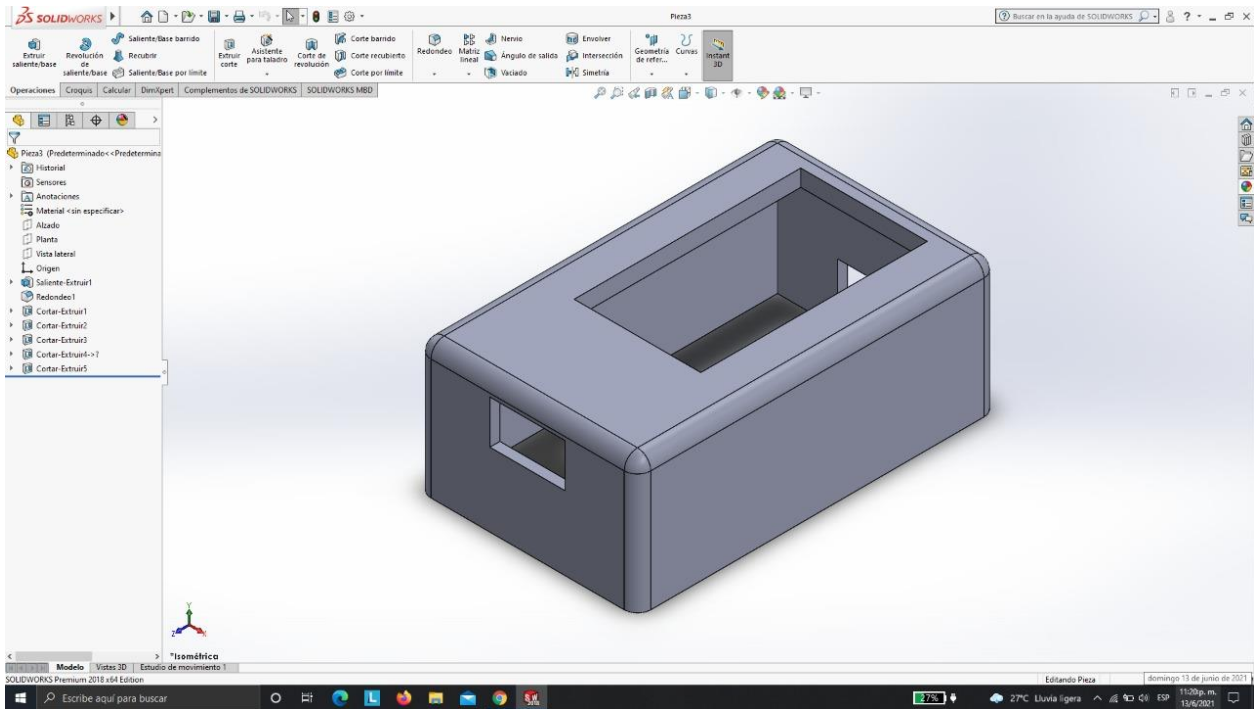
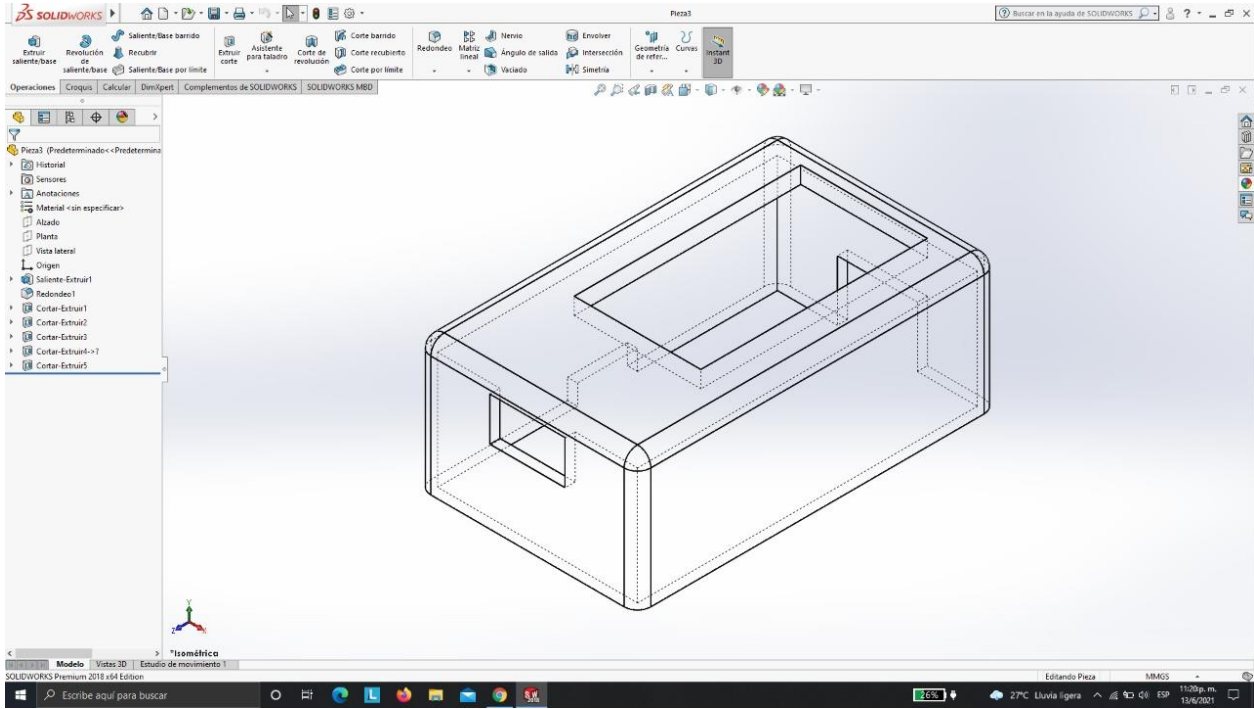




