

**Pontificia Universidad Católica del Ecuador**

**Facultad De Ingeniería**

**Escuela de Sistemas**



**TEMA:**

SISTEMA DE MONITOREO AUTOMATIZADO PARA LA DETECCIÓN TEMPRANA DE  
CAÍDAS EN ADULTOS MAYORES

**AUTOR:**

KEVIN NOVOA

TRABAJO PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO DE SISTEMAS Y  
COMPUTACIÓN

**QUITO, 23 DE NOVIEMBRE DEL 2023**

## DEDICATORIA

---

Para mis padres que me han acompañado durante todo este camino y me han dado todo su apoyo incondicional, para mi hermana que ha sido un pilar fundamental para mi y para mis abuelos que son la razón principal de este proyecto.

## **AGRADECIMIENTO**

---

Primero agradecer a Dios, a mis padres, a mi hermana y a mis maestros que me han enseñado tantas cosas valiosas y a mi tutor de investigación el Ingeniero Charles Escobar que me acompañó y me aconsejó en todo este proceso.

## RESUMEN

---

El propósito de esta investigación es la implementación de un sistema de monitoreo automatizado para detectar las caídas de los adultos mayores mediante dispositivos IoT, el dispositivo principal con el que se trabajó a lo largo de este proyecto fue un acelerómetro que está conectado a una aplicación para automatizar las acciones y eventos que sucedan en el sensor.

Para lograr con los objetivos de este proyecto, se realizaron varios estudios como la evaluación de diferentes tipos de sensores que se pueden usar para esta investigación, los tipos de movimientos y caídas que pueden tener los adultos mayores. Se realizó el diseño de un prototipo de un sistema de detección de caídas mediante una red de dispositivos con tecnología IoT y las pruebas específicas para cada uno.

## ÍNDICE

---

El índice debe ser generado automáticamente desde el Word por cada uno de los capítulos que tiene la tesis según normas APA 7

### Contenido

ÍNDICE DE FIGURAS, GRÁFICOS Y TABLAS .....	V
ÍNDICE DE FIGURAS .....	V
ÍNDICE DE TABLAS .....	VII
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....	1
1.    MARCO DE REFERENCIA .....	1
1.1.  JUSTIFICACIÓN .....	1
1.2.  Planteamiento del problema .....	2
1.3.  Objetivo General .....	3
1.4.  Objetivos Específicos .....	3
1.5.  Antecedentes .....	3
1.6.  Alcance .....	4
CAPÍTULO II: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA .....	5
2.    Marco Teórico .....	5
2.1.  Caídas en adultos mayores .....	5
2.2.  Tecnologías para la detección de caídas .....	9
2.3.  Sistema de automatización de tareas .....	15

2.4. Wit Motion Software.....	15
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA .....	19
3.1. Metodología de desarrollo del plan de tesis.....	19
3.2. Investigación Cualitativa .....	19
3.4. Integración de Datos.....	20
CAPÍTULO IV: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN .....	21
4.1. Cuadro Comparativo de Tipos de Acelerómetros .....	21
4.3. Cuadro Comparativo de Marcas .....	30
4.4. Análisis de Movimientos que Pueden Conducir a Caídas en Adultos Mayores .....	34
4.5. Movimientos detectables por WT901BLECL.....	35
4.6. Desarrollo del diseño del sistema .....	37
CAPÍTULO V: IMPLEMENTACIÓN .....	54
5.1. Implementación de la aplicación.....	54
5.2. Implementación de la investigación .....	54
5.3. Pruebas funcionales. ....	57
5.4. Pruebas no funcionales. ....	64
5.5. Resultados.....	68
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	71
BIBLIOGRFÍA.....	73
Bibliografía .....	73
GLOSARIO DE TÉRMINOS .....	82

ANEXOS .....83

## ÍNDICE DE FIGURAS, GRÁFICOS Y TABLAS

---

### ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Descarga de la aplicación WitMotion _____	16
<b>Figura 2.</b> Conexión del dispositivo _____	16
<b>Figura 3.</b> _____	17
<b>Figura 4.</b> Tamaño y portabilidad _____	22
<b>Figura 5.</b> Precisión _____	23
<b>Figura 6.</b> Sensibilidad _____	24
<b>Figura 7.</b> Costos _____	24
<b>Figura 8.</b> Acelerómetro de SparkFun. _____	26
<b>Figura 9.</b> Acelerómetro de Adafruit _____	27
<b>Figura 10.</b> Acelerómetro de Xsens _____	28
<b>Figura 11.</b> Acelerómetro de Bosch Sensortec _____	28
<b>Figura 12.</b> Acelerómetro de Inertial Labs _____	29
<b>Figura 13.</b> Acelerómetro WitMotion _____	30
<b>Figura 14.</b> Tamaño y portabilidad _____	32
<b>Figura 15.</b> Precio _____	32
<b>Figura 16.</b> Tabla de movimientos que pueden ser detectados por el sensor _____	35
<b>Figura 17.</b> Interfaz principal de la aplicación de WitMotion _____	37
<b>Figura 18.</b> Interfaz de acc _____	38
<b>Figura 19.</b> Ubicación del dispositivo _____	39
<b>Figura 20.</b> Caída frontal de pie _____	40
<b>Figura 21.</b> Caída lateral izquierda _____	41
<b>Figura 22.</b> Caída lateral derecha _____	41
<b>Figura 23.</b> Caída de espalda de pie _____	42

<b>Figura 24.</b> Caída al levantarse de una silla	42
<b>Figura 25.</b> Caída de la cama	42
<b>Figura 26.</b> Comienzo del diagrama de flujo	43
<b>Figura 27.</b> Bloque inspect layout	44
<b>Figura 28.</b> Campos del bloque inspect layout	45
<b>Figura 29.</b> Bloque set variable	47
<b>Figura 30.</b> Configuración del bloque set variable	48
<b>Figura 31.</b> Flujo del bucle	49
<b>Figura 32.</b> Bloque for each	49
<b>Figura 33.</b> Bloque if	50
<b>Figura 34.</b> Bloque send	51
<b>Figura 35.</b> Diagrama de flujo completo	52
<b>Figura 36.</b> Caídas detectables	53
<b>Figura 37.</b> Interfaz de aceleración	55
<b>Figura 38.</b> Orientación de un objeto en el espacio tridimensional	55
<b>Figura 39.</b> Aceleración inicial	57
<b>Figura 40.</b> Prueba de una caída frontal de pie	59
<b>Figura 41.</b> Prueba de caída lateral izquierda	59
<b>Figura 42.</b> Prueba de caída lateral derecha	60
<b>Figura 43.</b> Prueba de caída de espaldas	61
<b>Figura 44.</b> Prueba de caída al levantarse	62
<b>Figura 45.</b> Prueba de caída de la cama	63
<b>Figura 46.</b> Interfaz del giroscopio	65
<b>Figura 47.</b> Interfaz del ángulo	66
<b>Figura 48.</b> Interfaz del magnetómetro	67

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> <i>Ventajas y desventajas de los acelerómetros</i> _____	10
<b>Tabla 2.</b> <i>Cuadro comparativo de los tipos de acelerómetros</i> _____	21
<b>Tabla 3.</b> <i>Cuadro comparativo de marcas de acelerómetros</i> _____	30
<b>Tabla 4.</b> <i>Tabla de resultados</i> _____	68

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

---

### 1. MARCO DE REFERENCIA

#### 1.1. JUSTIFICACIÓN

Debido al continuo crecimiento demográfico, los problemas de seguridad están teniendo un impacto significativo en la comunidad de personas mayores. Según datos proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC) (Villacís & Carrillo, 2012), Se estima que para el año 2054, alrededor del 18 % de la población ecuatoriana será de adultos mayores. Las necesidades físicas, psicológicas y cognitivas hacen que este grupo demográfico sea especialmente vulnerable.

Más de un tercio de las personas mayores de 65 años experimentan al menos una caída al año, lo que representa el 40 % de las muertes relacionadas con lesiones, revelando así un dato alarmante. También se ha mencionado que si un adulto mayor permanece en el suelo por más de dos horas después de una caída accidental, su riesgo de morir en los siguientes seis meses aumenta al 50 % (Rubenstein, 2023).

En este contexto, es claro que se necesita crear nuevas tecnologías que incluyan tecnologías de IoT y las integren en distintas aplicaciones y entornos. Esto significará un gran cambio en la vida cotidiana de los adultos mayores.

Es fundamental resaltar que las aplicaciones de IoT no solo son vitales en dispositivos médicos de asistencia, sino que también se utilizan en una variedad de campos como la agricultura, la automatización del hogar, la seguridad y la salud. (Quiñonez, 2019).

## 1.2. Planteamiento del problema

La mayoría de los sistemas de alerta y monitoreo de emergencia destinados a personas mayores no tienen la capacidad de notificar a los cuidadores o familiares si ocurre un incidente. (Diario Oficial de La Federación, 2022). Así que, es de suma importancia la incorporación de la tecnología IoT para hacer posible el envío de alertas en tiempo real y de manera remota, garantizando una pronta atención médica.

Esto es muy relevante porque una caída puede provocar un gran impacto negativo en la vida de las personas mayores, e incluso resultar en consecuencias mortales. Es necesario monitorizar continuamente sus signos vitales y tener la capacidad de enviar alertas de emergencia en caso de una caída para garantizar una ayuda más rápida y apropiada (Rubenstein, 2023).

Actualmente, no hay un sistema de monitoreo de posibles caídas en adultos mayores utilizando la tecnología de Internet de las cosas. Esto quiere decir, que no se han llevado a cabo pruebas de sensores para su implementación y tampoco existen registros que se haya hecho un estudio sobre los movimientos de las personas ancianas utilizando dispositivos IoT. De esta discusión se identifica el siguiente problema principal:

- No se cuenta con un sistema de prevención de monitoreo de posibles caídas en adultos mayores mediante tecnología IoT.

Y los siguientes problemas secundarios:

- No existe una comparativa de sensores que se podrían usar en el sistema de detección de caídas.
- No se han estudiado los movimientos de los adultos mayores que con el uso de dispositivos IoT permitan detectar caídas.

- Se carece del diseño de un prototipo de detección caídas en adultos mayores mediante una red de sensores con tecnología IoT.
- No se han realizado pruebas de funcionamiento del prototipo.

### **1.3. Objetivo General**

- 1.3.1. Diseñar un sistema de monitoreo automatizado de posibles caídas en adultos mayores mediante tecnología IoT.

### **1.4. Objetivos Específicos**

- 1.4.1. Realizar una comparativa de sensores que se podrían usar en el sistema de detección de caídas.
- 1.4.2. Analizar los movimientos de los adultos mayores que con el uso de dispositivos IoT permitan detectar caídas.
- 1.4.3. Diseñar un prototipo de detección caídas en adultos mayores mediante una red de sensores con tecnología IoT.
- 1.4.4. Probar el funcionamiento del prototipo.

### **1.5. Antecedentes**

El aumento de la edad es uno de los principales factores que incrementa la posibilidad de sufrir caídas. Un estudio realizado por la OMS determina que cuando las personas envejecen, su vulnerabilidad a sufrir lesiones graves aumenta considerablemente. Además, este riesgo tiende a crecer a medida que avanzan en edad (Organización Mundial de la Salud, 2021).

Las estimaciones sobre la frecuencia de caídas en personas mayores varían según su entorno, edad y condiciones de vida. En lo que respecta a las caídas, se calcula que alrededor del 20% al 30% de los adultos mayores de 60 años o más que viven en sus casas experimentan una o más caídas anuales (Leitón, 2022).

Con el fin de solventar este asunto se elaboran varios estudios. En el 2022 se realiza una investigación de un sistema de monitorización de caídas para los adultos mayores usando internet de las cosas, con el objetivo de elaborar un sistema de supervisión con capacidad para identificar caídas en individuos de edad avanzada a través de alarmas visuales alojadas en la nube, con el propósito de garantizar una atención médica inmediata. Para ello se utiliza una metodología basada en un modelo V. El sistema incluye una tarjeta de control, un acelerómetro capaz de registrar datos en los tres ejes con conectividad WiFi (Moya, 2022).

En 2016, se realiza otra investigación sobre el diseño y la implementación de un sistema que sea capaz de detectar y notificar caídas de las personas mayores con el propósito de detectar si un individuo de la tercera edad experimenta una caída dentro de una instalación de cuidados geriátricos, donde la atención del anciano es proporcionada por un equipo de enfermeras cada una con un paciente en específico (Redrován & José, 2016). Finalmente se opta por utilizar una plataforma llamada “Smart Health Assistant for Elderly Care (SAFER)” para dar asistencia al adulto mayor que se adapte a lo que necesita el usuario.

## **1.6. Alcance**

Este proyecto va dirigido los adultos mayores y a todas las familias que se preocupan por el cuidado de sus abuelos, de manera que, con la tecnología de IoT se identifiquen los riesgos que pueden ocurrir con las personas mayores.

## CAPÍTULO II: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

---

### 2. Marco Teórico

#### 2.1. Caídas en adultos mayores

En la población de los adultos mayores las caídas representan uno de los desafíos más significativos que la sociedad debe afrontar. Las caídas representan la segunda causa más frecuente de fallecimiento accidental a nivel global, y para las personas mayores, los riesgos relacionados con este tipo de incidentes son particularmente elevados (Organización Mundial de la Salud, 2021). La tasa de caídas anual en la población de edad avanzada, específicamente en el grupo de 65 a 70 años, es aproximadamente del 25%. Sin embargo, estas cifras aumentan significativamente en edades más avanzadas, alcanzando entre un 35% y un 45%, especialmente en el rango de 80 a 85 años. No obstante, a medida que se sobrepasan los 85 años de edad, se ha observado una tendencia a disminuir los reportes de caídas, lo cual se atribuye a la disminución de la actividad física (Posadas, 2020).

Es esencial resaltar que cuando un adulto mayor sufre una caída, las posibilidades de que esta situación se repita en el futuro se incrementan considerablemente, por consiguiente, es de gran importancia que las entidades encargadas del cuidado de ancianos, como hospitales, centros residenciales y de atención a jubilados, implementen medidas adecuadas para detectar las caídas y responder de manera inmediata (Hikvision, 2022).

##### 2.1.1. Factores de riesgo de caídas en adultos mayores

Es fundamental determinar los diferentes factores que provocan las caídas en los adultos mayores, esto permitirá conocer las causas de estos sucesos y así, poder tomar medidas para evitar que ocurran. Los factores de riesgo de caídas en las personas mayores se subdividen 2 tipos, intrínsecos y extrínsecos los cuales se detallaran a continuación:

## Intrínsecos

Se refieren a factores que pueden estar vinculados a cuestiones propias relacionadas con el adulto mayor y surgen a causa del envejecimiento. Esto incluye la reducción de la agudeza visual, la disminución de la velocidad al caminar y la condición de los pies, que puede presentar deformidades (Cuideo, 2023). Algunos factores intrínsecos son:

- Uso excesivo de medicamentos.- El abuso de medicamentos es una situación preocupante debido a que algunos de ellos pueden causar efectos secundarios como vértigo o desorientación. Es importante tener en cuenta estos posibles efectos adversos y utilizar los medicamentos de forma responsable y bajo supervisión médica. A medida que el consumo de medicamentos de una persona aumenta, también aumenta su probabilidad de sufrir una caída (Portela, 2021).
- Patologías.- Existen diversas enfermedades que pueden influir en la capacidad de movimiento de una persona. Estas afecciones suelen ser frecuentes en la tercera edad y presentan síntomas como debilidad en los músculos, falta de equilibrio, padecimiento en los pies y movimientos involuntarios, como temblores, entre otros (Portela, 2021).
- Pérdida del sentido cognitivo.- El deterioro cognitivo afecta a habilidades que tienen un impacto en la movilidad, tales como la capacidad de atención, la memoria y las funciones ejecutivas, incluyendo la organización, la planificación y la evaluación, entre otros aspectos (Portela, 2021).
- Hipotensión arterial.- Una presión baja se caracteriza por presentarse principalmente al momento de levantarse, lo cual puede ocasionar mareos, visión borrosa y una sensación de debilidad (Portela, 2021).
- Trastornos neurológicos.- Los trastornos neurológicos son responsables de la disminución de los reflejos y el incremento en el tiempo de reacción (Portela, 2021).

