



EDUCACIÓN

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Tecnológico Nacional de México

Centro Nacional de Investigación
y Desarrollo Tecnológico

Tesis de Maestría

Dispositivo vestible para la detección de caídas en
adultos mayores

presentada por

Ing. Angel Israel Daza Castillo

como requisito para la obtención del grado de
Maestro en Ciencias de la Computación

Director de tesis

Dr. Javier Ortiz Hernández

Cuernavaca, Morelos, México. Enero de 2023.



Cuernavaca, Mor., **02/febrero/2023**

OFICIO No. DCC/012/2023

Asunto: Aceptación de documento de tesis
CENIDET-AC-004-M14-OFICIO

CARLOS MANUEL ASTORGA ZARAGOZA
SUBDIRECTOR ACADÉMICO
PRESENTE

Por este conducto, los integrantes del Comité Tutorial de ANGEL ISRAEL DAZA CASTILLO, con número de control M21CE007, de la Maestría en Ciencias de la Computación, le informamos que hemos revisado el trabajo de tesis de grado titulado "**DISPOSITIVO VESTIBLE PARA LA DETECCIÓN DE CAÍDAS EN ADULTOS MAYORES**" y hemos encontrado que se han atendido todas las observaciones que se le indicaron, por lo que hemos acordado aceptar el documento de tesis y le solicitamos la autorización de impresión definitiva.

JAVIER ORTIZ HERNÁNDEZ
Director de tesis



HUGO ESTRADA ESQUIVEL
Revisor 1



MARÍA YASMÍN HERNÁNDEZ PÉREZ
Revisor 2

C.c.p. * Dépto. Servicios Escolares.
Expediente / Estudiante
JGGS/ibm



Cuernavaca, Mor., **07/febrero/2023**
Nó. De Oficio: **SAC/039/2023**
Asunto: **Autorización de
impresión de tesis**

ÁNGEL ISRAEL DAZA CASTILLO
CANDIDATO AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS
DE LA COMPUTACIÓN
P R E S E N T E

Por este conducto, tengo el agrado de comunicarle que el Comité Tutorial asignado a su trabajo de tesis titulado **"DISPOSITIVO VESTIBLE PARA LA DETECCIÓN DE CAÍDAS EN ADULTOS MAYORES"**, ha informado a esta Subdirección Académica, que están de acuerdo con el trabajo presentado. Por lo anterior, se le autoriza a que proceda con la impresión definitiva de su trabajo de tesis.

Esperando que el logro del mismo sea acorde con sus aspiraciones profesionales, reciba un cordial saludo.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®

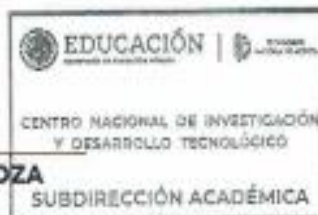
"Conocimiento y tecnología al servicio de México"



CARLOS MANUEL ASTORCA ZARAGOZA
SUBDIRECTOR ACADÉMICO

C. c. p. Departamento de Ciencias Computacionales
Departamento de Servicios Escolares

CMAZ/RMA



Dedicatoria

A mi madre Ma. Isabel Castillo Benítez, que siempre será una de las personas más importantes en mi vida, gracias a sus consejos y enseñanzas he llegado a cumplir cada uno de los objetivos que me he propuesto en la vida. También este trabajo es dedicado para mi padre y a mis hermanos que son y todos ellos siempre serán los pilares de mi vida y que sin ellos no hubiera alcanzado este objetivo.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por otorgar una beca que me permitió cumplir cada uno de los objetivos personales y de la maestría.

Al Tecnológico Nacional de México (TecNM/CENIDET), por facilitar sus instalaciones para el desarrollo académico, personal y educativo de mi formación estudiantil.

A mis padres Ma. Isabel Castillo Benítez y Sostenes Constantino Daza Gallardo gracias por todo el apoyo incondicional que me han brindado a lo largo de mi vida, por impulsarme a realizar cada una de mis metas y por brindarme todo el amor que me han dado.

Muchas gracias, mamá por estar conmigo tanto en los momentos felices como en los momentos tristes. Este es un logro que construimos juntos en estos últimos años y muchas cosas más gracias, mamá. A mi papá que cada una de su enseñanza cada día que me ayudan, a la formación de mi carácter, los momentos compartidos por eso y mucho más gracias.

Agradezco a mi hermano Fausto Daza por siempre estar a mi lado apoyándome y cuidándome en cada una de las decisiones que he tomado a lo largo de mi vida. Gracias por estar ahí siempre para mí y en ocasiones dejando de lado tus cosas para poder estar conmigo y apoyarme.

También le agradezco familiares por estar siempre apoyándome a mí y a mi familia. Gracias por todo y estar siempre brindándonos su apoyo.

Agradezco a mis queridos amigos Manuel, Juan José y Juan Antonio que he tenido el placer de conocer por más de seis años, gracias a ustedes pude completar tareas que jamás habría logrado solo. Gracias al gran equipo

A mis amigos del Clasic Crew por impulsarme siempre a dar lo mejor de mí y siempre buscar la superación.

que tenemos y seguiremos teniendo he logrado completar esta meta de mi vida.

Al doctor Javier Ortiz Hernández por cada uno de los consejos y su dirección durante del desarrollo de esta tesis. Siendo un brillante profesor del cual seguiré aprendiendo, pero más allá de eso es un gran amigo, el cual nos impulsa a seguirnos preparando.

Resumen

Las caídas son la segunda causa de muerte en el mundo en accidentes no intencionales 37 millones requirieron atención médica. Un porcentaje importante de los que sufrieron una caída podrían padecer una discapacidad permanente.

Existe un gran efecto de envejecimiento poblacional en el mundo donde se estima que para el año 2050, una de cada seis personas será un adulto mayor de 60 años o más. Los adultos mayores son los más susceptibles a sufrir caídas por su condición física, estas caídas les provocan lesiones graves.

Aproximadamente el 30% de los adultos mayores sufren una caída por lo menos una vez al año y el 50% de esa caída tiene la posibilidad de volver a reincidir con dos o más caídas en ese mismo año. Asimismo, la cantidad de caídas que puede sufrir un adulto mayor se eleva al aumentar la edad. Las caídas tienen un alto índice de morbimortalidad y se consideran un problema importante de salud pública. Se estima que un 7% de las visitas de los adultos mayores al hospital son consecuencia de alguna caída y de estas el 40% necesitan de una hospitalización.

En esta tesis se desarrolló un dispositivo vestible para la detección de patrones de caídas en adultos mayores, utilizando sensores inerciales y un algoritmo de detección de caída, el cual está integrado en una unidad de procesamiento dentro del dispositivo vestible. Una vez que se detecta un patrón de caída, el dispositivo vestible envía una señal Bluetooth al teléfono inteligente del adulto mayor, el cual a su vez envía una notificación SMS a una persona registrada para atenderlo o para solicitar se le pueda atender. En este trabajo denominamos cuidador a esta persona, la cual puede ser un familiar, una amistad o alguien que esté a cargo de su atención. El dispositivo cuenta con una duración de 12 horas de batería, es recargable, pequeño y discreto. Emite una alerta sonora cuando detecta una caída y con un botón de cancelación de alerta en el caso de que el adulto mayor considere que no requiere auxilio. Como criterios de diseño de este sistema se buscó la rapidez y efectividad en el proceso de detección de la caída y su correspondiente notificación. El dispositivo se coloca en la cintura debido a que es más cómodo y discreto, además de evitar falsas detecciones al agitarlo o golpearlo con algo.

Abstract

Falls are the second cause of death in the world in unintentional accidents. 37 million required medical attention. A significant percentage of those who suffered a fall could suffer a permanent disability.

There is a large effect of population aging in the world where it is estimated that by the year 2050, one in six people will be an adult aged 60 or over. Older adults are the most susceptible to falls due to their physical condition, these falls cause serious injuries.

Approximately 30% of older adults suffer a fall at least once a year and 50% of that fall has the possibility of recurring with two or more falls in the same year. Likewise, the number of falls that an older adult can suffer rises with increasing age. Falls have a high rate of morbidity and mortality and are considered a major public health problem. It is estimated that 7% of visits by older adults to the hospital are the result of a fall and of these, 40% require hospitalization.

In this thesis, a wearable device for the detection of fall patterns in older adults was developed, using inertial sensors and a fall detection algorithm, which is integrated into a processing unit within the wearable device. Once a fall pattern is detected, the wearable device sends a Bluetooth signal to the older adult's smartphone, which in turn sends an SMS notification to a registered person to assist or request assistance. In this work we call this person a caregiver, who can be a relative, a friend or someone who is in charge of the care of the monitored person. The device has a 12-hour battery life, is rechargeable, small, and discreet. It emits an audible alert when it detects a fall and with an alert cancellation button in the event that the older adult considers that help is not required. As design criteria for this system, speed and effectiveness in the fall detection process and its corresponding notification were sought. The device is worn on the waist because it is more comfortable and discreet, as well as avoiding false detections when shaking or hitting it with something.

Tabla de contenido

Capítulo 1. Introducción	14
1.1. Introducción	15
1.2. Planteamiento del problema	16
1.3. Objetivo General	18
1.4. Objetivos específicos	18
1.5. Alcances	18
1.6. Limitaciones	18
1.7. Estructura de tesis	20
Capítulo 2. Marco teórico	21
2.1. Caídas	22
2.2. Adultos mayores	22
2.3. Sensores	22
2.4. Dispositivos vestibles	23
2.5. Teléfono inteligente	24
2.6. SMS	24
2.7. Bluetooth BLE	24
2.8. Aceleración de la gravedad	24
Capítulo 3. Estado del arte	26
3.1. Título: Desarrollo de un Prototipo detector de caídas utilizando la placa Intel Galileo Generación I y el sensor MPU6050	27
3.2. Título:Wearable sensor networks supported by mobile devices for fall detection	30
3.3. Título: Detecting Human Falls with a 3-Axis Digital Accelerometer	31
3.4. Título: Wagyromag: red inalámbrica de sensores inerciales para el registro y procesamiento de movimientos corporales	36
3.5. Título: Detector automático de caídas y monitorización de actividad para personas mayores	38
Capítulo 4. Dispositivo vestible	41
4.1. Diseño del dispositivo	42
Capítulo 5. Diseño del software	11
5.1. Requisitos del sistema	12
5.2. Metodología de solución	15
5.3. Arquitectura del sistema	16
5.4. Método de detección de caídas	17

5.5.	Representación del proceso de obtención de datos y diagrama de actividades para la implementación del algoritmo de detección de caídas basado en umbrales	20
5.6.	Procesamiento de los datos	24
5.7.	Bocetos de la interfaz	25
Capítulo 6.	Sistema para la detección y notificación de caídas	28
6.1.	Programa de detección de caídas	29
6.2.	Aplicación móvil	31
6.3.	Servidor	34
Capítulo 7.	Pruebas y resultados	36
7.1.	Diseño de la experimentación	37
Capítulo 8.	Conclusiones y trabajo futuro	68
8.1.	Conclusiones	69
8.2.	Trabajos futuros	69
Referencias		70
Anexo A		73
Anexo B		78

Lista de figuras

Figura 3-1: Fórmula de inclinación \cos del artículo 4.2	13
Figura 3-2: Componentes del dispositivo del artículo 4.2	14
Figura 3-3: Gráfica de resultados de caminata del artículo 4.2	14
Figura 3-4: Gráfica de resultados de una caída del artículo 4.2	15
Figura 3-5: Conexiones entre el acelerómetro y el microprocesador del artículo 4.5	18
Figura 3-6: Valores de las pruebas del acelerómetro al subir una escalera del artículo 4.5	18
Figura 3-7: Valores de las pruebas del acelerómetro al bajar una escalera del artículo 4.5	19
Figura 3-8: Valores de las pruebas del acelerómetro al sentarse del artículo 4.5	19
Figura 3-9: Valores de las pruebas del acelerómetro al estar de pie del artículo 4.5	20
Figura 3-10: Valores de las pruebas del acelerómetro de los estados de una caída del artículo 4.5	21
Figura 3-11: Diagrama de fusión basado en el filtrado Kalman artículo 4.6	22
Figura 3-12: Diagrama de fusión basado en el filtrado LMS o RLS artículo 4.6	22
Figura 3-13: Resultados del artículo 4.6	23
Figura 4-1: Diagrama de la metodología Design Thinking	27
Figura 4-2: Gráfica de las edades de los encuestados	28
Figura 4-3: Gráfica de cuantos adultos mayores tiene asistencia de un cuidador	29
Figura 4-4: Gráfica de caídas en un año sufridas por los adultos mayores	29
Figura 4-5: Gráfica de las consecuencias más comunes de las caídas	30
Figura 4-6: Gráfica de la ayuda recibida al sufrir una caída	30
Figura 4-7: Gráfica de tiempo de respuesta para brindar ayuda del cuidador al adulto mayor	31
Figura 4-8: Tarjeta Arduino nano 33 BLE	34
Figura 4-9: Batería LiPo	34
Figura 4-10: Tarjeta de carga	34
Figura 4-11: Botón	35
Figura 4-12: Zumbador	35
Figura 4-13: Diagrama de colocación de los componentes del dispositivo vestible	37
Figura 4-14: Dispositivo ensamblado	38
Figura 4-15: Primer boceto de la carcasa del dispositivo vestible	39
Figura 4-16: Segundo boceto de carcasa del dispositivo vestible	39
Figura 4-17: Segunda vista del segundo boceto de carcasa del dispositivo vestible	39
Figura 4-18: Carcasa parte trasera vista desde arriba	41
Figura 4-19: Carcasa parte trasera vista desde un lateral	41
Figura 4-20: Carcasa parte trasera vista desde la parte inferior	41
Figura 4-21: Primera versión de la carcasa parte frontal vista desde un costado	42
Figura 4-22: Segunda versión de la carcasa parte frontal vista desde arriba	42
Figura 4-23: Segunda versión de la carcasa parte frontal vista desde un costado	42
Figura 4-24: Segunda versión de la carcasa parte frontal vista desde la parte inferior	43
Figura 4-25: Diseño del botón vista de la parte superior	43
Figura 4-26: Diseño del botón vista desde un costado	43
Figura 4-27: Unión de las partes del dispositivo en el diseño	44
Figura 4-28: Partes de la carcasa impresa del dispositivo	44
Figura 4-29: Partes unidas de la carcasa impresa del dispositivo	44
Figura 4-30: Carcasa impresa primera versión	45
Figura 4-31: Carcasa impresa segunda versión	45

Figura 5-1: Metodología de solución	50
Figura 5-2: Arquitectura del sistema	52
Figura 5-3: Diagrama de flujo del algoritmo [31].	55
Figura 5-4: Proceso de los datos para poder detectar la caída	56
Figura 5-5: Lectura de los datos.	57
Figura 5-6: Primera solución al problema de la lectura de los datos	57
Figura 5-7: Diagrama del problema en la lectura de los datos	58
Figura 5-8: solución al problema de la lectura de los datos	58
Figura 5-9: Diagrama de la implementación del algoritmo basado en umbrales	59
Figura 5-10: Proceso de los datos para poder detectar la caída	60
Figura 5-11: Boceto de la pantalla principal	61
Figura 5-12: Boceto para agregar contactos	61
Figura 5-13: Boceto de alertas en la aplicación	62
Figura 6-1: Lectura de los ejes del acelerómetro	64
Figura 6-2: Cálculo de la magnitud del vector	65
Figura 6-3: Etapa de caída libre	65
Figura 6-4: Etapa de impacto	66
Figura 6-5: Etapa de reposo	66
Figura 6-6: Primera captura de la aplicación desarrollada	67
Figura 6-7: Segunda captura de la aplicación desarrollada	67
Figura 6-8: Captura de la aplicación desarrollada para agregar contactos de emergencia	68
Figura 6-9: Captura de la aplicación desarrollada para agregar contactos de emergencia de manera incorrecta	68
Figura 6-10: Código del servidor para el envío de SMS	69
Figura 6-11: : Captura de la pantalla del servicio de Altiria	70
Figura 7-1: Pruebas unitarias de la lectura de los datos con el sensor estático	76
Figura 7-2: Pruebas unitarias de la lectura de los datos con el sensor girando	76
Figura 7-3: Pruebas unitarias de la lectura de los datos con el sensor con movimientos bruscos	77
Figura 7-4: Pruebas unitarias del cálculo de la magnitud del vector 1	77
Figura 7-5: Pruebas unitarias del cálculo de la magnitud del vector 2	77
Figura 7-6: : Pruebas unitarias de la caída libre 1	78
Figura 7-7: Pruebas unitarias de la caída libre 2	78
Figura 7-8: Pruebas unitarias del impacto 1	79
Figura 7-9: Pruebas unitarias del impacto 2	79
Figura 7-10: Pruebas unitarias del impacto 3	79
Figura 7-11: Pruebas unitarias del reposo 1	80
Figura 7-12: Pruebas unitarias del reposo 2	80
Figura 7-13: Pruebas unitarias del reposo 3	80
Figura 7-14: Pruebas unitarias del requisito funcional FN2 número 1	81
Figura 7-15: Pruebas unitarias del requisito funcional FN2 número 2	81
Figura 7-16: Pruebas unitarias del requisito funcional FN3 número 1	82
Figura 7-17: Pruebas unitarias del requisito funcional FN3 número 2	82
Figura 7-18: Pruebas unitarias del requisito funcional FN3 número 3	82
Figura 7-19: Pruebas unitarias del requisito funcional FN4 número 1	83
Figura 7-20: Pruebas unitarias del requisito funcional FN4 número 2	83
Figura 7-21: Pruebas unitarias del requisito funcional FN5 número 1	84
Figura 7-22: Pruebas unitarias del requisito funcional FN5 número 2	84

Figura 7-23: Pruebas unitarias del requisito funcional FN5 número 3	84
Figura 7-24: Pruebas unitarias del requisito funcional FN6 número 1	85
Figura 7-25: Pruebas unitarias del requisito funcional FN6 número 2	85
Figura 7-26: Pruebas unitarias del requisito funcional FN7 número 1	85
Figura 7-27: Pruebas unitarias del requisito funcional FN7 número 2	86
Figura 7-28: Pruebas unitarias del requisito funcional FN8 número 1	86
Figura 7-29: Pruebas unitarias del requisito funcional FN8 número 2	86
Figura 7-30: Pruebas unitarias del requisito funcional FN8 número 3	87
Figura 7-31: Pruebas unitarias del requisito funcional FN9 número 1	87
Figura 7-32: Pruebas unitarias del requisito funcional FN9 número 2	87
Figura 7-33: Pruebas unitarias del requisito funcional FN9 número 3	88
Figura 7-34: Pruebas de integración primera prueba número 1	89
Figura 7-35: Pruebas de integración primera prueba número 2	89
Figura 7-36: Pruebas de integración primera prueba número 3	89
Figura 7-37: Pruebas de integración primera prueba número 4	90
Figura 7-38: Pruebas de integración primera prueba número 5	90
Figura 7-39: Pruebas de integración primera prueba número 6	90
Figura 7-40: Pruebas de integración segunda prueba número 1	91
Figura 7-41: Pruebas de integración segunda prueba número 2	91
Figura 7-42: Pruebas de integración segunda prueba número 3	91
Figura 7-43: Etapas de la caída	92
Figura 7-44: Colocación del dispositivo	93
Figura 7-45: Funcionamiento del sistema	94
Figura 7-46: Estructura de la matriz de confusión	95

Lista de tablas

Tabla 4-1: Materiales de la impresora ANYCUBIC MEGAX	36
Tabla 7-1: Requisitos obtenidos por el primer estudio de mercado	73
Tabla 7-2: Resultados del segundo estudio de mercado	74
Tabla 7-3: Características del dispositivo	92
Tabla 7-4: Características de los sujetos de la Fase 3	94
Tabla 7-5: Características de las actividades de la Fase 3	97
Tabla 7-6: Tabla de resultados de la Fase 3	97
Tabla 7-7: Matriz de confusión resultante de la Fase 3	98
Tabla 7-8: Características de los sujetos de la Fase 4 Paso 1	99
Tabla 7-9: Características de los sujetos de la Fase 4 Paso 2	99
Tabla 7-10: Características de las actividades de la Fase 4 Paso 1	99
Tabla 7-11: Tabla de resultados de la Fase 4 Paso 1	100
Tabla 7-12: Matriz de confusión resultante de la Fase 4 Paso 1	101
Tabla 7-13: Tabla de resultados de la Fase 4 Paso 2	101
Tabla 7-14: Matriz de confusión resultante de la Fase 4 Paso 2	102

Lista de gráficas

Gráfica 7-1 Resultados del segundo estudio de mercado 74

Capítulo 1.

Introducción

1.1.Introducción

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), las caídas ocupan el segundo lugar de causa de muerte por lesiones accidentales no intencionales con un aproximado de 646,000 muertes por año, alrededor de 37 millones de personas sufren anualmente al menos una caída que requiere atención médica y 38 millones resultan con una discapacidad por sufrir una caída. El 80% de las caídas se registran en países en desarrollo o con baja economía [1]. En México, entre 1979 y 2010 se registraron 124,509 defunciones que tuvieron como principal causa de muerte una caída [2].

Por otro lado, la Organización de las Naciones Unidas establece que existe un gran efecto de envejecimiento poblacional. En el año 2050, una de cada seis personas será un adulto mayor de 60 años o más. En ese año tendremos tres veces más adultos mayores que en el 2019, pasando de 143 millones a 426 millones. Muchos países tendrán esa transición de su población, llevándolos a cambios estructurales políticos, financieros, laborales, etc. [3].

El fenómeno de las caídas y el envejecimiento mundial llevan una relación, ya que los adultos mayores son más susceptibles a caídas, que muchas veces los lleva a tener lesiones graves, debido a su condición física, económica y social. Las consecuencias al sufrir una caída en la tercera edad son un aumento en el riesgo de sufrir una lesión grave o generar alguna incapacidad, ya sea temporal o por el resto de su vida. Los adultos mayores no solo pueden tener lesiones físicas, también pueden llegar a tener daños psicológicos, como es el temor a la pérdida de movilidad por el riesgo de volver a pasar por una situación similar o de mayor consecuencia.

En esta tesis se desarrolló un dispositivo vestible para la detección de caídas en adultos mayores. Se integraron en el dispositivo vestible los sensores inerciales para la adquisición de los datos de movilidad, el algoritmo de detección de caídas y el envío de la señal de caída a un teléfono inteligente a través del cual se hace el envío de la notificación SMS como un aviso de la caída del adulto mayor.

1.2.Planteamiento del problema

Se estima que el crecimiento poblacional de adultos mayores aumente con los años, se prevé que para el año 2050 el 16% de la población mundial será un adulto mayor, es decir, uno de cada seis será un adulto mayor.

Estudios realizados en 2017 muestran que en Europa occidental 8,4 millones de adultos mayores de 70 años buscaron atención médica por lesión de una caída. Los accidentes por caídas que requieren una atención médica aumentan con respecto a la edad: de 5,667 por cada 100,000 entre los 70 a 74 años a 47,239 por cada 100,000 con 95 años o más [4].

La tasa de mortalidad por caídas en adultos mayores con respecto a la edad tuvo una mayor diferencia. Entre 70 a 74 años fueron 18 defunciones por cada 100,000 y de 94 años o más, fueron de 705 por cada 100,000. Existe una pequeña variación entre hombres y mujeres en la tasa de mortalidad : en los hombres ocurrieron más casos de caídas que en las mujeres, sin embargo, las incidencias por caídas son más altas en mujeres que en los hombres.

La tasa de mortalidad y de accidentes por caídas en adultos mayores varían dependiendo a cada país, por ejemplo, la tasa de mortalidad es el doble en los Países Bajos (1.1%) y Suiza (0.8%), en comparación con Portugal (0.4%) y Grecia (0.4%) [4].

En los Estados Unidos, el 16% de su población ya son adultos de la tercera edad [5]. Se calcula que anualmente 36 millones de adultos mayores sufren una caída. El 0.08% de las caídas son mortales, que son alrededor de 32 mil muertes por caídas al año de adultos mayores.

Se estima que cada segundo un adulto mayor sufre una caída en los Estados Unidos, siendo la segunda causa de lesiones y muertes entre los adultos mayores. Una de cada cinco caídas provoca una lesión, ya sea fractura de hueso o golpe en la cabeza [6].

En México, uno de cada tres adultos mayores sufre alguna caída al año. En el año 2008 la mortalidad en las caídas para este sector de la población fue del 30%, se reportaron lesiones en el 20% de los casos, de los cuales el 5% requirieron hospitalización. Se estima esta situación como alarmante ya que mientras más avanza la edad aumenta el riesgo de sufrir caídas [7].

En México el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) calcula que, las caídas en adultos mayores son más frecuentes debido a la falta de fortaleza muscular, la pérdida del equilibrio, el sufrir de presión arterial (Baja o Alta), la pérdida de la visión, el manejo inadecuado de aparatos para movilidad asistida (Bastones, Andaderas, etc.) o por los efectos de medicamentos [8].

Consideramos que el problema de caídas en adultos mayores es un problema de salud pública que puede ser mitigado utilizando medios digitales para su atención oportuna. Diversos estudios reportan que si las caídas no son oportunamente atendidas los resultados pueden ser aún más graves. Si el adulto mayor está solo y no es atendido puede caer en estado de shock, sus heridas pueden agravarse e incluso provocarles un

cuadro de deshidratación. Una alternativa en estos casos es el notificar la caída a una persona que lo pueda atender o dar aviso para que se le atienda.

En dirección de atender este problema, en esta tesis se desarrolló un dispositivo vestible para la detección de patrones de caídas en adultos mayores, utilizando sensores inerciales y un algoritmo de detección de caída, el cual está integrado en una unidad de procesamiento dentro del dispositivo vestible. Una vez que se detecta un patrón de caída, el dispositivo vestible envía una señal Bluetooth al teléfono inteligente del adulto mayor, el cual a su vez envía una notificación SMS a una persona registrada para atenderlo o para solicitar se le pueda atender. En este trabajo denominamos cuidador a esta persona, la cual puede ser un familiar, una amistad o alguien que esté a cargo de su atención. Como criterios de diseño de este sistema se buscó la rapidez y efectividad en el proceso de detección de la caída y su correspondiente notificación. Además, de un diseño robusto, ligero y portable del dispositivo basado en métodos de ingeniería industrial.

1.3.Objetivo General

Desarrollar un dispositivo vestibular para detectar caídas en adultos mayores y notificar a sus cuidadores utilizando mensajes SMS

1.4. Objetivos específicos

- Desarrollo de un módulo de software para la obtención de datos de los sensores inerciales
- Desarrollo de un módulo de procesamiento para la detección de patrones de caídas con los datos de los sensores basado en el método de umbrales.
- Desarrollo de un módulo de envío de notificaciones del dispositivo vestibular al teléfono inteligente del adulto mayor y para que este envíe la notificación SMS al cuidador.
- Diseño y desarrollo de un dispositivo vestibular ergonómico y robusto para la detección de caídas en adultos mayores
- Desarrollo de una aplicación Android para un teléfono inteligente para gestionar la información de los dispositivos vestibulares.

1.5.Alcances

- El envío de las notificaciones deberá funcionar tanto en interiores como en exteriores con la condición de que el teléfono inteligente del adulto mayor cuente con servicios de internet o redes móviles.
- El dispositivo será capaz de obtener los datos del módulo sensor y procesarlos con el algoritmo de patrones de caídas dentro del módulo de procesamiento del dispositivo vestibular.
- El tiempo de respuesta desde la detección de la caída hasta la notificación de la caída no excederá de 3 minutos
- El dispositivo sensor junto con la aplicación contarán un lapso de 1 minuto para la cancelación del envío de la notificación, ya sea por una falsa alarma de caída o que el adulto mayor considere no ser necesario recibir ayuda.
- Las pruebas se realizan en adultos mayores de 60 a 75 años sin discapacidad motriz.
- El dispositivo contará con una pila recargable con indicador de carga para su alimentación.

1.6.Limitaciones

- La lógica de programación dependerá de la velocidad de 64 MHz y capacidad 1MB de procesamiento del dispositivo Arduino Nano 33 BLE.
- El almacenamiento de los datos dependerá de la memoria de persistencia de datos de 256 KB del dispositivo Arduino Nano 33 BLE.
- La distancia de la conexión entre el dispositivo vestibular y el teléfono inteligente dependerá de la antena BLE 5.0 del dispositivo Arduino nano 33 BLE que es de 10 metros.

- El envío de la notificación SMS solo funcionará en zonas con cobertura telefónica.

1.7. Metodología de solución

En este punto se coloca la metodología utilizada para el desarrollo del proyecto. En la **Figura 5-1** se muestra un diagrama, en el cual se observa la división de cada fase y las tareas realizadas en ellas.

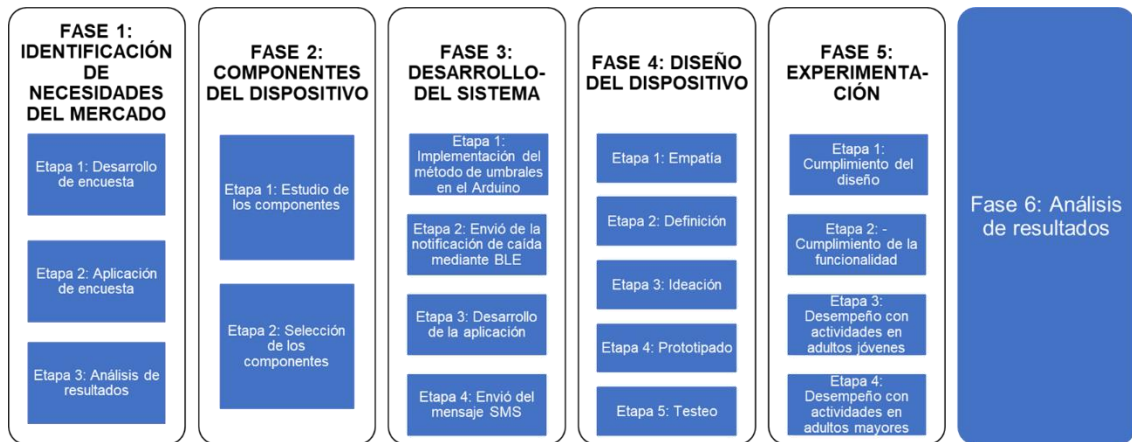


Figura 5-1: Metodología de solución

Esta metodología consta de seis fases, las cuales son:

Fase 1: Identificación de necesidades del mercado.