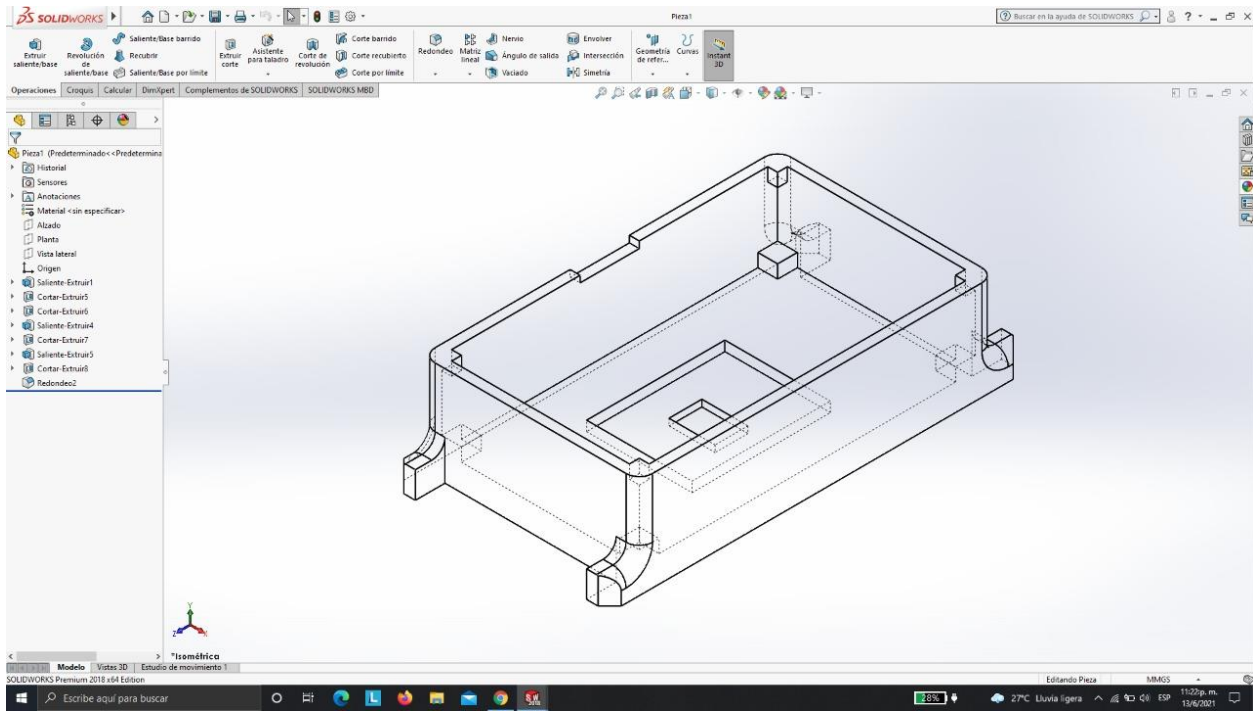
# Sostenedor Superior

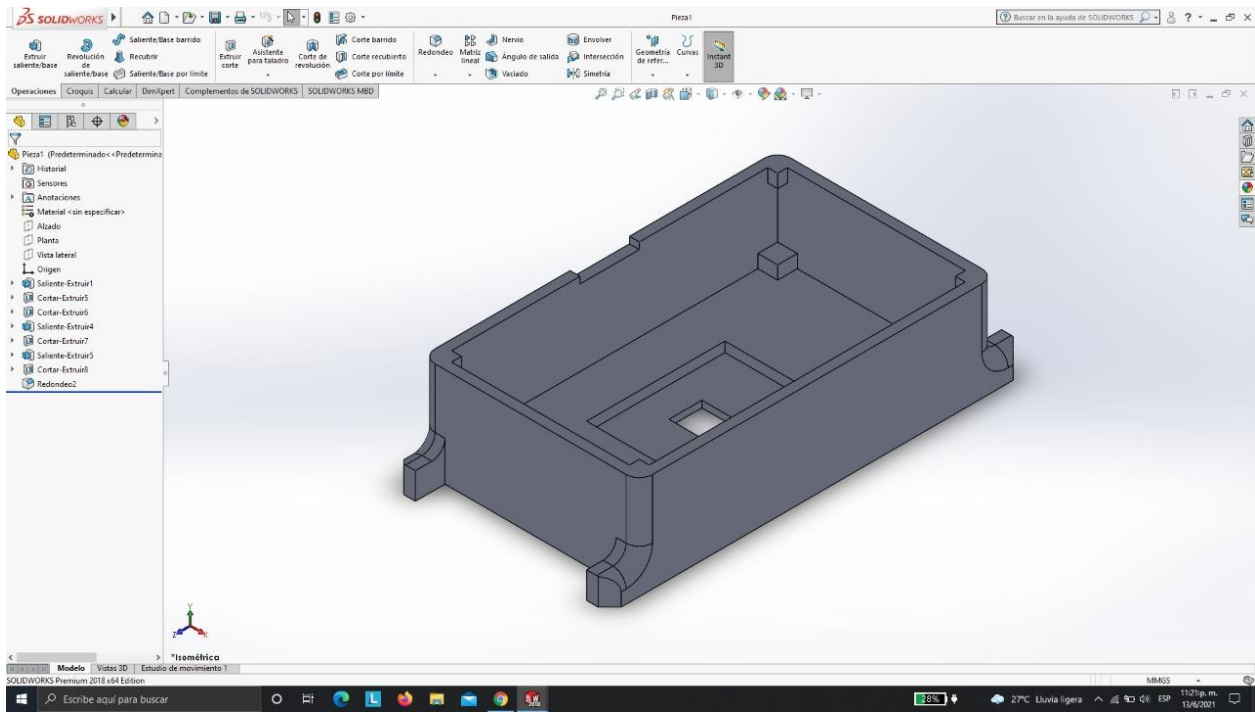


# Carcaza Superior



## Carcaza Inferior





## Impresión del brazalete



## Componentes Acoplados



## Aplicación móvil para Android e IOS



Blynk para Arduino,ESP82...  