## Extrínsecos

Estos factores se refieren a aquellos elementos externos a la persona y están vinculados al entorno de los adultos mayores. Los factores extrínsecos más relevantes son:

- Muebles Inseguros.- aquellos muebles, sillas y objetos en el entorno que pueden caerse fácilmente o moverse al ser tocados. Esto puede causar caídas si las personas mayores intentan usarlos para apoyarse o mantener el equilibrio.
- Objetos en el suelo.- Existen obstáculos en el camino que pueden representar un riesgo para las personas mayores, como juguetes, cables eléctricos, cajas u otros elementos. Estos objetos obstruyen el suelo y podrían ocasionar que las personas tropiecen y caigan.
- Insuficiente iluminación.- La mala iluminación en un espacio puede causar problemas de visibilidad, lo que aumenta el peligro de que las personas mayores no puedan ver obstáculos o irregularidades en el suelo, aumentando así el riesgo de caídas.
- Pisos inestables.- Las superficies resbaladizas, como los suelos mojados o encerados, y los suelos desnivelados o con irregularidades, pueden incrementar de forma considerable el peligro de resbalones y tropezones que puedan derivar en caídas.
- Escaleras.- Las escaleras pueden ser peligrosas para los adultos mayores si tienen barandillas inestables, escalones desgastados o resbaladizos, y falta de iluminación adecuada. Estos son factores de riesgo que pueden provocar caídas.

### 2.1.2. Consecuencias de las caídas en adultos mayores

Cuando una persona mayor sufre una caída, puede tener graves consecuencias que afecten la calidad de vida del mismo, causándole problemas a largo plazo dando la posibilidad de que vuelva a tener otra caída.

Existen consecuencias físicas que pueden incluir fracturas en lugares como la cadera, muñeca, pelvis y costillas, así como esguinces, heridas, hematomas, dolor, limitaciones en la movilidad, daños en las articulaciones y la piel. En casos más graves, también puede haber pérdida de conciencia. Si una persona mayor se cae y está sola, corren un riesgo importante de no poder levantarse por sí mismos causándole un estado de desorientación mental, un estado hipotérmico, deshidratación y la inmovilidad puede ocasionar una trombosis venosa (Cuideo, 2023).

Las consecuencias psicológicas de las caídas en personas mayores pueden ser significativas, pues pueden desencadenar el síndrome post caída o el temor constante a que vuelva a ocurrir. Además de los efectos mencionados anteriormente, estos incidentes también pueden desencadenar una disminución en la autoestima y generar ansiedad, alteraciones en los hábitos diarios, una disminución en la participación de actividades físicas y sociales rutinarias, así como una pérdida de confianza en las habilidades propias (Cuideo, 2023).

Los adultos mayores que han sufrido una caída por lo general conllevan un aumento en los recursos requeridos para su cuidado, lo que resulta en consecuencias socioeconómicas. Esto implica gastos como consultas médicas adicionales, estadías hospitalarias, intervenciones quirúrgicas, terapias de rehabilitación, contratación de cuidadores profesionales y la necesidad de utilizar dispositivos de apoyo como andadores, bastones o sillas de ruedas. Estos factores pueden causar un efecto importante en la situación socioeconómica de la persona afectada y hasta sus familiares (Cuideo, 2023).

## **2.2. Tecnologías para la detección de caídas**

En la actualidad existen varias tecnologías capaces de detectar caídas en el mundo, en este apartado se revisarán alternativas de algunos tipos de sensores como acelerómetros capaces de medir la aceleración, sistemas de monitoreo que identifiquen características que sean detectables por algoritmos de movimiento que puedan ser conectados a la red con un fin de enviar alertas.

### **2.2.1. Internet de las cosas**

Internet de las cosas (IoT) es una estructura en constante desarrollo que se basa en la red global de las cosas. Su objetivo principal es agilizar el intercambio de productos y servicios entre diferentes redes (Salazar & Silvestre, 2016). Esto se refiere a la interconexión entre distintos dispositivos u objetos, los cuales están conectados mediante una red a internet que comparten información entre sí, sin necesidad de intervención humana.

IoT ha impactado significativamente en la calidad de vida de las personas al proporcionar múltiples oportunidades innovadoras para el acceso de los datos y servicios. Estos beneficios se aplican en diversas áreas, tales como la educación, la seguridad, la atención médica y el transporte, etc (Salazar & Silvestre, 2016).

En los últimos años, la tecnología IoT ha sido implementada por las áreas de la salud y ha brindando enormes beneficios, como, por ejemplo, permitir a los médicos monitorear de manera constante a los pacientes, ofreciendo una opción de controlar a las personas mediante un intercambio de datos en tiempo real de manera remota utilizando dispositivos especializados (González, 2020) En base a esto, los dispositivos asociados a IoT más utilizados son los sensores de movimiento, acelerómetros, cámaras, con los cuales es posible identificar caídas.

### **2.2.2. Sensores para detectar caídas**

### 2.2.2.1. Acelerómetros

El acelerómetro es un sensor que ofrece la capacidad de cuantificar y analizar tanto la aceleración lineal como la angular. Los acelerómetros tienen diversos usos. Por un lado, se utilizan para medir la aceleración gravitacional estática, lo cual permite determinar el grado de inclinación de un objeto con respecto a la vertical. Por otro lado, también se utilizan para medir la aceleración dinámica que se produce por golpes, movimientos, impactos o vibraciones, incluso aquellas de baja amplitud y frecuencia reducida (TME, 2020).

**Tabla 1.**

*Ventajas y desventajas de los acelerómetros*

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Permiten detectar en tiempo real alteraciones en la aceleración.</li><li>• Tienen la capacidad de percibir movimientos delicados.</li><li>• Requieren un mantenimiento mínimo o nulo.</li><li>• Existen múltiples aplicaciones donde se pueden utilizar de manera versátil.</li><li>• Son pequeños y ligeros, lo que los hace ideales para dispositivos portátiles.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Debido a movimientos muy bruscos existe la posibilidad de que se puedan generar falsos positivos.</li><li>• A fin de lograr la sensibilidad deseada, pueden ser necesarios ajustes precisos.</li><li>• En casos de falla o calibración inadecuada, pueden requerir ajustes o reemplazo.</li><li>• Son sensibles a la orientación y posición en las que se encuentran, por esto se requiere una</li></ul>

---

orientación adecuada para obtener mediciones precisas.

---

*Nota.* Se presentan los beneficios e inconvenientes de la implementación de los acelerómetros.

Fuente: Elaboración propia

### **¿Cómo realizan las mediciones los acelerómetros?**

Los acelerómetros tienen la capacidad de registrar el valor de la aceleración, que se mide en unidades gravitatorias, donde 1g es igual a la medida de la gravedad de la Tierra 9.8 m/s cuadrados. Generando una señal eléctrica en respuesta a los fenómenos físicos (González, Hernández, & Jiménez, 2016).

Dentro del mercado existen acelerómetros con una variada gama de rangos de medición, que abarcan desde 1g hasta 20,000g. Esto dependerá del valor máximo absoluto que se pretenda medir. Además, hay una amplia gama de opciones disponibles en términos de resolución de salida, siendo bastante común un rango de 10 a 13 bits (González, Hernández, & Jiménez, 2016).

### **Tipos de acelerómetros**

#### **Acelerómetros Piezorresistivos**

En el mundo de los sensores, los acelerómetros piezorresistivos se destacan como sensores de alto rendimiento especializados en la detección precisa de aceleraciones y vibraciones de frecuencia baja a media.

Estos acelerómetros se basan en el principio piezorresistivo, el cual establece que cuando una aceleración es aplicada a la masa sísmica, esto produce una generación de tensión

mecánica en las resistencias piezorresistivas. Esta tensión generada conlleva a una variación en la resistencia eléctrica de la masa, esta alteración en la resistencia puede ser cuantificada y empleada para calcular la aceleración (Electricity - Magnetism, 2023).

Estos dispositivos cuentan con la capacidad de realizar mediciones en un amplio alcance que abarca desde 0Hz hasta miles de Hz, con rangos que comienzan a partir de los 2g y pueden extenderse hasta los 6000g. Algunas de las características importantes de estos aparatos incluyen la amplificación de la señal de salida, la corrección de posibles variaciones de temperatura y una precisión considerable (Sensing S.L, 2021).

Los acelerómetros piezorresistivos son utilizados en diferentes campos como la industria automotriz para pruebas de seguridad, en vehículos y trenes para análisis de confort, y en proyectos de obra civil para la monitorización de estructuras, entre otros (Sensing S.L, 2021).

### **Acelerómetros Piezoeléctricos**

Estos sensores se basan en la piezoelectricidad, que es la propiedad que tienen ciertos materiales, como los cristales y algunas cerámicas, de producir una corriente eléctrica al ser sometidos a una presión mecánica. En la estructura cristalina del material, este proceso puede manifestarse en forma de carga eléctrica (Aroeira, 2023). Es decir, la aceleración que es producida en el dispositivo genera una deformación en la masa unida al cristal, lo cual a su vez ocasiona una señal eléctrica mediante su desplazamiento.

### **Acelerómetros Capacitivos**

Los acelerómetros capacitivos son utilizados para medir la aceleración en Corriente Continua o por sus siglas en inglés Direct Current (DC), esto significa que pueden medir en un rango de frecuencia que va desde 0 Hz a cientos de Hz. Estos sensores son ideales para aplicaciones que implican frecuencias bajas o muy bajas, donde la aceleración cambia lentamente o permanece constante a lo largo del tiempo. Adicionalmente, estos acelerómetros

presentan una muy buena resistencia ante ráfagas altas de aceleración, lo cual implica que son capaces de gestionar sin dificultades variaciones abruptas o repentinas en la aceleración (Sensing S.L, 2021).

Cuando un acelerómetro capacitivo es sometido a aceleración, una placa móvil se desplaza en relación a las placas fijas del dispositivo. La separación entre estas placas cambia en función de la aceleración aplicada, lo cual resulta en un cambio en la capacidad. Este parámetro es utilizado en un circuito con el fin de producir una señal de voltaje que guarda una relación directa con la aceleración experimentada (Aroeira, 2023).

Estos acelerómetros generalmente utilizan la tecnología MEMS (microelectromecánicos) para la aplicación de equipos móviles y dispositivos portátiles, esta tecnología se puede implementar directamente en la placa del circuito principal (TME, 2020).

### **Acelerómetros MEMS**

Los acelerómetros MEMS o también llamados “MicroElectroMechanical System”, son un tipo de sensores que miden la aceleración positiva y negativamente, con valores que van desde los 0,5 g y pueden llegar a alcanzar hasta los 40 g y además tienen un rango de 400 hz (Mesurex, 2021).

Son dispositivos pequeños y tienen una estructura mecánica que trata de una masa suspendida sobre el chip. Cuando el dispositivo experimenta una aceleración, su masa se mueve en respuesta a esa fuerza, produciendo una señal eléctrica. Estos además, se pueden usar para medir la vibración del movimiento (Quinnell, 2020).

#### **2.2.2.2. Inclinómetro**

Cuando se necesita establecer una posición precisa y supervisar continuamente el ángulo con respecto a la fuerza de gravedad, se utiliza un sensor de inclinación. Este dispositivo

calcula el ángulo en relación con la posición horizontal, utilizando una línea imaginaria que parte del centro de la Tierra como punto de referencia (DIS Sensors, 2023).

La medida que generalmente se usa para calibrar los inclinómetros es el grado. El rango de medición puede ir desde 0 hasta 360 grados.

Estos productos incorporan la tecnología MEMS, la cual se basa en la modulación de las capacitancias para convertirlas en una señal analógica a través de un sensor mecánico en un microchip (DIS Sensors, 2023).

El inclinómetro se puede aplicar en varios ámbitos laborales, su adaptabilidad y flexibilidad en su diseño lo hace ideal para colocarse en cualquier lugar.

### **2.2.2.3. Magnetómetro**

La Tierra emite un campo magnético que provoca distorsiones magnéticas detectables en la atmósfera. Un magnetómetro es un dispositivo diseñado específicamente para cuantificar estos fenómenos, teniendo en cuenta la intensidad de la fuerza magnética (5Hertz, 2023). Es decir con esta herramienta es posible detectar la dirección y la fuerza a la que van estos objetos en los campos magnéticos.

Los magnetómetros se aplican en varios ámbitos, por ejemplo en la detección de caídas sirve para medir la posición en la que se encuentra el individuo, similar al uso de una brújula.

### **2.2.3. Nuevas Tecnologías**

En los últimos años se han realizado significativos avances en la tecnología con respecto a la detección de caídas, ciertas empresas ya están adoptando dichos avances, lo cual es una señal positiva para el bienestar futuro de las personas mayores.

Algunos dispositivos han incorporado la inteligencia artificial, utilizan machine learning para aprender los patrones y rutinas de los usuarios. Estos dispositivos tienen la capacidad de

enviar notificaciones de alerta si se detectan desviaciones que podrían indicar una posible caída (Essence Group, 2020).

En años recientes, ha ocurrido el lanzamiento de una extraordinaria tecnología capaz de diferenciar entre seres humanos y mascotas, incluso cuando la iluminación es escasa. Esta avanzada innovación ha logrado disminuir significativamente la cantidad de falsos positivos (Essence Group, 2020). Otra tecnología innovadora implica la colocación de radares en áreas esenciales como dormitorios, pasillos y otras zonas clave en centros de cuidado para personas mayores. Al contar con esta opción, se logra una respuesta rápida por parte del personal para brindar ayuda a los pacientes (Hikvision, 2022).

### **2.3. Sistema de automatización de tareas**

Automate (Llamalab)

Es una aplicación gratuita que solo se puede descargar en un teléfono Android, este software permite automatizar casi cualquier tarea en el celular por ejemplo, usando diagramas de bloques, para configurar automáticamente los ajustes de Bluetooth y Wi-Fi, para de esta manera realizar acciones como enviar mensajes de texto o correos electrónicos, tomando en cuenta factores como la ubicación o la hora del día (AndroidAPS community, 2023). Cada bloque en el diagrama de flujo cuenta con distintas opciones que se pueden configurar, como también agregar variables o funciones.

Las condiciones que se crean en cada bloque decidirán las acciones que realicen las diferentes aplicaciones del dispositivo, también es posible descargar flujos de trabajo que ya hayan creado otros usuarios.

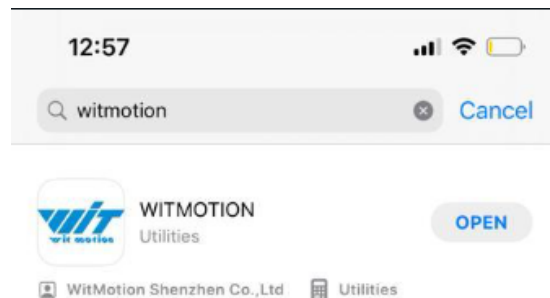
### **2.4. Wit Motion Software**

Wit Motion proporciona un software en el que se puede visualizar todos los datos y la actividad realizada por el sensor, para la descarga e instalación de esta aplicación se debe

buscar como “WitMotion” en la Play Store si es Android y en la App Store si es iOS. También existen formas de instalar el aplicativo en PC específicamente en el sistema operativo de Windows

### **Figura 1.**

*Descarga de la aplicación WitMotion*



*Nota.* Descarga de la aplicación en la AppStore o PlayStore

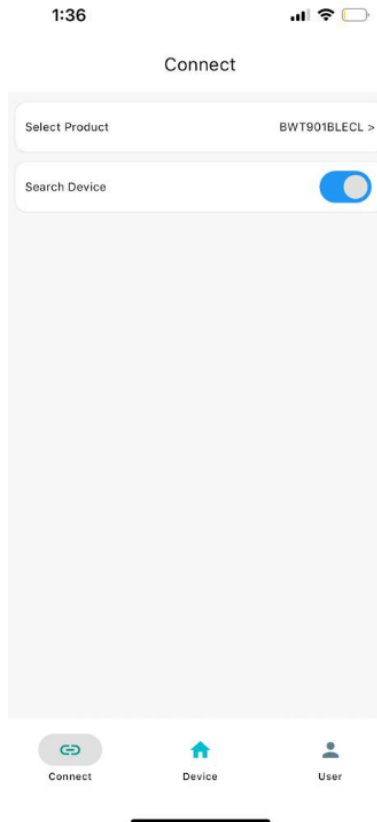
Fuente: Elaboración Propia

Se debe asegurar que se está descargando la última versión, caso contrario al momento de buscar un dispositivo para conectarse, no lo reconocerá.