Durante esta fase se realizan encuestas a los cuidadores y adultos mayores, para obtener un estudio de mercado del dispositivo vestible, buscando como objetivo conocer el potencial de utilidad del dispositivo y obtener información de valor para su diseño.

Fase 2: Búsqueda de componentes para dispositivo vestible y compararlos con los productos existentes en el mercado.

Esta fase se divide en dos puntos cruciales, el primero es realizar un estudio sobre los componentes que conforman a los dispositivos vestibles, utilizados para la detección de caídas como sensores inerciales, pilas, etc. Las características, costo y disponibilidad de los componentes, serán puntos que evaluar para el desarrollo del dispositivo vestible.

El segundo punto se centra en la investigación de los productos que se encuentran actualmente en el mercado y que ofrecen el servicio de detección de caídas en adultos mayores. Buscando las ventajas y desventajas que ofrecen estos productos, para detectar los puntos de mejora a implementar en esta investigación.

Fase 3: Diseño del producto con base a las necesidades del mercado

En esta fase se diseñará el dispositivo vestible tomando en cuenta la fase 2, las necesidades del estudio de mercado, la metodología Design Thinking

Fase 4: Desarrollo experimental del dispositivo vestible

En esta fase se tomarán los resultados de la fase 3 para realizar el desarrollo del dispositivo vestible, el cual será el encargado del monitoreo del adulto mayor, posteriormente se evaluará el dispositivo desarrollado, utilizando como parámetro el diseño propuesto en la fase anterior.

Fase 5: Realización de pruebas y evaluación técnicas contra la demanda del mercado

Esta fase se divide en tres puntos.

- Pruebas de funcionamiento: Estas pruebas se realizan con personas jóvenes y sanas, utilizando un ambiente controlado, en el cual se pueda simular una caída de un adulto mayor. Esto ayudará para la evaluación del dispositivo vestibular, la aplicación Android y en envío de las notificaciones con respecto a su funcionamiento.
- Evaluaciones técnicas: Se realizará una prueba con respecto a la fase 1, para determinar si cumple con las características del estudio de mercado. Utilizando la respuesta de las personas encuestadas, se realizará una encuesta para la evaluación del dispositivo vestibular, de las características que debe tener.
- Pruebas en adultos mayores: Mediante estas pruebas se busca obtener resultados en un ambiente real o falsas alertas de caídas en adultos mayores. Las pruebas se realizan en adultos mayores de 60 a 75 años y sin discapacidad, en sus vidas diarias.

1.8. Estructura de tesis

En esta sección se muestra la estructura de este documento.

Capítulo 2. Marco teórico

En este capítulo se definen los conceptos básicos y esenciales que se utilizan a lo largo de la tesis.

Capítulo 3. Estado del arte

En este capítulo se presentan los trabajos que fueron utilizados como referencia para el desarrollo de la tesis.

Capítulo 4. Diseño del dispositivo

En este capítulo se presenta una explicación detallada sobre la metodología Design Thinking para el desarrollo del dispositivo vestibular utilizado en este trabajo.

Capítulo 5. Diseño del software

En este capítulo se detalla el diseño del software desarrollado para esta tesis, el cual es el encargado de obtener los datos y procesarlos para realizar la detección de la caída. También se describe la implementación del método de detección de caídas basado en umbrales dentro del dispositivo vestibular.

Capítulo 6. Implementación del Software

En este capítulo se detalla la implementación de software desarrollado que se utilizó en la ejecución de pruebas, el cual es el encargado de obtener los datos y procesarlos para realizar la detección y notificación de la caída.

Capítulo 7. Pruebas y resultados

En este capítulo se presenta la descripción del entorno de experimentación, las pruebas realizadas y los resultados de las distintas fases de la experimentación.

Capítulo 8. Conclusiones y trabajos futuros

En este capítulo se presentan las conclusiones obtenidas a partir de las experimentaciones realizadas y se describen los trabajos futuros que podrían desarrollarse tomando en cuenta los resultados de esta tesis.

Capítulo 2.

Marco teórico

En este capítulo se definen los conceptos más importantes y relevantes para el desarrollo de esta investigación.

2.1. Definiciones del dominio

2.1.1. Caídas

Según la Real Academia Española es la acción de caer, la cual indica la acción de una persona de moverse de arriba hacia abajo por la inercia de su propio peso [9]. La Organización Mundial de la Salud la define como la precipitación de una persona contra una superficie firme en contra de su voluntad [10]. El fenómeno de la caída se puede dividir en cuatro fases.

- Estado inicial: Es el estado inicial antes de sufrir un desequilibrio que haga precipitar a la persona.
- Caída libre: Es cuando la persona pierde el equilibrio y se precipita contra una superficie firme.
- Impacto: Este suceso pasa cuando la persona recibe el impacto contra una superficie firme o el suelo.
- Estado final de reposo: Es el intervalo de tiempo que pasa la persona después del impacto hasta que se levanta o permanece en el suelo de manera voluntaria o involuntaria, durante ese intervalo de tiempo, que puede ser de algunos segundos, la persona cambia su ángulo respecto al suelo o superficie firme [11].

2.1.2. Adultos mayores

La Secretaría de Salud del gobierno mexicano y la Organización Mundial de la Salud (OMS), considera como adultos mayores a las personas que tienen 60 años o más. Desde un punto de vista biológico, el envejecimiento en los adultos mayores es el resultado de la acumulación de una gran variedad de daños moleculares y celulares a lo largo del tiempo, lo que lleva a un descenso gradual de las capacidades físicas y mentales. Por lo que se considera a adultos mayores un grupo vulnerable por sus condición física, financiera y social [12].

2.1.3. Aceleración de la gravedad

La aceleración de la gravedad o también conocida como aceleración gravitacional se define como la intensidad del campo gravitatorio de la Tierra. La aceleración de la gravedad es la atracción universal que impulsa los cuerpos hacia el centro de la tierra, es la fuerza que determina el peso de los cuerpos [20]. La aceleración de la gravedad se identifica con la letra g y se define como el incremento constante de la velocidad por unidad de tiempo que se ejerce en un cuerpo en caída libre. El Sistema Internacional de Unidades (SI) define que la magnitud de la aceleración de la gravedad se mide en unidades de m/s^2 y su valor aproximado en la superficie terrestre es de $9.8 m/s^2$ [20], [21].

2.2. Dispositivo

2.2.1. Dispositivos vestibles

Son dispositivos que se acoplan a la vestimenta o accesorios que una persona utiliza en el cuerpo (pulseras, relojes, anillos, bandas para la cabeza, chamarras, etc.). Son utilizados para procesar o guardar información de la persona o dispositivo que se conecta con él.

Los dispositivos vestibles cuentan con sensores que ayudan a conocer el entorno de una persona o su estado de salud. Cada uno está diseñado para realizar alguna o algunas tareas en específico, como son the fitness bands (bandas para medir el estado físico de una persona), otros para recibir notificaciones como los denominados Smartwatches (relojes inteligentes) o los Smart rings (anillos inteligentes), los cuales notifican la llegada de mensajes, correos, etc. Al teléfono inteligente.

Los dispositivos vestibles pueden establecer comunicación con otros dispositivos, por ejemplo, por internet o Bluetooth, para compartir información del movimiento físico de la persona, de su estado de salud o algunos parámetros fisiológicos (ritmo cardiaco, temperatura, oxigenación, etc.). Hay algunos capaces de interactuar con otros teléfonos inteligentes, televisores, carros, etc. [15].

2.2.2. Sensores

Según la Real Academia Española [13], los sensores proveen información del entorno con la que podemos obtener información de ciertas variables y procesarlas para generar órdenes o activar procesos. Los sensores imitan la percepción humana. Podemos relacionarlos con los sentidos, como la vista, el oído, el tacto, etc. Los sensores se encuentran muy presentes en nuestra vida diaria, en los dispositivos que ocupamos, como los teléfonos, electrodomésticos, automóviles, etc. Existe una gran cantidad de tipos de sensores. A continuación, se muestra la clasificación que se propone en [14].

Atendiendo a su funcionamiento

- **Activos:** Requieren una fuente externa de energía para su funcionamiento.
- **Pasivos:** No requieren una fuente externa de energía para su funcionamiento, sino que, funcionan con las condiciones medioambientales.

Atendiendo a las señales que proporciona

- **Analógicos:** Proporcionan la información por una señal analógica (por ejemplo, tensión o corriente) en un cierto rango.
- **Digitales:** Dan la información mediante señales digitales (bits) de rango 0 o 1 lógicos

Atendiendo a la naturaleza de su funcionamiento

- **Posición:** Detectan variaciones de posición .
- **Fotoeléctricos:** Experimentan variaciones en función de la luz recibida.
- **Magnéticos:** Experimentan variaciones en función del campo magnético que lo atraviesa.
- **Temperatura:** Detectan la temperatura del lugar donde se encuentra.
- **Humedad:** Obtienen la humedad existente del medio donde se encuentran.
- **Presión:** Miden la presión a la cual son sometidos.
- **Movimiento:** Experimentan variaciones en función de los movimientos a que son sometidos.

- **Químicos:** Detectan variaciones en funciones de agentes químicos externos que inciden sobre ellos.

Atendiendo a los elementos utilizados en su fabricación

- **Mecánicos:** Son aquellos que usan contactos mecánicos que se abren o cierran.
- **Resistivos:** Utilizan elementos resistivos en su fabricación.
- **Capacitivos:** Utilizan en su fabricación condensadores.
- **Inductivos:** Utilizan bobinas eléctricas en su fabricación.
- **Piezoeléctricos:** Utilizan cristales de cuarzo similares en su fabricación.
- **Semiconductores:** Utilizan materiales semiconductores en su construcción.

2.3.1.1. Acelerómetros

Son sensores de movimiento que detectan aceleración, también conocidos como acelerómetros. Se basan en el principio de aceleración descubierto por Newton. Están conformados por un material móvil que recibe la fuerza de aceleración. Puede actuar en varios ejes (X, Y o Z) al detectar fuerzas transversales.

Los sensores de aceleración pueden ser analógicos o digitales, dependiendo del tipo de señal que proporcionan. Establece sus límites de funcionamiento mediante la aceleración de la gravedad ($g=9,8 \text{ m/s}^2$ es la medida de la aceleración). Consta de elementos sencillos que soportan de 2 g, hasta 2,000 g [14].

2.3. Teléfono

2.3.1. Teléfono inteligente

Terminal móvil que ofrece servicios avanzados de comunicaciones (acceso a internet y correo electrónico), así como diversos servicios y aplicaciones. Cuentan con mayor grado de conectividad que un terminal móvil convencional [16]. Son dispositivos que combinan las funcionalidades de un teléfono móvil y una computadora. Para denominar un teléfono móvil como inteligente se deben cumplir las siguientes cualidades [13]:

- Pantalla táctil
- Sistema operativo
- Conexión a internet por WiFi o Red de telefonía móvil
- Capacidad multitarea
- Teclado virtual

2.3.2. SMS

Short message service (SMS por sus siglas en inglés, servicio de mensajes cortos), es un servicio de las compañías telefónicas, que permite enviar y recibir mensajes entre dispositivos que utilicen sus servicios [17]. Los SMS se basan en tres grandes tecnologías, los GSM (Global System for Mobile, por sus siglas en inglés), CDMA (Code Division Multiple Access, por sus siglas en inglés) y TDMA (Time Division Multiple Access, por sus siglas en inglés), proporcionada por las redes 3G en adelante. Los mensajes tienen una limitante de 160 caracteres y 70 en China e India. Esto fue definido por Friedhelm Hillebrand en 1985, tomando en cuenta el promedio de caracteres en una oración y el ancho de banda de esa época [18].

2.4. Comunicación entre el dispositivo vestible y el teléfono inteligente

2.4.1. Bluetooth BLE

Es una tecnología inalámbrica de radiofrecuencia para la transmisión de datos utilizada por los dispositivos móviles, cámaras, computadoras, impresoras, etc [16]. El Bluetooth BLE (Bluetooth LE, Bluetooth Low Energy, por sus siglas en inglés), es una variante del bluetooth y fue introducido en el año 2009 por Bluetooth SIG (Bluetooth Special Interest Group, por sus siglas en inglés), por las especificaciones del Bluetooth 4.0. Está diseñado para un consumo bajo de energía, manteniendo un rango de comunicación como su predecesor el Bluetooth clásico [19].

2 2

Capítulo 3.

Estado del arte

En este capítulo se presentan la revisión al estado del arte sobre los temas relevantes de esta tesis que son: la detección de caídas, los métodos utilizados para detección de caída, las tecnologías utilizadas, la mejor zona del cuerpo para colocar el dispositivo vestible y los resultados que se obtuvieron los trabajos del estado del arte.

A continuación, se describen los criterios utilizados para la selección de trabajos relacionados con esta investigación:

- **Descripción general:** Se describen de manera general las características más relevantes del trabajo.
- **Tecnologías utilizadas:** Se especifican las tecnologías, algoritmos, o métodos utilizados para la captura de la información durante la investigación.
- **Resultados obtenidos:** Se muestran los resultados obtenidos de las investigaciones, como los márgenes de errores presentados en sus experimentaciones, la exactitud de las detecciones y el funcionamiento de los algoritmos implementados.
- **Conclusiones:** Se presentan las conclusiones de la investigación, mostrando las ventajas y desventajas que se identificaron de los componentes utilizados, que servirá para el tema de investigación.

3.1. Título: Desarrollo de un Prototipo detector de caídas utilizando la placa Intel Galileo Generación I y el sensor MPU6050

Autores:

Esteban Carnuccio, Waldo Valiente, Mariano Volker, Graciela De Luca, Gerardo Garcia, Daniel Giulianelli y Sebastián Barillaro

Descripción general:

En este trabajo los autores desarrollaron un prototipo para la detección de caídas. Los autores muestran los resultados, algunos problemas encontrados en el desarrollo y las soluciones para que el prototipo funcionara [11].

Los autores calculan la inclinación de las personas en una caída mediante fases. Miden el ángulo en la posición inicial de una caída (A), contra el ángulo de la posición final de una caída (D), mediante un producto escalar de los vectores de aceleración del estado inicial y los vectores de aceleración de un instante determinado. Los autores utilizan la fórmula que se muestra en la **Figura 3-1**.

$$\cos \alpha = \frac{(Acelx_{t0})^2 \cdot (Acelx_{tn})^2 + (Acely_{t0})^2 \cdot (Acely_{tn})^2 + (Acelz_{t0})^2 \cdot (Acelz_{tn})^2}{\sqrt{(Acelx_{t0})^2 + (Acely_{t0})^2 + (Acelz_{t0})^2} \cdot \sqrt{(Acelx_{tn})^2 + (Acely_{tn})^2 + (Acelz_{tn})^2}}$$

Figura 3-1: Fórmula de inclinación de las personas del artículo

Los autores realizan varias pruebas evaluando tanto el sistema como los componentes en diferentes escenarios y conexiones. El trabajo describe y resalta que las pruebas

realizadas fueron con personas sanas, ellos realizaron distintas actividades de la vida diaria y les miden las aceleraciones que generan.

Con respecto a los datos obtenidos en la literatura, observaron que era necesario un cambio de 2 g a 16 g, ya que el 2 g una persona lo alcanza fácilmente en una caminata normal.

Tecnologías utilizadas:

En este trabajo se utilizó una placa Intel Galileo Gen 1, un acelerómetro con giroscopio MPU6050, una batería, un botón para reiniciar la placa, un módulo WiFi, un procesador DMP del MPU6050 y se construyó un circuito reductor con transistor LM2576.

Los autores utilizaron la placa Intel Galileo Gen 1 para la conexión entre todos los dispositivos mediante el lenguaje de programación Node.js y sketches de Arduino. Con estos lenguajes programaron los eventos para la detección de caída, los cuales son 4: precipitación, caída libre, impacto y reposo final, los cuales son utilizados por el algoritmo

En la **Figura 3-2** se muestra el prototipo utilizado por los autores.

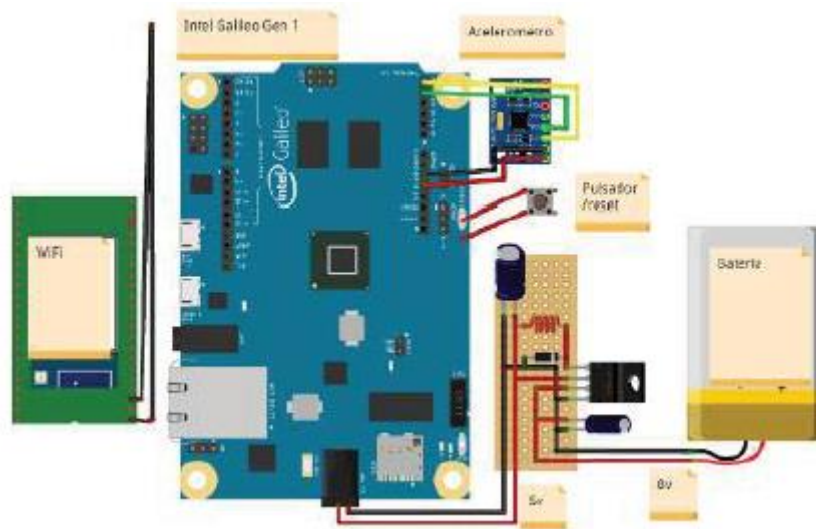


Figura 3-2: Componentes del dispositivo del artículo

Resultados:

Los autores muestran los resultados de dos acciones realizadas, una es de la vida diaria (caminar) y la otra es una caída frontal.

En la caminata muestran que la aceleración no supera los 2.5 g sin llegar a disminuir a 0 g como lo muestra la **Figura 3-3**.



Figura 3-3: Gráfica de resultados de caminata del artículo 4.2

En la **Figura 3-4** se muestran los resultados de la simulación cuando una persona que está de pie y tiene una caída frontal. En la primera gráfica se observan los valores de aceleración de la caída y en la segunda se muestra la variación de los ángulos que va adquiriendo la caída.

Se observa que el ángulo inicial (A) es de 0° cuando pierde el equilibrio, luego se produce la fase de caída libre (B), en la cual muestra la disminución de aceleración de 1 g hacia el valor 0 g. Cuando la persona choca con el piso le llaman Impacto (C) que genera un pico de 7 g, superando los 2.5 g de la acción de caminata y finalmente entra al estado de Reposo (D), en el cual la aceleración vuelve a 1 g.

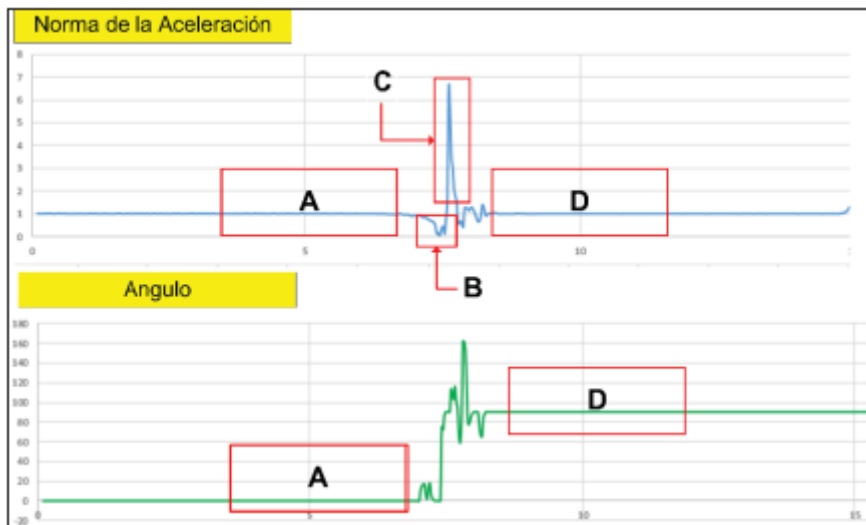


Figura 3-4: Gráfica de resultados de una caída del artículo 4.2

Conclusiones:

Los autores consideran que sus resultados son favorables, mediante las restricciones que utiliza su algoritmo para detectar cuando una persona ha sufrido una caída. Los autores esperan que en un futuro se pueda incorporar nuevos sensores que ayuden a mejorar la predicción de la detección de caídas. Los autores buscaron generar un prototipo para su venta que esté al alcance de cualquier persona utilizando componentes electrónicos accesibles y económicos.

3.2. Título: Wearable sensor networks supported by mobile devices for fall detection[22].

Autores:

Ricardo Freitas, Miguel Terroso, Marco Marques, Joaquim Gabriel, Antonio Torres Marques y Ricardo Simoes.

Descripción general:

En este trabajo se plantea la utilización de un dispositivo vestible capaz de detectar caídas en adultos mayores. El trabajo describe un sistema el cual se basa en un sensor vestible portátil, una aplicación Android y un sitio web.

Los autores proponen la colocación del dispositivo vestible en el torso del adulto mayor, conectándolo con el teléfono inteligente mediante un módulo Bluetooth BLE. Cuando se detecta una incidencia, el teléfono inteligente envía una alerta a las personas registradas que están a su cuidado. En el sitio web se puede consultar la cantidad de incidencias de caídas, sus ubicaciones y la batería del dispositivo vestible. El sistema trata de dar alertas a las personas a cargo del adulto mayor para la rápida asistencia en caso de una incidencia de caída detectada.

Tecnologías utilizadas:

El dispositivo vestible que utilizan los autores está compuesto por los módulos de Bluetooth BLE y de procesamiento de caídas. El Bluetooth BLE es el PAN1721 de Panasonic, el cual incluye procesador integrado, antena y pila. El módulo de procesamiento de caídas está conformado por un acelerómetro (Kionix KXCJ9) y un microprocesador (MSP430F5342). El acelerómetro está configurado en 50 Hz, ya que los movimientos corporales de una persona no superan los 20 Hz a 15 Hz. El acelerómetro se comunica con el microprocesador mediante un puerto , despertándose del estado de reposo, para realizar el procesamiento de los datos mediante un algoritmo para detección de caídas.

El módulo de procesamiento de caídas utiliza dos algoritmos para la detección de caídas. El primero es el algoritmo de caída libre, teniendo como función la detección de la caída de la persona y avisar que ha sucedido dicha situación. El segundo es el algoritmo de área de magnitud de señal, este detecta los aumentos de actividades en los ejes del acelerómetro, para después calcular la postura de la persona cada segundo.

Los autores utilizan la tecnología de los teléfonos inteligentes para alertar a los cuidadores de un evento de caída. Ellos desarrollaron una aplicación para la plataforma Android, utilizando el kit de desarrollo SDK del entorno de desarrollo Android. Para el almacenamiento de los datos de forma permanente utilizaron la plataforma SQLite. Cuando el teléfono recibe un evento de caída, obtiene los datos GPS para enviarlos en la alerta al cuidador. La alerta la envía el teléfono mediante mensajes SMS, los cuales contienen el nombre y dirección. Los mensajes tienen un lapso de 30 segundos para ser cancelados en caso de una falsa caída.

En este trabajo los autores utilizaron un sitio web con el objetivo de que tanto cuidadores, como personal médico autorizado puedan consultar la información del adulto mayor monitoreado. Fue desarrollado en ASP.NET y HTML5 junto con C# como lenguaje de programación. El sitio muestra los eventos de caídas de dos maneras: como en historial o en formato de mapa mediante la interfaz de la API de Google Maps

Resultados:

Los autores mencionan que las pruebas fueron realizadas con una sola persona, probando los diferentes tipos de caídas: hacia delante, atrás, a los laterales y desde una silla. Ellos manifiestan que los resultados de estas pruebas fueron satisfactorios ya que las caídas se detectaron correctamente. También se realizaron pruebas del dispositivo vestible en situaciones de la vida diaria como caminar, correr, sentarse y pararse. Indican que en ningún caso se detectaron falsos positivos. Las funciones del dispositivo vestible, la aplicación y el sitio web se probaron para garantizar su correcto funcionamiento y la comunicación entre ellos.

Conclusiones:

De acuerdo con lo expuesto en este trabajo, el sensor desarrollado detecta correctamente las caídas, distinguiendo entre las actividades de la vida diaria. Utilizando el módulo de comunicación Bluetooth BLE se logra una larga vida del dispositivo por su bajo consumo de energía. El sistema fue desarrollado para un bajo consumo de energía. La aplicación fue desarrollada para que fuera intuitiva y fácil de utilizar. Se mantiene siempre en línea incluso desde encender el teléfono, para mantener siempre la comunicación con los cuidadores en caso de sufrir un evento de caída. El sistema permite una asistencia más rápida y un fácil uso para los adultos mayores.

3.3. Título: Detecting Human Falls with a 3-Axis Digital Accelerometer [20]

Autor:

By Ning Jia

Descripción general:

En este trabajo se realizó la detección de caídas para personas mediante un acelerómetro de 3 ejes *Analog Devices* (ADXL345). El artículo está dividido en 5 puntos

El primero es sobre el acelerómetro ADXL345. El autor describe las características del acelerómetro por las cuales fue seleccionado, las cuales son aprovechadas para acceder a los valores de la aceleración utilizados en el algoritmo y para la realización de otros cálculos.

En el segundo punto el autor habla sobre los pines de interrupción del acelerómetro ADXL345, el cual consta de 2 pines INT1 e INT2, que contienen un total de 8 funciones disponibles. Cada interruptor se puede deshabilitar o habilitar independientemente y tienen la opción de mapearse. Las funciones se pueden utilizar simultáneamente, sin embargo, hay que considerar que algunas necesitan de los dos pines para su funcionamiento. Las ocho funciones son: *DATA_READY*, *SINGLE_TAP*, *DOUBLE_TAP*, *ACTIVITY*, *INACTIVITY*, *FREE_FALL*, *WATERMARK* y *OVERRUN*.

En el tercer punto se habla sobre las características de cambio de aceleración al caer. Muestra las comparaciones de cuatro actividades en el cual se midieron los cambios de aceleración. Las cuatro actividades son subir escaleras, bajar escaleras, sentarse y levantarse de una silla. También el autor muestra las diferencias de estas cuatro actividades con las del cambio de aceleración al sufrir una caída, dividiéndose en cuatro puntos: inicio de la caída, el impacto, secuelas y comparación del antes y después de la caída. El autor menciona que el periodo de tiempo de la inactividad después de una caída puede ser corto o largo si la persona queda inconsciente.

En el cuarto punto el autor habla sobre conexión de circuito típica, entre el ADXL345 y un microprocesador analógico ADuC7026

En el punto número cinco el autor muestra en una tabla cada bit de registro del ADXL345 y en una figura el algoritmo utilizado.

Tecnologías utilizadas:

Utilizando dos tecnologías para la realización de este trabajo, el autor ocupa un acelerómetro MEMS de 3 ejes ADXL345 y microprocesador analógico ADuC7026.

El ADXL345 cuenta con $\pm 2\text{-g}$, $\pm 2\text{-g}$, $\pm 2\text{-g}$ $0 \pm 2\text{-g}$ de rango de medición, tiene una resolución de hasta 13 bits con sensibilidad fija de 4 mg /LSB . Es un pequeño paquete de $3 \times 5 \times 1 \text{ mm}$ con un consumo de energía bajo de 25 a $130 \mu\text{A}$, almacenamiento FIFO de 32 niveles e I2C® estándar e Interfaz digital en serie SPI. Es utilizado por el autor por estas características, ya que ayudan a minimizar la complejidad del algoritmo que se utiliza.

El microprocesador ADuC7026 se conecta al acelerómetro ADXL345. En la **Figura 3-5** se muestra la conexión del SDA y SCL, los datos y el reloj del I²C bus se conectan a los pines correspondientes del ADuC7026. El GPIO del ADuC7026 se conectó al pin ALT del ADXL345, para seleccionar el I²C de la dirección del ADXL345, el pin INT1 del ADXL345 se conectó a la entrada IRQ del ADuC7026 para generar la señal de interrupción.

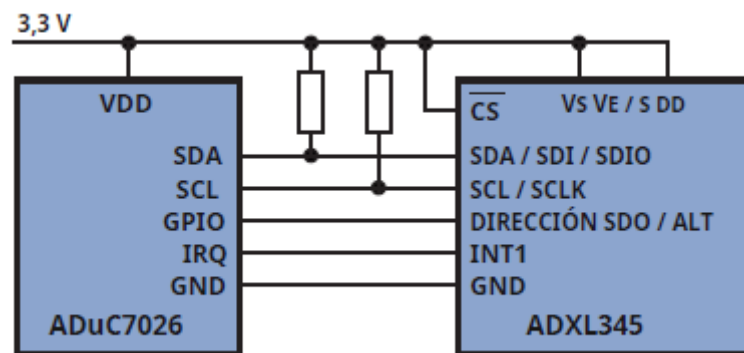


Figura 3-5: Conexiones entre el acelerómetro y el microprocesador del artículo 4.5

Resultados:

El autor menciona que los datos obtenidos en sus pruebas son del acelerómetro MEMS de 3 ejes, el cual fue colocado en un cinturón que se pone en el cuerpo del individuo. Muestra cinco gráficas que describen situaciones en las cuales el acelerómetro puede detectar una variación en sus ejes X, Y y Z. Las pruebas son bajar y subir escaleras, sentarse y estar de pie.

En la **Figura 3-6** se muestra en un intervalo de 50 s, la variación de los ejes X, Y y Z al bajar escaleras, el autor muestra los resultados de una persona que baja una escalera utilizando el dispositivo. Se presentan cuatro líneas, las rojas son la aceleración del eje de las Y, la cual está en equilibrio a -1 g , las negras son la aceleración del eje X estando en equilibrio a 0 g , las amarillas son la aceleración del eje de las Z (hacia los laterales), estando en equilibrio a 0 g y las verdes son la suma de la magnitud vectorial que tiene que estar a 1 g para estar en equilibrio.