Blynk Inc.  
Compras integradas

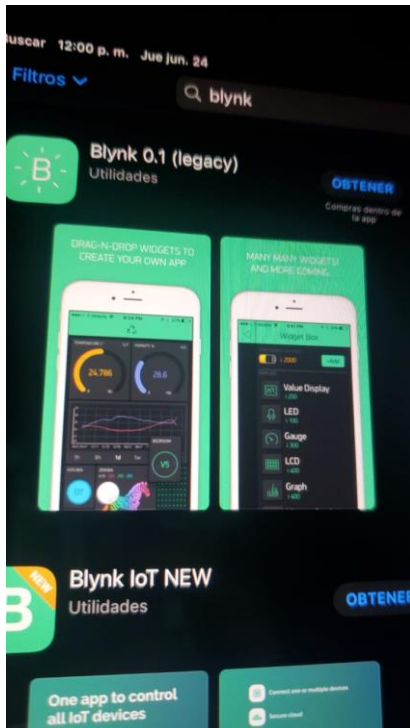
Abrir

4.4 ★  
8 K opiniones

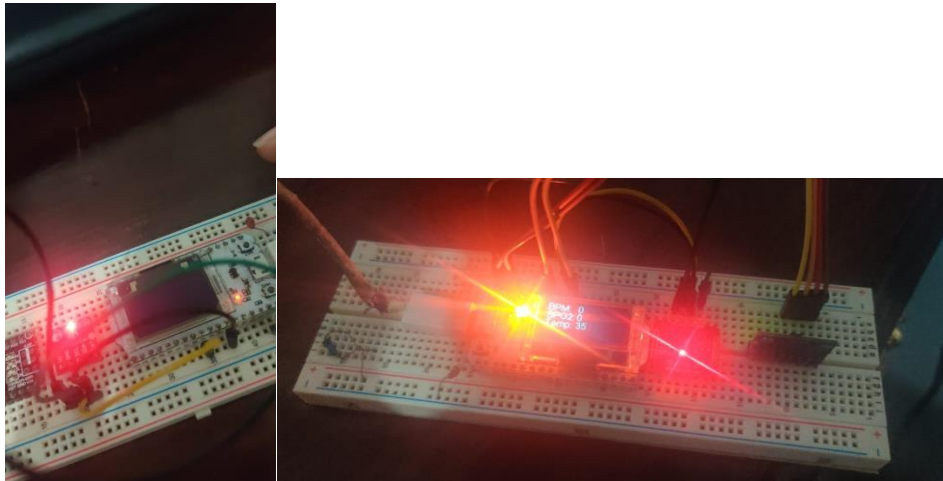
E  
Todos

1 M+  
Descargas





## Pruebas del ESP32





**Prototipo Final**