Una vez instalado, para conectar un dispositivo a la aplicación se debe seleccionar el tipo de producto que posee, después se tiene que activar la búsqueda del dispositivo que se requiere como se muestra en la figura 2.

### **Figura 2.**

*Conexión del dispositivo*



*Nota.* Conexión bluetooth del dispositivo de WitMotion.

Fuente (WitMotion, 2016).

Una vez hecho esto se debe encender el sensor verificando que se encuentren titilando unas luces de color azul.

**Figura 3.**

*Imagen del dispositivo*



*Nota.* Imagen del dispositivo del botón on/off y luces que representan el estado del dispositivo.

Fuente: Elaboración propia.

De esta manera, aparecerá visible el dispositivo para conectarlo con la aplicación.

## CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

---

### **3.1. Metodología de desarrollo del plan de tesis**

El diseño de investigación combina enfoques cuantitativos y cualitativos para obtener una comprensión integral del problema.

### **3.2. Investigación Cualitativa**

Se llevará a cabo una investigación cualitativa que se centrará en comparar distintos tipos de sensores para un sistema de detección de caídas. Este enfoque implica revisar la teoría especializada en IoT y sensores de movimiento, así como evaluar estudios de casos relevantes. Además, se aplicará un análisis exhaustivo para identificar las características principales de cada sensor y determinar si son adecuados para el sistema propuesto.

La investigación cualitativa también realizará un análisis de los posibles movimientos que realizan las personas mayores. Se realizarán estudios de casos similares y consultas con profesionales del área de la salud con el fin de comprender mejor los patrones de movimiento que podrían indicar caídas. El análisis cualitativo de estos datos brindará información valiosa para diseñar e implementar un sistema automatizado de monitoreo.

### **3.3. Investigación Cuantitativa**

La investigación cuantitativa se centrará en el uso de dispositivos IoT como un acelerómetro, para recopilar datos cuantitativos en tiempo real de los posibles movimientos que pueden tener los adultos mayores y proporcionar mediciones precisas y objetivas para detectar una caída. Adicionalmente se incorporará un sistema que sea capaz de automatizar estos dispositivos mediante diagramas de flujo.

Los datos cuantitativos obtenidos se someterán a un análisis estadístico para determinar cuando estos movimientos se identifiquen como una caída.

### **3.4. Integración de Datos**

La fase de integración de datos combinará los datos cualitativos y cuantitativos recopilados en la investigación y los analizará de manera conjunta. Esta integración de datos será fundamental para consolidar los hallazgos de ambas partes y permitirá obtener una comprensión completa de la detección de caídas en adultos mayores.

### **3.5. Interpretación**

La fase de interpretación se centra en comprender y dar sentido a los resultados obtenidos a través de la investigación cualitativa y cuantitativa, así como de la integración de datos. En esta etapa, se analizarán las relaciones entre los datos cualitativos y cuantitativos para responder a las preguntas de investigación y los objetivos del proyecto.

## CAPÍTULO IV: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

---

### 4.1. Cuadro Comparativo de Tipos de Acelerómetros

Los acelerómetros que pueden ser considerados para este proyecto son MEMS, piezoresistivos y piezoeléctricos. Los sensores MEMS emplean la tecnología de microelectromecánica para detectar aceleraciones y se encuentran ampliamente integrados en dispositivos electrónicos portátiles (Herrera, 2023). Los sensores piezoresistivos son capaces de medir variaciones en la resistencia eléctrica cuando están sometidos a estrés mecánico, y se utilizan en diversos campos industriales y en aplicaciones de detección de vibraciones (Matan, 2023). Los piezoeléctricos responden a fuerzas mecánicas produciendo señales eléctricas y se utilizan en una amplia gama de dispositivos, como sensores de impacto y micrófonos (REPSOL, 2023).

Este cuadro comparativo compara los tres tipos de acelerómetros de los cuales se seleccionará el más adecuado para el proyecto.

**Tabla 2.**

*Cuadro comparativo de los tipos de acelerómetros*

<b>Características</b>	<b>Acelerómetros MEMS</b>	<b>Acelerómetros Piezoresistivos</b>	<b>Acelerómetros Piezoeléctricos</b>
<b>Tamaño y portabilidad</b>	Muy pequeños y altamente portátiles.	Grandes a comparación de los MEMS.	Medianamente portables.
<b>Precisión</b>	Mediana (Suficiente para la	Alta (ideal para vibraciones de alta amplitud).	Muy alta (sobre todo para

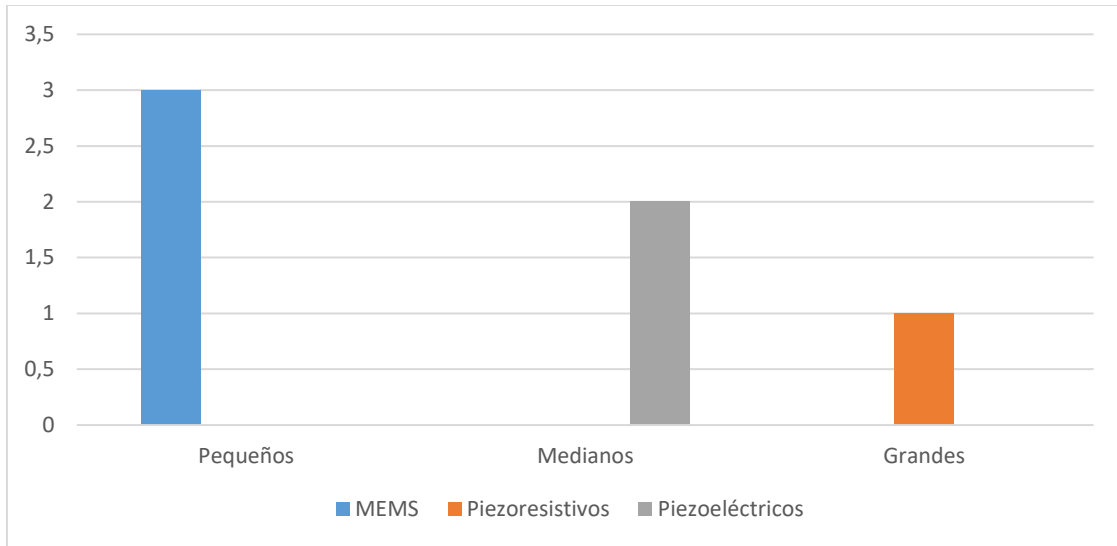
	detección de caídas).		aplicaciones de alta precisión).
<b>Rango</b>	Amplio rango ajustable	Amplio	Muy amplio
<b>Sensibilidad</b>	Mediana pero suficiente para detectar movimientos)	Alta	Muy alta
<b>Costo</b>	Bajo	Alto	Alto
<b>Usabilidad</b>	Amplio uso en dispositivos de consumo y aplicaciones de salud	Pruebas industriales, sensores de fuerza	Aplicaciones de alta precisión como medición sísmica

*Nota.* Comparación de las características entre acelerómetros MEMS, piezoresistivos y piezoeléctricos.

Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 4.**

*Tamaño y portabilidad*

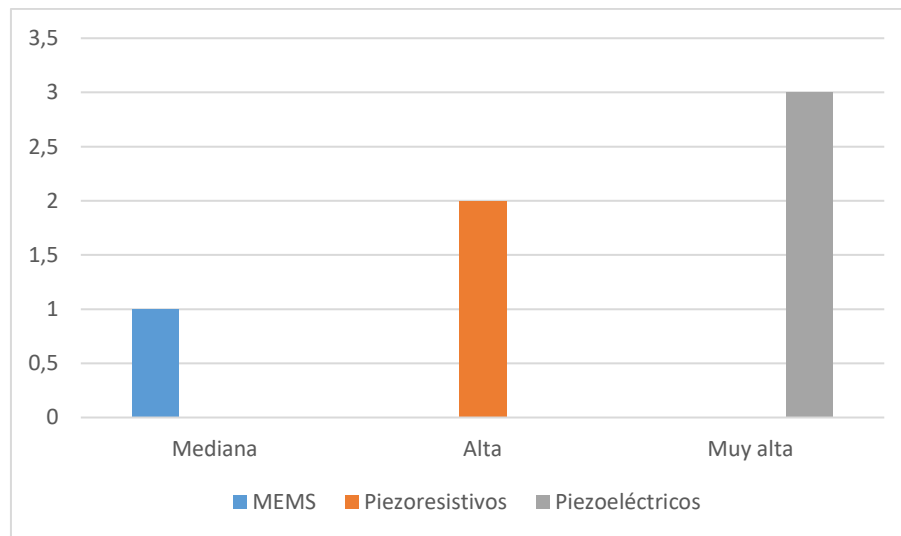


*Nota.* Comparación del tamaño y la portabilidad que tiene cada acelerómetro.

Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 5.**

*Precisión*

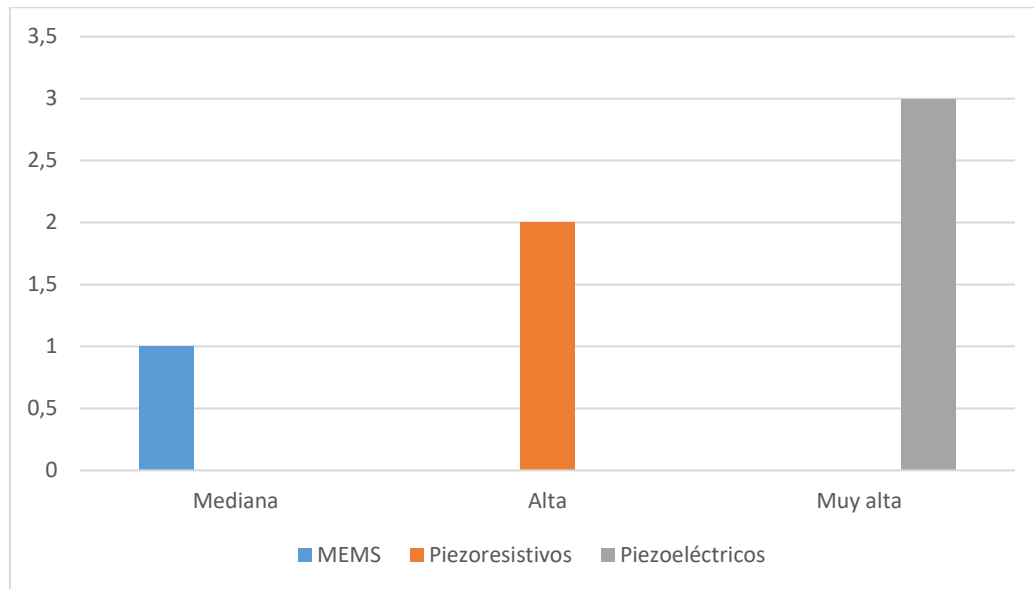


*Nota.* Comparación de la precisión que tiene cada acelerómetro.

Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 6.**

*Sensibilidad*

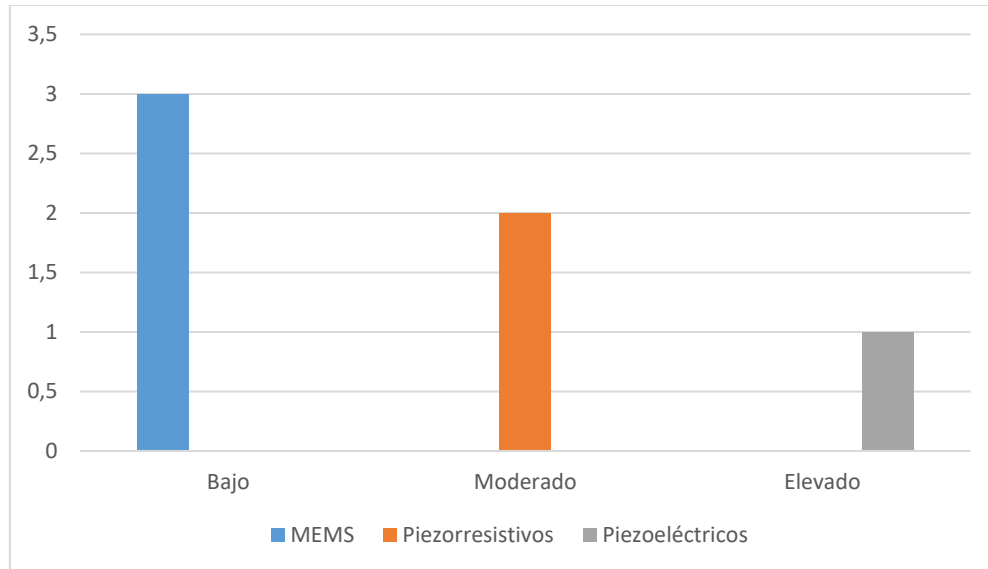


*Nota.* Comparación de la sensibilidad entre los diferentes acelerómetros.

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 7.**

*Costos*



*Nota.* Comparativa de costos que tienen cada uno de los acelerómetros.

Fuente: Elaboración Propia.

Es crucial encontrar un equilibrio entre la precisión, el costo, la portabilidad y la capacidad de integración en dispositivos portátiles que sean cómodos de usar.

Después del análisis, los acelerómetros MEMS pueden ser una opción ideal por varias razones:

- **Portabilidad:** Los dispositivos basados en MEMS son tan pequeños y ligeros que se pueden integrar fácilmente en dispositivos portátiles sin ser una molestia para el usuario. (Duarte, 2006).
- **Costo:** La fabricación en grandes cantidades y el uso generalizado en la industria de la electrónica de consumo han disminuido el precio de los acelerómetros MEMS, lo que ha hecho más factible su uso en soluciones a gran escala (Torres, y otros, 2023).

- Adaptabilidad: La capacidad de medir en diferentes rangos permite ajustar la sensibilidad del dispositivo según las necesidades específicas de la aplicación (Torres, y otros, 2023).

Aunque los acelerómetros piezoresistivos y piezoeléctricos tienen sus ventajas en términos de precisión, sensibilidad y rango, para un sistema de detección de caídas en adultos mayores es suficiente un dispositivo MEMS ya que, proporcionan un equilibrio ideal de precisión, sensibilidad, portabilidad y costo para un sistema diseñado para la detección temprana de caídas en adultos mayores. Su capacidad para integrarse en dispositivos portátiles los convierte en la mejor elección para esta investigación.

#### **4.2. Marcas**

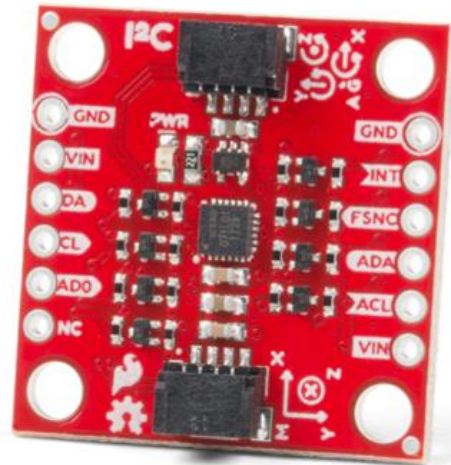
Existen diferentes marcas en el mercado que fabrican acelerómetros, cada una con su propio modelo de dispositivo, a continuación se mencionan las más populares:

##### **SparkFun**

SparkFun 9DoF IMU Breakout es un ejemplo de un dispositivo que integra acelerómetro, giroscopio y magnetómetro (SparkFun, 2019).