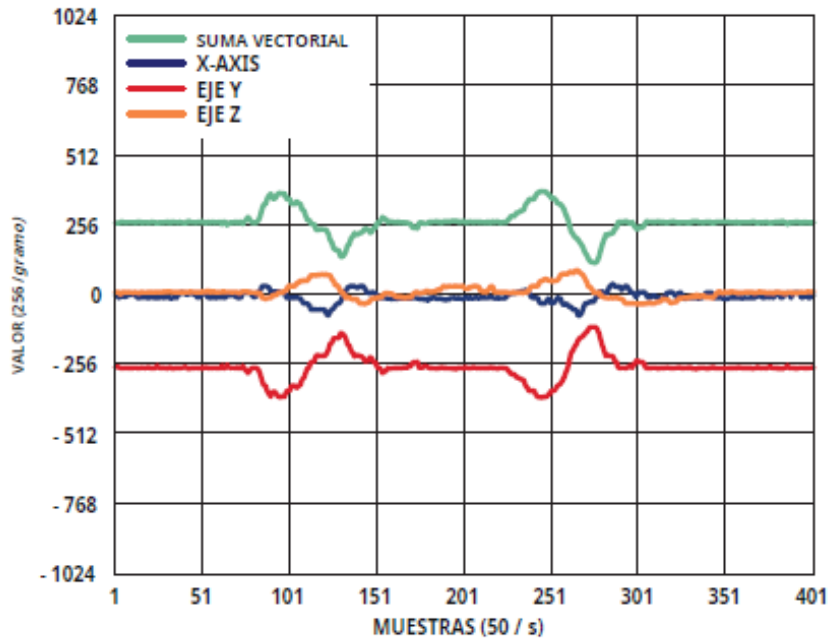


Figura 3-6: Valores de las pruebas del acelerómetro al subir una escalera del artículo 4.5

En la **Figura 3-7** se muestra en un intervalo de 50 s la variación de los ejes X, Y y Z al subir las escaleras, el autor muestra los resultados de una persona que sube una escalera utilizando el dispositivo.

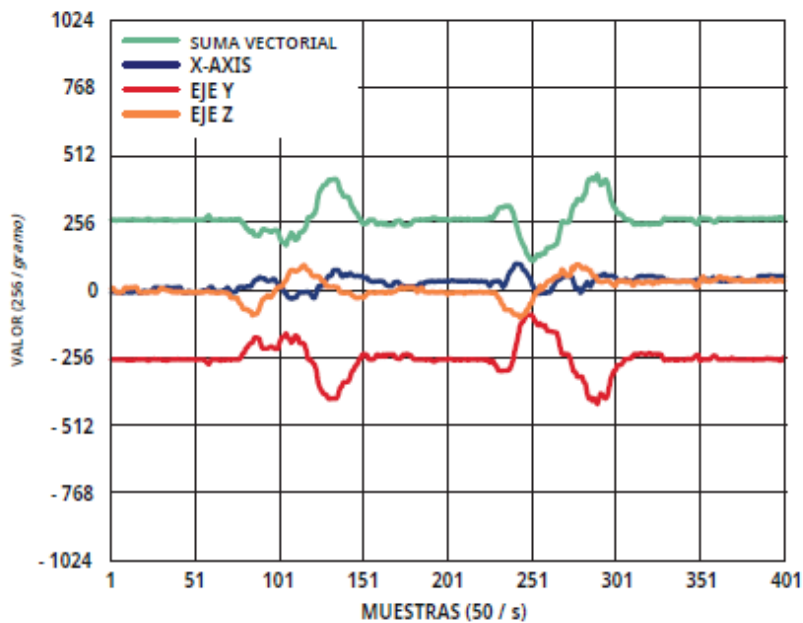


Figura 3-7: Valores de las pruebas del acelerómetro al bajar una escalera del artículo 4.5

En la **Figura 3-8** se muestra en un intervalo de 50 s la variación de los ejes X, Y y Z al sentarse, el autor muestra los resultados de una persona que sentarse utilizando el dispositivo, los cuales son los más elevados y que podrían dar falsas detecciones de caídas.

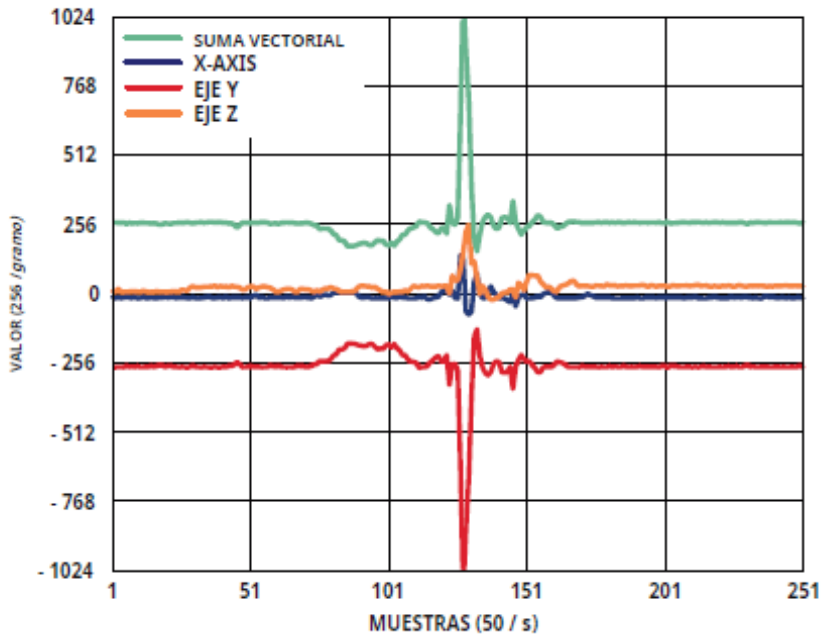


Figura 3-8: Valores de las pruebas del acelerómetro al sentarse del artículo 4.5

En la **Figura 3-9** se muestra en un intervalo de 50 s la variación de los ejes X, Y y Z al estar de pie, el autor muestra los resultados de una persona que está de pie utilizando el dispositivo.

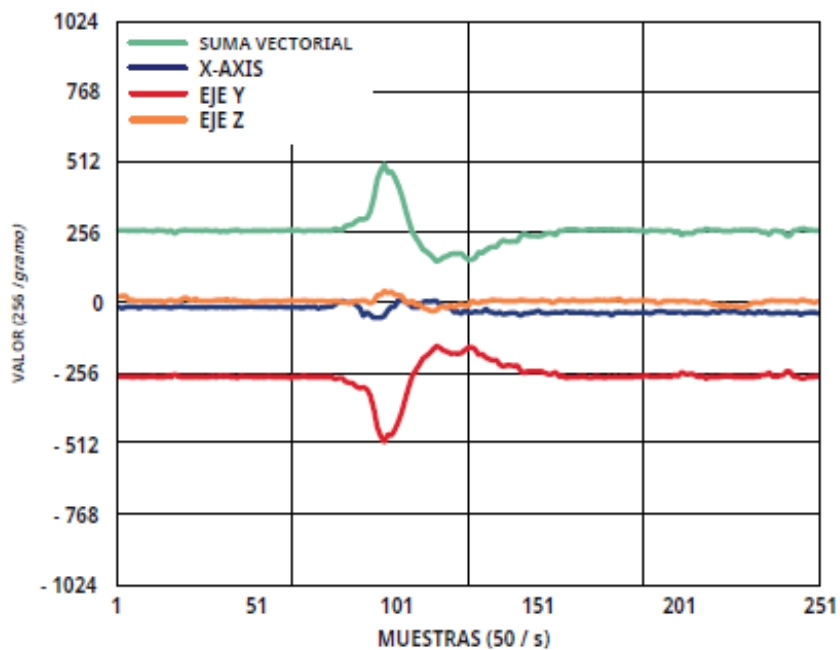


Figura 3-9: Valores de las pruebas del acelerómetro al estar de pie del artículo 4.5

En la **Figura 3-10** se muestra en un intervalo de 50 s la variación en la aceleración de los ejes X, Y y Z al sufrir una caída accidental, el autor muestra los cuatro estados de una caída.

El primero es el inicio de la caída, en el cual se sufre un estado de ingravidez que hace que la suma vectorial tienda a ser menor que 1 g. Es el primer estado a considerar en la

detección de una caída, el cual puede ser detectado por la función de interrupción *FREE_FALL* del acelerómetro.

El segundo estado es el impacto de la caída, después de sufrir una ingravidez, el cuerpo de la persona que está sufriendo una caída, se impacta contra el suelo u otro objeto, aumentando la curva de aceleración. Podría detectarse mediante la función *ACTIVITY* del acelerómetro, haciendo que para detectar una caída la función *ACTIVITY*, debe activarse después de la función *FREE_FALL*.

En el tercer estado son las secuelas al sufrir una caída. El autor menciona que después del impacto las personas se mantienen por un periodo de tiempo corto inmóviles, lo cual puede ser detectado por la función *INACTIVITY*.

En el cuarto estado el autor hace una comparación entre el antes y después de sufrir una caída, la cual menciona que, si excede un cierto umbral entre el estado inicial y los datos de muestreo, es otro punto para detectar una caída. En la **Figura 3-10** se muestra enumerando del 1 al 4 los estados de una caída. También el autor dice que es evidente que la caída fue de lado cuando ha cambiado el eje Y y tiene un valor de -1 g y el eje Z 1 g.

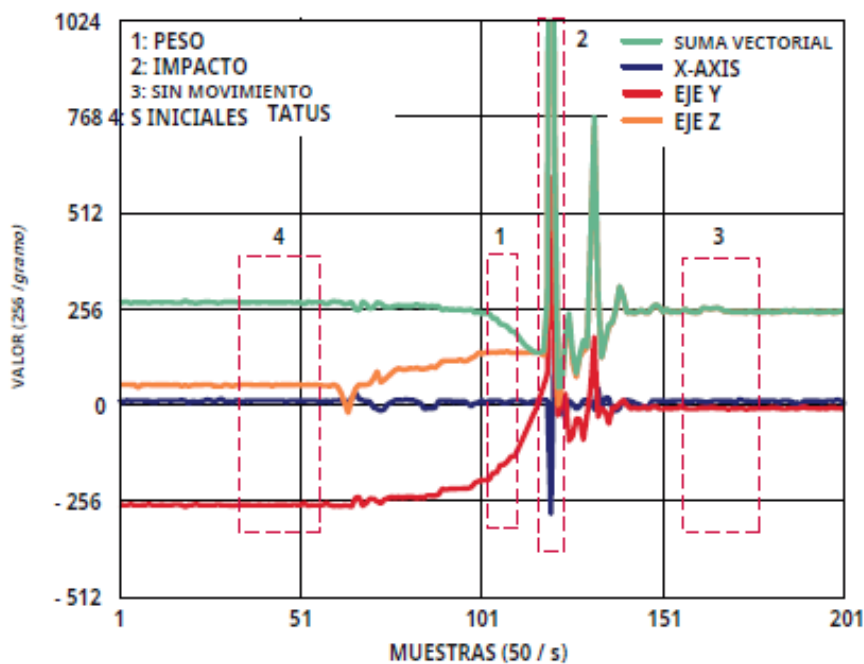


Figura 3-10: Valores de las pruebas del acelerómetro de los estados de una caída del artículo 4.5

Conclusiones:

En este trabajo el autor propone una solución a la problemática de detección de caídas aprovechando las funciones integradas del acelerómetro ADXL345 MEMS de 3 ejes, reduciendo la complejidad del algoritmo.

3.4. Título: Wagyromag: red inalámbrica de sensores inerciales para el registro y procesamiento de movimientos corporales [21]

Autores:

Alberto Olivares Vicente, Gonzalo Olivares, Juan M. Gorríz y Javier Ramirez

Descripción general:

En este trabajo los autores proponen un dispositivo llamado *Wagyromag* (*Wireless Accelerometer, Gyroscope and Magnetometer*), explicando la arquitectura utilizada, así como los componentes que utilizaron y algunas de las aplicaciones que en las cuales se puede utilizar el dispositivo [21].

El objetivo del trabajo es el desarrollo de una red inalámbrica de sensores MEMS, para el monitoreo de los movimientos del cuerpo humano y proponer una base de los algoritmos de preprocesamiento de las señales captadas.

Los autores calculan la inclinación del acelerómetro descomponiendo los vectores de gravedad y utilizan las medidas de cada uno de sus ejes en sus aceleraciones. Utilizan la siguiente fórmula del cabeceo (φ), esta es la rotación del eje de las Y. Los a_x , a_y y a_z , son los valores de la aceleración de los ejes X, Y y Z.

$$“\varphi = \arctan(ax / az)”$$

Para la obtención del eje de las X utilizaron el alabeo (θ), que es:

$$“\theta = \arctan(ax / ay)”$$

Para el cálculo de la inclinación con el giroscopio los autores utilizaron un método de integración numérica. Para el cálculo de inclinación con magnetómetro asociaron las variaciones del campo electromagnético de la tierra, obteniendo de 0° a 360° , este método es efectivo siempre que no tenga campos electromagnéticos que interfieran. Por último, se realizó un cálculo con todos los dispositivos, el cual consiste en ocupar los datos de varios sensores y utilizando un algoritmo de filtrado adaptativo, las **Figuras 3-11** y **3-12** muestra los diagramas utilizados por los autores para representar la implementación de la fusión de los sensores usando los algoritmos de filtrado Kalman y LMS o RLS.

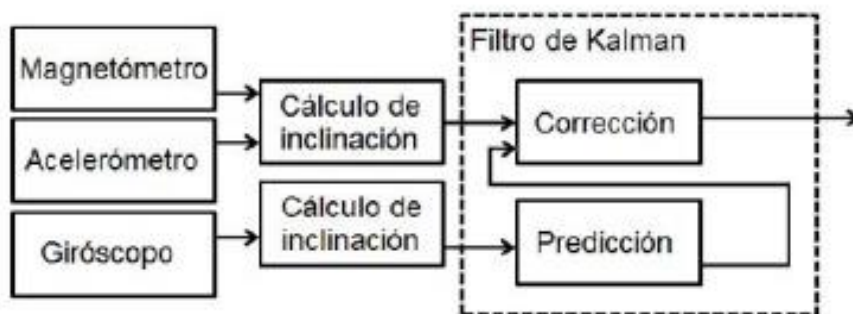


Figura 3-11: Diagrama de fusión basado en el filtrado Kalman artículo 4.6

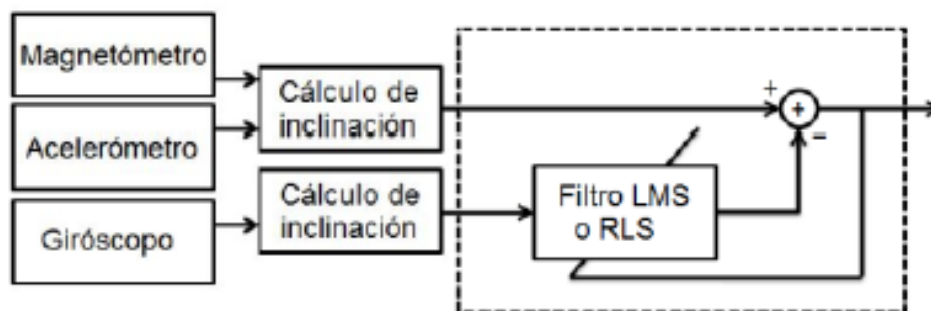


Figura 3-12: Diagrama de fusión basado en el filtrado LMS o RLS artículo 4.6

Tecnologías utilizadas:

En este trabajo se utilizó el acelerómetro MEMS ADXL335 de tres ejes, el cual cuenta con una frecuencia de respuesta de 0.5 Hz hasta 1600 Hz de sus ejes X e Y, para el eje Z cuenta con 0.5 Hz hasta 550 Hz. También utilizaron dos giroscopios el LPR550AL y LPR550ALH, ambos con un rango de medida de ± 500 °/seg, tiene una frecuencia de 140 Hz. Así mismo utilizaron un sensor magneto-resistivo HMC584 de tres ejes cuyo rango es de ± 0.7 y ± 4 Gauss, sirve para medir la con una presión de ± 0.5 con respecto al norte magnético. Además, agregan un sensor de temperatura MCP9700A que tiene un rango de 40° a 125° , con precisión de ± 2 °C.

Para la parte del procesamiento mencionan que se utiliza un microcontrolador PIC 24FJ64B004, el cual cuenta con una memoria de programa de 64 KB, además de 8 KB de SRAM, 13 canales de conversión y USB.

En el envío de los datos utilizan un transceptor XBEE, el cual basa su comunicación en el estándar IEEE 802.15.4 WPAN (*Wireless Personal Area Networks*). Este dispositivo admite una tasa de transferencia de 250 Kbps y tiene una banda de 2.4 GHz.

También utilizaron una batería de LiPo con capacidad de carga de 360 mAh, la cual entrega un voltaje de 3.7.

Resultados:

En la calibración de los distintos sensores los autores utilizaron algoritmos de preprocesamiento y calibración. Los cuales dieron como resultado los datos plasmados en la **Figura 3-13**, la cual muestra patrones identificables según mencionan los autores, para ser utilizados en la clasificación automática de actividades físicas.

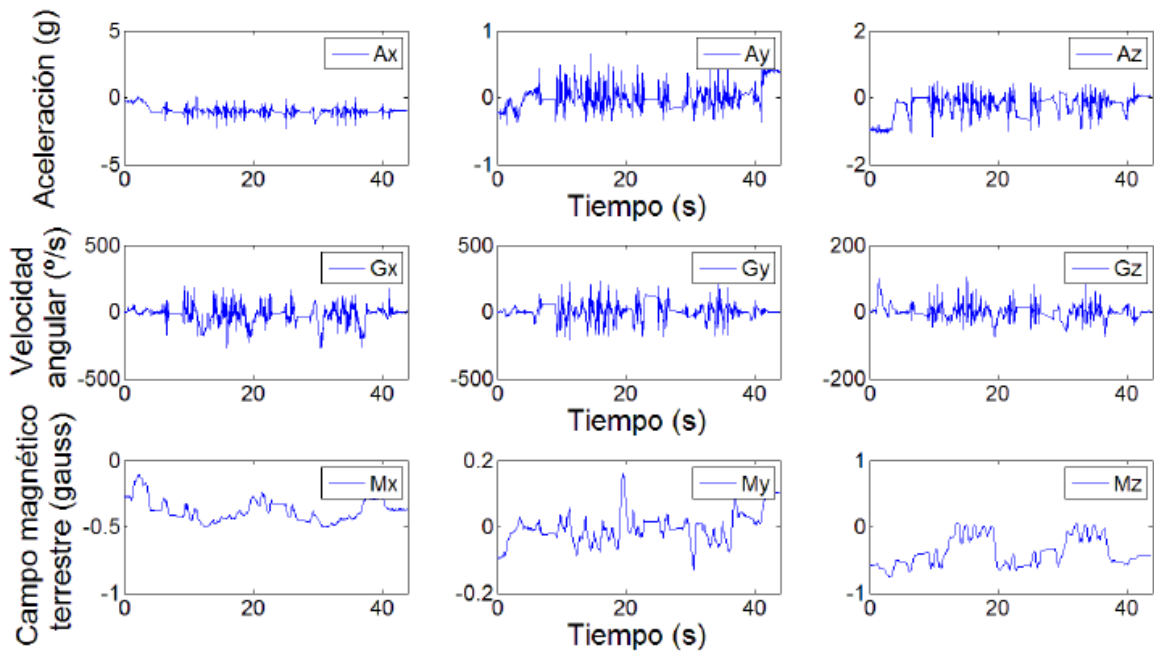


Figura 3.13: Resultados del artículo 4.6

Conclusiones:

Los autores mencionan que, con estas tecnologías de monitoreo de actividades de las personas, se puede utilizar para muchos usos como asistencia médica, deportes, etc. Todo esto debido a los bajos costos y consumos de energía, mencionan que su dispositivo ya ha sido utilizado en telerehabilitación y la detección de caídas, también dicen se utilizara en monitoreo de ataques epilépticos nocturnos.

3.5. Título: Detector automático de caídas y monitorización de actividad para personas mayores

Autores:

Guillaume Pérollea e Igone Etxeberria Arritxabalb

Descripción general:

Los autores describen los distintos tipos de tecnologías utilizados para la detección de caídas, los cuales son:

- Aparatos que se portan para detección inmediata. Son dispositivos que el usuario porta, los cuales son capaces de detectar caídas y enviar alertas de manera inmediata.
- Aparatos que se portan y que detectan comportamiento inusual. Son dispositivos que monitorean las actividades de las personas semejantes a los anteriores. El usuario lo porta en alguna parte de su cuerpo, pero tardan más en detectar alguna anomalía en las actividades de las personas (hasta una hora después).
- Monitorización ambiental, detección inmediata. Son sensores colocados en los espacios por los cuales la persona camina. Además de ser invasivos son costosos.

- Monitorización ambiental, comportamiento inusual. Monitorean las actividades de las personas utilizando tecnologías que detectan comportamiento inusual como lo puede ser una caída [26].

Los autores colocan en perspectiva en el desarrollo de su tema la opinión de las personas que utilizan el servicio que ellos ofrecen y definen los siguientes puntos

- La fiabilidad del sistema, el objetivo de este sistema es dar más seguridad en la vida diaria de los adultos mayores.
- Funciones y servicios ofrecidos, para los usuarios son tres servicios primordiales que son el seguimiento de las actividades, la detección automática de caídas y la localización de los usuarios.
- Diseño discreto y no molesto, para los usuarios finales es importante que el dispositivo no les moleste al utilizarlo y que sea discreto para su portabilidad.
- Que la interfaz y su usabilidad sea fácil e intuitiva, es importante esta parte ya que los usuarios finales son personas que no van muy bien de la mano con la tecnología y es un factor muy importante para tomarse en cuenta, es por ello que el sistema será fácil e intuitivo contando con un botón de alarma, el cual puede desactivar o activar una alerta.
- Privacidad de la información. Los usuarios solicitaron privacidad de la información, ya que esos sistemas capturan datos personales, así como las actividades de la vida diaria que también se consideran personales.

En este trabajo describen a detalle el sistema, en dos fases.

- Un módulo móvil que porta usuario, . En este módulo se describen las funciones que son: que sea ergonómico e intuitivo, tenga seguimiento de las actividades, detección automática de caídas, localización del usuario y comunicación bidimensional con el centro de llamadas.
- Un centro de llamadas tiene la funcionalidad de recibir, clasificar la información, y generar informes. Se puede acceder a estas funciones del sistema mediante un sitio web. El usuario puede gestionar su propia información : personas monitoreadas, dispositivos, eventos, informes y parámetros. El sitio está desarrollado en Visual Basic, la base de datos en SQL y utilizan Windows como SO.

Los autores realizaron pruebas en tres entornos diferentes, laboratorios, domicilios y centros gerontológicos, en los cuales se juntaron 100 personas mayores de 65 años de manera voluntaria para realizar las pruebas.

- En el laboratorio un total de cincuenta personas realizaron las pruebas, las cuales consistían en actividades de la vida diaria como sentarse, caminar, levantarse de una silla, etc.
- En los domicilios veinticinco hicieron la prueba durante veinticuatro horas siete días de la semana, si se detectaba una alerta de caída, se mandaba un mensaje SMS a un responsable del proyecto.
- En el centro gerontológico, veinticinco personas hicieron la prueba, en la cual se les solicitaba lo mismo que en el punto anterior.

Tecnologías utilizadas:

El autor utilizó un acelerómetro biaxial de la tecnología MEMS, para la recopilación de datos de las personas.

Esta información se procesa mediante redes neuronales, las cuales, por los datos obtenidos por el acelerómetro, son capaces de catalogar en cuatro las actividades de los usuarios las cuales son: grado de actividad nula, bajo, medio y alto. Generan información que es enviada cada 24 horas al centro de llamadas. El algoritmo está diseñado para detectar patrones en las actividades de las personas y también para detectar el tipo de caída (de frente, de espaldas o a los lados). Distingue una caída de las actividades diarias de las personas como sentarse, subir y bajar escaleras, caminar, etc.

Los autores utilizan las tecnologías de redes GPS y GSM/GPRS para que el proyecto se pueda utilizar tanto en exteriores como en interiores, la tecnología GPS, sirve para localizar a la persona que utiliza el dispositivo mediante su teléfono celular. La GSM/GPRS, la utilizaron para la comunicación con el centro de llamadas mediante el protocolo UDP.

Resultados:

En este trabajo se obtuvieron que la mayoría de los que realizaron las pruebas fueron mujeres con un 91%, de las cuales 51% viven solas, el 24% vive con sus cónyuges y el 25 % en los centros gerontológicos, la edad estaba en el rango de 60 a 70 años 21%, de 70 a 80 años 43% y el 36% mayores a 80.

En las caídas el 52% de las personas que hicieron las pruebas habían sufrido una caída en el último año y el 59% habían tenido consecuencias físicas y el 50% dijo tener miedo de sufrir otra caída.

Todos los usuarios que realizaron la prueba dijeron estar conformes con las funciones que ofrece el dispositivo y también del personal sanitario.

Conclusiones:

En este trabajo las pruebas realizadas en los tres diferentes entornos permitieron observar la aceptación y la fiabilidad del sistema, esto permite que los usuarios finales tengan una buena aceptación. Los autores consideran que se ofrece una mejora frente a los servicios que existían en ese momento y que mejora la vida de los adultos mayores.

Capítulo 4.

Dispositivo vestibular

En este capítulo se muestra el diseño del dispositivo y la metodología que se utilizó para generarlo, además de los componentes y las dimensiones del dispositivo vestible.

4.1. Diseño del dispositivo

Design Thinking es una metodología para generar ideas innovadoras que se centra en la eficacia de entender y dar solución a las necesidades reales de los usuarios. Proviene de la forma en la que trabajan los diseñadores de producto [23].

Esta metodología se desarrolló de forma teórica en la Universidad de Stanford en California, EE. UU. a partir de los años 70. Su primera aplicabilidad con fines lucrativos la llevó a cabo la consultoría de diseño IDEO, siendo hoy en día su principal precursora [23].

El objetivo: Satisfacer las necesidades de las personas de una forma que sea tecnológicamente factible y comercialmente viable [23].

Esta metodología se centra en cinco Etapas como se muestra en la **Figura 4-1**:



Figura 4-1: Diagrama de la metodología Design Thinking

Empatía: Es la etapa de entender las necesidades de los usuarios finales y su entorno. Además de generar una colaboración con los usuarios, con el fin de tener constantemente su evaluación para asegurar una mayor aceptación al finalizar el proyecto.

Definición: En esta etapa se toma la información generada en la etapa de empatía, para definir los sistemas, materiales y componentes del producto final.

Ideación: Esta etapa genera los diseños del producto tomando en cuenta características obtenidas en las etapas anteriores. Es necesario evaluar los diseños con el grupo de los usuarios finales, con el fin de tener una retroalimentación de los avances del proyecto.

Prototipado: En esta etapa se genera una muestra del producto final, el cual tiene como objetivo el visualizar el producto de manera física y corregir los errores que presente, además de una demostración para los usuarios finales, con ello seguir con evaluar este producto.

Testeo: Esta fase se utiliza para evaluar lo obtenido por las cuatro etapas anteriores. Estas evaluaciones se llevan a cabo con los usuarios finales, con sus resultados y su corrección se obtiene el producto final que cumple con las características esperadas y solucionando la problemática que se tenía.

En este trabajo se muestran las actividades realizadas en cada etapa de la metodología utilizada para generar un dispositivo vestible.

4.1.1. Empatía

En esta etapa es necesario conocer las necesidades y el entorno de los usuarios finales.

4.1.1.1. Estudio del impacto social

En la actualidad las redes sociales son un gran medio de información, en ella se puede difundir encuestas, noticias, videos, etc., para llegar a un gran número de personas. Como es el caso de este proyecto en la cual se difundió una encuesta con el propósito de ayudarnos a entender las caídas y sus consecuencias en la población de adultos mayores. El propósito es generar información del por qué se está realizando el proyecto y su impacto que tendrá.

Se realizó una encuesta de opción múltiple en Google Forms y fue difundida por las redes sociales de Facebook, Twitter y WhatsApp a 510 adultos mayores de diferentes estados de la República mexicana, de la cual se obtuvo lo siguiente,

- Edades de los encuestados.

Se considera a una persona de 60 años o más como un adulto mayor. Para esta encuesta los resultados de las edades de los 500/510 encuestados lo muestra la **Figura 4-2**, siendo de 65 a 70 años el grupo mayoritario para esta encuesta.

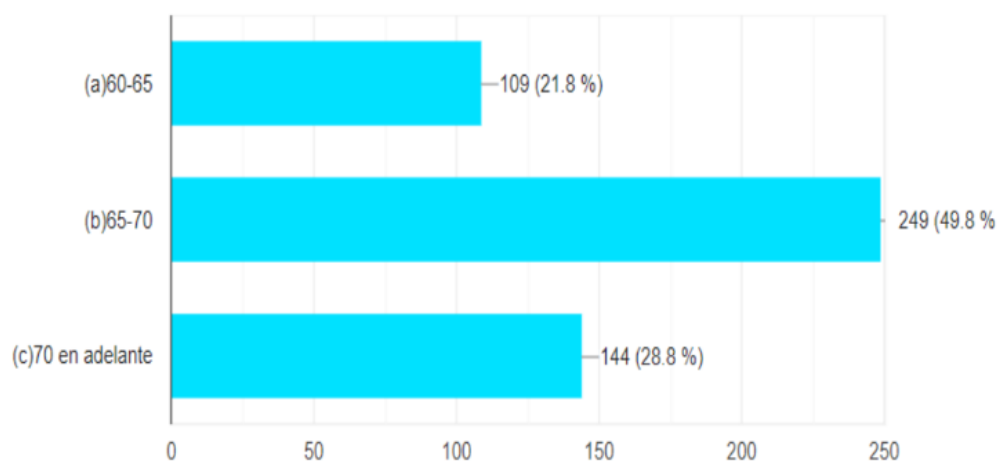


Figura 4-2: Gráfica de las edades de los encuestados

- Para conocer el impacto del proyecto en una situación donde los adultos mayores viven solos o sé que se quedan un tiempo de día solos, se les preguntó a 509/510 ¿Con quién vive usted? Los resultados se muestran en la **Figura 4-3**, de lo cual el 19.6% vive solo y un 34.4% están solos un tiempo del día.

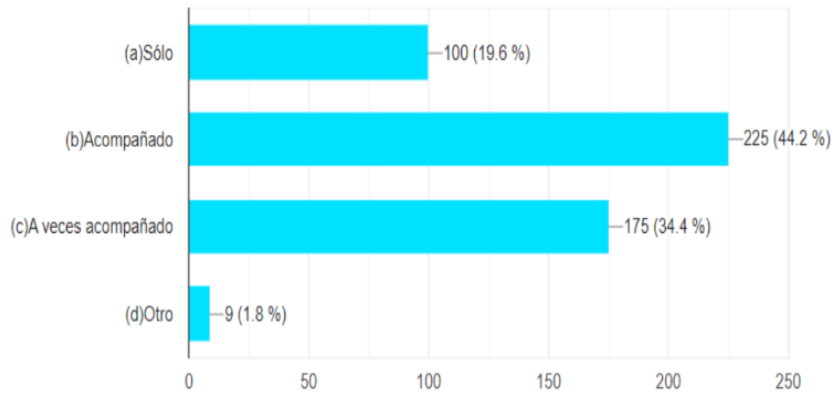


Figura 4-3: Gráfica de cuantos adultos mayores tiene asistencia de un cuidador

- **Caídas al año**

Este dato es uno de los más importantes de este estudio, ya que ayuda a conocer las caídas sufridas en un periodo de un año de las personas, contestando 503/510 y los resultados se muestran la **Figura 4-4**, de la cual se tuvo que el 59.4 % de las personas tienen 1 a 3 caídas al año, lo cual indica que hay un riesgo latente a sufrirlas.