##### **Figura 8.**

*Acelerómetro de SparkFun.*



*Nota.* Dispositivo que tiene SparkFun para medir la aceleración.

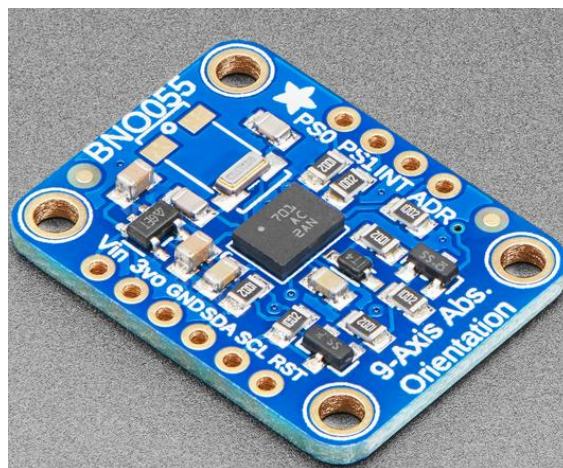
Fuente (SparkFun, 2019).

### **Adafruit**

Adafruit 9-DOF Absolute Orientation IMU Fusion Breakout - BNO055 es una IMU popular que también ofrece capacidades de fusión de sensor (Industries, Adafruit, 2023)

### **Figura 9.**

*Acelerómetro de Adafruit*



*Nota.* Dispositivo que ofrece Adafruit.

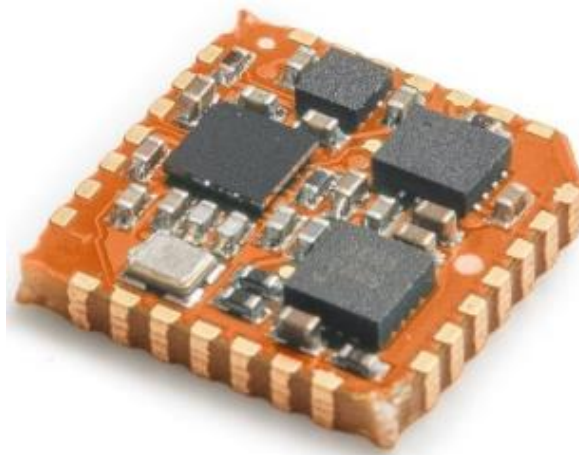
Fuente (Industries, Adafruit, 2023).

## **Xsens**

MTi 1-series son IMUs de grado profesional con una amplia gama de capacidades y características avanzadas (XSENS, 2019).

### **Figura 10.**

*Acelerómetro de Xsens*



*Nota.* Dispositivo que ofrece Xsens.

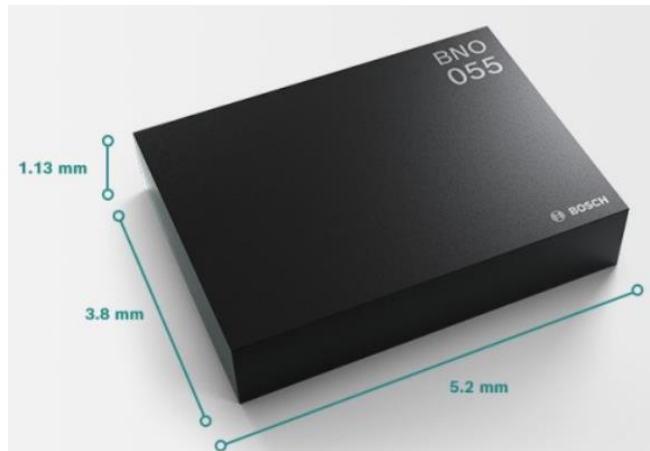
Fuente (XSENS, 2019).

## **Bosch Sensortec**

Aunque Bosch Sensortec produce principalmente sensores MEMS, como el BNO055, estas soluciones pueden integrarse en otros dispositivos o placas. No venden IMUs integrados directamente al público en general, sino que los proveen como componentes para otros fabricantes (BOSCH, 2023).

### **Figura 11.**

*Acelerómetro de Bosch Sensortec*



*Nota.* Dispositivo que ofrece Bosch Sensortec, no es recomendado para desarrolladores principiantes.

Fuente (BOSCH, 2023).

### **Inertial Labs**

OS3D (Fusion) es un sensor AHRS con capacidades avanzadas, que incluyen fusión de datos y corrección de errores (Canal Geomatics, 2023).

### **Figura 12.**

*Acelerómetro de Inertial Labs*



*Nota.* Dispositivo que comercia Inertial Labs parecido a un acelerómetro.

Fuente (Canal Geomatics, 2023).

### **WitMotion**

WT901BLECL es un dispositivo con MPU9250 que ofrece capacidades bluetooth para la transmisión de datos (WitMotion, 2016).

### **Figura 13.**

*Acelerómetro WitMotion*



*Nota.* Acelerómetro bluetooth que ofrece WitMotion.

Fuente (WitMotion, 2016).

### **4.3. Cuadro Comparativo de Marcas**

Este cuadro comparativo muestra las características de los posibles dispositivos de las marcas mencionadas, que se podrían utilizar para un sistema de detección de caídas:

### **Tabla 3.**

*Cuadro comparativo de marcas de acelerómetros*

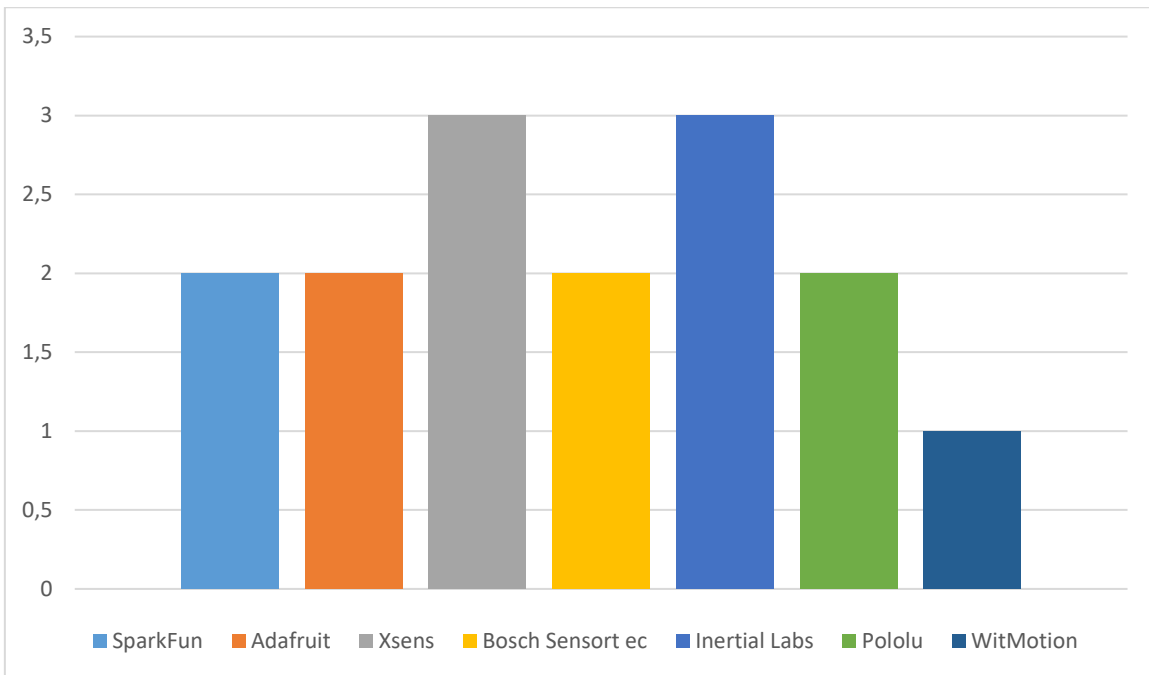
<b>Características</b>	<b>SparkFun</b>	<b>Adafruit</b>	<b>Xsens</b>	<b>Bosch Sensortec</b>	<b>Inertial Labs</b>	<b>Pololu</b>	<b>WitMotion</b>
<b>Tamaño y portabilidad</b>	Mediano	Mediano	Grande	Mediano	Grande	Mediano	Pequeño
<b>Comunicación</b>	Variada	Variada	BLE	Variada	BLE/WiFi	BLE	BLE
<b>Integración de sensores</b>	Básica	Básica	Avanzada	Avanzada	Avanzada	Básica	Básica
<b>Precisión</b>	Estándar	Estándar	Alta	Alta	Alta	Estándar	Estándar
<b>Precio</b>	Bajo	Bajo	Alto	Mediano	Alto	Mediano	Bajo
<b>Soporte y documentación</b>	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
<b>Aplicaciones comunes</b>	Práctica	Práctica	Profesional	Consumo	Profesional	Robótica	Monitorización

*Nota.* Comparación entre las características que tiene cada dispositivo de las diferentes marcas.

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 14.**

*Tamaño y portabilidad*

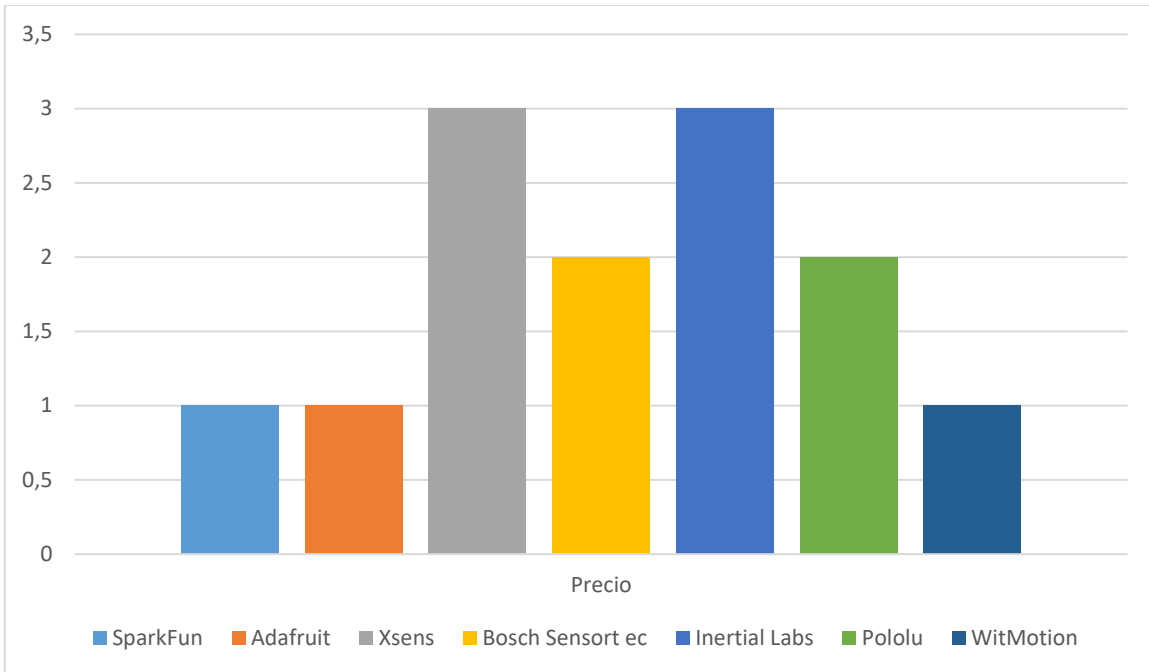


*Nota.* El dispositivo de WitMotion tiene un menor tamaño comparado con el resto.

Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 15.**

*Precio*



*Nota.* WitMotion, SparkFun y Adafruit, son los que tienen los dispositivos con menor costo.

Fuente: Elaboración Propia.

Tras una cuidadosa evaluación de los diversos sensores disponibles en el mercado, se considera que el WT901BLECL de WitMotion se destaca como una opción óptima para la implementación de un sistema de detección de caídas en adultos mayores.

Al comparar el WT901BLECL con otras alternativas en el mercado, se observó que aunque marcas como Xsens e Inertial Labs ofrecen características avanzadas y mayor precisión, su enfoque en el mercado industrial y alto costo podría no ser rentable para esta investigación. Por otro lado, los dispositivos de marcas como SparkFun, Adafruit y Pololu, tienen un diseño que está orientado más a desarrolladores y podrían requerir de adaptaciones extras para ser aplicables para el contexto de detectar caídas.

WT901BLECL se caracteriza por su portabilidad y diseño compacto, lo que lo hace cómodo para el usuario final. Esto es especialmente importante al dirigirse a la población de adultos mayores (WitMotion, 2016).

Además, cuenta con una capacidad de Conectividad Bluetooth Low Energy (BLE) para transmitir datos en tiempo real con un consumo energético mínimo es esencial para garantizar que las alertas se envíen de manera inmediata tras detectar una caída, asegurando así una pronta respuesta (WitMotion, 2016)

WitMotion también ofrece una solución más económica en comparación con dispositivos de grado industrial, lo que lo hace bastante atractivo, manteniendo una relación costo-beneficio para su aplicación.

Con la implementación del MPU9250 en el dispositivo, el WT901BLECL ofrece una combinación efectiva de acelerómetro, giroscopio y magnetómetro, lo que permite una detección precisa y multidimensional de los movimientos y posiciones del adulto mayor (WitMotion, 2016).

Por último, el dispositivo al estar destinado para el uso de personas mayores, es esencial que el sensor requiera mínimas intervenciones para su configuración y mantenimiento, por lo que WT901BLECL cuenta con una configuración y calibración predeterminada lista para su utilización (WitMotion, 2016).

Por eso, se considera que el WT901BLECL presenta un balance ideal entre funcionalidad, coste y usabilidad, cubriendo todos los requerimientos de los objetivos, siendo la opción más óptima para el desarrollo de esta investigación.

#### **4.4. Análisis de Movimientos que Pueden Conducir a Caídas en Adultos Mayores**

Las personas mayores pueden sufrir caídas debido a diferentes movimientos que se relacionan con los factores de riesgo intrínsecos y extrínsecos. Estos movimientos son:

- Cambio repentino de posición: Levantarse bruscamente de una silla o la cama puede provocar mareos o desequilibrios, sobre todo si la persona padece de hipotensión ortostática (Cabrera & López, 2013). Estos síntomas son producidos por movimientos rápidos
- Giro de dirección: Cambiar bruscamente de dirección al caminar, especialmente en suelos irregulares o resbaladizos, puede provocar desequilibrio. (Judge, 2023).
- Estiramiento excesivo: Al estirarse demasiado, como al intentar alcanzar algo en una repisa alta o agacharse para recoger algo del suelo, puede ocasionar una caída (Cabrera & López, 2013).
- Caminar descuidadamente: Es posible que un adulto mayor no note obstáculos en su camino si se distrae al caminar, por ejemplo, mirando un dispositivo móvil (Cabrera & López, 2013).
- Desplazamiento: Moverse de un lugar a otro, como de una silla de ruedas a una cama, puede resultar complicado y provocar desequilibrios debida a la poca habilidad y fuerza que tienen los adultos mayores (Judge, 2023).

Los movimientos pueden empeorar debido a factores de riesgo como la debilidad muscular, problemas de visión, medicamentos que afectan el equilibrio, y problemas neurológicos o cardíacos. Los factores externos, como iluminación inadecuada, obstáculos en el camino y calzado inapropiado, también pueden contribuir a las caídas (Portela, 2021).

#### **4.5. Movimientos detectables por WT901BLECL**

Algunos movimientos que son detectables por el dispositivo seleccionado anteriormente son:

#### **Figura 16.**

*Tabla de movimientos que pueden ser detectados por el sensor*

	<b>Movimientos</b>	<b>Detectable por el dispositivo</b>
<b>Inicio de la marcha</b>	Aceleración inicial al ponerse de pie y caminar.	Sí
<b>Marcha</b>	Longitud y ritmo de los pasos.	Sí
	Variabilidad en la longitud de los pasos.	Sí
	Velocidad de la marcha.	Sí
	Cambios en la dirección al caminar.	Sí
<b>Equilibrio</b>	Estabilidad al mantenerse de pie.	Sí
	Balanceo de los brazos al estar de pie.	Sí
	Capacidad de girar 360 grados sin caerse.	Sí
	Mantenerse de pie con los pies juntos y los ojos cerrados.	Sí
<b>Cambios de postura</b>	Cambios en la posición de sentado a de pie y viceversa.	Sí
	Estabilidad al realizar movimientos.	Sí
<b>Caídas</b>	Movimientos bruscos o inusuales que podrían preceder a una caída.	Sí
	Cambios repentinos en la orientación, indicativos de una posible caída.	Sí

---

Inmovilidad prolongada después de una posible caída.	Sí
--	----

---

*Nota.* En esta tabla se identifican los diferentes movimientos que puede tener el adulto mayor y se analiza si el dispositivo es capaz de detectarlos.

Fuente: Elaboración Propia.

#### **4.6. Desarrollo del diseño del sistema**

##### **WitMotion App**

Para el desarrollo del diseño de esta investigación es importante señalar la interfaz gráfica de la cual se van a recolectar los datos, se usará la aplicación que tiene WitMotion la conexión de sus sensores y será la fuente principal de donde se analizarán las acciones que se requieren poner en el diagrama de flujo.

##### **Figura 17.**

*Interfaz principal de la aplicación de WitMotion*



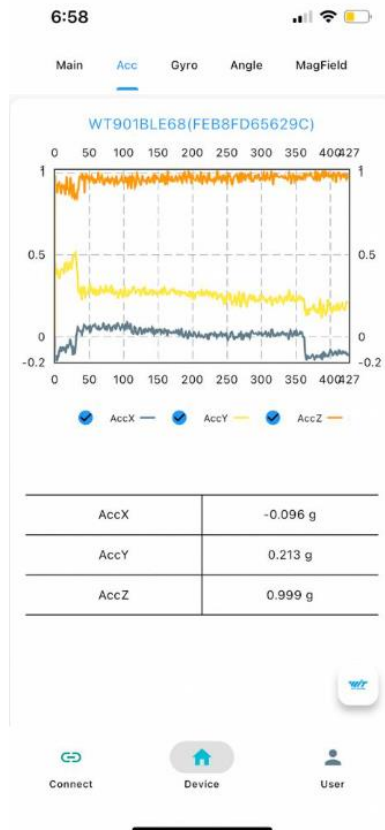
*Nota.* La interfaz cuenta con todos los datos generales que transmite el sensor y la posición gráfica en el espacio del dispositivo.

Fuente (WitMotion, 2016).

Esta es la interfaz principal o “Main”, que permite al usuario tener una visión general de todos los datos numéricos de cada uno de los componentes que contiene el sensor, esto incluye al acelerómetro, al magnetómetro y al giroscopio, todos estos en los tres ejes X Y Z.

### **Figura 18.**

*Interfaz de acc*



*Nota.* Interfaz en la que se mide la aceleración.

Fuente (WitMotion, 2016).

Aquí se muestra la interfaz de aceleración en la que se realizarán todos los estudios y las pruebas correspondientes para detectar las caídas.

### **Ubicación del Dispositivo**

El mejor lugar para la colocación del dispositivo en el cuerpo de un adulto mayor es en la parte del tórax, que es la parte del cuerpo humano más estable al momento de que una persona experimenta un movimiento, a diferencia de las extremidades que estas pueden generar falsos positivos al momento de realizar las pruebas.

### **Figura 19.**

*Ubicación del dispositivo*



*Nota.* Lugar más adecuado en el cuerpo humano para implementar el dispositivo.

Fuente: Elaboración propia.

### **Definición de caídas**

Antes del desarrollo del diseño, primero se debe definir las caídas específicas que van a ser detectadas por el sistema. Es decir establecer un enfoque únicamente en caídas críticas que requieran ayuda urgente.

A continuación se presentan las caídas más importantes:

### **Figura 20.**

*Caída frontal de pie*

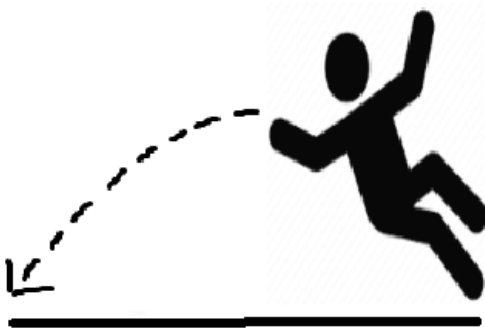


*Nota.* Simulación de una caída hacia adelante.

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 21.**

*Caída lateral izquierda*



*Nota.* Simulación de una caída hacia el lado izquierdo.

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 22.**

*Caída lateral derecha*



*Nota.* Simulación de una caída hacia el lado derecho.

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 23.**

*Caída de espalda de pie*



*Nota.* Simulación de una caída hacia atrás.

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 24.**

*Caída al levantarse de una silla*



*Nota.* Simulación de una caída al tratar de levantarse de una silla o alguna superficie y caer.

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 25.**

*Caída de la cama*



*Nota.* Simulación de una caída desde la cama.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez identificadas las diferentes caídas que el sistema será capaz de detectar, se procedió con la creación del diseño del diagrama de flujo en Automate que sirve para automatizar cada parte de este proceso y para identificar los movimientos producidos por la aceleración, de igual manera para determinar el momento exacto en el que ocurre una caída.

En el diagrama de flujo se agregaron bloques de decisión para especificar las acciones que se requieren tomar para determinar cada una de las caídas establecidas anteriormente. Pero antes se explicará el funcionamiento de cada bloque y flujo agregado en este sistema.

### **Figura 26.**

*Comienzo del diagrama de flujo*



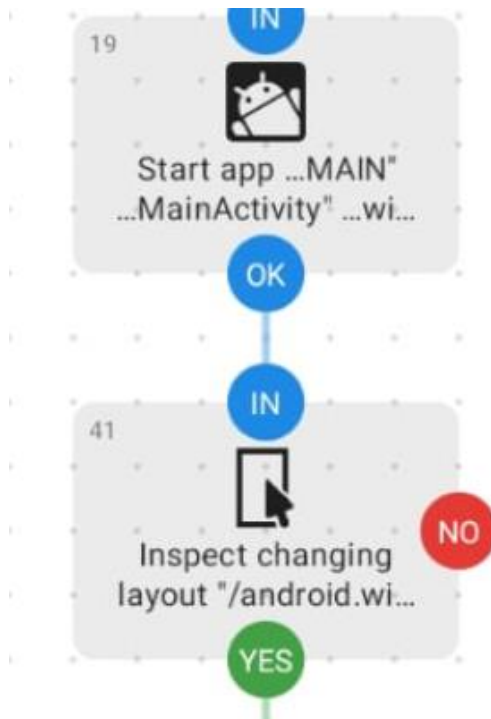
*Nota.* Se da inicio al flujo de trabajo.

Fuente: Elaboración propia.

En primer lugar está el bloque “Flow beginning”, que es el encargado de comenzar cualquier flujo de trabajo, seguido de este se agregó un bloque llamado “Start app”, el cual permite abrir la aplicación de WitMotion para poder interactuar dentro de la interfaz.

**Figura 27.**

*Bloque inspect layout*



*Nota.* Este bloque inspecciona la interfaz del usuario.

Fuente: Elaboración propia.

Después se agrega el bloque Inspect layout que permite inspeccionar directamente el diseño de la interfaz del usuario, el cual se utilizará para grabar los valores iniciales de la aceleración.

**Figura 28.**

*Campos del bloque inspect layout*

✕
**Inspect layout**
🔔 SAVE

Inspect user interface layout.

---

Options

Proceed  
 When UI layout changed

RECORD INTERACTIONS

Recorded interactions

Input arguments

Package  
 com.wit.wit\_app

XPath expression  
 /android.widget.FrameLayout[@android

Result type  
 Number

Output variables

Result  
 contentDescription

Layout

*Nota.* Se muestran los campos para poder configurar el bloque.

Fuente: Elaboración propia.

Dentro de este bloque existen diferentes campos, primero se configuró la opción para grabar las interacciones de los usuarios en la interfaz de aceleración, mediante la cual se mantuvo pulsado en la gráfica de datos para que grabe los valores iniciales. Estas cifras se capturan en un formato XML y permite almacenar los datos de forma compatible como se muestra en el siguiente fragmento:

```
"<android.view.View android:contentDescription="WT901BLE68(FF:1D:27:FC:18:4E) 0 50
100 150 193 0 0 0.2 0.4 0.6 0.8 1 1 0 50 100 150 193 0 0 0.2 0.4 0.6 0.8 1 1 AccX -0.003 g AccY
```

```
0.040 g AccZ 1.003 g" android:enabled="true" android:focusable="true"
android:layout_height="1147px" android:layout_width="720px" android:layout_x="0px"
android:layout_y="154px">
```

Los valores se almacenan dentro de un contenedor llamado `contentDescription` con el cual se crea una variable con este nombre que nos permitirá guardar los valores iniciales.

Después de agregar este bloque, se deben añadir 3 bloques más llamados “set variable” en los cuales se colocarán los valores iniciales constantemente dentro de estas variables.

**Figura 29.**

*Bloque set variable*

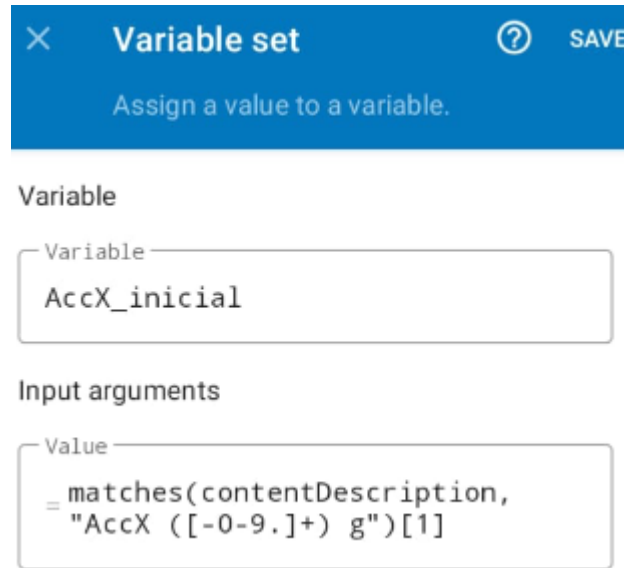


*Nota.* Se usa este bloque para colocar un valor a una variable.

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 30.**

*Configuración del bloque set variable*



*Nota.* Se agrega una fórmula para que la variable pueda almacenar los datos que se almacenan dentro de “contentDescription”,

Fuente: Elaboración propia.

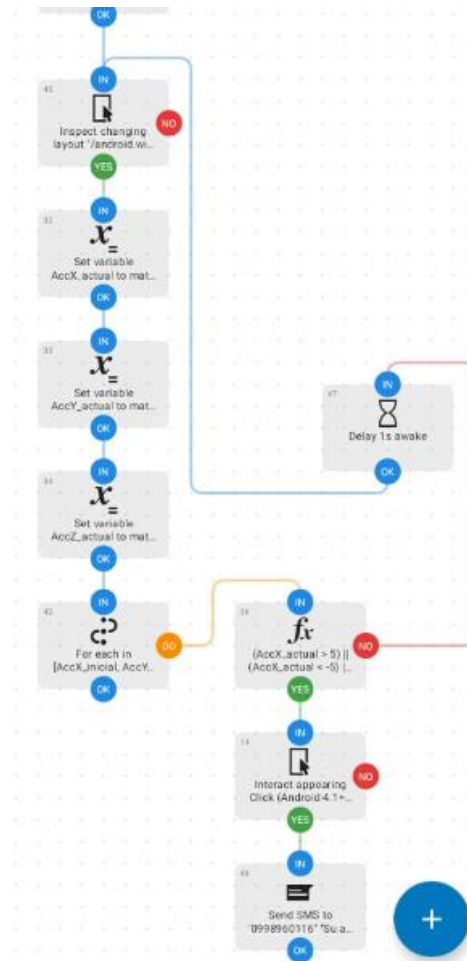
Se repite este mismo proceso para obtener los valores actuales.

Una vez ya definidos los bloques para las variables de los valores iniciales y actuales, se debe crear un bucle con el bloque “for each” que permita tener un monitoreo constante de los datos. Adicionalmente, se necesita crear una condición usando el bloque “if” en el que se determine cuando la aceleración del valor actual sea mayor a la aceleración del valor inicial, esta condición se debe cumplir bajo un valor estadístico que aseguré que se trata de una caída, este se obtuvo de las pruebas de las distintas caídas realizadas con el dispositivo, si la expresión es verdadera, la grabación se detendrá y enviará un mensaje de texto a un familiar

de emergencia. Al contrario, si la expresión es falsa y la aceleración no sobrepasa el umbral establecido, la grabación continuará hasta que lo haga.

**Figura 31.**

*Flujo del bucle*



*Nota.* Flujo del bucle que permite que los valores actuales se actualicen constantemente.

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 32.**

*Bloque for each*

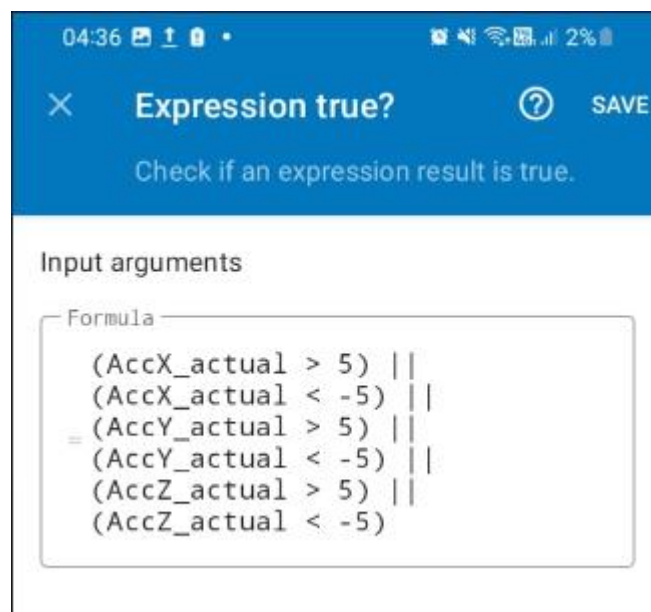


*Nota.* Configuración del bucle, se crea una variable que contenga los valores de los 3 ejes.

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 33.**

*Bloque if*



*Nota.* Se establece una condición que detenga el bucle cuando la aceleración en cualquiera de los ejes supere el valor +/- 5.

Fuente: Elaboración propia.

En la fórmula de la condición, el umbral de (-5, +5) es solo un valor promedio que a partir de esta, se puede interpretar que hubo una aceleración y se identifica como una caída, esta cifra se explicará con mayor exactitud más adelante.

Finalmente el diagrama de flujo se encarga de enviar una alerta por mensaje de texto a un familiar o algún encargado del cuidado del adulto mayor notificando que ha sufrido una caída y pueda ir a ayudarlo rápidamente.

#### **Figura 34.**

*Bloque send*



*Nota.* Se utiliza para enviar mensajes de texto.