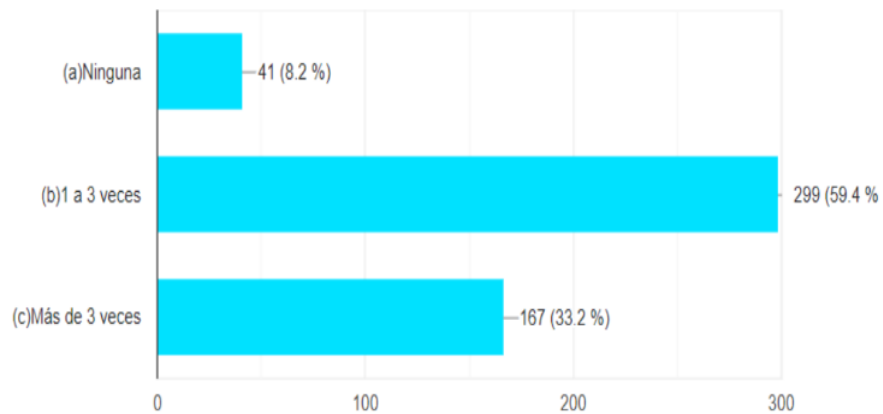


Figura 4-4: Gráfica de caídas en un año sufridas por los adultos mayores

- **Consecuencia**

Las caídas traen consecuencias en los adultos mayores, como lo muestran los resultados de 492/510 encuestados en la **Figura 4-5**. Se obtuvo que el 50.8% tuvieron un esguince por culpa de sufrir una caída, pero más preocupante es el 24% de los encuestados que tuvo una fractura, lo cual es un porcentaje considerable.

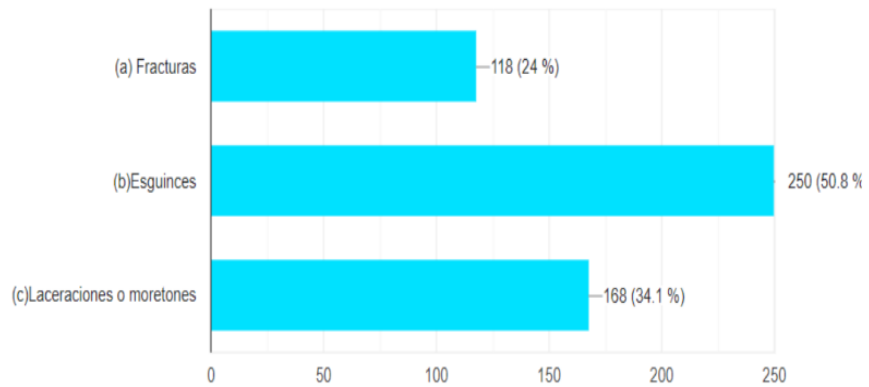


Figura 4-5: Gráfica de las consecuencias más comunes de las caídas

- Un punto importante para este trabajo es el saber si el adulto mayor tuvo alguna ayuda al sufrir una caída. Se les preguntó si tuvieron ayuda, los resultados lo muestra la **Figura 4-6**, la cual indica que el 56.3% contestó que sí se tuvo ayuda, pero un 30.9% no tuvo ayuda. Es importante considerar que, si se tuvo una lesión al sufrir la caída, la atención inmediata puede ser un factor importante para evitar una consecuencia, como lo son la incapacidad temporal o de por vida.

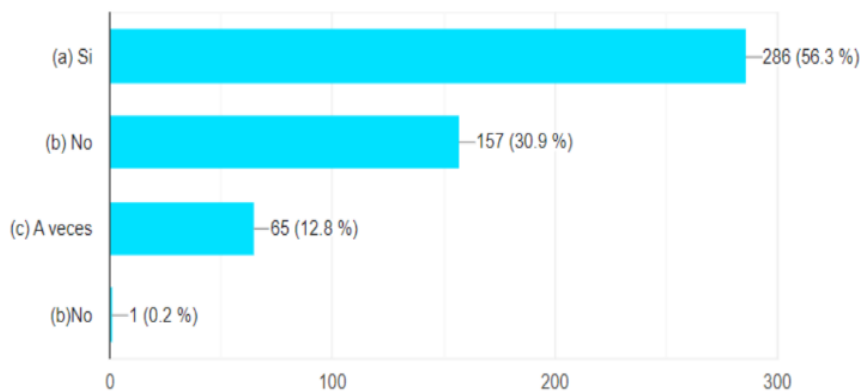


Figura 4-6: Gráfica de la ayuda recibida al sufrir una caída

- Un punto para considerar cuando un adulto mayor sufre una caída es el tiempo de respuesta por parte de los cuidadores. Ya que se pudo haber tenido una lesión grave que sea necesario su atención inmediata. Se les preguntó a 509/510 y se obtuvo lo mostrado en la **Figura 4-7**, teniendo un 31.4% con una respuesta de más de 30 minutos, la cual en algunas situaciones es inviable que se tenga una respuesta de tanto tiempo.

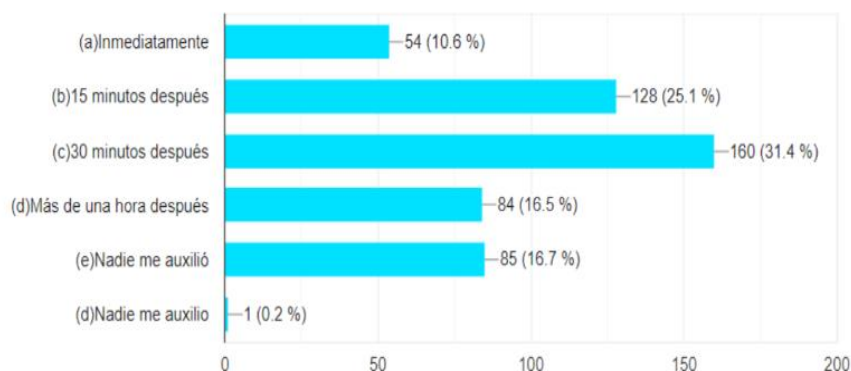


Figura 4-7: Gráfica de tiempo de respuesta para brindar ayuda del cuidador al adulto mayor

De este estudio se concluye que las caídas no solo se sufren por culpa de la edad, sino que además se tienen consecuencias fuertes para los adultos mayores. Además, que los tiempos de respuesta por parte de los cuidadores en algunos casos son demasiado grandes para auxiliar al adulto mayor cuando sufre la caída, esto trae consecuencias si se sufre una lesión en la caída y no se le da la pronta atención. Estos resultados son importantes para el proyecto y ayudan a generar una mayor empatía con el tema y conocimiento, con ellos se observa que es viable el proyecto.

4.1.1.2. Estudio de mercado

Se generó un estudio de mercado mediante la realización de una encuesta, la cual se realizó durante los meses de mayo y junio del año 2021 se realizaron encuestas de estudio de mercado que se muestra en el **anexo A**, la cual fue aplicada a 10 personas de las cuales 5 eran adultos mayores y 5 cuidadores. El propósito de la encuesta fue determinar la viabilidad para desarrollar el proyecto “Dispositivo vestible para la detección de caídas en adultos mayores” y obtener características para generar el dispositivo vestible.

De esta encuesta se obtuvieron buenos resultados por parte de los usuarios finales, mencionaron que “sería de mucha utilidad”, “les daría más libertad y seguridad en sus vidas diarias a los adultos mayores”, entre otros comentarios positivos hacia el proyecto. Los cuidadores preguntaron cuándo saldría a la venta y el costo que tendría.

Los resultados de las encuestas dieron los requisitos de entrada para esta metodología Design Thinking, los cuales fueron:

- Sea discreto
- No pesado
- Se puede utilizar con cualquier prenda
- Envío de la notificación entre 30 segundos y 1 minuto
- Recargable
- Pequeño
- Se observa cuando está cargando y cuando está listo

4.1.1.3. Gerontodiseño

El gerontodiseño está centrado en el desarrollo de productos o servicios para los adultos mayores, es importante entender a los adultos mayores en la

actualidad y su visualización en un futuro. Es importante conocer el mercado al cual se está dirigiendo el producto, para asegurar cubrir las necesidades tanto del mercado como del problema y asegurar una mayor aceptación del producto.

4.1.1.3.1. Adulto mayor en la actualidad

Es importante conocer el mercado al cual se está generando un producto, en este proyecto son los adultos mayores de 65 a 75 años en la actualidad. “Si bien el 85% de los adultos mayores entre 60 y 75 años son independientes para realizar sus actividades de la vida diaria, sin embargo, hay mucho que hacer en materia de integración al campo laboral, violencia y abuso, así como de abandono.

Los cuidados del adulto mayor abarcan un bienestar integral para garantizar su protección física, emocional y económica. Por tanto, es importante seguir creando programas y estrategias que impulsen su integración social y que fomenten tanto la actividad física en el adulto mayor, así como su estimulación cognitiva para una mejor calidad de vida” [24].

Los adultos mayores de 65 a 75 años se consideran personas independientes en su vida diaria, sin embargo, este motivo conlleva a que se les descuide. Los cambios físicos son más notables en este rango de edades, esos cambios corporales más el descuido de los cuidadores generan las situaciones para que se tengan consecuencias si se sufre una caída[24].

Esta información del adulto mayor en la actualidad indica para esta tesis que existe una gran oportunidad para los sistemas de monitoreo, ya que tendrían impactos positivos como dar seguridad emocional, mayor independencia para realizar actividades de la vida diaria, tener ayuda cuando es requerida, etc.

4.1.1.3.2. Adulto mayor en un futuro

En el año 2030 se estima que cada una de seis personas será un adulto mayor, para ese entonces los adultos mayores habrán subido 400 millones en comparación con el 2020. Para el año 2050 aumentará 1100 millones en comparativa con el 2020, se prevé que se triplique la cantidad [25].

En la actualidad los adultos jóvenes tienen atención y estrés laboral, los cuales podrían generar enfermedades en un futuro es por ello la importancia de la visualización del proyecto para los adultos mayores en un futuro. Los adultos mayores del futuro tendrán gran manejo de las tecnologías, lo cual ayudará a entender mejor la funcionalidad de este trabajo. Estos adultos mayores en un futuro podrían sufrir las consecuencias de los trastornos conocidos provocados por el estrés los cuales son cardiovasculares, respiratorios, inmunológicos, alteraciones del sistema endocrino, gastrointestinales, dermatológicos, psicológicos y musculares. Este último es relevante para este trabajo, ya que al sufrir una lesión muscular podría generar una mayor posibilidad de que se tenga alguna caída y con ella lesiones más fuertes [26].

4.1.1.3.3. Percepciones sensoriales

La OMS define “Desde un punto de vista biológico, el envejecimiento es un resultado de acumulación de una gran variedad de daños moleculares y celulares a lo largo del tiempo, lo que lleva a un descenso gradual de las capacidades físicas y mentales”. Para este proyecto es importante tomar en cuenta los puntos biológicos que afectan al diseño y utilización del dispositivo vestible que son: la vista, audición, motricidad y caídas . [25].

4.1.1.4. Aportes necesarios para el diseño

El Design Thinking permite una colaboración con los usuarios finales que son dos adultos mayores y dos cuidadores para el diseño del producto. Además, se contó con la colaboración de una ingeniera en diseño industrial, la cual ayudó en el diseño y la organización de los componentes electrónicos. Los usuarios finales y la ingeniera evaluaron los puntos obtenidos en el 4.1.1.2 Estudio de mercado, además agregan otros puntos en el diseño del dispositivo. Los usuarios finales y la ingeniera confirmaron los puntos que debe tener el dispositivo vestible que son: recargable, pequeño o discreto y la notificación se envía entre treinta segundos a un minuto. En los aportes adicionales se tiene que los siguientes puntos:

- Alerta sonora
- Enfriamiento pasivo entre los componentes
- Aislamiento entre los componentes
- Las esquinas redondeadas

4.1.1.5. Observaciones de la vida diaria

Los adultos mayores entran a una etapa del desarrollo humano llamada envejecimiento, es un periodo que se caracteriza por tener grandes cambios en las áreas fisiológicas, psicológicas, sociales y espirituales.

Esta etapa se relaciona con las actividades de su vida diaria, las cuales son importantes conocer debido a su impacto en el proyecto. Estas actividades se dividen en tres, las Actividades Básicas de la Vida Diaria (ABVD), Actividades Instrumentales de la Vida Diaria (AIVD) y Actividades Avanzadas de la Vida Diaria (AAVD).

Las ABVD son las actividades que cubren las necesidades fundamentales del individuo, denominadas también como de autocuidado. Las AIVD requieren la interacción de procesos mentales, sociales, culturales y físicos de mayor exigencia como usar el teléfono, realizar compras, preparar los alimentos, responder por el cuidado de la casa, por el lavado de la ropa, utilizar los medios de transporte, administrarse los medicamentos y ser capaz de utilizar el dinero. Las AAVD se refieren a la capacidad para cumplir con la sociedad, comunidad y roles familiares como participar en la tarea de recreo u ocupacional [27].

En las ABVD se tiene los movimientos del cuerpo en algunas de sus actividades que afectan a la detección de caídas. Estas actividades servirán en las pruebas para la comparación de sus datos que genere el sensor de esas

actividades con las caídas. Las actividades de las ABVD que afectan a la detección de las caídas son:

- Caminar
- Trotar o correr
- Sentarse
- Subir y bajar escaleras
- Acostarse y levantarse
- Agacharse
- Saltar

4.1.2. Definición

4.1.2.1. Componentes electrónicos

En este punto se en listan los componentes que se utilizaron para generar el dispositivo vestible, los componentes fueron seleccionados por diversos criterios

- Tarjeta principal
En este proyecto se utilizó la placa Arduino nano 33 BLE, por los componentes que contiene, ya que cuenta con un acelerómetro utilizado para la detección de las caídas, también un protocolo de comunicación Bluetooth BLE, 1MB de memoria de programa, Bajo consumo de energía de 3.3V, 14 pines digitales de salida y entrada, además por si tamaño de 4.5cm, 1.8cm y un peso de 5 gramos.

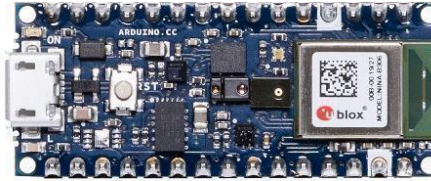


Figura 4-8: Tarjeta Arduino nano 33 BLE

- Batería
La alimentación de energía es indispensable para este proyecto, ya que se debe de alimentar a la tarjeta principal además tener un mínimo de 8 horas de rendimiento, además de un tamaño menor o de las mismas dimensiones de la tarjeta principal. Es por esto se utilizó la batería de 3.7 Volts, amperaje de 400mAh y potencia de 1.48Wh. Esta batería es de tipo LiPo, ya que es una de las más económicas del mercado por sus características. Esta batería suministra energía al dispositivo por un total de 12 horas.



Figura 4-9: Batería LiPo

- Tarjeta de carga
La tarjeta de carga es compatible para cargar las baterías de tipo LiPo, además que se cuente con una protección cuando tenga un voltaje de 2.4 o menor, para asegurar la mejor vida útil de la batería, esta tarjeta tiene un

conector micro USB. Otro punto que se consideró para la selección de la tarjeta es que cuenta con dos leds indicadores de carga, uno de color rojo para el estado de cuando se está cargando la batería y un led azul para indicar la carga completa. Además, las dimensiones son 23x17x3.5mm.



Figura 4-10: Tarjeta de carga

- Botón
En este proyecto es necesario tener un botón de cancelación, debido a que se utiliza el interruptor push botón de cuatro pines.



Figura 4-11: Botón

- Zumbador
La alerta sonora es generada por un zumbador o buzzer, el cual es programable desde Arduino las ondas de frecuencias de sonido.



Figura 4-12: Zumbador

4.1.2.2. Investigación de los materiales

La impresión de la carcasa del dispositivo se realizó con la impresora 3D ANYCUBIC MEGAX. Los materiales que utiliza esta impresora los indica la ficha técnica. Para la comparación de los materiales se tomaron en cuenta diez atributos de los materiales que afecten de manera positiva y negativa en la decisión de cual utilizar para generar el dispositivo. En la **Tabla 4-1** se muestran las características y los materiales.

Tabla 4-1: Materiales de la impresora ANYCUBIC MEGAX

Nombre	Químico	Grosor	Dureza	Temperatura de fusión	Disipación del calor	Toxicidad	Sabor y olor	Afectación a radio frecuencias	Colores	Adecuado para
PLA	Ácido poliláctico	1.75 mm de 10±	83 (Shore)	145-160 °C	85° se deforma	Nula para el humano	Insaboro e inoloro	Baja	Verde, Negro, Plata metalizado, Blanco, Transparente Naranja, Azul, etc.	No alimentos
ABS	Polibutadieno	1.75mm	70 (Shore)	200°	80°	Nula para el ser humano	Desconocido	Desconocido	Oscuro y Marfil	Comidas bebidas o Productos sanitarios
HIPS	Poliestireno de alto impacto	2mm	65 (Shore)	200°-230°	82°	Nula para el ser humano	Pronunciado	Desconocido	Blanco, Negro, Gris, Rojo y Azul	Varios productos
TPU	Poliuretano termoplástico		40 (Shore)	220°	74°	Niños y quien tenga enfermedades respiratorias	Insaboro e inoloro	Desconocido	Blanco, Negro, Rojo y Azul	Alimentos

Para la impresión se seleccionó el material PLA, debido a sus características de robustez, su nula toxicidad, al no tener sabor ni aroma y que no tiene repercusiones en los alimentos. También en comparación con los otros materiales es uno de los más económicos y fáciles de conseguir.

4.1.2.3. Ensamble de los componentes electrónicos

El ensamble de las piezas electrónicas del dispositivo se realizó pensando en tener las menores dimensiones. La tarjeta principal debe colocarse de manera que tenga el menor movimiento posible, para evitar anomalías en los datos obtenidos del sensor. Por parte de la experta en diseño industrial se tuvo la sugerencia que se colocara una cinta doble cara entre cada componente, esto teniendo dos propósitos el primero es el aislamiento y segundo la fijación.

En la **Figura 4.13** se muestra la colocación de cada componente electrónico y su posición.

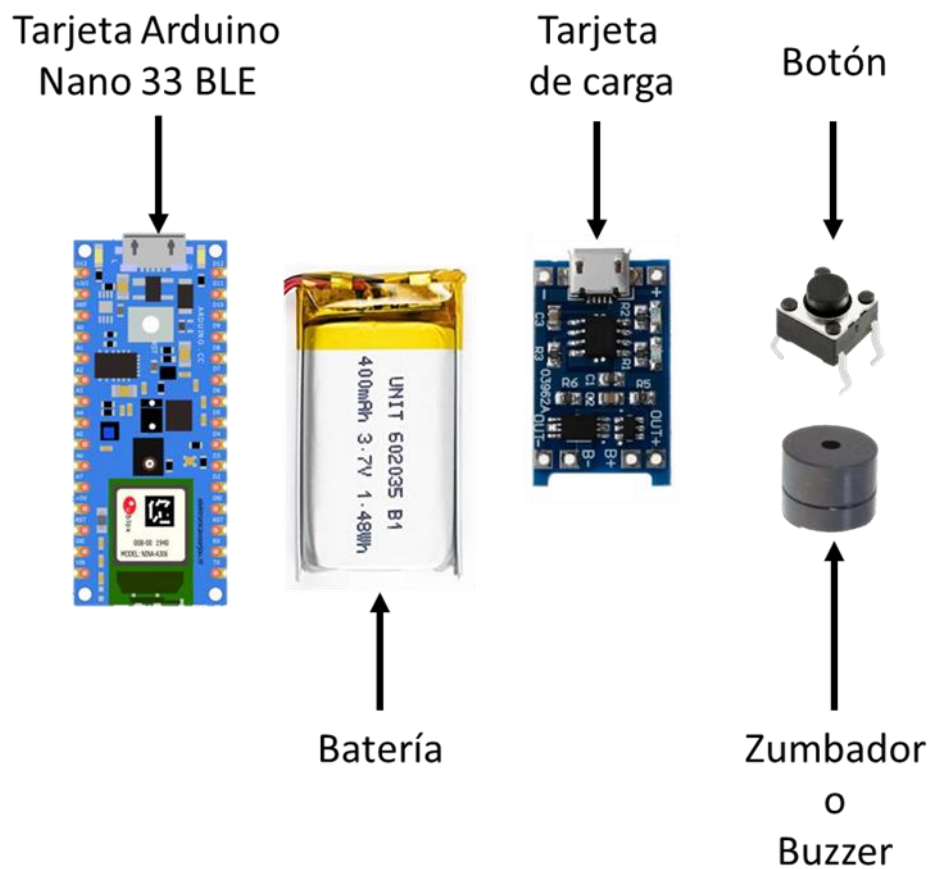


Figura 4.13: Diagrama de colocación de los componentes del dispositivo vestible

En la **Figura 4.14** se muestra el dispositivo con los componentes colocados en su posición y conectados.

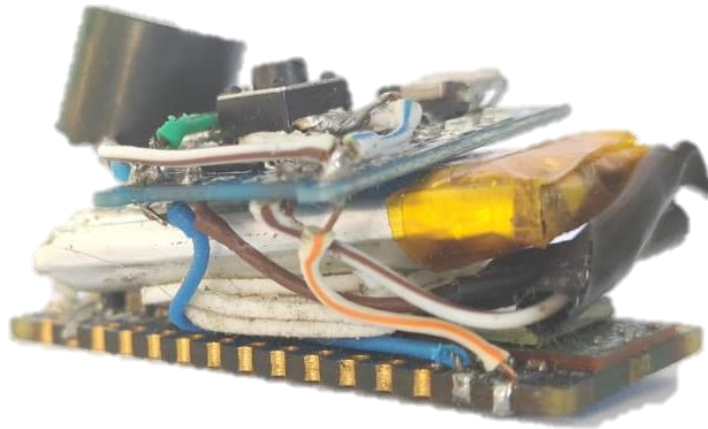


Figura 4.14: Dispositivo ensamblado

Para el diseño de la carcasa del dispositivo se tomaron en cuenta las dimensiones de los componentes electrónicos ensamblados, el cual tiene como medidas 5.2 centímetros de largo, 2.9 de alto y 2.1 de ancho.

4.1.3. Ideación

4.1.3.1. Desarrollo del dispositivo

4.1.3.1.1. Boceto del diseño

Considerando la información anterior y con la colaboración de una ingeniera de diseño industrial se generaron dos bocetos de diseño. Los dos bocetos se presentaron con los usuarios finales para su aprobación. Las medidas de los bocetos son en centímetros.

4.1.3.1.1.1. Primer boceto

El boceto de la **Figura 1** se pensó principalmente para evitar lesiones en los usuarios al caer sobre el dispositivo, sin embargo, ellos mencionan que no les gusto la idea de que fuera ovalado, en sus palabras “lo veo feo”, también mencionaron que sería más complicado sujetarlo para colocarse en la cadera

La ingeniería en diseño industrial mencionó los aspectos a considerar que debe tener, se mencionó que tiene poco espacio para la ventilación pasiva entre la carcasa y los componentes electrónicos, además de que mencionó que se tiene un desperdicio de materiales en los costados.

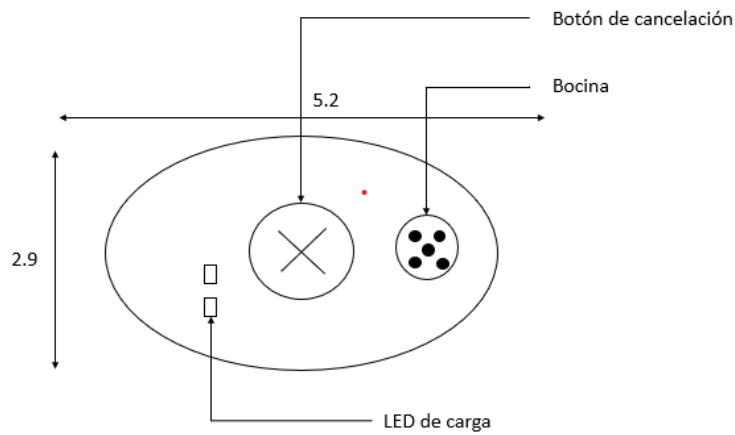


Figura 4-15: Primer boceto de la carcasa del dispositivo vestible

4.1.3.1.1.2. Segundo boceto

En las Figuras 4.16 y 4.17 se muestra el segundo boceto, el cual se generó de forma rectangular considerando los puntos de recomendación de los usuarios finales y la experta en diseño industrial. Este boceto se pensó de manera rectangular para aprovechar de mejor manera los espacios, además de tener una mejor ergonomía para sujetarlo al colocarse.

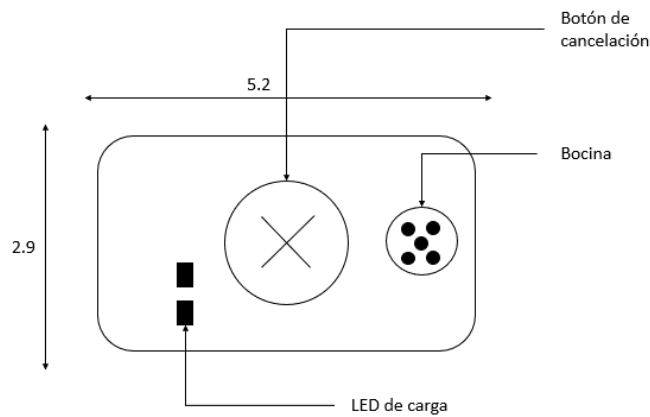


Figura 4-16: Segundo boceto de carcasa del dispositivo vestible

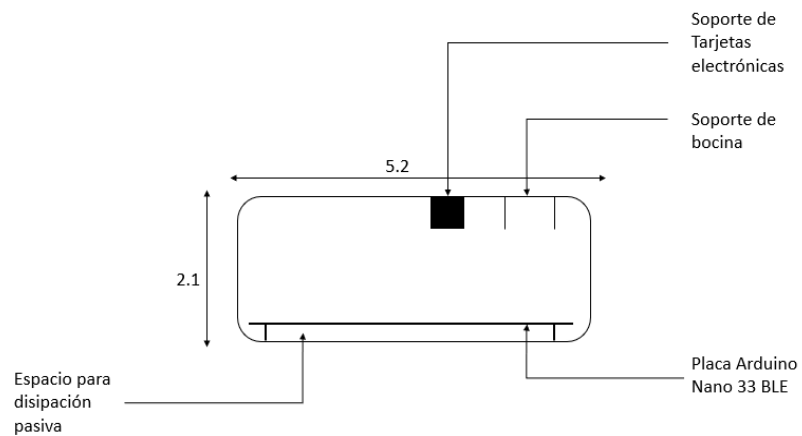


Figura 4-17: Segunda vista del segundo boceto de carcasa del dispositivo vestible

Este boceto se mostró a los usuarios finales, los cuales dijeron que era más fácil sujetarlo mientras se lo colocaran, también mencionaron “ Que

bueno que las esquinas no estén puntiagudas para no lastimarse al caer sobre él”, además de gustarles el tamaño mencionando que “ Era muy pequeño de esa forma será discreto cuando se utilice” .

Para la ingeniería en diseño industrial se tomaron los espacios de disipación pasiva, además de acoplar los componentes utilizando el menor espacio posible.

4.1.3.1.2. Validación de los requisitos para el diseño en el boceto

En este punto se valida que el boceto cumpla con los requisitos obtenidos en el punto uno de empatía en sus tres letras a, b y c. En la siguiente lista se muestran los requisitos con una ✓ si es que se cumplió o una × si no.

- ✓ Sea discreto: el dispositivo puede pasar desapercibido por las personas debido a su tamaño y forma.
- × No pesado: Aun no se mide en peso
- ✓ Se puede utilizar con cualquier prenda: La colocación del dispositivo será en la cintura colocándolo con una cinta.
- ✓ Envío de la notificación entre 30 Seg y 1 Min: La notificación tiene un lapso de 30 Seg para enviar o cancelar una falsa caída.
- ✓ Recargable: El dispositivo cuenta con un puerto de carga tipo B
- ✓ Pequeño: Sus dimensiones para los usuarios finales es más pequeña que sus manos.
- ✓ No sea de un color llamativo: En color blanco.
- ✓ Se observa cuando está cargando y cuando está listo. El boceto contempla dos orificios los cuales muestra si la pila está cargando y cuando está cargado.

4.1.3.2. Diseño en SOLID WORK

Considerando el boceto del punto anterior se procedió a modelar el dispositivo en el programa SOLID WORK, el cual fue seleccionado debido a su compatibilidad con la impresora ANYCUBIC MEGAX. Los diseños se dividen en tres partes del dispositivo debido a colocar la electrónica utilizada y la necesidad del diseño.

4.1.3.2.1. Primer parte del dispositivo

En esta parte se genera la parte trasera del dispositivo, la cual tiene los soportes para colocar la placa Arduino de 1 milímetro de ancho 3 milímetros de alto, además cuenta con las entradas para hacer la unión de dos partes del dispositivo (Tapa inferior y Tapa superior). En las **Figuras 4-18, 4-19 y 4-20** se muestra el diseño de la parte trasera que se generó en SOLID WORK.