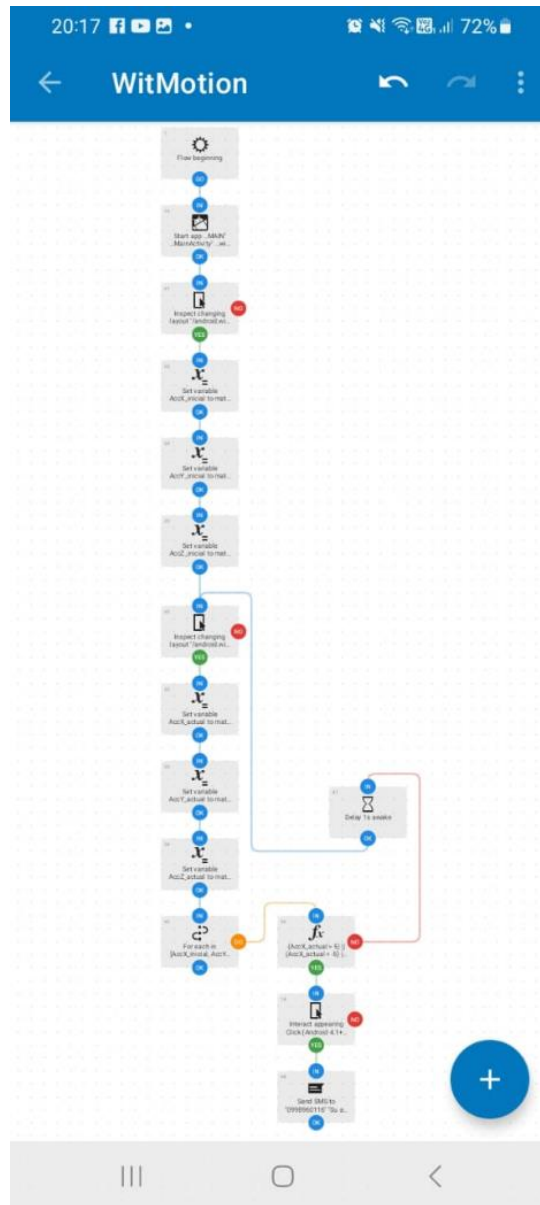
Fuente: Elaboración propia.

#### **Diagrama de flujo para las caídas**

El diagrama de flujo completo que se realizó para identificar una caída es el siguiente:

**Figura 35.**

*Diagrama de flujo completo*



*Nota.* Se muestra el diseño del diagrama de flujo completo que se utilizará para detectar caídas.

Fuente: Elaboración propia.

Las caídas que se pueden detectar con este diagrama son:

**Figura 36.**

*Caídas detectables*

<b>Caída</b>	<b>¿Se pudo detectar?</b>	<b>Explicación</b>
<b>Caída frontal de pie</b>	Sí	El diagrama de flujo está diseñado para que pueda detectar absolutamente cualquier tipo de caída, esto es posible debido a que el sistema está configurado con un bucle que está constantemente monitoreando la aceleración y tiene la capacidad de captar cuando exista un cambio brusco en la aceleración, es decir no depende de alguna caída en específico.
<b>Caída lateral izquierda</b>	Sí	
<b>Caída lateral derecha</b>	Sí	
<b>Caída de espalda de pie</b>	Sí	
<b>Caída al levantarse de una silla</b>	Sí	
<b>Caída de la cama</b>	Sí	

---

*Nota.* Se identifican las caídas que se pueden detectar con este sistema.

Fuente: Elaboración propia.

## CAPÍTULO V: IMPLEMENTACIÓN

---

### 5.1. Implementación de la aplicación

Una vez elegido el sistema que se utilizó para el desarrollo de este proyecto, se procedió con la elaboración de pruebas funcionales y no funcionales del dispositivo, recopilando los posibles movimientos que la aplicación sea capaz de detectar con el acelerómetro.

La aplicación para el diseño del sistema fue Automate que fue de gran ayuda para crear flujos de tareas automatizadas que permiten realizar diferentes tipos de acciones, esto con la finalidad de poder interactuar con el software del sensor y que sea posible detectar un aumento de la aceleración cuando el adulto mayor sufra una caída. También se agregaron bloques para cuando el diagrama de flujo detecte una caída sea capaz de enviar alertas a los familiares para una pronta ayuda.

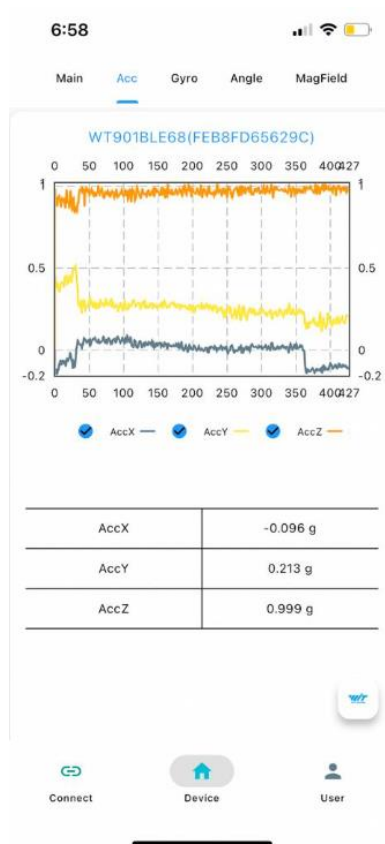
### 5.2. Implementación de la investigación

Antes de la implementación de las pruebas se hizo una investigación del funcionamiento de este software para entenderlo completamente antes de interpretar los resultados de las pruebas.

La interfaz "Acc" del acelerómetro es con la que se trabajó durante toda la investigación. Aquí se muestra un monitoreo constante de la aceleración en sus tres ejes X, Y y Z cuya información es reflejada en una escala a tiempo real de la cual en el lado izquierdo se tienen los valores que parten desde el 0 como punto de referencia y van cambiando en un rango que va desde números negativos hasta números positivos que aumentan su valor distintivamente de la aceleración que suceda. Y en el lado inferior se encuentra el número de instancias que van avanzando con el tiempo.

**Figura 37.**

*Interfaz de aceleración*



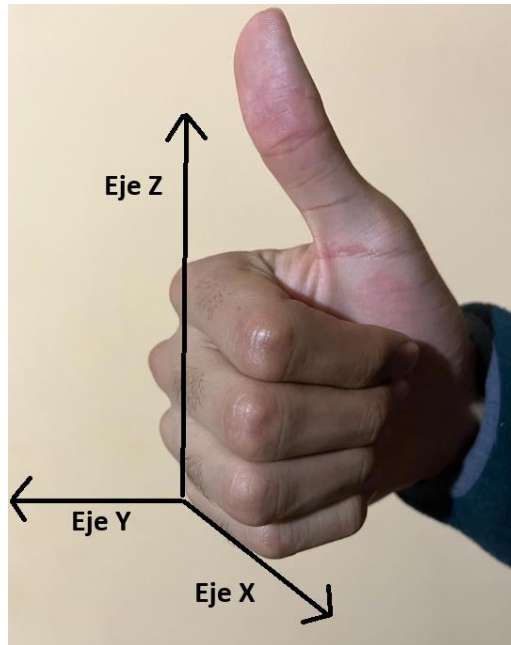
*Nota.* Imagen para entender como se van a realizar las pruebas.

Fuente (WitMotion, 2016).

La aceleración X (AccX) muestran los movimientos laterales, de derecha a izquierda, mientras que la aceleración Y (AccY) indica los movimientos frontales, hacia adelante y atrás. Por último, los movimientos de la aceleración Z (AccZ) presentan alteraciones que van de arriba hacia abajo y viceversa. A continuación se refleja una imagen para entenderlo mejor:

**Figura 38.**

*Orientación de un objeto en el espacio tridimensional*



*Nota.* Explicación del movimiento de un objeto en los 3 ejes del sensor.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 38, el eje Y se refiere hacia la dirección que está apuntando la mano, el eje X es la dirección que están apuntando los dedos y el eje Z es hacia donde está apuntando el pulgar. Así es como se mueve un objeto en el espacio tridimensional y será muy importante para comprender como mide la aceleración el sensor.

Una vez definido estos puntos importantes acerca del funcionamiento de la aplicación sobre la cual se realizan las pruebas. Es importante aclarar el sistema de automatización de tareas que se utilizó para crear acciones dentro de la aplicación y de esta manera ser capaces de que al momento de detectar una caída, enviar una notificación o alerta de auxilio.

El sistema que se utilizó es una app móvil llamada "Automate" que está solo disponible en Android, esta aplicación es capaz de automatizar diferentes tareas en el teléfono inteligente. Utiliza diagramas de flujo para automatizar los dispositivos y hacer que cambien

configuraciones como Bluetooth, Wi-Fi, NFC, o realicen acciones como enviar mensajes de texto o correos electrónicos (AndroidAPS community, 2023). Esto quiere decir, que esta aplicación permite al dispositivo móvil interactuar con la aplicación del sensor para la investigación

Los datos recopilados para esta investigación fueron elaborados en base a un estudio previo de diversos documentos y videos acerca del funcionamiento teórico del software proporcionados por la empresa proveedora del producto, esto con el objetivo de familiarizarse con la interfaz antes de la obtención de los resultados. Además, es necesario calibrar la configuración del sistema para una recopilación de datos más confiable.

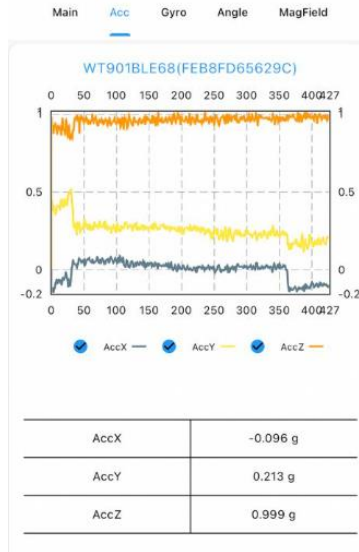
Este proceso se hizo bajo la supervisión de un profesional de la salud, experto en el área de geriatría que estuvo presente durante todo el proceso de experimentación, sugiriendo los lugares más óptimos para la colocación del dispositivo en el cuerpo del adulto mayor y las posibles caídas que pueden tener.

### **5.3. Pruebas funcionales.**

#### **5.3.1. Pruebas del sensor**

#### **Figura 39.**

*Aceleración inicial*



*Nota.* Prueba de la aceleración inicial que tiene el sensor y referencia de una marcha normal.

Fuente: Elaboración Propia.

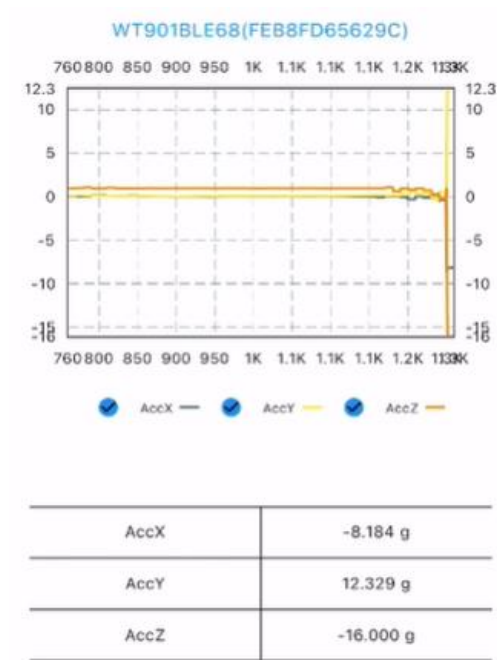
Como se puede observar en el cuadro que se muestra en la figura 39, estos son los valores iniciales de la aceleración que transmite la aplicación, que van en un rango de (-0.2 a 1), estos representan también la transmisión de datos de una caminata normal de un adulto mayor.

### **Caída frontal de pie**

Las caídas frontales son de las más comunes y de las más graves, en este gráfico se muestra una simulación real de una caída hacia al frente de una persona que puede estar caminando o bajando unas gradas. Como se puede observar, al momento de que ocurre el fenómeno se elevan muy significativamente los valores de todos los ejes, como se trata de una caída hacia adelante, la línea amarilla del eje Y aumentó en una dirección positiva 12.329 g, la línea gris del eje X aumentó en una dirección negativa -8.184 g y de igual manera la línea naranja del eje Z que alcanzó un valor de -16 g.

**Figura 40.**

*Prueba de una caída frontal de pie*



*Nota.* Prueba con el sensor de una caída hacia adelante.

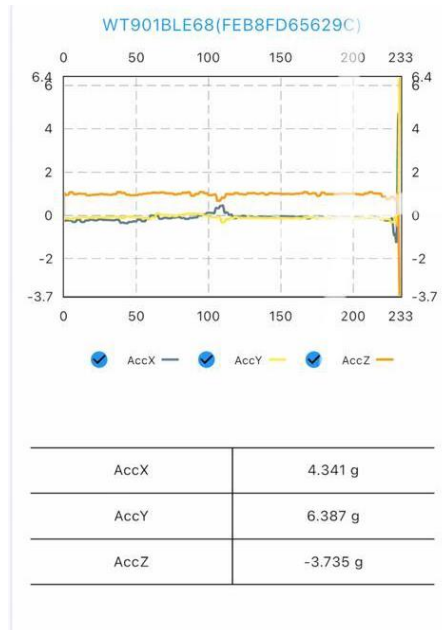
Fuente: Elaboración propia.

### **Caída lateral Izquierda**

Las caídas laterales comúnmente se producen cuando el adulto mayor tiene un desequilibrio en su marcha habitual y tiende a perder la estabilidad cayéndose para los lados. En la siguiente gráfica se muestra una simulación de cómo sería una caída real para el lado izquierdo.

**Figura 41.**

*Prueba de caída lateral izquierda*



*Nota.* Prueba de una caída hacia el lado izquierdo.

Fuente: Elaboración propia.

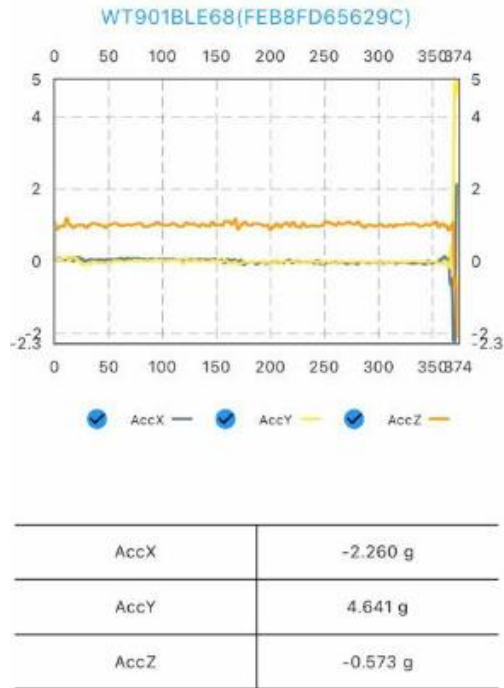
Como se puede observar en la figura 41, en una caída lateral para el lado izquierdo, la aceleración del eje X representado por la línea gris, aumenta en una dirección positiva, a un valor de 4.341 g.

### **Caída lateral derecha**

Igual que la caída lateral izquierda, esta se provoca por la pérdida del equilibrio del adulto mayor que tiende a irse para los lados. En la gráfica se puede ver que cuando ocurre una caída para el lado derecho, la aceleración en el eje X se incrementa a una dirección negativa, con un valor de -2.260 g.

### **Figura 42.**

*Prueba de caída lateral derecha*



*Nota.* Prueba de una caída hacia el lado derecho.

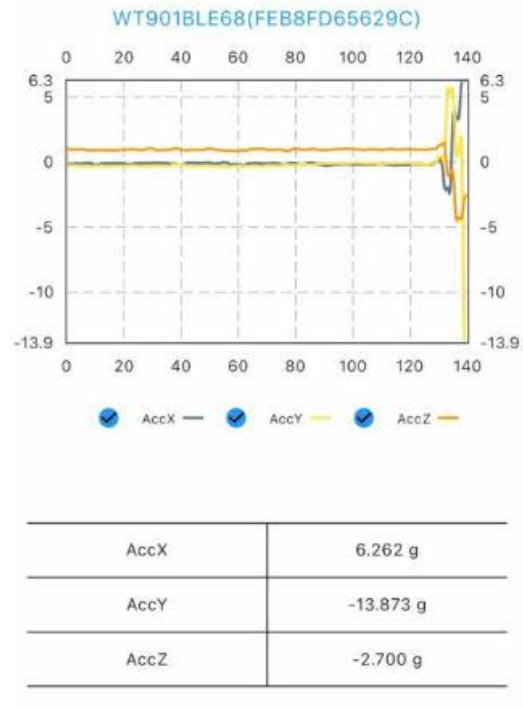
Fuente. Elaboración propia.

### Caída de espalda de pie

Al contrario de una caída frontal, aquí la aceleración en el eje Y aumenta en una dirección negativa, alcanzando un valor de hasta -13.873 g.

### Figura 43.

*Prueba de caída de espaldas*



*Nota.* Prueba de una caída hacia atrás de pie.

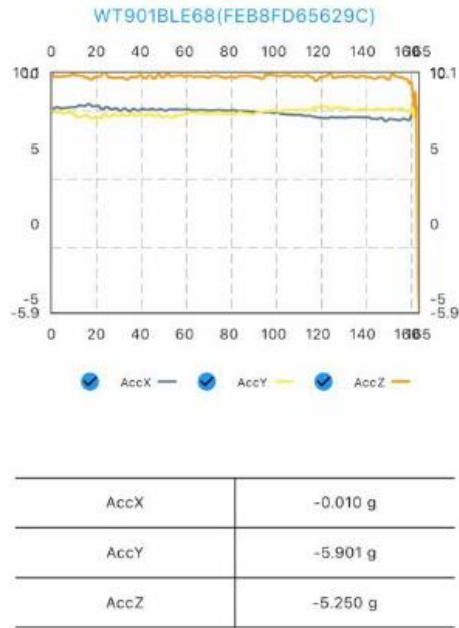
Fuente: Elaboración propia.

### Caída al levantarse de una silla

Estas caídas ocurren cuando los adultos mayores no tienen la fuerza suficiente para levantarse o no existe un soporte que ayude a ponerse de pie. En el siguiente gráfico se observa la simulación de este movimiento, se puede denotar que existe un aumento significativo de aceleración en la dirección negativa de los ejes Y y Z.

#### Figura 44.

*Prueba de caída al levantarse*



*Nota.* Prueba de una caída al intentar levantarse de una silla.

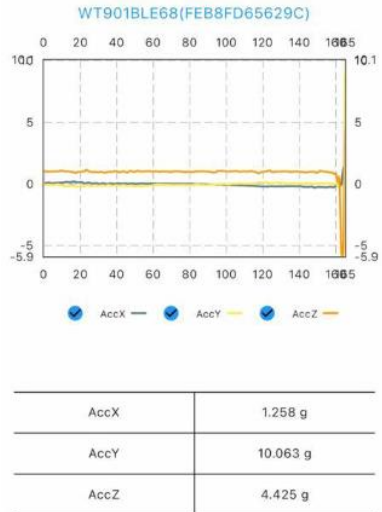
Fuente: Elaboración propia.

### Caída de la Cama

Una de las caídas que también tienen un alto riesgo para el adulto mayor ocurren cuando están acostados en su cama e inconscientemente se mueven cuando están dormidos y se desploman en el suelo. La siguiente gráfica representa la simulación de una caída de un adulto mayor acostado en la cama, en este caso se evidenció un aumento considerable de la aceleración sobre el eje Y de 10.063 g.

### Figura 45.

*Prueba de caída de la cama*



*Nota.* Prueba de una caída de la cama.

Fuente: Elaboración propia.

#### 5.4. Pruebas no funcionales.

Se hicieron pruebas adicionales de las otras características que puede medir el sensor y que podrían ser de ayuda para mejorar la precisión del sistema de detección de caídas en investigaciones futuras.

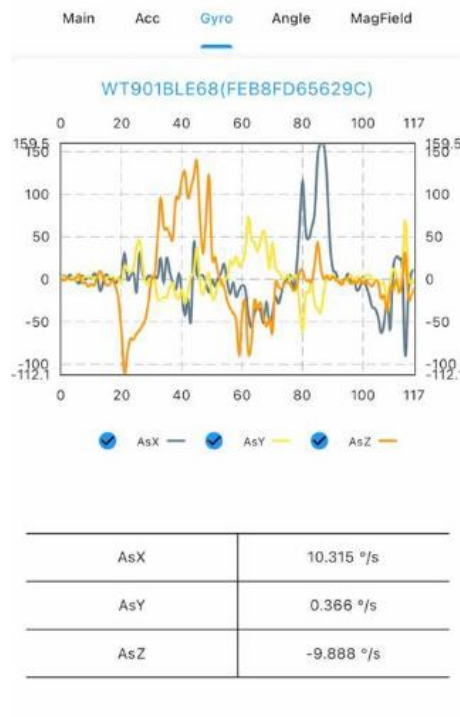
#### Giroscopio

Después de probar el funcionamiento del giroscopio se determinó que mide la aceleración rotativa para una dirección específica dependiendo del eje, por ejemplo, si el dispositivo tiene una rotación de derecha a izquierda, aceleración en el eje X aumenta, si se rota de arriba hacia abajo la aceleración en el eje Y va a aumentar y por último la si se gira diagonalmente se altera la aceleración en el eje Z.

La unidad de medida que tiene el giroscopio es el grado por segundo ( $^{\circ}/s$ ).

**Figura 46.**

*Interfaz del giroscopio*



*Nota.* Pruebas realizadas en el giroscopio del dispositivo.

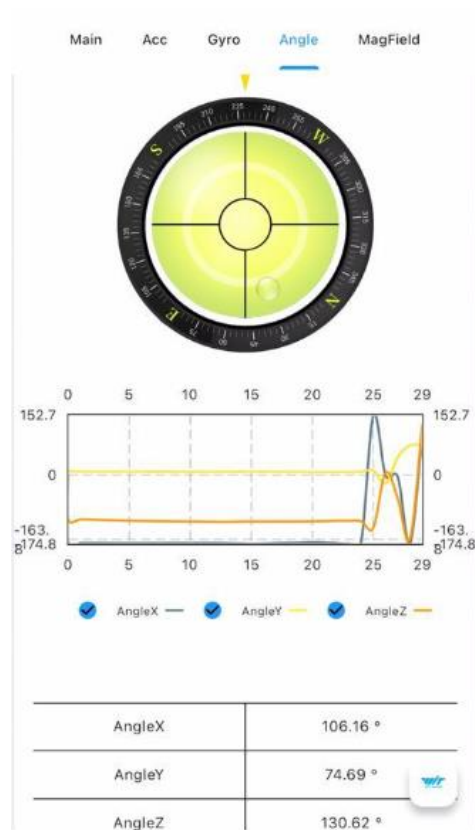
Fuentes: Elaboración propia.

## Ángulo

En esta interfaz se pueden hacer pruebas sobre la orientación que tiene el dispositivo en el espacio tridimensional, la medición de estos ángulos se miden según la inclinación del dispositivo y su unidad principal es el grado (°).

**Figura 47.**

*Interfaz del ángulo*



*Nota.* Pruebas realizadas en la interfaz del ángulo.

Fuentes: Elaboración propia.

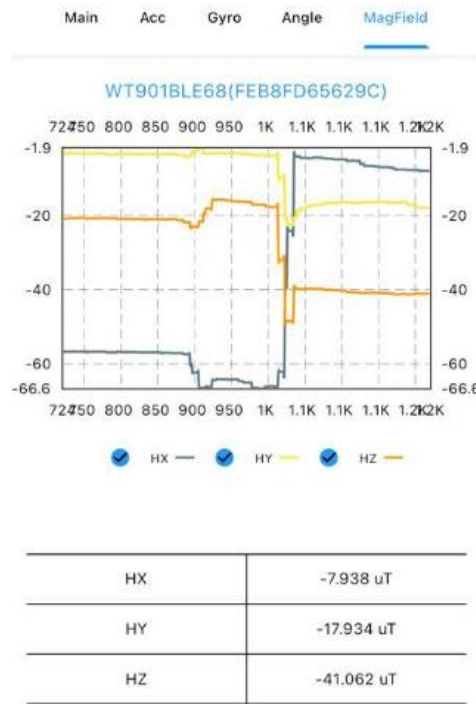
## **Magnetómetro**

Con esta interfaz se hicieron pruebas para medir el campo magnético en el que se encuentra el dispositivo, esto fue útil para identificar la posición del dispositivo, por ejemplo, en el gráfico se muestra primero un monitoreo constante con el dispositivo en su punto de

referencia principal, pero al girar el sensor 90 grados hacia la derecha, se cambia la dirección y la intensidad en el eje X a esa posición en específica.

**Figura 48.**

*Interfaz del magnetómetro*



Nota. Se realizaron pruebas en la interfaz del magnetómetro.

Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente, se realizó una prueba para medir la distancia que puede separarse el sensor del dispositivo, se determinó que el rango máximo que se puede alcanzar es de 7 metros y si existen paredes que obstaculizan su conexión el rango se reduce a 3.5 metros.

## 5.5. Resultados

Para una visualización completa de los resultados obtenidos, se muestra la siguiente tabla que contiene los aumentos de aceleración que tuvo cada uno de los ejes en cada una de las caídas.

**Tabla 4.**

*Tabla de resultados*

<b>Caída</b>	<b>Eje X</b>	<b>Eje Y</b>	<b>Eje Z</b>
<b>Caída frontal de pie</b>	-8.184 g	12.329 g	-16 g
<b>Caída lateral izquierda</b>	4.341 g	6.387 g	-3.735 g
<b>Caída lateral derecha</b>	-2.260 g	4.641 g	-0.573 g
<b>Caída de espalda de pie</b>	6.262 g	-13.873 g	-2.700 g
<b>Caída al levantarse de una silla</b>	-0.010 g	-5.901 g	-5.250 g
<b>Caída de la cama</b>	1.258 g	10.063 g	4.425 g
<b>Promedio Total</b>	0.102 g	1.408 g	-3.114 g

*Nota.* Tabla de los resultados de la aceleración de las caídas en cada uno de los ejes.

Fuente: Elaboración propia.

Este cuadro contiene todos los resultados obtenidos en la implementación de pruebas del sensor, se puede identificar que en una caída se detecta una mayor aceleración en el eje Z con un promedio de  $-3.114$  g con una dirección negativa, es decir en un movimiento vertical hacia abajo que es el más representativo a la hora de una caída.

Finalmente, en base a la tabla, se realiza un promedio entre los valores más altos presentados en cada eje que determinan cualquier tipo de caída, con un rango en la dirección

positiva que va desde 5 hasta 12 g, y en la dirección negativa que va desde -5 hasta -16. Estos rangos ayudarán a determinar con seguridad cuando ocurra una caída.

### **Resultados del sistema**

A continuación se muestra el resultado del flujo del sistema de detección de caídas que se realizó con la aplicación Automate para automatizar el dispositivo.

Se presenta la secuencia de los bloques que crea la aplicación al momento de iniciar el flujo:

11-21 20:22:37.198 | 90@1: Flow beginning

11-21 20:22:37.202 | 90@19: App start

11-21 20:22:37.228 | 90@41: Inspect layout

11-21 20:22:37.521 | 90@23: Variable set

11-21 20:22:37.526 | 90@24: Variable set

11-21 20:22:37.535 | 90@25: Variable set

11-21 20:22:37.540 | 90@45: Inspect layout

11-21 20:22:37.600 | 90@32: Variable set

11-21 20:22:37.607 | 90@33: Variable set

11-21 20:22:37.611 | 90@34: Variable set

11-21 20:22:37.615 | 90@42: For each

11-21 20:22:37.619 | 90@36: Expression true?

11-21 20:22:37.623 | 90@14: Interact

11-21 20:22:37.727 | 90@48: SMS send

11-21 20:22:37.816 W 90@48: 1 SMS sent to 0998960116

11-21 20:22:37.816 I 90@0: Stopped at end

Esta secuencia significa que el diagrama de flujo cumple con el objetivo de la investigación.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

---

Se logró diseñar un sistema automatizado con IoT que permite monitorear constantemente los movimientos de los adultos mayores, midiendo constantemente los cambios en la aceleración del dispositivo para detectar el instante exacto en el que ocurre una caída y así, mandar una alerta de auxilio a un familiar por mensaje de texto.

Se realizó un estudio exhaustivo para identificar los movimientos que conducen a caídas en los adultos mayores, se analizaron factores críticos, diferentes tipos de caídas y las consecuencias que pueden llegar a tener afectando su calidad de vida.

Se elaboró una comparación entre los distintos tipos de acelerómetros con tecnología IoT para seleccionar el más adecuado para esta investigación, finalmente se escogió el dispositivo WT901BLECL que presenta un mejor balance entre funcionalidad, coste y usabilidad.

Se realizaron pruebas con el dispositivo para simular cada tipo de caída que pueda presentar un adulto mayor, de esta forma se pudo interpretar los resultados obtenidos y hacer un análisis para determinar cuanto debe aumentar la aceleración para que se considere como una caída.

Se desarrolló un sistema automatizado mediante un diagrama de flujo con la ayuda de la aplicación Automate, en la que se crearon varios bloques lógicos que se encargan de ejecutar acciones o eventos específicos, como crear bucles o establecer una condición para determinar el momento en que la aceleración supere un cierto rango y se detecte una caída.

Para futuras investigaciones se recomienda aplicar la técnica de machine learning y analítica de datos para implementación de algoritmos de aprendizaje automáticos que sean capaces de aprender patrones en los movimientos de los adultos mayores y así, poder detectar con mayor precisión una caída.

Calibrar regularmente el sensor para evitar resultados equivocados o errores en el sistema, esto ayudará a mejorar el rendimiento del sistema y a obtener valores más exactos al momento de que el anciano presente una caída.

Implementar al sistema alguna técnica que reconozca la posición de los pies, postura del cuerpo o movimientos muy pequeños para que de esta manera, se pueda identificar los movimientos que tienen distintos adultos mayores que padezcan de alguna enfermedad o condición física y prevenir que puede tener una caída antes de que suceda.

## BIBLIOGRAFÍA

---

La bibliografía debe ser generada automáticamente en formato APA, solamente deben estar las citas que son utilizadas en la tesis.

### Bibliografía

5Hertz. (2023). *SENSORES MAGNÉTICOS*. Obtenido de 5Hertz Electrónica:

[https://www.5hertz.com/index.php?route=tutoriales/tutorial&tutorial\\_id=1](https://www.5hertz.com/index.php?route=tutoriales/tutorial&tutorial_id=1)

Almagro, C. A. (Diciembre de 2011). *Universidad de Granada*. Obtenido de Departamento de

Lenguajes y Sistemas Informáticos: [https://lsi.ugr.es/curena/doce/lp/tr-11-12/lp-c01-](https://lsi.ugr.es/curena/doce/lp/tr-11-12/lp-c01-impr.pdf)

[impr.pdf](https://lsi.ugr.es/curena/doce/lp/tr-11-12/lp-c01-impr.pdf)

AndroidAPS community. (7 de noviembre de 2023). *Automatización con la aplicación Automate*

*de Android de terceros*. Obtenido de AndroidAPS community:

<https://androidaps.readthedocs.io/es/latest/Usage/automationwithapp.html>

angular.io. (2020). *angular.io*. Obtenido de <https://angular.io/docs>

Aroeira, C. (2 de octubre de 2023). *INTRODUCCIÓN A LOS ACELERÓMETROS*

*PIEZOELÉCTRICOS*. Obtenido de DMC: [https://www.dmc.pt/es/introducao-aos-](https://www.dmc.pt/es/introducao-aos-acelerometros-piezoeltricos/)

[acelerometros-piezoeltricos/](https://www.dmc.pt/es/introducao-aos-acelerometros-piezoeltricos/)

Auth0® Inc. (2013 - 2020). <https://jwt.io/>. Obtenido de <https://jwt.io/introduction/>

Axessnet. (06 de 12 de 2020). *AXESSNET*. Obtenido de [https://axessnet.com/como-funciona-](https://axessnet.com/como-funciona-el-internet-via-satelite-enlace-satelital/)

[el-internet-via-satelite-enlace-satelital/](https://axessnet.com/como-funciona-el-internet-via-satelite-enlace-satelital/)

Bootstrap Community. (2020). *getbootstrap.com*. Obtenido de <https://getbootstrap.com/docs>

BOSCH. (2023). *Smart sensor: BNO055*. Obtenido de BOSCH: [https://www.bosch-](https://www.bosch-sensortec.com/products/smart-sensor-systems/bno055/)

[sensortec.com/products/smart-sensor-systems/bno055/](https://www.bosch-sensortec.com/products/smart-sensor-systems/bno055/)

C. Xia, G. Y. (2009). Efficient Implement of ORM (Object/Relational Mapping) Use in J2EE Framework: Hibernate. *Efficient Implement of ORM (Object/Relational Mapping) Use in J2EE Framework: Hibernate*. Wuhan, Hubei, China: International Conference on Computational Intelligence and Software Engineering.