Figura 4-18: Carcasa parte trasera vista desde arriba

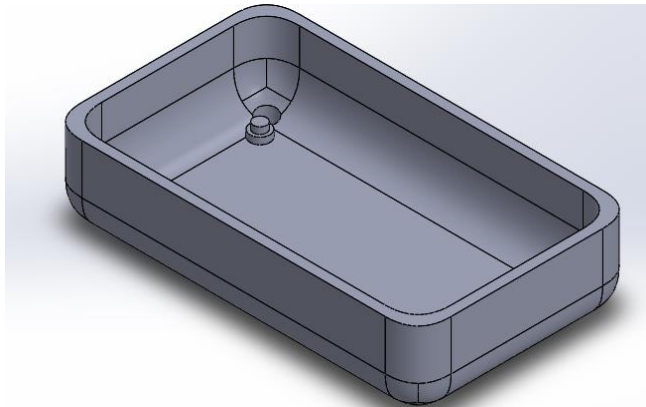


Figura 4-19: Carcasa parte trasera vista desde un lateral

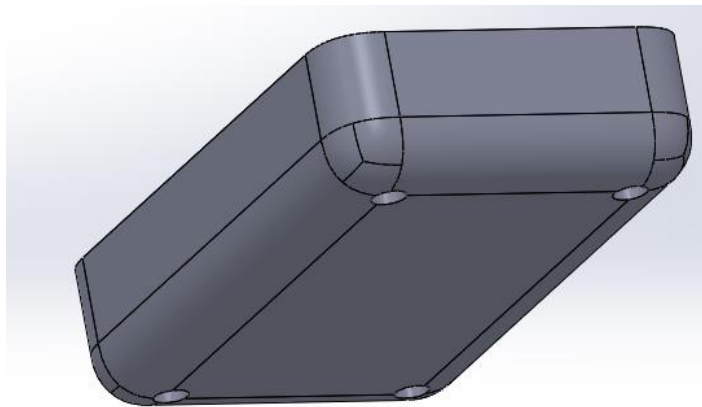


Figura 4-20: Carcasa parte trasera vista desde la parte inferior

4.1.3.2.2. Segunda parte del dispositivo

La parte frontal del dispositivo es la encargada de mostrar el botón de cancelación de notificación, tener la salida de la bocina y la parte de los leds indicadores de carga. También cuenta con los soportes donde se unen con las entradas para hacer la unión de las dos partes, de esta se generaron dos versiones.

4.1.3.2.2.1. Primera versión

En esta los soportes miden 3 milímetros de ancho y 20 milímetros de alto como se muestra en la **Figura 4-21**.



Figura 4-21: Primera versión de la carcasa parte frontal vista desde un costado

4.1.3.2.2.2. Segunda versión

Esta versión cuenta con los soportes de 3 milímetros de ancho y 5 milímetros de alto como se muestra en las **Figuras 4-22, 4-23 y 4-24**.

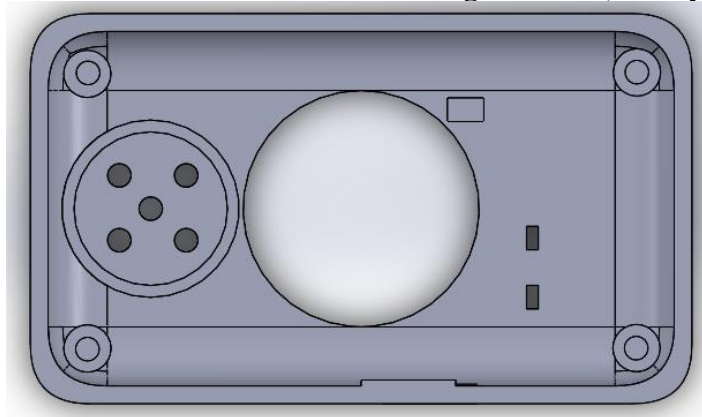


Figura 4-22: Segunda versión de la carcasa parte frontal vista desde arriba

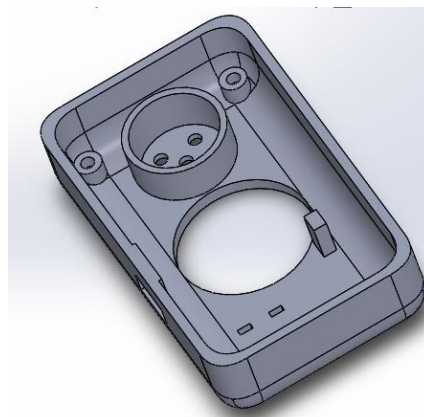


Figura 4-23: Segunda versión de la carcasa parte frontal vista desde un costado



Figura 4-24: Segunda versión de la carcasa parte frontal vista desde la parte inferior

4.1.3.2.3. Tercera parte del dispositivo

Esta parte es el diseño del botón de cancelación, el cual tiene 4 milímetros de altura y 21 milímetros de ancho como lo muestran las **Figuras 4-25 y 4-26**.

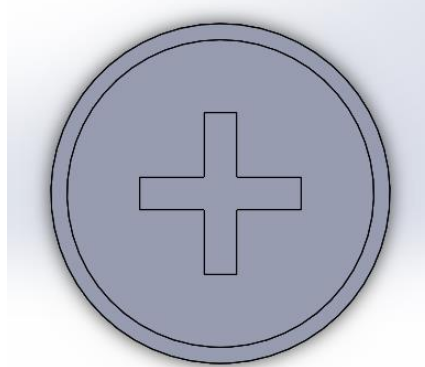


Figura 4-25: Diseño del botón vista de la parte superior

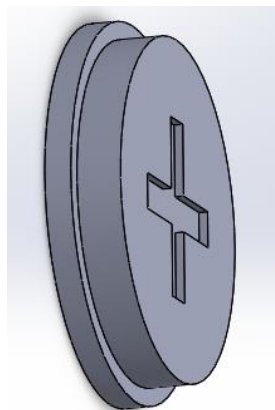


Figura 4-26: Diseño del botón vista desde un costado

4.1.3.2.4. Unión de las partes del dispositivo

La unión de las 3 partes del dispositivo es importante para visualizar su acoplamiento, además permite un mejor entendimiento de lo que será el dispositivo vestible su espacio en el interior y los soportes para la ventilación pasiva como lo muestra la **Figura 4-27**.



Figura 4-27: Unión de las partes del dispositivo en el diseño

4.1.4. Prototipado

En este punto se muestran las imágenes del dispositivo impreso.

4.1.4.1. Impresiones de prototipo

El dispositivo generado por la impresora ANYCUBIC MEGAX se muestra en las **Figuras 4.28 y 4.29**. La parte exterior de cada tapa y la unión de ambas.

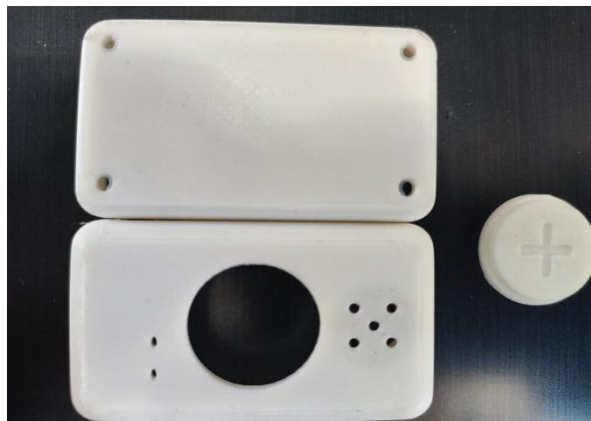


Figura 4-28: Partes de la carcasa impresa del dispositivo



Figura 4-29: Partes unidas de la carcasa impresa del dispositivo

Para la impresión del dispositivo se tomó en cuenta los 2 diseños del punto tres y la letra b, en la cual se menciona que existen 2 versiones de la tapa frontal. La primera con unos soportes para el ensamble de 3 milímetros este ancho y 20 milímetros de alto y la segunda con soportes de 3 milímetros de ancho y 5 milímetros de alto.

4.1.4.1.1. Primera versión

La **Figura 4-30** muestra la primera versión del dispositivo de manera impresa.



Figura 4-30: Carcasa impresa primera versión

4.1.4.1.2. Segunda versión

La **Figura 4.31** muestra la segunda versión del dispositivo de manera impresa.

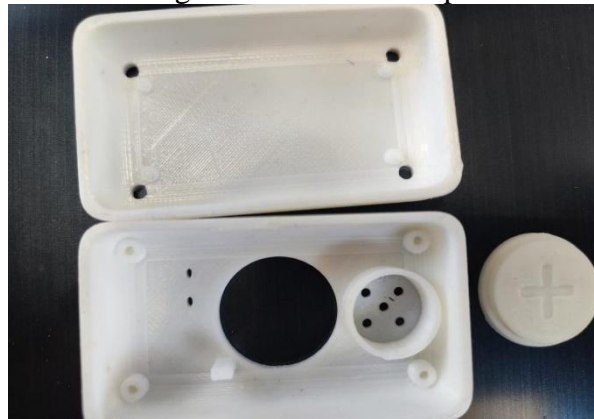


Figura 4-31: Carcasa impresa segunda versión

Capítulo 5.

Diseño del software

En este capítulo se describe el diseño del sistema para detección y notificación de caídas. Se divide en siete secciones, cada una aportando gran conocimiento para el desarrollo.

5.1. Requisitos del sistema

Los requisitos del sistema es una descripción de lo que debe de hacer el sistema. En este punto se mostrarán los requisitos del sistema de detección y notificación de caídas en adultos mayores.

5.1.1. Requisitos Funcionales

FN.1

Título: Detección de caídas dentro del dispositivo.

Descripción: La detección de la caída se generará mediante el algoritmo de detección de caída basado en umbrales, el cual debe implementarse dentro de la placa Arduino nano 33 BLE, utilizando los datos del acelerómetro triaxial que incluye la placa.

Importancia: Esencial

Validez:

Medible: Se obtendrán los datos de los ejes del sensor triaxial realizando el cálculo de la magnitud del vector y comparándola con cada uno de los umbrales de cada etapa del algoritmo.

Alcanzable: Realizar un programa en Arduino IDE implementando el algoritmo de detección de caídas basado en umbrales.

Relevante: Este requisito es uno de los principales, debido a que, es el que genera la detección de las caídas.

FN.2

Título: Notificación de caída mediante SMS

Descripción: Cuando se detecte una caída se debe notificar a los cuidadores del adulto mayor sobre ello mediante un mensaje de texto (SMS).

Importancia: Esencial

Validez:

Medible: Se generará un SMS con la leyenda “Se ha detectado una caída” enviándola al número del cuidador.

Alcanzable: Realizar una función que genere un SMS enviándolo a n números telefónicos.

Relevante: Este requisito es uno de los principales, ya que genera las notificaciones de las caídas a los cuidadores, alertando que existe una caída y que el adulto mayor puede estar en riesgo.

FN.3

Título: Conexión BLE entre el dispositivo vestible y la aplicación.

Descripción: El teléfono hace una conexión con el dispositivo vestible mediante el Bluetooth.

Importancia: Esencial

Validez:

Medible: Se genera una función dentro de la aplicación donde el teléfono se conecte al dispositivo vestible mediante el Bluetooth y también dentro del dispositivo.

Alcanzable: Realizar una función en la aplicación Android para conectar el dispositivo vestible con el teléfono mediante el Bluetooth y en dentro del dispositivo.

Relevante: Este requisito se considera como principal, debido a que es el puente entre la detección de la caída y la notificación de la caída

FN.4

Título: Recepción de datos en la aplicación del dispositivo vestible

Descripción: La aplicación recibirá la notificación de caída y la cantidad de la batería por parte del dispositivo vestible.

Importancia: Esencial

Validez:

Medible: Se obtendrá la notificación de caída y en nivel de la batería del dispositivo.

Alcanzable: Realizar una función en la aplicación Android que reciba por parte del dispositivo las notificaciones de las alertas de caídas y el nivel de batería que tenga.

Relevante: Este requisito principal ya que hace activar la notificación de alerta de caída, además de mostrar el nivel de carga del dispositivo vestible.

FN.5

Título: Cancelación de la alerta de la caída

Descripción: Cuando se detecte una caída se podrá cancelar mediante un botón en el dispositivo la alerta de la caída.

Importancia: Condicional

Validez:

Medible: Se cancelará la notificación al teléfono de que ha ocurrido una caída.

Alcanzable: Realizar una función de cancelación, la cual esperará un lapso de 10 segundos a que sea presionado el botón de cancelación una vez que se detectó una caída.

Relevante: La implementación de este requisito ayuda a una mejor usabilidad del sistema.

FN.6

Título: Registro de números telefónicos para notificaciones

Descripción: El sistema guardará n números telefónicos de las personas a cargo del adulto mayor, las cuales recibirán el mensaje SMS.

Importancia: Esencial

Validez:

Medible: Se obtendrán los datos en la aplicación dados por el usuario y se guardarán dentro de la misma que no se a en una base de datos.

Alcanzable: Se generará una función dentro de la aplicación móvil que guarde los n números telefónicos de los cuidadores y sin necesidad de conectarse a una base de datos.

Relevante: La implementación de este requisito es esencial para que el usuario registre a las personas que ayudarían al adulto mayor en caso de una caída.

FN.7

Título: Estado de carga la batería

Descripción: El dispositivo enviará el porcentaje de su batería a la aplicación mediante el Bluetooth.

Importancia: Condicional

Validez:

Medible: Se visualizará el porcentaje de la batería del dispositivo en la aplicación.

Alcanzable: Realizar una función que calcule el porcentaje de la batería del dispositivo y esta se envíe mediante el bluetooth al teléfono y sea visualizado dentro de la aplicación.

Relevante: Este requisito ayuda a tener una mejor usabilidad del sistema para el usuario.

FN.8

Título: Listado de los dispositivos vestibles.

Descripción: La aplicación mostrará los dispositivos de detección de caídas en una lista para ser seleccionados y conectados al teléfono y recibir los sus datos.

Importancia: Esencial

Validez:

Medible: Se listan los dispositivos de detección de caídas en la aplicación.

Alcanzable: Realizar dentro de la aplicación Android una lista de solo los dispositivos de detección de caídas, los cuales al seleccionarse se conectan para recibir los datos del dispositivo vestible.

Relevante: Este requisito es uno de los principales, ya que muestra los dispositivos de detección de caídas para ser enlazados con la aplicación.

FN.9

Título: Auto conexión de los dispositivos ya conectados con anterioridad

Descripción: La aplicación solo necesita una vez emparejar el dispositivo por parte del usuario, después la aplicación conectará automáticamente el dispositivo con el teléfono.

Importancia: Esencial

Validez:

Medible: Se conectará el dispositivo de detección de caídas de manera automática al teléfono y se visualizará en la lista de dispositivos cuál es el dispositivo conectado.

Alcanzable: Realizar en la aplicación Android una función para conectar de manera automática los dispositivos antes vinculados.

Relevante: Este requisito es importante ya que ayuda a la usabilidad del sistema para el usuario, ya que la configuración solo se realiza una vez.

5.2.

Arquitectura del sistema

La arquitectura de software es una vista del sistema que incluye los componentes principales, la interacción que hay entre ellos y cómo se coordinan para que el sistema pueda lograr el objetivo por el que fue desarrollado. La vista arquitectónica es una vista que proporciona una abstracción del sistema a un alto nivel de comprensión, lo que permite que un usuario sin conocimiento especializado pueda comprender el funcionamiento del sistema. La **Figura 5-2** muestra la arquitectura propuesta para el desarrollo del prototipo.

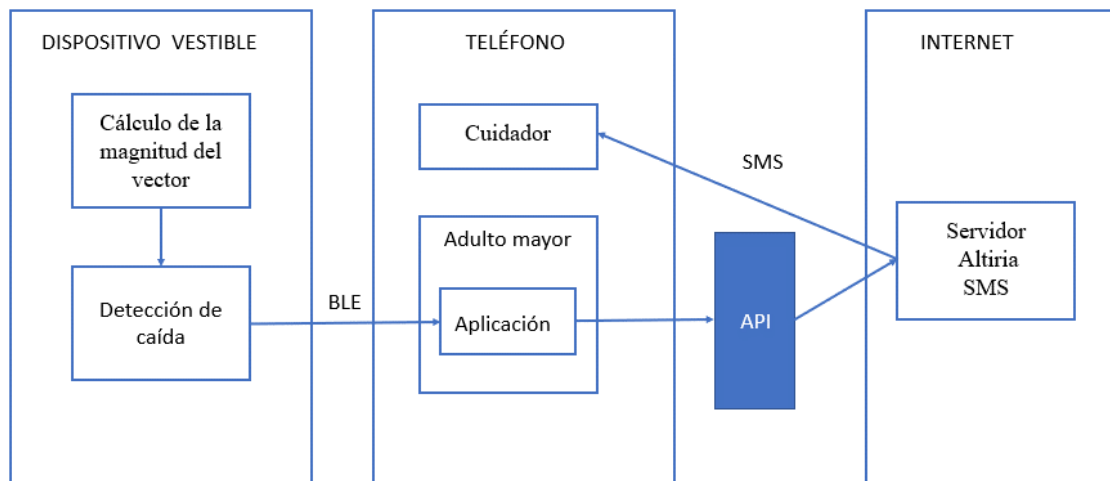


Figura 5-2: Arquitectura del sistema

5.3. Método de detección de caídas

5.3.1. Sistemas para la detección de caídas

En [28] se menciona que existen dos sistemas para la detección de caídas, el primero es el sistema de detección de caídas basado en monitoreo ambiental y el segundo es el sistema de detección de caídas basado en dispositivos vestibles. Cada uno cuenta con sus ventajas con respecto al otro.

5.3.1.1. Sistemas de detección de caídas basados en monitoreo ambiental

Esta categoría incluye los sistemas que utilizan sensores instalados en el entorno de los adultos mayores, los cuales se encargan del monitoreo de las actividades que realizan en su vida diaria. La detección se basa generalmente en sensores infrarrojos y en cámaras para el monitoreo [29].

Ventajas:

- La persona no porta ningún tipo de dispositivo de detección de caídas, puede que incluso no se entere que está siendo monitoreada.
- Los dispositivos instalados se alimentan de manera continua, no dependen de baterías.

Desventajas

- Los muebles del lugar, personas u otros objetos pueden afectar la detección de la caída.
- Puede ser necesario instalar diversas tecnologías para evitar puntos ciegos dentro de cada una de las habitaciones.
- Costo elevado de implementación.

5.3.1.2. Sistemas de detección de caídas basados en dispositivos vestibles

En esta categoría están los sistemas que utilizan sensores integrados de un dispositivo que porta el adulto mayor, los cuales tienen un menor costo, no es necesario estar conectado a una corriente eléctrica y no requieren de un ambiente designado. Estos sistemas utilizan generalmente los sensores integrados en equipos móviles tales como Smartphones, pulseras inteligentes, dispositivos portables, etc. [29]. En este estudio sólo se consideraron trabajos que utilizaron dispositivos con acelerómetros integrados de 2 y 3 ejes.

Ventajas:

- Se puede realizar el monitoreo en múltiples espacios, abiertos o cerrados.
- Monitoreo constante en diversos espacios.
- Un solo dispositivo de detección puede ofrecer un grado adecuado de precisión.
- Los muebles, personas u otros objetos no son un obstáculo para su funcionamiento.
- Pueden instalarse diversos tipos de sensores para el monitoreo.

Desventajas:

- La autonomía del dispositivo depende del respaldo de la batería.
- El usuario debe recordar colocarse el dispositivo correctamente.
- El usuario puede dañar el dispositivo voluntaria o involuntariamente impidiendo su funcionalidad.

5.3.2. Método seleccionado para la detección de caídas

Una vez se analizaron los sistemas y ubicando el proyecto en los de dispositivos vestibles, se compararon los distintos métodos o algoritmos que existen en esta categoría, seleccionando el algoritmo basado en umbrales. El algoritmo se adapta al proyecto debido a que cubre la limitación que se tiene de los bajos recursos computacionales de la tarjeta en la que se implementó.

Este algoritmo utiliza límites o umbrales para detectar las distintas fases de la caída, generalmente los límites superiores que al ser alcanzados o rebasados desencadenan acciones para analizar y verificar que ha sucedido una caída.

Ventajas:

- Bajo consumo de recursos computacionales.
- Utiliza cálculos aritméticos simples para realizar la detección de la caída [29].

Desventajas:

- Es difícil determinar el umbral que brinda mejores resultados.
- Una mala elección en los umbrales puede ocasionar que se presenten falsas detecciones de caídas.
- No existe un estándar para definir los umbrales.
- La mayoría de las investigaciones realizadas, se han probado sólo en ambientes controlados [30].

En el trabajo “Implementación del método de umbrales para la detección de caídas utilizando sensores vestibles” [31], se utiliza un algoritmo de detección de caídas basado en umbrales. El algoritmo implementado utiliza 3 umbrales distintos que son usados para realizar la detección de las 3 fases de la caída; caída libre, impacto y el reposo.

1. El umbral 1 se utiliza para detectar la fase de caída libre. Durante esta fase se espera que se produzca una aceleración similar a la aceleración de la gravedad, por lo que se define un valor de umbral 0.6 g donde $g=9.82 \text{ m/s}^2$ y es equivalente a 1g.
2. El valor del umbral 2 se define en 4.5 g y se utiliza para detectar la fase de impacto, el cual debe ocurrir en un lapso de 2 segundos después de haber detectado la fase de caída libre.
3. El umbral 3 son dos umbrales de reposo los cuales son un umbral de reposo mínimo de 0.95 y un máximo de 1.03, los cuales generan un rango en el cual debe de mantenerse la aceleración en un lapso de 2 segundos. Esto debe hacerse después de un segundo luego de detectar la etapa de impacto, esto para evitar anomalías en la aceleración por algún rebote del cuerpo en la fase de impacto.

5.3.3. Diagrama de flujo del algoritmo basado en umbrales

En la **Figura 5-3** se muestra el diagrama de flujo del funcionamiento del algoritmo [31].

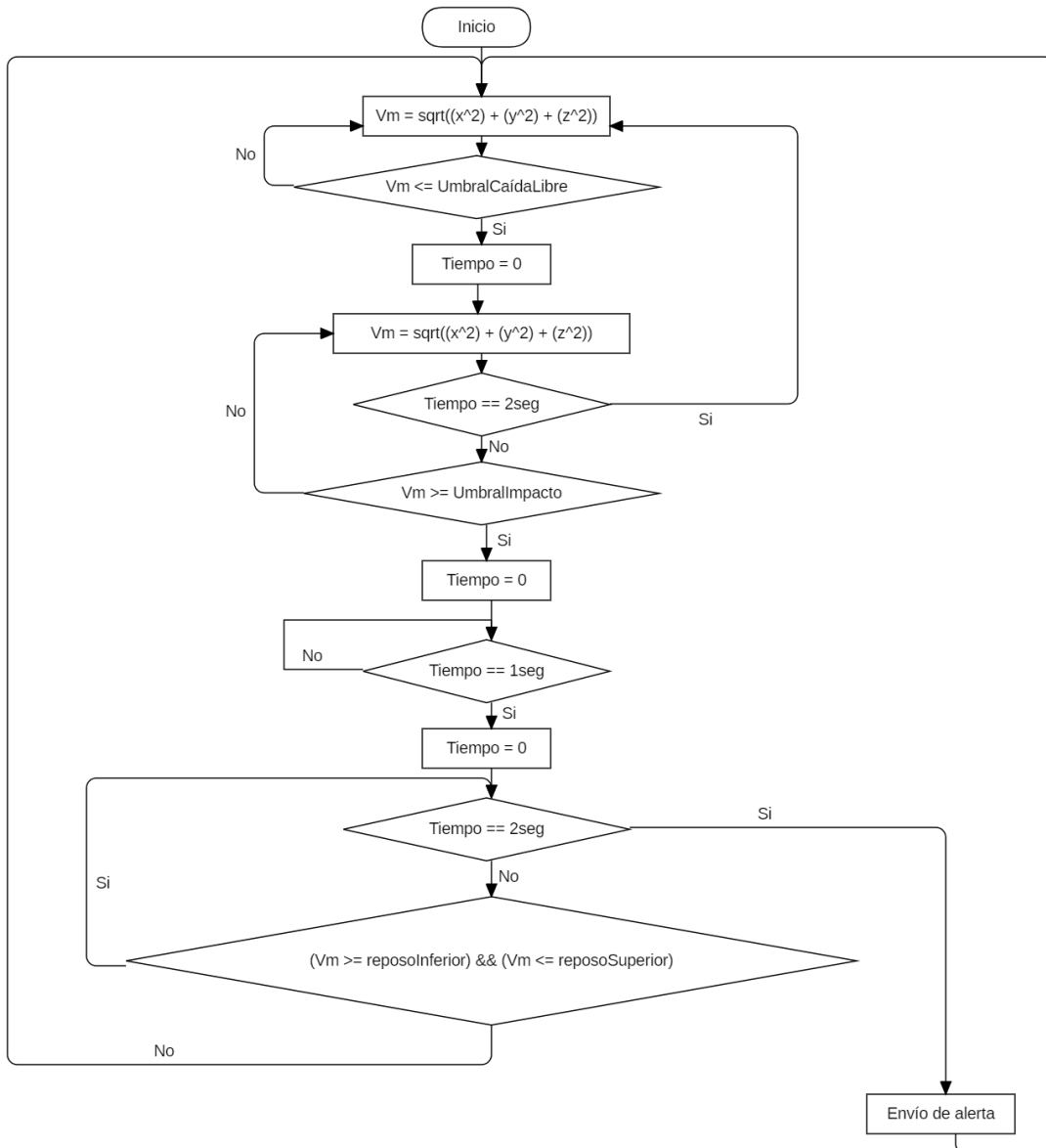


Figura 5-3: Diagrama de flujo del algoritmo [31].

5.4. Representación del proceso de obtención de datos y diagrama de actividades para la implementación del algoritmo de detección de caídas basado en umbrales

En este punto se muestran los diagramas utilizados para representar tanto el proceso que hacen los datos para obtener los datos, detectar y notificar de la caída.

5.4.1. Diagrama de proceso de obtención de datos

El manejo de los datos que se obtienen del sensor triaxial de tres ejes acelerómetro es importante para poder detectar cada una de las etapas de la caída. El algoritmo implementado necesita como entrada los valores de los ejes que son el x, y he z, estos son transformados mediante la fórmula de la magnitud del vector (I) en g, 1g es igual a 9.81 m/s², que es la aceleración de la tierra.

$$VM(\text{Aceleración en g}) = ((\text{Eje } x^2) + (\text{Eje } y^2) + (\text{Eje } z^2)) \quad (1)$$

Este valor es comparado en cada fase de la caída con respecto a los umbrales correspondientes. El detectar la magnitud del vector en cada fase genera una salida que es la detección de la caída.

En la **Figura 5-4** muestra el proceso mencionado.

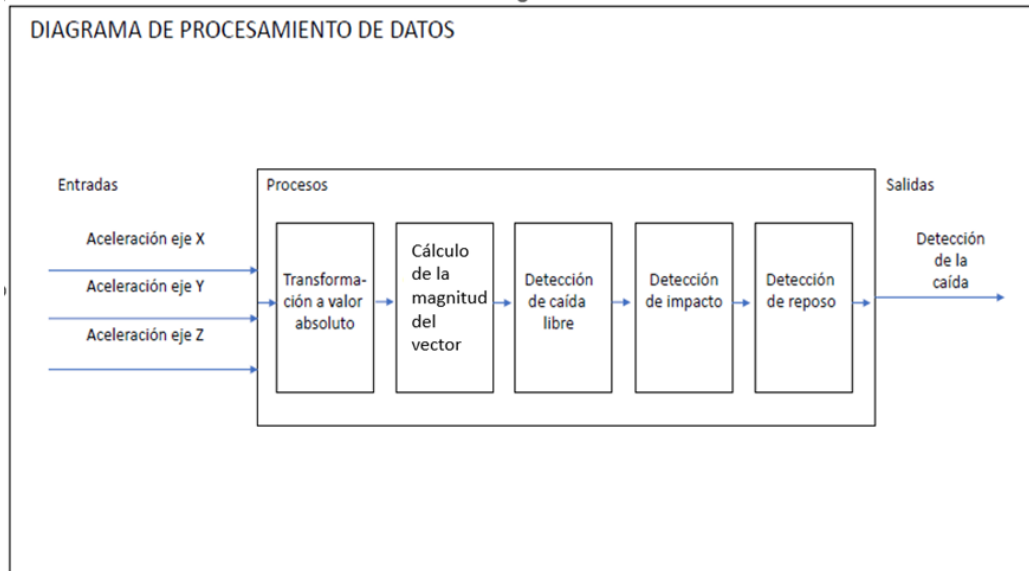


Figura 5-4: Proceso de los datos para poder detectar la caída

5.4.2. Diagrama de actividades para la implementación del algoritmo de detección de caídas basado en umbrales

5.4.2.1. Entorno de desarrollo

La implementación del algoritmo se desarrolló en la plataforma Arduino utilizando la placa Arduino nano 33 BLE. Este dispositivo fue seleccionado por las siguientes características que se adaptan al proyecto:

- Acelerómetro de tres ejes.
- Canal de comunicación BLE.
- CPU ARM® Cortex®-M4 de 32 bits que funciona a 64 MHz.
- 1MB de memoria de programa.
- Bajo consumo de energía de 3.3V para su funcionamiento.
- Tamaño de 4.5 centímetros, 1.8 centímetros m y un peso de 5 gramos.
- 14 pines digitales de salida y entrada.

5.4.2.2. 4.1.1 Adquisición-procesamiento de datos

La adquisición y procesamiento de los datos en Arduino se deben tomar en consideración los siguientes puntos.

- La función loop es un ciclo o bucle infinito y es la función principal donde corre el programa en la placa de Arduino.
- En la función loop se declaran y se leen las variables que almacenan los datos de los sensores.

Los datos de los sensores solo se obtienen donde se declaran y es necesario esperar a que se realicen todos los procesos posteriores, para poder tener otra lectura de los datos de los sensores, como se muestra el diagrama de la **Figura 5-5**. Esto trae problemas en el monitoreo constante ya que se tiene pérdida de datos y que son necesarios para detectar las fases de las caídas como es el caso de esta tesis. El problema radica en que cada fase necesita siempre tener la lectura de los datos para detectar cuando suceden, pero cuando existen pérdidas no se pueden detectar las fases de manera correcta, como es el caso del loop de Arduino que espera un ciclo para volver a leer los datos.

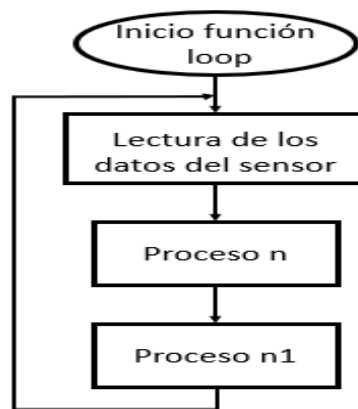


Figura 5-5: Lectura de los datos.

Una posible solución que se pensaba a la problemática era utilizar nuevamente la lectura de los datos dentro de cada fase ya detectada, con esa nueva lectura detectar la siguiente fase y así hasta detectar la caída como lo muestra la **Figura 5-6**. Pero al realizar la lectura de los datos de esa manera causó un nuevo problema, ya que al tener dos lecturas del mismo dato genera que se enviará a la primera lectura y a la segunda lectura no o viceversa de manera aleatoria, como lo muestra la **Figura 5-7**.

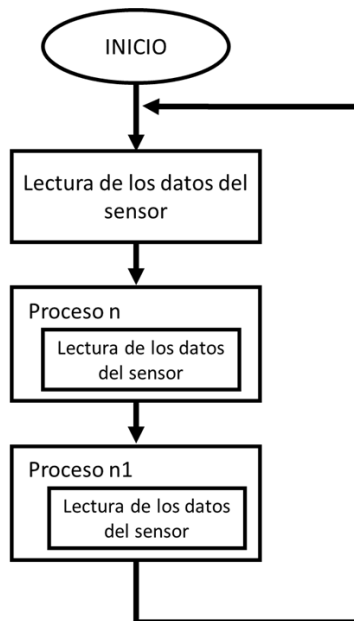


Figura 5-6: Primera solución al problema de la lectura de los datos

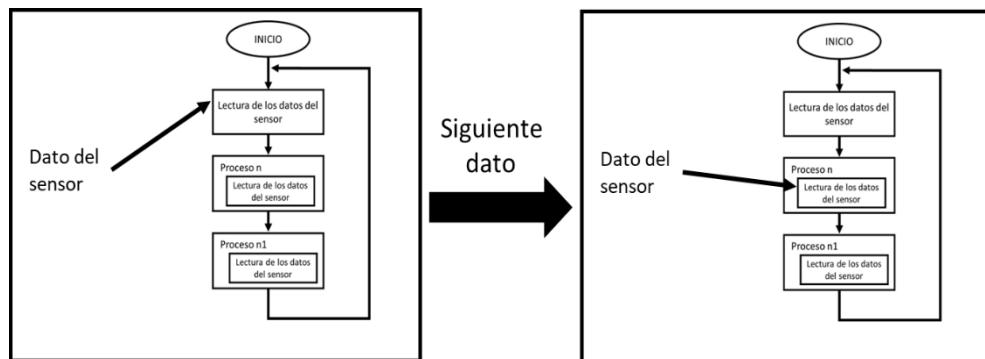


Figura 5-7: Diagrama del problema en la lectura de los datos

La solución a la lectura de los datos se resolvió leyéndolos antes de cada fase, además colocar en cada fase una bandera cuando entrara a ella. Con las banderas se evalúa que se haya entrado en una fase anterior y de esta manera detectar de manera contigua las fases de la caída, ver la **Figura 5-8**.

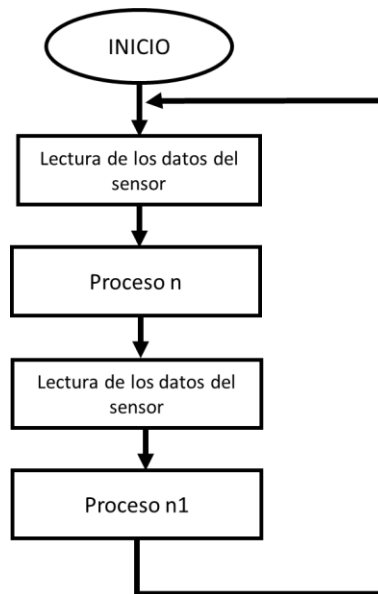


Figura 5-8: solución al problema de la lectura de los datos

5.4.2.3. 4.2 Diseño de la programación

En esta sección se utiliza el diagrama de actividades del Lenguaje Unificado de Modelado (UML, por sus siglas en inglés) y estos sirven para observar los procesos de un sistema. Este diagrama muestra la manera de la implementación del algoritmo basado en umbrales en el IDE de Arduino. Como se muestra en la **Figura 5-9**.

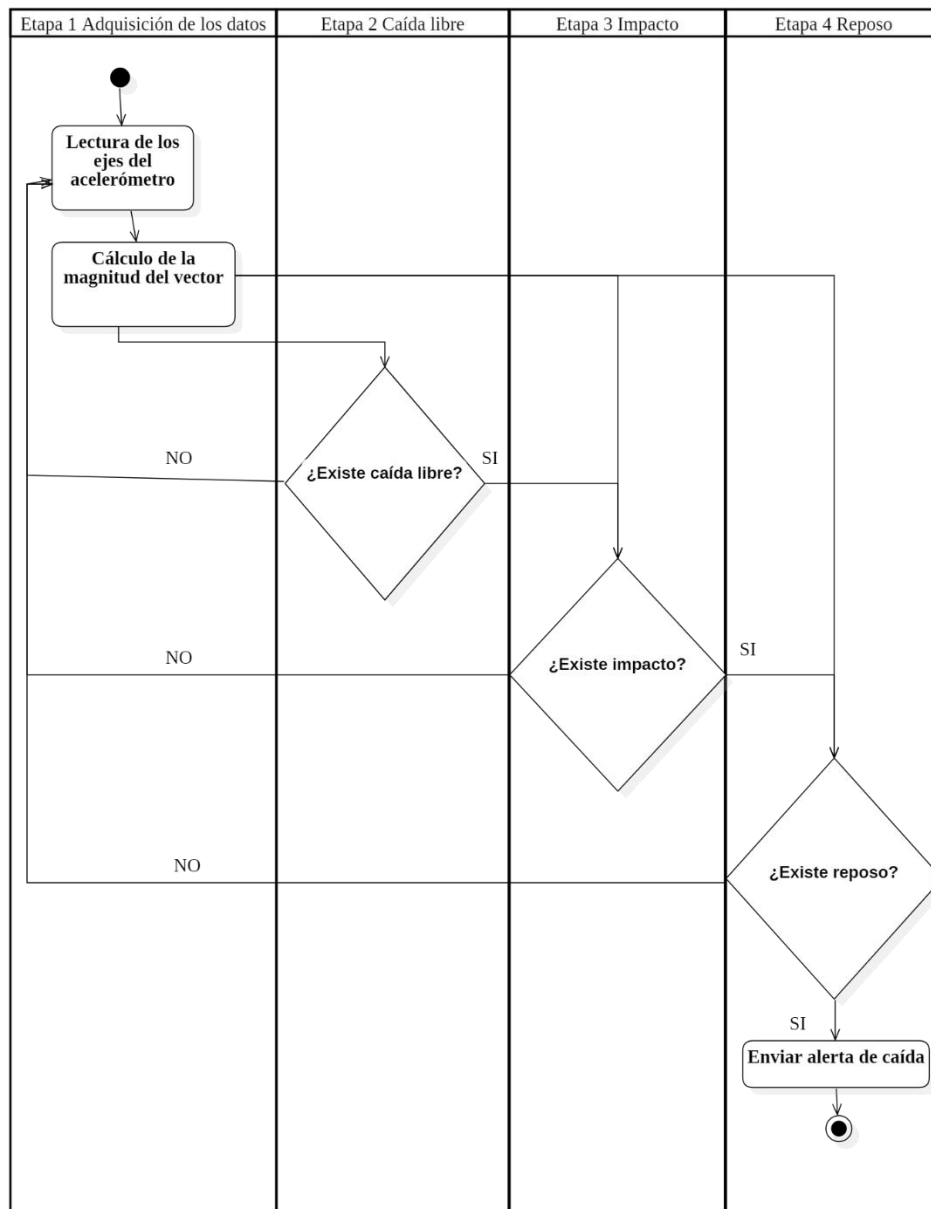


Figura 5-9: Diagrama de la implementación del algoritmo basado en umbrales

5.5. Procesamiento de los datos

Esto es un punto esencial para realizar la detección de las caídas, ya que con los datos se pueden distinguir entre cada una de sus fases. El algoritmo implementado toma en cuenta tres etapas ya antes mencionadas las cuales son: caída libre, impacto y el reposo. La **Figura 5-10** muestra el proceso por el cual pasan los datos para poder realizar la detección de la caída.

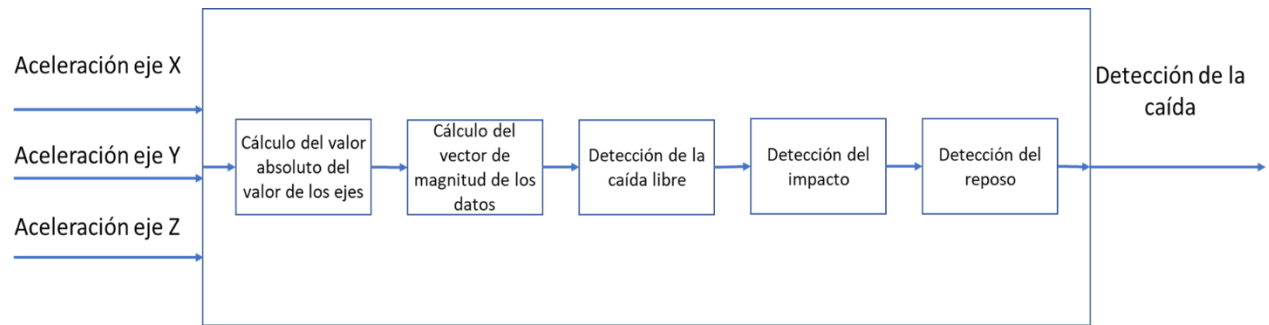


Figura 5-10: Proceso de los datos para poder detectar la caída

Al llegar los datos recuperados a la aplicación pasan por distintas fases para poder realizar la detección de la caída.

- Cálculo del valor absoluto de los ejes: Este pasa los valores negativos de las aceleraciones de los ejes a positivos, esto para evitar que afecte en el resultado del siguiente punto.
- Cálculo del vector de magnitud: Este se utiliza para obtener un solo valor de los tres ejes y sea más fácil detectar las fases de la caída. El resultado de la operación es en g, donde $g=9.82 \text{ m/s}^2$ y es equivalente a 1g
- Detección de las etapas de la caída: Los resultados del punto anterior se utilizan para detectar cada una de las tres fases de la caída, al detectarse todas las etapas el algoritmo mandaría la alerta de que se detectó una caída.

5.6. Bocetos de la interfaz

Los bocetos son una forma de visualizar el sistema y la forma en cómo se comportará en una situación normal. En este trabajo es mayor el reto, ya que se tiene que adaptar a las distintas pantallas en la que sea utilizada la aplicación móvil, además de las plataformas IOS y Android.

La facilidad de uso fue el factor que más se tomó en cuenta al momento de desarrollar el boceto de la pantalla principal; ver **Figura 5-11**. Debido a esto solo se tiene dos botones y 3 pasos para que realice su correcto funcionamiento.



Figura 5-11: Boceto de la pantalla principal

El siguiente boceto es la forma en cómo se hace el registro de los cuidadores, solicitando su nombre y número de teléfono, como se muestra en la **Figura 5-12**.

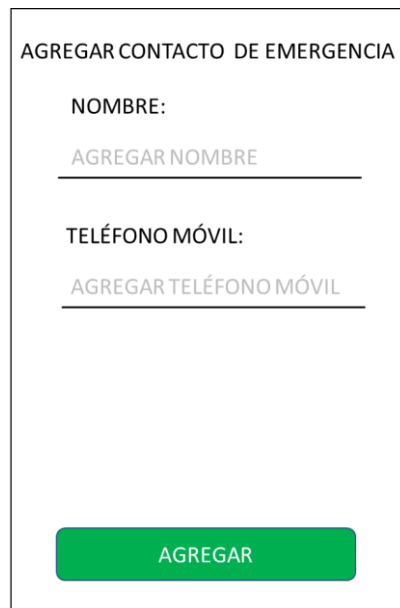


Figura 5-12: Boceto para agregar contactos

Las alertas dentro de cualquier sistema son indispensables para notificar al usuario que existe algo que necesita ser atendido, como por ejemplo los errores, campos incompletos, etc. El boceto de alerta en la aplicación se muestra en la **Figura 5-13**.

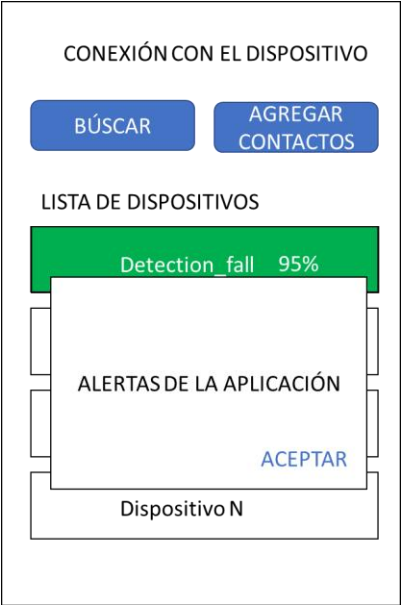


Figura 5-13: Boceto de alertas en la aplicación

Capítulo 6.

Sistema para la detección y notificación de caídas

En este capítulo se describe el sistema para detección y notificación de caídas. Este se divide en dos secciones que son Android y React Native.

6.1. Programa de detección de caídas

La detección de la caída se realizó dentro del dispositivo vestible, debido a esto se implementó el algoritmo en la plataforma Arduino. Las limitaciones de esta plataforma se resolvieron en la planeación del sistema.

La plataforma Arduino es de uso libre, la cual ofrece gran variedad de placas y componentes electrónicos para trabajar. Esta plataforma permite programar sus placas con base a las necesidades que se tengan y son reutilizables para otros proyectos.

El algoritmo basado en umbrales para detección de caídas se dividió en etapas, las cuales son las tres fases de la caída que son caída libre, impacto y reposo; agregando una más la adquisición de los datos.

6.1.1. Etapa de adquisición de datos

La primera etapa que se implementó fue la adquisición de los datos, en ella se encuentran dos pasos, la lectura de los ejes del acelerómetro y el cálculo de la magnitud del vector.

6.1.1.1. Lectura de los ejes del acelerómetro

La placa Arduino nano 33 BLE cuenta con un sensor inercial, el cual integra un acelerómetro triaxial de tres ejes, este es utilizado para detectar las aceleraciones del cuerpo y con ellas detectar la caída. La lectura de los datos de los ejes del acelerómetro se realiza mediante la biblioteca Arduino_LSM9DS, esta permite la interacción con el IMU (LSM9DS) y de esa manera obtener los datos del su acelerómetro. La **Figura 6-1** muestra los datos obtenidos del acelerómetro.

```
y
-0.80
z
0.58
x
-0.06
y
-0.80
z
0.58
x
-0.06
y
-0.80
z
0.58
```

Figura 6-1: Lectura de los ejes del acelerómetro

6.1.1.2. Cálculo de la magnitud del vector

La magnitud del vector es la suma de los tres ejes del acelerómetro en el tiempo en un solo valor, con este es más fácil detectar las fases de la caída. El

cálculo se realiza con la fórmula (1). La **Figura 6-2** muestra el código y el resultado del cálculo de la magnitud del vector.

```

x=0.03;
y=-0.04;
z=-1.01;
Serial.println("Valores colocado
Serial.println("x");
Serial.println(x);
Serial.println("y");
Serial.println(y);
Serial.println("z");
Serial.println(z);
x = pow(x, 2);
y = pow(y, 2);
z = pow(z, 2); //Pasarlos a posi
vector = sqrt(x + y + z); // gen
Serial.println("Resultado ");
Serial.println(vector);

```

```

1.01
Resultado
1.01
Valores colocados
x
0.03
y
-0.04
z
-1.01
Resultado
1.01
Valores colocados
x
0.03

```

Figura 6-2: Cálculo de la magnitud del vector

6.1.2. Etapa de caída libre

La etapa de caída libre se detecta cuando la magnitud del vector es menor al umbral definido. La detección de esta etapa es importante, debido a que es un requisito en las siguientes etapas; por ejemplo, cuando sucede una caída libre se espera en dos segundos que exista un impacto. En la **Figura 6-3** se muestra el código y su resultado al detectar la etapa de caída libre.

```

float vector = 0.30;
int banderaCaidaLibre = 0;
Serial.println("VALOR DE LA MAGNITUD DEL VECTOR");
Serial.println(vector);
if (vector <= UmbralCaidaLibre) {
    banderaCaidaLibre = 1;
}
if (banderaCaidaLibre == 1) {
    Serial.println("Entro a la etapa Caída libre");
    Serial.println(banderaCaidaLibre);
} else {
    Serial.println("No se entro a la etapa Caída libre");
    Serial.println(banderaCaidaLibre);
}

```

```

1
VALOR DE LA MAGNITUD DEL VECTOR
0.30
Entro a la etapa Caída libre
1
VALOR DE LA MAGNITUD DEL VECTOR
0.30
Entro a la etapa Caída libre
1
VALOR DE LA MAGNITUD DEL VECTOR
0.30
Entro a la etapa Caída libre
1
VALOR DE LA MAGNITUD DEL VECTOR
0.30

```

Figura 6-3: Etapa de caída libre

6.1.3. Etapa de impacto

La etapa de impacto se detecta cuando la aceleración del cuerpo rebasa el umbral definido. La aceleración de un impacto del cuerpo contra una superficie cuando hay una caída en el sensor utilizado siempre es mayor a 4. La detección de etapa es un requisito para la siguiente etapa. Para detectar la etapa es necesario que haya ocurrido la etapa anterior de caída libre. En la **Figura 6-4** se muestra el código y su resultado al detectar la etapa de impacto.

```

int banderaImpacto = 0, estadoEtapa2 = 1;
Serial.println("VALOR DE LA MAGNITUD DEL VECTOR");
Serial.println(vector);
if (vector >= UmbralCaidaImpacto && estadoEtapa2 == 1)
  banderaImpacto = 1;
}
if (banderaImpacto == 1) {
  Serial.println("Entro a la etapa Impacto");
  Serial.println(banderaImpacto);
} else {
  Serial.println("No se entro a la etapa Impacto");
  Serial.println(banderaImpacto);
}
}

```

```

Entro a la etapa Impacto
1
VALOR DE LA MAGNITUD DEL VECTOR
4.10
Entro a la etapa Impacto
1
VALOR DE LA MAGNITUD DEL VECTOR
4.10
Entro a la etapa Impacto
1
VALOR DE LA MAGNITUD DEL VECTOR
4.10
Entro a la etapa Impacto
1

```

Figura 6-4: Etapa de impacto

6.1.4. Etapa de reposo

La etapa de reposo tiene como requisitos que se hayan detectado las dos etapas anteriores. La detección de esta etapa debe ocurrir en un lapso de cinco segundos, donde la magnitud del vector no debe de rebasar los umbrales de reposo. Si se cumple esto entonces se envía una notificación a la aplicación móvil vía bluetooth, esto mediante la librería ArduinoBLE. En la **Figura 6-5** se muestra el código y su resultado al detectar la etapa de reposo.

```

int banderaReposo = 0, estadoEtapa3 = 1;
Serial.println("VALOR DE LA MAGNITUD DEL VECTOR");
Serial.println(vector);
if (vector >= UmbralReposoMinimo && vector <= UmbralRe
  banderaReposo = 1;
}
if (banderaReposo == 1) {
  Serial.println("Entro a la etapa Reposo");
  Serial.println(banderaReposo);
} else {
  Serial.println("No se entro a la etapa Reposo");
  Serial.println(banderaReposo);
}
}

```

```

VALOR DE LA MAGNITUD DEL VECTOR
0.98
Entro a la etapa Reposo
1
VALOR DE LA MAGNITUD DEL VECTOR
0.98
Entro a la etapa Reposo
1
VALOR DE LA MAGNITUD DEL VECTOR
0.98
Entro a la etapa Reposo
1
VALOR DE LA MAGNITUD DEL VECTOR

```

Figura 6-5: Etapa de reposo

6.2. Aplicación móvil

Las notificaciones SMS se generan cuando se detecta una caída y esta notificación llega a la aplicación móvil. Con esto se asegura que el dispositivo tenga una salida sin necesidad de depender de una infraestructura de un lugar.

La aplicación se generó mediante el framework React Native, el cual permite trabajar con las plataformas más conocidas que son IOS y Android. Este framework trabaja mediante JavaScript.

La **Figura 6-6** muestra la captura de pantalla de la aplicación móvil cuando inicia la aplicación, si se tiene encendido el Bluetooth del teléfono y la localización no se mostrará esta parte del sistema.

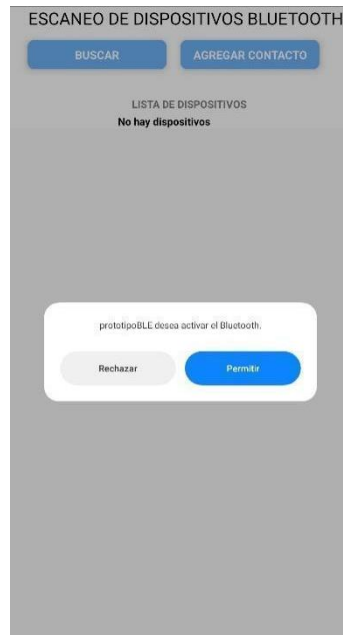


Figura 6-6: Primera captura de la aplicación desarrollada

La **Figura 6-7** muestra la manera en cómo la aplicación lista los dispositivos detectados a 10 metros de distancia del teléfono móvil. En esta se observa que la aplicación solo muestra aquellos dispositivos bluetooth que son dispositivos vestibles para la detección de caídas. También se colocan de color verde solo aquellos dispositivos que este conectados y mandando información, como lo es el estado de la batería del dispositivo. La aplicación realiza de manera automática la conexión de aquellos dispositivos que lo hayan conectado al menos una vez.

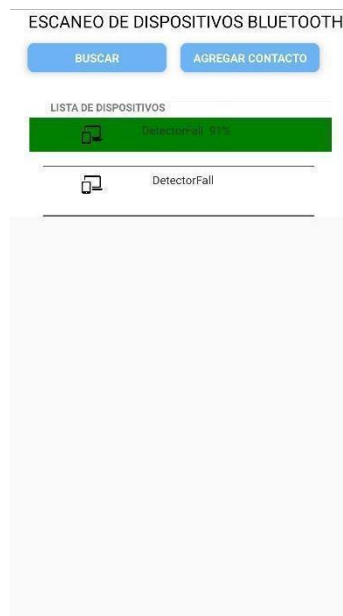


Figura 6-7: Segunda captura de la aplicación desarrollada

La **Figura 6-8** muestra la manera en cómo se realiza el ingreso de los contactos de emergencia, esta se abre cuando se presiona el botón de agregar contacto.



Figura 6-8: Captura de la aplicación desarrollada para agregar contactos de emergencia

La aplicación reconoce cuando el número ingresado es más grande o está incompleto, mandando una alerta notificación o que se deben llenar los campos de manera correcta. También se reconoce cuando el campo de número está vacío. La **Figura 6-9** muestra la manera en cómo se muestra cuando ocurre un llenado de los campos incorrectos.

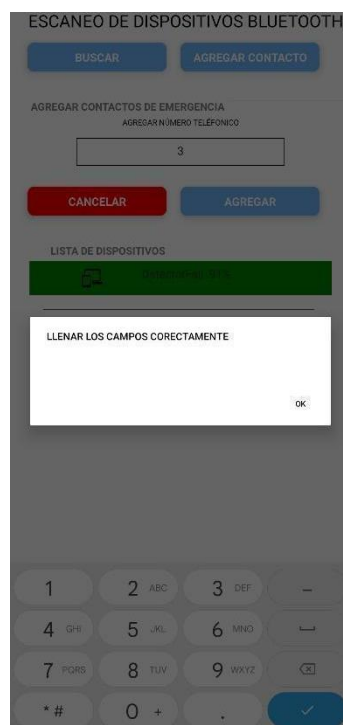


Figura 6-9: Captura de la aplicación desarrollada para agregar contactos de emergencia de manera incorrecta

6.3. Servidor

El envío de las notificaciones se hace mediante un servidor, el cual le llega la petición de la aplicación y este envía la solicitud al servicio de Altiria. En la **Figura 6-10** se muestra el código del servidor para el envío de los SMS. Este servicio recibe el número al cual será enviado el mensaje y el texto.

```
<?php
// Copyright (c) 2020, Altiria TIC SL
// All rights reserved.
// El uso de este código de ejemplo es solamente para mostrar el uso de la pasarela de envío de SMS de Altiria
// Para un uso personalizado del código, es necesario consultar la API de especificaciones técnicas, donde también podrán encontrar
// más ejemplos de programación en otros lenguajes y otros protocolos (http, REST, web services)
// https://www.altiria.com/api-envio-sms/

// YY y ZZ se corresponden con los valores de identificación del
// usuario en el sistema.
include('httpPHPAltiria.php');

$altiriaSMS = new AltiriaSMS();

$altiriaSMS->setLogin('m21ce007@cenidet.tecnm.mx');
$altiriaSMS->setPassword('sbttxs8b');
// Descomentar para utilizar la autenticación mediante apikey
//$altiriaSMS->setApikey('YY');
//$altiriaSMS->setApisecret('ZZ');
$altiriaSMS->setDebug(true);

//Use this ONLY with Sender allowed by altiria sales team
//$altiriaSMS->setSenderId('TestAltiria');
//Concatenate messages. If message length is more than 160 characters. It will consume as many credits as the number of messages needed
//$altiriaSMS->setConcat(true);
//Use unicode encoding (only value allowed). Can send 🌟🌟🌟🌟 but message length reduced to 70 characters
//$altiriaSMS->setEncoding('unicode');
if($method == "POST"){
    $json = null;
    $data = json_decode(file_get_contents("php://input"), true);
    $sDestination = $data['num'];
    $Mensaje = $SMS['Mensaje'];
}
//$sDestination = '346xxxxxxxx';
$sDestination = $NumDesti;
//$sDestination = array('346xxxxxxxx', '346yyyyyyyy');

$response = $altiriaSMS->sendSMS($sDestination, $Mensaje);

if (!$response)
    echo "El envío ha terminado en error";
else
    echo $response;
?>
```

Figura 6-10: Código del servidor para el envío de SMS

En la **Figura 6-11**, se muestra la cuenta en la plataforma Altiria, esta plataforma tiene envíos de manera internacional. El costo del servicio depende de la cantidad de SMS que se necesiten enviar.

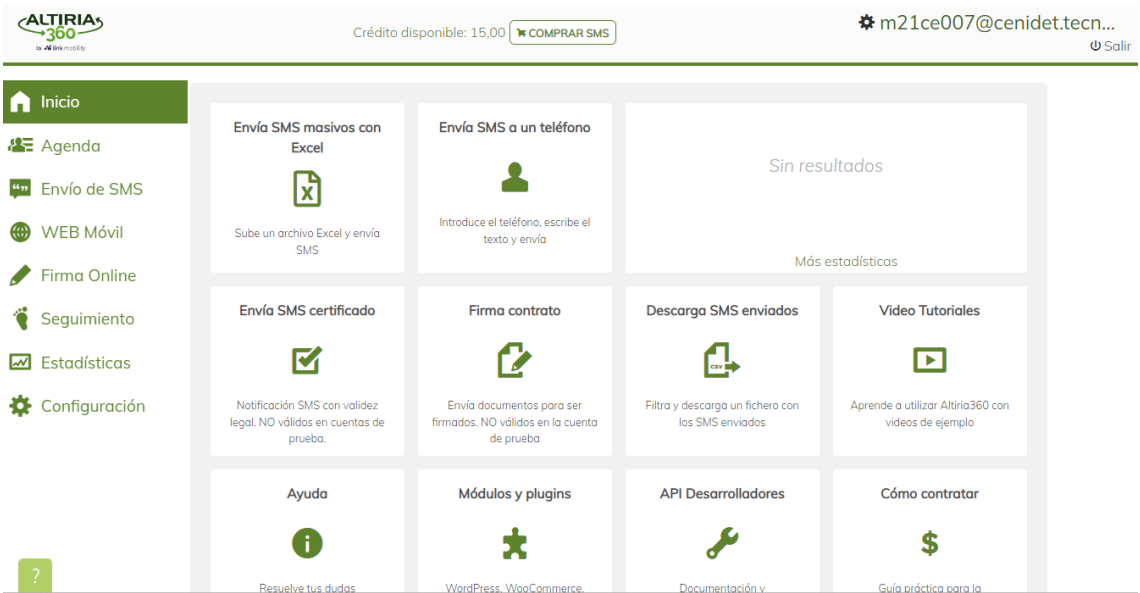


Figura 6-11: : Captura de la pantalla del servicio de Altiria

Capítulo 7.

Pruebas y resultados

7.1. Diseño de la experimentación

Este capítulo presenta el desarrollo experimental del proyecto. El diseño experimental es una técnica estadística que permite cuantificar e identificar un efecto dentro de las pruebas y de esa manera generar información.

El experimento se divide en 4 fases, las cuales son:

- Fase 1: Diseño del dispositivo.
- Fase 2: Funcionalidad del Sistema.
- Fase 3: Evaluación del desempeño del sistema con personas jóvenes y sanas en un ambiente semi-controlado.
- Fase 4: Evaluación del desempeño del sistema con adultos mayores en un ambiente controlado y en un ambiente no controlado

Objetivo de la experimentación

Evaluar el diseño del dispositivo y su funcionalidad junto con el desempeño del sistema aplicando encuestas y realizando pruebas en ambiente semi-controlado y no controlado.

7.1.1. Fase 1 Diseño del dispositivo

Esta fase se divide en 2 partes, a) estudio de mercado para obtener especificaciones de inicio acerca del dispositivo a desarrollar y b) aplicación de la metodología Design Thinking para desarrollar enteramente sus especificaciones, prototipado y testeo de su funcionalidad desde el punto de vista del usuario.

Propósito

Corroborar que el dispositivo cumpla con especificaciones y funcionalidades de diseño industrial para su uso por parte de los usuarios, en nuestro caso adultos mayores.

El Design Thinking evalúa el producto obtenido, a esto lo llama testeo. El propósito es ver si se cubrieron las necesidades de las personas, además que al hacerlo el producto tenga una mayor aceptación. La evaluación se hace mediante una tabla en la cual se enlistan los requisitos y una descripción del por qué se cumple o no. En la siguiente **Tabla 7-1** se muestran los resultados de esta fase.