Cabrera, M., & López, M. (2013). FACTORES DE RIESGO ASOCIADOS CON LAS CAÍDAS EN. (*Investigación de Grado*). PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR, Quito.

Canal Geomatics. (2023). *Inertial Labs OS3D-FG 3D Orientation*. Obtenido de Canal Geomatics: <https://www.canalgeomatics.com/product/inertial-labs-os3d-fg-3d-orientation-sensor/>

Cuideo. (23 de agosto de 2023). *Caídas en personas mayores*. Obtenido de cuideo: <https://cuideo.com/blog/caidas-personas-mayores/>

Diario Oficial de La Federación. (25 de octubre de 2022). *ACUERDO por el que se emite el Modelo de Atención a la Salud para el Bienestar (MAS-BIENESTAR)*. Obtenido de SEGOB: [https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5669707&fecha=25/10/2022#gsc.tab=0](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5669707&fecha=25/10/2022#gsc.tab=0)

DIS Sensors. (2023). *Sensores de inclinación*. Obtenido de DIS Sensors: <https://www.dis-sensors.com/es/sensores-de-inclinaci%C3%B3n>

Duarte, M. (2006). ESTUDIO DE BIOMEMS EN MÉXICO A TRAVÉS DE LOS PROCESOS. (*Investigación de grado*). INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS, MONTERREY.

Eduardo Polo Ortega, F. J. (2015). *Servicios de red e Internet*. Madrid, España: RA-MA Editorial.

- Electricity - Magnetism. (20 de agosto de 2023). *acelerómetro piezorresistivo*. Obtenido de Electricity - Magnetism: <https://www.electricity-magnetism.org/es/acelerometro-piezorresistivo/#>
- Essence Group. (20 de junio de 2020). *TECNOLOGÍA PARA LA ÚLTIMA GENERACIÓN DE DETECTORES DE CAÍDAS*. Obtenido de Essence: <https://www.essence-grp.com/es/blog/tecnologia-para-la-ultima-generacion-de-detectores-de-caidas/>
- G., E. C. (18 de 08 de 2011). *slideshare.net*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/edisoncoimbra/71-redes-por-satlite-sh>
- GilJin Yang, B. C. (01 de 2014). *Research Gate*. Obtenido de [www.researchgate.net/publication/298642533\\_Implementation\\_of\\_HTTP\\_live\\_streaming\\_for\\_an\\_IP\\_camera\\_using\\_an\\_open\\_source\\_multimedia\\_converter](http://www.researchgate.net/publication/298642533_Implementation_of_HTTP_live_streaming_for_an_IP_camera_using_an_open_source_multimedia_converter)
- González, M. (2020). INTERNET DE LAS COSAS. PRIVACIDAD Y SEGURIDAD. (*Tesis de Grado*). Universidad Oberta de Catalunya, Catalunya.
- González, R., Hernández, R., & Jiménez, B. (2016). Desarrollo de un sistema de detección de caídas. (*Tesis de Grado*). Universidad Complutense de Madrid, Madrid.
- Grasa, J. M. (10 de 17 de 2017). Acceso a Internet vía satélite. En J. Mora, *Guías de Tecnología fácil* (pág. 24). Madrid: Asociación española ingenieros de telecomunicación. Obtenido de [http://www.coitaoc.org/files/estudios/tecnologia\\_facil\\_7aba8393.pdf](http://www.coitaoc.org/files/estudios/tecnologia_facil_7aba8393.pdf)
- Graydon, M. &. (7 de August de 2019). '*Connecting the unconnected*': a critical assessment of *US satellite Internet services*. Obtenido de SAGE JOURNALS: <https://doi.org/10.1177/0163443719861835>
- Grijalva, N. (15 de 10 de 2012). *blogspot*. Obtenido de <http://software1nathalygrijalva.blogspot.com/2012/10/modelo-espiral.html>

- Guniganti, R. &. (2013). A Comparison of RTMP and HTTP Protocols with respect to Packet Loss and Delay Variation based on QoE. *semanticscholar.org*.
- Gutiérrez, J. J. (12 de 05 de 2014). *Qué es un framework web*. Obtenido de [http://www.lsi.us.es/~javierj/investigacion\\_ficheros/Framework](http://www.lsi.us.es/~javierj/investigacion_ficheros/Framework)
- Herrera, J. (14 de junio de 2023). *MEMS: qué es esta tecnología y dónde se aplica*. Obtenido de Guia Hardware: <https://www.guiahardware.es/mems-que-es/>
- Hikvision. (17 de agosto de 2022). *La tecnología inteligente de detección de caídas con radar protege a las personas mayores en las residencias y centros médicos*. Obtenido de Hikvision: <https://www.hikvision.com/es/newsroom/blog/la-tecnologia-inteligente-de-deteccion-de-caidas-con-radar-protege-a-las-personas-mayores-en-las-residencias-y-centros-medicos/>
- I. Fette, A. M. (December de 2011). *Internet Engineering Task Force (IETF)* . Obtenido de <https://www.hjp.at/doc/rfc/rfc6455.html>
- Industries, Adafruit. (2023). *Adafruit 9-DOF Absolute Orientation IMU Fusion Breakout - BNO055*. Obtenido de Adafruit: <https://www.adafruit.com/product/2472>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2019). *www.ecuadorencifras.gob.ec*. Obtenido de [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_Sociales/TIC/2019/201912\\_Principales\\_resultados\\_Multiproposito\\_TI\\_C.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Sociales/TIC/2019/201912_Principales_resultados_Multiproposito_TI_C.pdf)
- Joskowicz, J. (10 de 02 de 2008). Reglas y prácticas en eXtreme Programming. Universidad de Vigo, 22. Obtenido de [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/31398587/xp\\_-\\_jose\\_joskowicz-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1625441610&Signature=HZfoDu6RCpoB-](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/31398587/xp_-_jose_joskowicz-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1625441610&Signature=HZfoDu6RCpoB-)

dKMMuLRNmZRaiZ0cWUrcjbndtRyjECrK33QWDAGtINDg1Cnw9kvQJ9Psul9gXX8CRJ  
culpl5KBhJgUMc~blqu72mdVo6cpvqyy3-XejGZUvukkePQRHmxpb-Ddq

Judge, J. (15 de NOVIEMBRE de 2023). *Trastornos de la marcha en los ancianos*. Obtenido de MSD: <https://www.msmanuals.com/es-ec/professional/geriatr%C3%ADa/trastornos-de-la-marcha-en-los-ancianos/trastornos-de-la-marcha-en-los-ancianos>

Lagatree, K. (2006). Keep it Together. En K. Lagatree, *Keep It Together: 200+ Tips, Tricks, Lists, and Solution for EverydayLife* (pág. 432). Random House Reference.

Leitón, Z. (diciembre de 2022). *Predicción de caídas y caídas recurrentes en adultos mayores que viven en el domicilio*. Obtenido de SCIELO:  
[https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1134-928X2022000400002](https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1134-928X2022000400002)

Ley De Comercio Electrónico, Ley 67 (Congreso Nacional 17 de 05 de 2002).

Ley Orgánica De Comunicación, 22 (Legislativo 25 de 06 de 2013).

Maria. (24 de 04 de 2019). *instalacionestk.com*. Obtenido de  
<https://www.instalacionestk.com/conoce-las-ventajas-y-desventajas-del-internet-satelital/>

Matan. (8 de noviembre de 2023). *Sensor de presión piezoresistivo*. Obtenido de Electricity - Magnetism: <https://www.electricity-magnetism.org/es/sensor-de-presion-piezoresistivo/>

Maza, M. Á. (2012). *javascript Certificado de profesionalidad*. Innovación Y Cualificación.

Mesurex. (2021). *Acelerómetros MEMS*. Obtenido de Measurex.

Moya, K. (5 de octubre de 2022). SISTEMA DE MONITOREO Y ALERTA DE CAÍDAS PARA ADULTOS MAYORES. (*Tesis de grado*). Universidad Internacional SEK, Quito.  
Obtenido de SISTEMA DE MONITOREO Y ALERTA DE CAÍDAS PARA ADULTOS MAYORES:

<https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/4883/1/Moya%20Y%C3%A1nez%20Karol%20Julissa%20.pdf>

Muñoz, J. (25 de 07 de 2006). *maestrosdelweb*. Obtenido de [www.maestrosdelweb.com/intersatelite/](http://www.maestrosdelweb.com/intersatelite/)

Oracle Corporation and/or its affiliate. (2020). *What is MySQL*. Obtenido de <https://dev.mysql.com/doc/refman/8.0/en/what-is-mysql.html>

Ordoñez, J. L. (2009). *Videoconferencia*. Mexico: Alfaomega Grupo Editor.

Organización Mundial de la Salud. (26 de abril de 2021). *Caídas*. Obtenido de Organización Mundial de la Salud: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/falls>

Pérez Ibarra, S. G. (17 de 06 de 2021). *Red de Universidades con Carreras en Informática*. Obtenido de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/120476>

Pérez, M. (2011). *Microsoft SQL Server 2008 R2. Motor de base de datos y administración*. RC Libros.

Portela, N. (5 de mayo de 2021). *Caídas en personas mayores: riesgos, causas y prevención*. Obtenido de Atenzia: <https://teleasistencia.es/es/blog/salud-en-la-tercera-edad/caidas-en-personas-mayores-riesgos-causas-y-prevencion>

Posadas, K. (14 de noviembre de 2020). *Prevención de caídas en el adulto mayor*. Obtenido de RED ESTUDIANTIL MEXICANA DE TERAPIA OCUPACIONAL: <https://redestudiantilmx.wixsite.com/website/post/3-prevenci%C3%B3n-de-ca%C3%ADdas-en-el-adulto-mayor-3>

PUCE. (10 de 07 de 2017). *LA ESTACIÓN CIENTÍFICA YASUNÍ*. Obtenido de <http://www.yasuni.ec>

Quinnell, R. (28 de MAYO de 2020). *Implementación rápida de sensores para el mantenimiento predictivo basado en IIoT usando acelerómetros MEMS*. Obtenido de DigiKey: <https://www.digikey.com/es/articles/rapidly-deploy-sensors-iiot-based-predictive-maintenance-mems-accelerometers>

Quiñonez, O. (2019). *Internet de las Cosas (IoT)*. Ibukku.

Real Academia Española. (2021). REAL ACADEMIA ESPAÑOLA.

Red5. (06 de 12 de 2020). *Red5pro.com*. Obtenido de Red5.org: <http://red5pro.com/>

Redrován, H., & José, A. (2016). DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE DETECCIÓN Y NOTIFICACIÓN DE CAÍDAS EN PERSONAS DE LA TERCERA EDAD. *(Tesis de grado)*. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALIESIANA, Cuenca.

REPSOL. (6 de OCTUBRE de 2023). *Revolución del sector de la energía limpia*. Obtenido de REPSOL: <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/tecnologia-innovacion/piezoelectricidad/index.cshtml>

Richard, A. (2017). Can Weather Affect Satellite Internet? *Hearst Newspapers*, 1. Obtenido de Can Weather Affect Satellite Internet?: <http://smallbusiness.chron.com/can-weather-affect-satellite-internet-26822.html>

Rubenstein, L. (15 de noviembre de 2023). *Caídas en las personas mayores*. Obtenido de MSD: <https://www.msmanuals.com/es-ec/professional/geriatr%C3%ADa/ca%C3%ADdas-en-las-personas-mayores/ca%C3%ADdas-en-las-personas-mayores>

S.L, Sensing . (11 de junio de 2021). *Inclinómetros - Sensores de inclinación*. Obtenido de Sensing : <https://sensores-de-medida.es/medicion/sensores-y-transductores/inclinometros-sensores-de-inclinacion/>

- Salazar, J., & Silvestre, S. (2016). *Internet de las cosas* . Praga: Versión de prueba.
- Sampieri, R. F. (2014). Definiciones de los enfoques cuantitativo y cualitativo, sus similitudes y diferencias. En C. F. Roberto Hernández Sampieri. RH Sampieri, Metodología de la Investigación.
- Sensing S.L. (11 de junio de 2021). *Acelerómetros capacitivos*. Obtenido de Sensing S.L: <https://sensores-de-medida.es/medicion/sensores-y-transductores/acelerometros-sensores-de-aceleracion/acelerometros-capacitivos/#:~:text=Los%20aceler%C3%B3metros%20capacitivos%20miden%20aceleraci%C3%B3n,a%20posibles%20picos%20de%20aceleraci%C3%B3n>.
- Sensing S.L. (11 de JUNIO de 2021). *Acelerómetros piezoresistivos*. Obtenido de SENSING SENSORES DE MEDIDA: <https://sensores-de-medida.es/medicion/sensores-y-transductores/acelerometros-sensores-de-aceleracion/acelerometros-piezoresistivos/>
- SENSTAR. (17 de mayo de 2022). *¿Qué es un sistema de videovigilancia?* Obtenido de SENSTARPEDIA: <https://senstar.com/es/senstarpedia/que-es-un-sistema-de-videovigilancia/#:~:text=Un%20sistema%20de%20videovigilancia%20es,el%20tipo%20de%20color%2C%20etc>.
- SparkFun. (2 de noviembre de 2019). *SparkFun 9DoF IMU Breakout - ICM-20948 (Qwiic)*. Obtenido de SparkFun Electronics: <https://www.sparkfun.com/products/15335>
- Taylor Otwell. (2011-2020). *Laravel*. Obtenido de <https://laravel.com/>
- The PHP Group. (2001-2020 ). *php.net*. Obtenido de <https://www.php.net/manual/es/intro-what-is.php>
- TME. (10 de OCTUBRE de 2020). *¿CÓMO FUNCIONA Y QUÉ HACE EL ACELERÓMETRO?* Obtenido de ELECTRONIC COMPONENTS: <https://www.tme.eu/es/news/library->

articles/page/22568/Como-funciona-y-que-hace-el-acelerometro/#Co-to-jest-  
akcelerometr

Torres, M., Vargas, P., Salazar, J., Mireles, J., Rafael, V., García, P., . . . Elvira, E. (2023).

*INSTRUCCIÓN AL ANÁLISIS Y DISEÑO DE MEMS*. Morelos: Margarita Tecpoyotl  
Torres.

Villacís, B., & Carrillo, D. (2012). *País atrevido: la nueva cara sociodemográfica del Ecuador*.

Quito: Edición especial revista Analitika.

WitMotion. (2016). *WT901BLECL MPU9250 High-Precision 9-axis Gyroscope+Angle(XY 0.05°*

*Accuracy)+Magnetometer with Kalman Filter, Low-Power 3-axis AHRS IMU Sensor for*  
*Arduino*. Obtenido de WitMotion: <https://www.wit-motion.com/9-axis/wt901blecl-mpu9250-high-precision.html>

XSENS. (2019). *MTi 1-series Datasheet*. Obtenido de XSENS:

<https://www.xsens.com/hubfs/Downloads/Manuals/MTi-1-series-datasheet.pdf>

Yolanda Martínez, S. d. (06 de 2015). *Triplemente marcadas: Desconexiones comunicativas en*

*la Amazonia sur ecuatoriana*. Cuenca: Universidad de Cuenca. Obtenido de Triplemente  
marcadas: Desconexiones comunicativas en la Amazonia sur ecuatoriana:

[http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0719-367X2015000100007](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0719-367X2015000100007)

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

---

Acelerómetro: Sensor que mide la aceleración

Dirección positiva y negativa: Es la dirección que va el dispositivo cuando ocurre una aceleración, ver la figura 38 para entender.

Valor inicial: Se refiere a la aceleración inicial que tiene el sensor.

Valor actual: Se refiere a la aceleración actual que tiene el sensor.

## ANEXOS

---

No se incluyeron anexos