Tabla 7-1: Requisitos obtenidos por el primer estudio de mercado

Requisito	Características del dispositivo	Se cumplió (✓) o no(X)
Sea discreto	El dispositivo puede pasar desapercibido por las personas debido a su tamaño, forma y color.	✓
No pesado	El dispositivo tiene un peso de 11 gramos.	✓
Se puede utilizar con cualquier prenda	La colocación del dispositivo será en la cintura colocándolo con una cinta.	✓
Envío de la notificación entre 30 segundos y 1 minuto	Se tiene un lapso de 10 segundos para cancelar el envío de la notificación desde el dispositivo vestible o de lo contrario la notificación será enviada al teléfono.	✓
Recargable	El dispositivo cuenta con un puerto de carga tipo B para la carga de la batería.	✓
Pequeño	Tiene un tamaño de 2.9 centímetros de alto, 5.2 de largo y 2.1 de ancho.	✓
No sea de un color llamativo	El dispositivo es de color blanco por ser un color neutro y sencillo de combinar	✓
Se observa cuando está cargando y cuando está listo	El dispositivo cuenta con un led de color rojo que indica que el dispositivo está cargando y otro led de color azul que indica cuando la batería está completamente cargada	✓
Enfriamiento pasivo entre los componentes	El dispositivo cuenta con espacio suficiente entre los componentes y la carcasa para generar un aislamiento pasivo.	✓
Aislamiento entre los componentes	El dispositivo cuenta con una cinta de doble cara entre cada componente para fijarlos y generar un aislamiento entre ellos.	✓
Tenga una alerta sonora	Se cuenta con un zumbador para generar una alerta sonora.	✓
Las esquinas redondeadas	Las esquinas fueron redondeadas para evitar lesiones al presionar el dispositivo contra el cuerpo con la pared, por caer encima de él etc.	✓

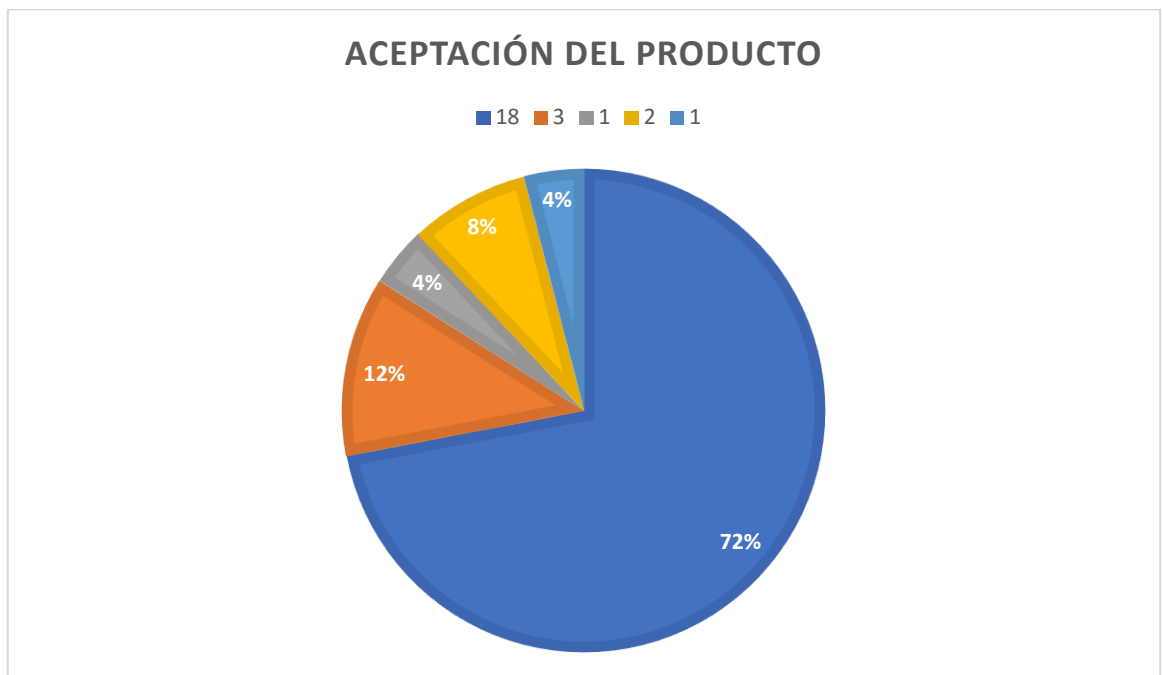
Además, se aplicó una encuesta de estudio de mercado como lo muestra el **Anexo B**, con el propósito de evaluar el nivel de aceptación de los usuarios finales. La encuesta tiene un puntaje máximo de 40 puntos y de este se aplica una regla de tres para generar

el porcentaje de aceptación de los usuarios finales. Se aplicaron 25 encuestas a los usuarios finales los resultados se muestran en la **Tabla 7-2**.

Tabla 7-2: Resultados del segundo estudio de mercado

Número de encuestados	Puntaje de la encuesta	Valor del porcentaje del puntaje
18	40	100%
3	39	97.5%
1	38	95%
2	37	92.5%
1	36	90%

En la **Gráfica 7-1** se observa el porcentaje que representa el número de encuestados.



Gráfica 7-1 Resultados del segundo estudio de mercado

7.1.2. Fase 2 Funcionalidad del Sistema

Los sistemas en casos como estos que tratan sobre la salud humana son delicados, debía que deben funcionar en su forma óptima la mayor parte del tiempo. En el proyecto se buscó evaluar desde la etapa de su desarrollo, esto con el propósito de asegurar riesgos en la implantación. Esta medida tomó en cuenta la normativa establecida por el *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE), en su

normativa IEEE 1012, la cual tienen como objetivo Verificar que los requerimientos de software y los del sistema sean correctos, consistentes, precisos y probables, mediante la verificación y validación de un software.

La verificación y validación del software se aplica para todas sus etapas, las cuales son definidas en la norma ISO 12207 que son Administración, Adquisición, Suministro, Desarrollo, Operación y Mantenimiento. Además, esta norma del IEEE 1012 permite utilizar solo una o unas de esas etapas para ser evaluadas, como es el caso de este proyecto, la cual está centrada en evaluar el desarrollo del software, para esto se utilizaron las unitarias y de integración.

Condiciones previas

Es necesario contar con un teléfono inteligente con sistema Android, conexión a internet y la aplicación instalada, el sujeto portando en la cintura el dispositivo vestible con la batería cargada y los requisitos funcionales.

7.1.2.1. Pruebas unitarias

Los sistemas de software necesitan ser evaluados antes de ponerse a operar. Una de las pruebas que ayuda a que los sistemas puedan ser verificados en la etapa de desarrollo son las pruebas unitarias, las cuales tienen como objetivo comprobar que los métodos funcionen correctamente. Las pruebas unitarias son benéficas en el desarrollo del software ya que ayudan a generar métodos funcionales desde que se están programando, de esta manera se aseguró que el resultado final del sistema fuera el esperado. Para aplicar estas pruebas se consideró:

1. Las pruebas no debieron tener ninguna intervención manual, esto para automatizar la ejecución del método que se esté evaluando.
2. Estas debieron poder ser repetidas n veces dando el mismo resultado, con esto se asegura que el sistema si funciona y que puede hacerlo no una sola vez si no n veces.
3. Las pruebas aplicadas cumplieron con el punto de cubrir en su totalidad el código del sistema, esto asegura que se está evaluando en su totalidad.
4. Se pueden ejecutar de manera independiente, con esto se evita problemas de otros métodos.
5. La ejecución de las pruebas no debe afectarse entre sí, cada prueba debe de funcionar sin problemas después de haber ejecutado n pruebas de otros métodos.
6. Las dependencias para la ejecución de un método u otro deben de ser simulados, para no generar dependencia entre ellos.
7. Para aplicar la prueba debe conocerse su objetivo y su funcionamiento teórico, con esto el programador valida que el método funciona como se espera.
8. No es necesario tener todos los pasos anteriores, pero sí ayudan a conseguir una mayor seguridad de la funcionalidad del sistema.

Para aplicar este tipo de pruebas es necesario conocer los requisitos del sistema, para comparar con ellos si el sistema funciona conforme a lo esperado. Además de aumentar la aceptación del producto final por el cliente.

Al finalizar dichas pruebas se tendrá el conocimiento de la funcionalidad del sistema y que funciona correctamente como se espera.

Implementación y Resultados

Para estas pruebas se ejecutaron cada requisito de manera individual, con el fin de observar sus resultados y si se cumplen o no con lo esperado.

FN1 Detección de caídas dentro del dispositivo.

Este requisito necesita dividirse en la lectura de los ejes del acelerómetro y cálculo de la magnitud del vector y en las etapas del algoritmo basado en umbrales las cuales son Caída libre, Impacto y Reposo.

- Lectura de los datos y cálculo de la magnitud del vector

Este método se divide en dos métodos: la lectura de los datos y el cálculo de la magnitud del vector.

Método 1 Lectura de los datos: Se obtienen los datos del sensor en diferentes posiciones para observar el cambio de aceleraciones. La colocación del sensor en un estado inmóvil **Figura 7-1**, girando el sensor **Figura 7-2** y movimientos bruscos del sensor para ver los cambios en las aceleraciones de sus ejes **Figura 7-3**.

```
Y
-0.80
Z
0.58
X
-0.06
Y
-0.80
Z
0.58
X
-0.06
Y
-0.80
Z
0.58
```

Figura 7-1: Pruebas unitarias de la lectura de los datos con el sensor estático

```
COM3
x
0.03
y
-0.04
z
-1.01
x
0.02
y
-0.02
z
-1.05
x
0.02
y
-0.02
```

Figura 7-2: Pruebas unitarias de la lectura de los datos con el sensor girando

```

x
0.67
y
-0.46
z
0.56
x
0.67
y
-0.46
z
0.56
x
0.67
y
-0.46

```

Figura 7-3: Pruebas unitarias de la lectura de los datos con el sensor con movimientos bruscos

Método 2 Cálculo de la magnitud del vector: Se introducen datos controlados en los valores de los ejes, para corroborar de manera manual el resultado de cada operación de la fórmula, como lo muestran las **Figuras 7-4 y 7-5**.

```

x=-0.06;
y=-0.80;
z=0.58;
Serial.println("Valores colocados");
Serial.println("x");
Serial.println(x);
Serial.println("y");
Serial.println(y);
Serial.println("z");
Serial.println(z);
x = pow(x, 2);
y = pow(y, 2);
z = pow(z, 2); //Pasarlos a posi
vector = sqrt(x + y + z); // gen
Serial.println("Resultado ");
Serial.println(vector);

```

```

0.58
Resultado
0.99
Valores colocados
x
-0.06
y
-0.80
z
0.58
Resultado
0.99
Valores colocados
x
-0.06
..

```

Figura 7-4: Pruebas unitarias del cálculo de la magnitud del vector 1

```

x=0.03;
y=-0.04;
z=-1.01;
Serial.println("Valores colocados");
Serial.println("x");
Serial.println(x);
Serial.println("y");
Serial.println(y);
Serial.println("z");
Serial.println(z);
x = pow(x, 2);
y = pow(y, 2);
z = pow(z, 2); //Pasarlos a posi
vector = sqrt(x + y + z); // gen
Serial.println("Resultado ");
Serial.println(vector);

```

```

1.01
Resultado
1.01
Valores colocados
x
0.03
y
-0.04
z
-1.01
Resultado
1.01
Valores colocados
x
0.03

```

Figura 7-5: Pruebas unitarias del cálculo de la magnitud del vector 2

- Caída libre

Este método se colocó un valor de 0.30 a la magnitud del vector y se comparará con el umbral de caída libre que tiene un valor de 0.31 G, si es menor entonces el método deberá mostrar un mensaje que se detectó a la etapa de caída libre como lo muestra la **Figura 7-6**.

También se colocará un valor de 0.32 a la magnitud del vector y se compara con el umbral de caída libre que tiene un valor de 0.31 G, si es mayor entonces el método no debe demostrar nada como lo muestra la **Figura 7-7**.

```

float vector = 0.30;
int banderaCaidaLibre = 0;
Serial.println("VALOR DE LA MAGNITUD DEL VECTOR");
Serial.println(vector);
if (vector <= UmbralCaidaLibre) {
    banderaCaidaLibre = 1;
}
if (banderaCaidaLibre==1){
    Serial.println("Entro a la etapa Caida libre");
    Serial.println(banderaCaidaLibre);
}else{
    Serial.println("No se entro a la etapa Caida libre");
    Serial.println(banderaCaidaLibre);
}

```

```

1
VALOR DE LA MAGNITUD DEL VECTOR
0.30
Entro a la etapa Caida libre
1
VALOR DE LA MAGNITUD DEL VECTOR
0.30
Entro a la etapa Caida libre
1
VALOR DE LA MAGNITUD DEL VECTOR
0.30
Entro a la etapa Caida libre
1
VALOR DE LA MAGNITUD DEL VECTOR
0.30

```

Figura 7-6: : Pruebas unitarias de la caída libre 1

```

float vector = 0.32;
int banderaCaidaLibre = 0;
Serial.println("VALOR DE LA MAGNITUD DEL VECTOR");
Serial.println(vector);
if (vector <= UmbralCaidaLibre) {
    banderaCaidaLibre = 1;
}
if (banderaCaidaLibre==1){
    Serial.println("Entro a la etapa Caida libre");
    Serial.println(banderaCaidaLibre);
}else{
    Serial.println("No se entro a la etapa Caida libre");
    Serial.println(banderaCaidaLibre);
}

```

```

0.32
No se entro a la etapa Caida libre
0
VALOR DE LA MAGNITUD DEL VECTOR
0.32
No se entro a la etapa Caida libre
0
VALOR DE LA MAGNITUD DEL VECTOR
0.32
No se entro a la etapa Caida libre
0
VALOR DE LA MAGNITUD DEL VECTOR
0.32
No se entro a la etapa Caida libre

```

Figura 7-7: Pruebas unitarias de la caída libre 2

- Impacto

Este método se colocará un valor de 4.1 a la magnitud del vector y un valor de verdadero a la bandera de caída libre, para compararlo con el valor del umbral de impacto que tiene un valor de 4 g y que se haya entrado a la etapa de caída libre, si es el valor de la magnitud del vector es mayor al del umbral de impacto y se entró en la etapa de caída libre entonces el método deberá mostrar un mensaje que se detectó a la etapa de Impacto como se muestra en la **Figura 7-8**.

También se colocará un valor de 3.9 a la magnitud del vector y un estado de falso a la bandera de la etapa de caída libre para compararlo con el valor del umbral de impacto, sí el valor de la magnitud del vector es menor al del umbral de impacto y la bandera de la etapa de caída libre es falso entonces el método no debe mostrar nada como lo muestra la **Figura 7-9**.

Además, se colocará un valor de 4.5 a la magnitud del vector y un estado de falso a la bandera de la etapa de caída libre para compararlo con el valor del umbral de impacto definido en un valor de 4 G, si el valor de la magnitud del vector es mayor al del umbral de impacto y la bandera de la etapa de caída libre es falso entonces el método no debe mostrar nada como lo muestra la **Figura 7-10**.


```

float vector = 4.1;
int banderaImpacto = 0, estadoEtapa2 = 1;
Serial.println("VALOR DE LA MAGNITUD DEL VECTOR");
Serial.println(vector);
if (vector >= UmbralCaidaImpacto && estadoEtapa2 == 1)
  banderaImpacto = 1;
}
if (banderaImpacto == 1) {
  Serial.println("Entro a la etapa Impacto");
  Serial.println(banderaImpacto);
} else {
  Serial.println("No se entro a la etapa Impacto");
  Serial.println(banderaImpacto);
}
}

```

```

4.10
Entro a la etapa Impacto
1
VALOR DE LA MAGNITUD DEL VECTOR
4.10
Entro a la etapa Impacto
1
VALOR DE LA MAGNITUD DEL VECTOR
4.10
Entro a la etapa Impacto
1
VALOR DE LA MAGNITUD DEL VECTOR
4.10
Entro a la etapa Impacto
1

```

Figura 7-8: Pruebas unitarias del impacto 1

```

float vector = 3.9;
int banderaImpacto = 0, estadoEtapa2 = 1;
Serial.println("VALOR DE LA MAGNITUD DEL VECTOR");
Serial.println(vector);
if (vector >= UmbralCaidaImpacto && estadoEtapa2 == 1)
  banderaImpacto = 1;
}
if (banderaImpacto == 1) {
  Serial.println("Entro a la etapa Impacto");
  Serial.println(banderaImpacto);
} else {
  Serial.println("No se entro a la etapa Impacto");
  Serial.println(banderaImpacto);
}
}

```

```

3.90
No se entro a la etapa Impacto
0
VALOR DE LA MAGNITUD DEL VECTOR
3.90
No se entro a la etapa Impacto
0
VALOR DE LA MAGNITUD DEL VECTOR
3.90
No se entro a la etapa Impacto
0
VALOR DE LA MAGNITUD DEL VECTOR
3.90
No se entro a la etapa Impacto
0

```

Figura 7-9: Pruebas unitarias del impacto 2

```

float vector = 4.5;
int banderaImpacto = 0, estadoEtapa2 = 0;
Serial.println("VALOR DE LA MAGNITUD DEL VECTOR");
Serial.println(vector);
if (vector >= UmbralCaidaImpacto && estadoEtapa2 == 1)
  banderaImpacto = 1;
}
if (banderaImpacto == 1) {
  Serial.println("Entro a la etapa Impacto");
  Serial.println(banderaImpacto);
} else {
  Serial.println("No se entro a la etapa Impacto");
  Serial.println(banderaImpacto);
}
}

```

```

4.50
VALOR DE LA MAGNITUD DEL VECTOR
4.50
No se entro a la etapa Impacto
0
VALOR DE LA MAGNITUD DEL VECTOR
4.50
No se entro a la etapa Impacto
0
VALOR DE LA MAGNITUD DEL VECTOR
4.50
No se entro a la etapa Impacto
0
VALOR DE LA MAGNITUD DEL VECTOR
4.50

```

Figura 7-10: Pruebas unitarias del impacto 3

- **Reposo**

Este método se colocará un valor de 0.98 a la magnitud del vector y un valor de verdadero a la bandera del impacto, para compararlo con el valor de los umbrales de reposo que tienen un valor de 0.95 en el mínimo y 1.03 de máximo y se compara sí el valor de la magnitud del vector está en ese rango y que entró en la etapa de impacto entonces el método deberá mostrar un mensaje de se detectó una caída como lo muestra la **Figura 7-11**.

También se colocará un valor de 1.20 a la magnitud del vector y un valor de falso a la bandera del impacto, para compararlo con el valor de los umbrales de reposo y se comparan sí el valor de la magnitud del vector no está en el rango de los

umbrales del reposo y que no se entró en la etapa de impacto entonces el método no debe mostrar nada como lo muestra la **Figura 7-12**.

Además, se colocará un valor de 1 a la magnitud del vector y un valor de falso a la bandera del impacto para compararlo, si el valor del rango de los umbrales de reposo y el estado de la bandera de impacto es negativo entonces, el método no debe mostrar nada como lo muestra la **Figura 7-13**.

```
float vector = 0.98;
int banderaReposo = 0, estadoEtapa3 = 1;
Serial.println("VALOR DE LA MAGNITUD DEL VECTOR");
Serial.println(vector);
if (vector >= UmbralReposoMinimo && vector <= UmbralRe
    banderaReposo = 1;
}
if (banderaReposo == 1) {
    Serial.println("Entro a la etapa Reposo");
    Serial.println(banderaReposo);
} else {
    Serial.println("No se entro a la etapa Reposo");
    Serial.println(banderaReposo);
}
}
VALOR DE LA MAGNITUD DEL VECTOR
0.98
Entro a la etapa Reposo
1
VALOR DE LA MAGNITUD DEL VECTOR
0.98
Entro a la etapa Reposo
1
VALOR DE LA MAGNITUD DEL VECTOR
0.98
Entro a la etapa Reposo
1
VALOR DE LA MAGNITUD DEL VECTOR
```

Figura 7-11: Pruebas unitarias del reposo 1

```
float vector = 1.2;
int banderaReposo = 0, estadoEtapa3 = 1;
Serial.println("VALOR DE LA MAGNITUD DEL VECTOR");
Serial.println(vector);
if (vector >= UmbralReposoMinimo && vector <= UmbralRe
    banderaReposo = 1;
}
if (banderaReposo == 1) {
    Serial.println("Entro a la etapa Reposo");
    Serial.println(banderaReposo);
} else {
    Serial.println("No se entro a la etapa Reposo");
    Serial.println(banderaReposo);
}
}
No se entro a la etapa Reposo
0
VALOR DE LA MAGNITUD DEL VECTOR
1.20
No se entro a la etapa Reposo
0
VALOR DE LA MAGNITUD DEL VECTOR
1.20
No se entro a la etapa Reposo
0
VALOR DE LA MAGNITUD DEL VECTOR
1.20
No se entro a la etapa Reposo
0
```

Figura 7-12: Pruebas unitarias del reposo 2

```
float vector = 1;
int banderaReposo = 0, estadoEtapa3 = 0;
Serial.println("VALOR DE LA MAGNITUD DEL VECTOR");
Serial.println(vector);
if (vector >= UmbralReposoMinimo && vector <= UmbralRe
    banderaReposo = 1;
}
if (banderaReposo == 1) {
    Serial.println("Entro a la etapa Reposo");
    Serial.println(banderaReposo);
} else {
    Serial.println("No se entro a la etapa Reposo");
    Serial.println(banderaReposo);
}
}
No se entro a la etapa Reposo
0
VALOR DE LA MAGNITUD DEL VECTOR
1.00
No se entro a la etapa Reposo
0
VALOR DE LA MAGNITUD DEL VECTOR
1.00
No se entro a la etapa Reposo
0
```

Figura 7-13: Pruebas unitarias del reposo 3

FN2 Notificación de caída mediante SMS

La evaluación de este requisito es requiere tener una bandera en verdadero lo que significa que se detectó una caída, con esto el método genera una solicitud al servidor que se ha detectado una caída y este genere él envío de la alerta por SMS, primero se

colocará en verdadero la bandera que se detectó una caída y se debe esperar 20 segundos para recibir la notificación SMS de que se detectó una caída como lo muestra la **Figura 7-14**.

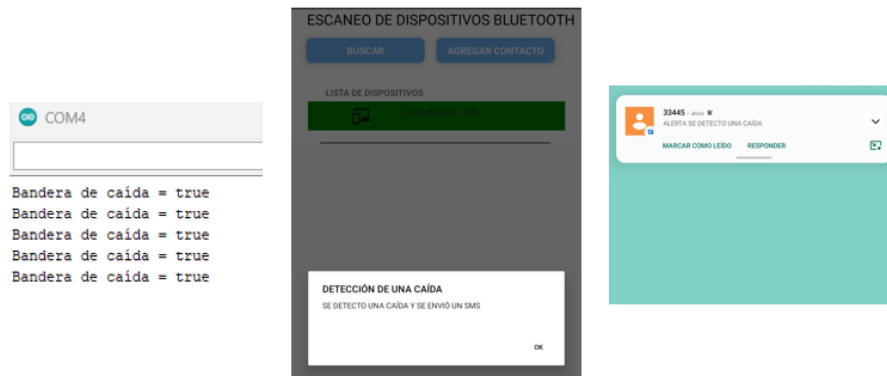


Figura 7-14: Pruebas unitarias del requisito funcional FN2 número 1

También se ejecutará una con la bandera de detección de caída en falso y se esperará por 1 min que no se reciba una notificación de caída como lo muestra la **Figura 7-15**.

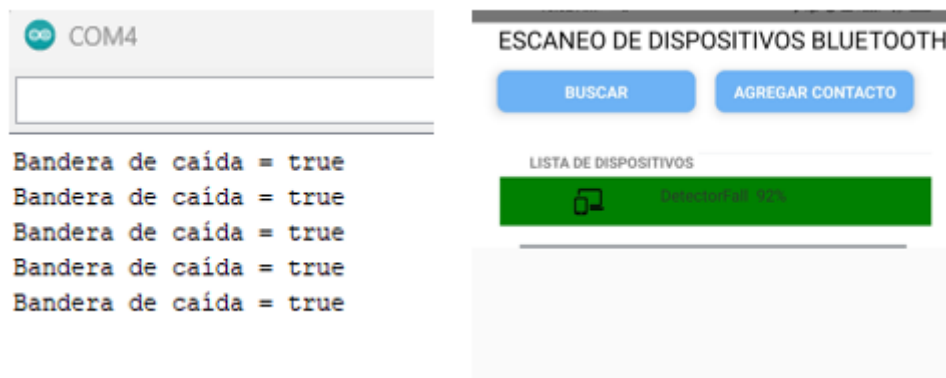


Figura 7-15: Pruebas unitarias del requisito funcional FN2 número 2

FN3 Conexión BLE entre el dispositivo vestible y aplicación

Para la evaluación de este requisito es necesario tener aceptados los permisos de encender el bluetooth y de ubicación, con esto se genera una conexión entre el dispositivo y el teléfono, mostrando de color verde el dispositivo conectado, se conectó el dispositivo al seleccionarlo y este a menos de 10 metros entre el dispositivo y el teléfono como lo muestra la **Figura 7-16**.



Figura 7-16: Pruebas unitarias del requisito funcional FN3 número 1

También se buscará la conexión del teléfono a 15 y 20 metros de distancia como lo muestran las **Figuras 7-17 y 7-18**.



Figura 7-17: Pruebas unitarias del requisito funcional FN3 número 2

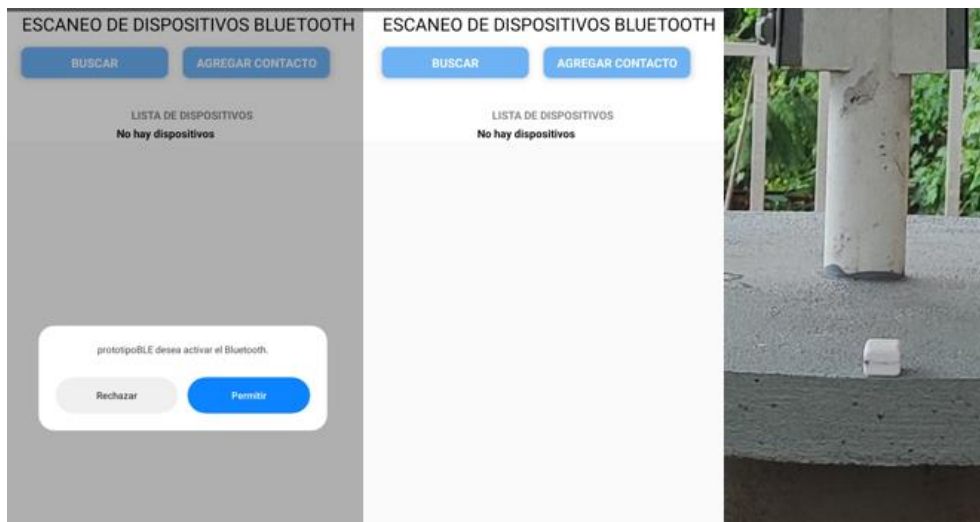


Figura 7-18: Pruebas unitarias del requisito funcional FN3 número 3

FN4 Recepción de datos en la aplicación del dispositivo vestible

La evaluación de este requisito necesita tener aceptados los permisos de encender el bluetooth, de ubicación y generar una conexión entre el dispositivo y el teléfono, se mostraron los datos del nivel de carga de la batería del dispositivo vestible y una alerta si es que se detectó una caída. Para estas pruebas se conectará el dispositivo con el teléfono y se enviará de los valores del nivel de la batería en 95 como lo muestra la **Figura 7-19**.



Figura 7-19: Pruebas unitarias del requisito funcional FN4 número 1

Además, se enviará desde el dispositivo una alerta de caída y se visualizará en la aplicación como lo muestra la Figura 7-20.

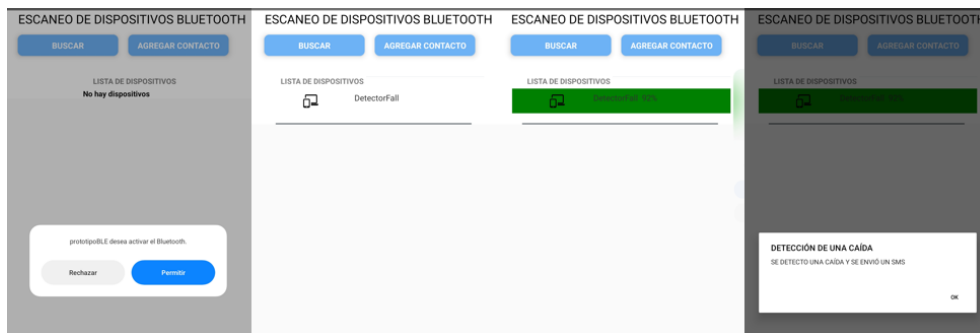


Figura 7-20: Pruebas unitarias del requisito funcional FN4 número 2

FN5 Cancelación de la alerta de la caída

La evaluación de este requisito necesita tener una bandera en verdadero que se detectó una caída y esperar un lapso de 10 segundos para que se presione el botón de cancelación de la caída y no se envíe la alerta a la aplicación. Se colocará un valor de verdadero en la bandera que se ha detectado una caída y se presionará el botón, de esta manera solo se visualizará que se detectó una caída en el dispositivo y la aplicación no recibió la alerta en un lapso de 20 segundos como lo muestra la **Figura 7-21**.



Figura 7-21: Pruebas unitarias del requisito funcional FN5 número 1

También se colocará la bandera en falso y no debe generar ningún tipo de alerta para ello se esperará 25 segundos como lo muestra la **Figura 7-22**.



Figura 7-22: Pruebas unitarias del requisito funcional FN5 número 2

Además, se pondrá en verdadero la bandera que se ha detectado una caída y no se presionará el botón y se debe visualizar una alerta en la aplicación que se detectó una caída como lo muestra la **Figura 7-23**.



Figura 7-23: Pruebas unitarias del requisito funcional FN5 número 3

FN6 Registro de números telefónicos para notificaciones

La evaluación de este requisito necesita colocar en una variable el número telefónico al cual se enviará la alerta de la caída mediante SMS, una vez registrado se deberá guardar dentro de la aplicación sin bases de datos. Se realizará el registro de un teléfono a diez dígitos y se mostrará un mensaje que se registró correctamente como lo muestra la **Figura 7-24**.

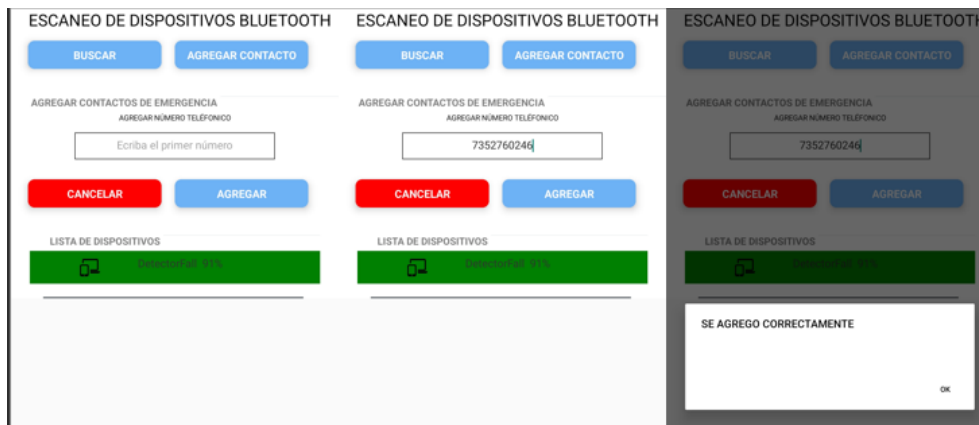


Figura 7-24: Pruebas unitarias del requisito funcional FN6 número 1

También se hará un registro un número distinto a 10 dígitos y se debe mostrar el mensaje de llenar el campo correctamente como lo muestra la **Figura 7-25**.



Figura 7-25: Pruebas unitarias del requisito funcional FN6 número 2

FN7 Estado de carga la batería

La evaluación de este requisito el dispositivo debe realizar los cálculos para observar el nivel de carga de la batería, esta se visualizará en la aplicación. Se debe realizar un cálculo del nivel de batería a los 40 min de su carga máxima y se mostrará una captura del porcentaje de la batería como lo muestra la **Figura 7-26**.



Figura 7-26: Pruebas unitarias del requisito funcional FN7 número 1

También se tomará una captura a las 3 horas de su carga máxima de la batería del dispositivo como lo muestra la **Figura 7-27**.

ESCANEEO DE DISPOSITIVOS BLUETOOTH



Figura 7-27: Pruebas unitarias del requisito funcional FN7 número 2

FN8 Listado de los dispositivos vestibles

La evaluación de este requisito necesita tener aceptados los permisos de encender el bluetooth, de ubicación y generar una conexión entre el dispositivo y el teléfono, se mostrará un listado solo de los dispositivos detectores de caídas menores a 10 metros. Se hará una prueba si detecta los dispositivos detectores de caídas a 10 metros como lo muestra la **Figura 7-28**, a los 15 metros como lo muestra la **Figura 7-29** y 20 metros como lo muestra la **Figura 7-30** del teléfono en una lista.

ESCANEEO DE DISPOSITIVOS BLUETOOTH



Figura 7-28: Pruebas unitarias del requisito funcional FN8 número 1

ESCANEEO DE DISPOSITIVOS BLUETOOTH



Figura 7-29: Pruebas unitarias del requisito funcional FN8 número 2

ESCANEEO DE DISPOSITIVOS BLUETOOTH



LISTA DE DISPOSITIVOS
No hay dispositivos

Figura 7-30: Pruebas unitarias del requisito funcional FN8 número 3

FN9 Auto conexión de los dispositivos ya conectados con anterioridad

La evaluación de este requisito necesita tener aceptados los permisos de encender el bluetooth, de ubicación y generar una conexión entre el dispositivo y el teléfono, se conectará automáticamente al dispositivo detector de caídas que se haya conectado al menos una vez con el teléfono. Se conectará los dispositivos detectores de caídas si son detectados por el bluetooth en 10 metros del teléfono como lo muestra la **Figura 7-31**, a 15 metros del teléfono como lo muestra la **Figura 7-32** y 20 metros del teléfono como lo muestra la **Figura 7-33**, en las cuales se esperó tiempo de 10 segundos a que la aplicación hiciera la conexión automática en cada una de ellas.



Figura 7-31: Pruebas unitarias del requisito funcional FN9 número 1



Figura 7-32: Pruebas unitarias del requisito funcional FN9 número 2

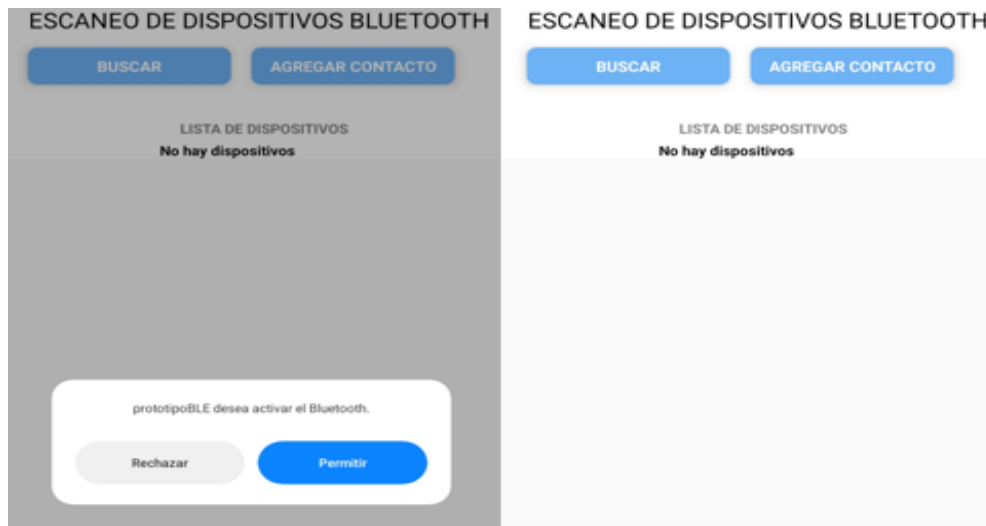


Figura 7-33: Pruebas unitarias del requisito funcional FN9 número 3

7.1.2.2. Pruebas de Integración

En la anterior se evalúan de forma independiente los métodos del sistema, sin embargo, esto no asegura que el sistema funcione en su totalidad de forma correcta, ya que entre ellos puede existir algún tipo de interferencia o incompatibilidad, ya sea al acceder a una variable, sensor, función o a un proceso en específico, etc. Por lo que es necesario aplicar otras pruebas que validan este tipo de circunstancias. Las pruebas de integración son una herramienta muy útil para esos casos, su objetivo es encontrar errores en las interfaces del sistema, además de comprobar el correcto funcionamiento de los métodos en conjunto.

Estas pruebas tienen diferentes estrategias para poder seguir las cuales son Top-Down, Bottom-Up, End-to-End, Funciones, Ad-Hoc y Big-Bang.

Para este proyecto se utilizó la estrategia End-to-End la cual tiene como propósito cada uno de los componentes, llamando a los métodos que ocupe para su funcionamiento. Además, genera una visualización del flujo de los datos, de esta manera se encontraron más fáciles los errores. Para este trabajo es indispensable observar el funcionamiento de los componentes para ver si se cumple con lo esperado de los requisitos funcionales. Otra razón por la cual se utilizó la estrategia es para observar el tiempo que tarda el sistema en finalizar el proceso de la alerta al detectar una caída.

Implementación y Resultados

En estas pruebas se ejecutará los requisitos que tengan una relación.

Primera prueba de integración

Esta prueba necesita integrar el requisito FN1, FN2, FN3, FN4, FN5 y FN7, son necesarias para la detección y notificación de una caída.

El propósito de la prueba es realizar la detección y notificación de las caídas.

- Esta prueba comienza al encender el bluetooth. como lo muestra la **Figura 7-34**.



Figura 7-34: Pruebas de integración primera prueba número 1

- Mostrar en una lista los dispositivos detectores de caídas. como lo muestra la **Figura 7-35**.



Figura 7-35: Pruebas de integración primera prueba número 2

- Conectar de manera automática el dispositivo en la aplicación, mostrando de color verde que se ha conectado el dispositivo y su nivel de batería, como lo muestra la **Figura 7-36**.



Figura 7-36: Pruebas de integración primera prueba número 3

- Detectar la simulación de una caída y enviar la alerta al teléfono móvil, como lo muestra la **Figura 7-37**.

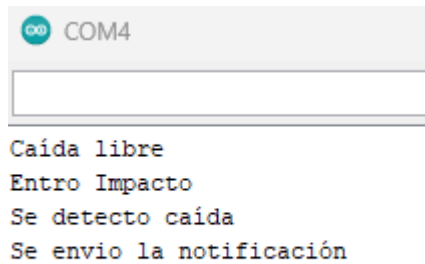


Figura 7-37: Pruebas de integración primera prueba número 4

- Recibir alerta SMS que se detectó una caída, como lo muestran las **Figuras 7-38 y 7-39**.



Figura 7-38: Pruebas de integración primera prueba número 5



Figura 7-39: Pruebas de integración primera prueba número 6

Segunda prueba de integración

Esta prueba necesita integrar los requisitos FN3, FN4, FN8 y FN9 los cuales son necesarios para la conexión. El propósito de la prueba es realizar la conexión del dispositivo y el teléfono móvil.

- Esta prueba comienza al encender el bluetooth. como lo muestra la **Figura 7-40**.



Figura 7-40: Pruebas de integración segunda prueba número 1

- Mostrar en una lista los dispositivos detectores de caídas. como lo muestra la **Figura 7-41**.



Figura 7-41: Pruebas de integración segunda prueba número 2

- Conectar de manera automática el dispositivo en la aplicación, mostrando de color verde que se ha conectado el dispositivo y su nivel de batería, como lo muestra la **Figura 7-42**.



Figura 7-42: Pruebas de integración segunda prueba número 3

7.1.3. Fase 3 Evaluación del desempeño del sistema con personas jóvenes y sanas en un ambiente semi-controlado

Las Fases 3 y 4 comparten las condiciones previas, selección de candidatos, adquisición de los datos y procesamiento de los datos.

Condiciones previas

La experimentación se realizó en un ambiente controlado con adultos jóvenes.

-*Espacio*: La experimentación se llevó a cabo en la cancha de basquetbol del CENIDET que se encuentra ubicada arriba del auditorio y en las casas de algunos sujetos de pruebas.

-*Uso de colchoneta para las pruebas de caídas*.

La utilización de una colchoneta fue para evitar que las personas que realicen la simulación puedan resultar lesionadas. Es importante evitar rebotes del cuerpo que generen ruido en los datos y que como consecuencia ocasionen que el algoritmo detecte de manera incorrecta las caídas.



Figura 7-43: Etapas de la caída

-Dispositivo

El dispositivo es el generado en este trabajo el cual lleva una tarjeta Arduino Nano 33 BLE. En la **Tabla 7-3** se muestran las configuraciones que se utilizaron para el dispositivo, mismas que trae establecidas por defecto:

Tabla 7-3: Características del dispositivo

Dispositivo	Lugar de colocación	Frecuencia de muestreo	Obtención de la magnitud del vector
Arduino nano 33 BLE	Cadera	55 Hertz	Cada 200 milisegundos

La colocación del dispositivo encargado de la adquisición y procesamiento de los datos de las caídas fue con ayuda de un cinturón en la cadera de los sujetos de prueba. La **Figura 7-44** muestra la manera en que se colocó el dispositivo.

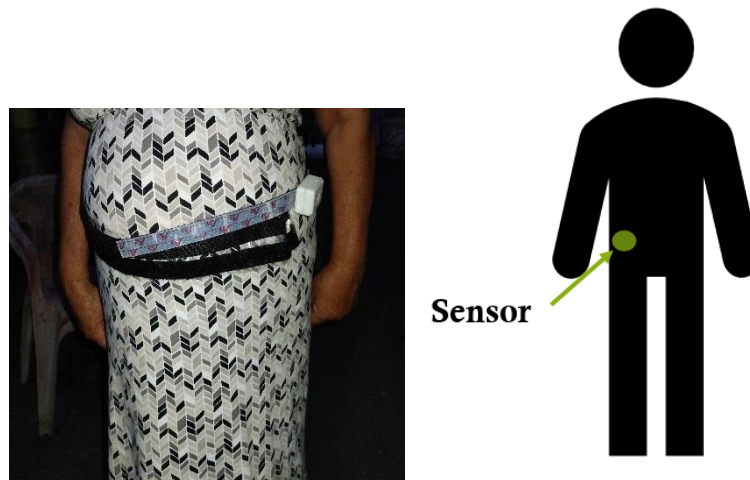


Figura 7-44: Colocación del dispositivo

Selección de candidatos

La selección de los candidatos que realizaron las pruebas fue una de las tareas más importantes durante la experimentación, esto debido a que los participantes no debían de contar con algún tipo de características que les impidiera realizar las actividades como enfermedades, discapacidades, etc.

Lo que se buscaba en los voluntarios es que tuvieran diferencias en las características de peso y altura, con el propósito de observar si se produce alguna diferencia en los resultados de la detección de las caídas. Los voluntarios antes de realizar las actividades de la experimentación deberán contestar un cuestionario donde se verificará si padecen de alguna enfermedad o algún problema físico que provoque que no puedan realizar la experimentación. Posteriormente se les hizo entrega de un documento de consentimiento informado el cual debería ser leído y firmado. En dicho documento se les hizo de su conocimiento que los datos generados serán utilizados solo para este estudio y su información personal no será difundida.

Adquisición de datos

La adquisición de los datos de las aceleraciones se realizó mediante el dispositivo vestible. Este obtuvo los datos de la tarjeta en su interior Arduino nano 33 BLE que tiene un acelerómetro triaxial. Este dispositivo vestible fue portado por el sujeto en la altura de la cintura. El dispositivo vestible al detectar una caída envía una notificación mediante el bluetooth BLE a la aplicación instalada en el teléfono móvil inteligente, para que este envíe la notificación de alerta de caída a los cuidadores mediante un SMS, como lo muestra la **Figura 7-45**.



Figura 7-45: Funcionamiento del sistema

Sujetos de pruebas

Las características que se consideraron de cada uno de los voluntarios son: edad, altura y el peso (Kilogramos). La **Tabla 7-4** muestra las características de cada uno de los voluntarios.

Tabla 7-4: Características de los sujetos de la Fase 3

Número del sujeto de prueba	Edad	Altura (Metros)	Peso (Kilogramos)
1	24	1.65	80
2	35	1.73	101
3	30	1.69	89
4	24	1.74	109
5	22	1.66	70
6	22	1.85	75
7	24	1.77	90
8	25	1.66	80
9	24	1.74	98
10	27	1.71	94
11	28	1.68	87
12	27	1.73	78
13	26	1.65	70
14	24	1.77	96
15	21	1.68	75
16	49	1.64	79
17	35	1.71	91
18	26	1.68	72
19	26	1.67	78
20	26	1.83	115
21	20	1.68	74
22	20	1.60	67
23	18	1.68	62
24	19	1.67	66
25	19	1.72	81
26	19	1.74	67
27	27	1.65	87

Evaluación

Las métricas de análisis de los resultados son importantes porque ofrecen información general del funcionamiento del sistema sobre la detección de caídas. La evaluación del funcionamiento del algoritmo se eligió tomando en cuenta los resultados de las pruebas. El algoritmo puede tener cuatro posibles resultados:

- Verdaderos positivo (TP, por sus siglas en inglés): representa cuando ocurre una caída y el algoritmo la detecta correctamente
- Falsos positivos (FP, por sus siglas en inglés): representa cuando se realiza una actividad de la vida diaria (AD) y el algoritmo la detecta como una caída
- Verdaderos negativos (TN, por sus siglas en inglés): representa cuando se realiza una AD y el sistema no la detecta como una caída
- Falsos negativos (FN, por sus siglas en inglés): representa cuando ocurre una caída y el algoritmo no la detecta

Se utilizó la matriz de confusión como herramienta para evaluar el desempeño del algoritmo de detección de caídas en cada una de las fases de pruebas. Esta herramienta dio una mejor idea de cómo se estaba realizando la clasificación, a partir de un conteo de los aciertos y de los errores de las clases en la clasificación, de esta manera se pudo comprobar si el algoritmo estaba realizando la clasificación de manera correcta.

En la matriz de confusión se colocaron los valores de TP, FP, TN y FN. Estos valores tienen una posición específica dentro de la matriz, la **Figura 7-46** muestra la estructura de la matriz de confusión.

Verdaderos Positivos (TP)	Falsos Negativos (FN)
Falsos Positivos (FP)	Verdaderos Negativos (TN)

Figura 7-46: Estructura de la matriz de confusión

Las métricas utilizadas fueron el Accuracy, la especificidad, la sensibilidad y precisión, para calcularlas es necesario utilizar los valores de TP, TN, FP y FN. El significado de las métricas es:

Accuracy representa el porcentaje total de valores correctamente clasificados tanto positivos como negativos.

Specificity o especificidad representa la cantidad de verdaderos negativos en función del número total de valores negativo

Recall o sensibilidad representa la cantidad de verdaderos positivos en función del número total de valores positivos.

Precision o precisión representa el número de elementos que se identificaron correctamente como positivos de un total de elementos identificados positivos.

- La ecuación 2 se utiliza para calcular el Accuracy.

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (2)$$

- La ecuación 3 se utiliza para calcular la especificidad.

$$Especificidad = \frac{TN}{TN + FP} \quad (3)$$

- La ecuación 4 se utiliza para calcular la sensibilidad obtenida en cada una de las fases de pruebas.

$$Sensibilidad = \frac{TP}{TP + FN} \quad (4)$$

- La ecuación 5 se utiliza para calcular la precisión en los resultados del algoritmo.

$$Precisión = \frac{TP}{TP + FP} \quad (5)$$

Implementación del experimento

Las pruebas considero los experimentos realizados por otros trabajos relacionados, tomando como referencia las actividades de trabajos [29], [11], [32] y [33]. Las velocidades a las que se realizaron las actividades fueron determinadas del compendio de actividades físicas [34] y [35]. Las actividades tomadas en cuenta durante las pruebas se muestran en la **Tabla 7-5**.

Tabla 7-5: Características de las actividades de la Fase 3

Actividad	Indicaciones	Duración	amortiguar (ninguna, baja, media, alta)	Duración del reposo
Caída frontal con cuerpo estático	Estar en un estado de inmovilidad y dejarse caer sobre la colchoneta.	Indefinido	Alta	Un minuto
Caída frontal con caminata	Inicia caminata a una velocidad cómoda para el sujeto dejándose caer sobre la colchoneta	Indefinido	Alta	Un minuto
Sentarse	Hacerlo en una silla y un sillón	Indefinido	Ninguna	Ninguno
Acostarse	Sin indicaciones	Sin tiempo	Ninguna	Un minuto

Resultados

Los resultados de esta etapa muestran el desempeño del dispositivo con actividades en ambientes controlados con los adultos mayores, La representación de la **Tabla 7-6**, muestra el tipo de actividad realizada y si se detectó la caída o no. Las filas son las actividades y las columnas si se detectó caída o no.

Tabla 7-6: Tabla de resultados de la Fase 3

Actividad	Se detectó caída	No se detectó caída
Caída frontal con cuerpo estático	26	1
Caída frontal con caminata	25	2
Sentarse	1	26
Acostarse	2	25

Con estos resultados se generó la matriz de confusión que es la **Tabla 7-7**, la cual muestra el desempeño del algoritmo en un ambiente controlado con adultos mayores.

Tabla 7-7: Matriz de confusión resultante de la Fase 3

OBSERVACIÓN	PREDICCIÓN	
	CAÍDA	NO CAÍDA

	CAÍDA	51	3
	NO CAÍDA	3	51

Una vez colocados los datos en la matriz de confusión se genera el cálculo de las métricas que evalúan el desempeño para esta etapa.

- Fórmula de Accuracy:

$$Accuracy = \frac{51 + 51}{51 + 51 + 3 + 3} = 0.9444444444$$

- Fórmula de especificidad

$$Especificidad = \frac{51}{51 + 3} = 0.9444444444$$

- Fórmula de la sensibilidad:

$$Sensibilidad = \frac{51}{51 + 3} = 0.9444444444$$

- Fórmula de la precisión:

$$Precisión = \frac{51}{51 + 3} = 0.9444444444$$

7.1.4. Fase 4 Evaluación del desempeño del sistema con adultos mayores en un ambiente semi-controlado y en un ambiente no controlado

Selección de candidatos

La selección de los candidatos debe ser cautelosa, debido a los factores de riesgo que se tiene al realizar algunas actividades. Los candidatos deben tener una edad de 60 a 75 años, no contar con ninguna discapacidad que les impida realizar las actividades.

Sujetos de pruebas Paso 1

Las características que se consideraron de cada uno de los voluntarios son: edad, altura y el peso (Kilogramos). La **Tabla 7-8** muestra las características de cada uno de los voluntarios.

Tabla 7-8: Características de los sujetos de la Fase 4 Paso 1

Sujeto de prueba	Edad	Altura (Metros)	Peso (Kilogramos)
1	65	1.65	78
2	65	1.71	88
3	68	1.60	74
4	65	1.61	72
5	74	1.73	84
6	67	1.64	70
7	71	1.70	82
8	69	1.66	74
9	65	1.65	76
10	65	1.67	79

Sujetos de pruebas Paso 2

Las características que se consideraron de cada uno de los voluntarios son: edad, altura y el peso (Kilogramos). La **Tabla 7-9** muestra las características de cada uno de los voluntarios.

Tabla 7-9: Características de los sujetos de la Fase 4 Paso 2

Sujeto de prueba	Edad	Altura (Metros)	Peso (Kilogramos)
1	65	1.71	88
2	68	1.60	74
3	71	1.70	82
4	69	1.66	74
5	65	1.67	79

Implementación del experimento

- *Paso 1*

Las pruebas se consideraron los experimentos realizados por otros investigadores, tomando como referencia trabajos similares [29], [11], [32] y [33]. Las velocidades a las que se realizaron las actividades fueron determinadas del compendio de actividades físicas [34] y [35]. Las actividades que serán tomadas en cuenta para ser realizadas durante las pruebas se muestran en la **Tabla 7-10**.

Tabla 7-10: Características de las actividades de la Fase 4 Paso 1

Actividad	Indicaciones	Duración	amortiguar (ninguna, baja, media, alta)	Duración del reposo
Sentarse	Hacerlo en una silla y un sillón	Indefinido	Ninguna	Ninguno
Subir escaleras	Hacerlo a una velocidad	Un minuto	Ninguna	Ninguno

	cómoda para el sujeto			
Bajar escaleras	Hacerlo a una velocidad cómoda para el sujeto	Un minuto	Ninguna	Ninguno
Acostarse	Sin indicaciones	Indefinido	Ninguna	Un minuto
Saltar	Sin indicaciones	Indefinido	Ninguna	Ninguno

- *Paso 2*

Las pruebas consideraron que los adultos mayores portaron el dispositivo en su rutina de un día normal, durante uno o dos días. Para ello es necesario portar el dispositivo en la cintura y tener instalada la aplicación.

Resultados

- *Paso 1*

Los resultados de esta etapa muestran el desempeño del dispositivo con actividades en ambientes controlados con los adultos mayores, La representación de la **Tabla 7-11**, muestra el tipo de actividad realizada y si se detectó la caída o no. Las filas son las actividades y las columnas si se detectó caída o no.

Tabla 7-11: Tabla de resultados de la Fase 4 Paso 1

Actividad	Se detectó caída	No se detectó caída
Sentarse	0	10
Subir escaleras	0	10
Bajar escaleras	0	10
Acostarse	0	10
Saltar	2	9

Con estos resultados se generó la matriz de confusión que es la **Tabla 7-12**, la cual muestra el desempeño del algoritmo en un ambiente controlado con adultos mayores.

Tabla 7-12: Matriz de confusión resultante de la Fase 4 Paso 1

	PREDICCIÓN	
OBSERVACIÓN	CAÍDA	NO CAÍDA

	CAÍDA	0	0
	NO CAÍDA	2	48

Una vez colocados los datos en la matriz de confusión se genera el cálculo de las métricas que evalúan el desempeño para esta etapa.

- Fórmula de Accuracy:

$$Accuracy = \frac{0 + 48}{0 + 48 + 2 + 0} = 0.96$$

- Fórmula de especificidad

$$Especificidad = \frac{48}{48 + 2} = 0.96$$

- Fórmula del valor predictivo negativo:

$$Negative Predictive Value: \frac{48}{48 + 0} = 1$$

- Paso 2

Los resultados de esta etapa muestran el desempeño del dispositivo en las actividades de la vida diaria de los adultos mayores en ambientes no controlados con los adultos mayores en la **Tabla 7-13**, muestra los resultados de esta experimentación.

Tabla 7-13: Tabla de resultados de la Fase 4 Paso 2

Actividad	Se detectó caída	No se detectó caída
Vida diaria	0	5

Con estos resultados se generó la matriz de confusión que es la **Tabla 7-14**, la cual muestra el desempeño del algoritmo en un ambiente controlado con adultos mayores.

Tabla 7-14: Matriz de confusión resultante de la Fase 4 Paso 2

	PREDICCIÓN	
	CAÍDA	NO CAÍDA
OBSERVACIÓN		

	CAÍDA	0	0
	NO CAÍDA	0	5

Una vez colocados los datos en la matriz de confusión se genera el cálculo de las métricas que evalúan el desempeño para esta etapa.

- Fórmula de Accuracy:

$$Accuracy = \frac{5 + 0}{0 + 5 + 0 + 0} = 1$$

- Fórmula de especificidad

$$Especificidad = \frac{5}{5} = 1$$

- Fórmula del valor predictivo negativo:

$$Negative Predictive Value: \frac{5}{5 + 0} = 1$$

Capítulo 8.

Conclusiones y trabajo futuro

En esta sección se presentan las conclusiones que se han generado a partir de este proyecto de investigación. Así también, se describen los trabajos futuros que se pueden derivar a partir de esta tesis.

8.1. Conclusiones

Se desarrolló un dispositivo vestible para la detección de caídas en adultos mayores y el envío de notificaciones SMS por medios digitales a teléfonos inteligentes de personas previamente registradas. Se trata de un sistema que monitorea el movimiento del adulto mayor para detectar una secuencia de patrones que indican la ocurrencia de una caída. Una vez detectada la caída, el dispositivo vestible envía una señal Bluetooth al teléfono inteligente del adulto mayor, el cual reenvía automáticamente las notificaciones SMS. El adulto mayor tiene un lapso de 15 segundos para cancelar la alerta en caso de que la caída no amerite el envío de las notificaciones, o en el caso de que se trate de una falsa caída. El dispositivo cuenta con un respaldo de batería que soporta el uso del dispositivo por un lapso de 20 horas.

En el estudio del estado del arte se encontraron trabajos similares, sin embargo, brindan poca información acerca de la implementación de los métodos utilizados. En particular con relación al método basado en umbrales, que es el que se seleccionó en nuestra investigación, en ningún trabajo se indica cómo se establecieron dichos umbrales.

Para llevar a cabo el trabajo se utilizó la metodología Design Thinking, la cual a través de cada una de sus etapas permitió realizar paso a paso tanto el diseño del dispositivo como el diseño del software, integrados como sistema para el desarrollo de la solución propuesta. Para un mejor entendimiento de las necesidades de los usuarios finales se realizaron estudios de usuarios potenciales, se realizaron estudios de mercado y se abordó el diseño del dispositivo vestible utilizando conocimientos de diseño industrial. Posteriormente, a través de técnicas de prototipado se completó el diseño del dispositivo vestible.

Para la evaluación del dispositivo se consideraron 4 fases. Fase 1 de evaluación del diseño del dispositivo, fase 2 de evaluación de la funcionalidad, fase 3 de evaluación del desempeño con personas jóvenes y sanas en ambiente semicontrolado, y fase 4 de evaluación del desempeño con adultos mayores en ambiente no controlado realizando actividades de la vida cotidiana.

En particular, en la fase 4, participaron 10 adultos mayores de más de 65 años. Las pruebas fueron de dos tipos. Paso 1 en ambiente semi-controlado realizando 5 tipos de actividades de la vida cotidiana se obtuvo un accuracy de 0.96. Paso 2 en ambiente no controlado en el cual los adultos mayores portaron el dispositivo todo el día durante 2 días. Los adultos mayores no tuvieron caídas, el dispositivo no detectó caídas y no envió ninguna notificación, tampoco se detectaron falsas caídas por lo que se tuvo un accuracy de 1.

Consideramos que este trabajo cumplió con los objetivos y alcances propuestos a nivel prototipo. Para avanzar en el desarrollo de un diseño industrial en vista de su transferencia tecnológica habría algunas mejoras.

8.2. Trabajo futuro

Se proponen las siguientes mejoras a este proyecto de investigación:

- Integración de un módulo electrónico que integre los componentes de carga, botón de cancelación y zumbador en sustitución de la tarjeta actualmente utilizada.
- Integración en el dispositivo de gestión y envío de los mensajes SMS.
- Obtención personalizada de los umbrales para la detección de caídas basado en aprendizaje automático

Referencias

- [1] L. R. P. y. C. P. P. A. Pérez, «Las caídas, causa de accidente en el adulto», vol. 59, nº 276, pp. 1-2, 2020.
- [2] M. O. V. A. C. G. L. B. B. y. J. C. D. A. Méndez Magaña, «Tendencia de mortalidad por caídas en México, 1979-2010», *Revista de Investigación Clínic*, vol. 5, nº 65, pp. 403-411, 2013.
- [3] Organización de las Naciones Unidas, «Naciones Unidas», Organización de las Naciones Unidas, 17 junio 2019. [En línea]. Available: <https://www.un.org/es/global-issues/ageing>. [Último acceso: 02 noviembre 2022].
- [4] J. A. Haagsma, B. F. Olij, M. Majdan, E. F. v. Beeck, T. Vos, C. D. Castle, Z. V. Dingels, J. T. Fox, E. B. Hamilton, Z. Liu, N. L. S. Roberts, D. O. Sylte, O. Aremu, T. W. Bärnighausen, A. M. B. J. J. C. C. A. M. Borzi y Z. El-Kha, «Caídas en adultos mayores en 22 países europeos: incidencia, mortalidad y carga de morbilidad de 1990 a 2017», *BJM*, vol. 136, nº 10, pp. 1-8, 2020.
- [5] Datosmacro, «Expansion», Datosmacro, [En línea]. Available: <https://datosmacro.expansion.com/demografia/estructura-poblacion/usa>. [Último acceso: 02 noviembre 2022].
- [6] Centers for Disease Control and Prevention, «Keep on Your Feet—Preventing Older Adult Falls», *Injury Prevention & Control*, 06 Diciembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.cdc.gov/injury/features/older-adult-falls/index.html>. [Último acceso: 02 noviembre 2022].
- [7] Centro Nacional de Excelencia Tecnológica en Salud, «Prevención de Caídas en el Adulto Mayor en el Primer Nivel de Atención», *Catálogo Maestro: ISSSTE*, vol. 134, nº 08, pp. 8-29, 2008.
- [8] Centro Nacional de Excelencia Tecnológica en Salud, «Caídas en el Adulto Mayor», secretaria de salud pública de México, 30 enero 2015. [En línea]. Available: <http://www.imss.gob.mx/salud-en-linea/caidas>. [Último acceso: 10 noviembre 2022].
- [9] R. A. Española, «RAE.es,» RAE.es, octubre 2014. [En línea]. Available: <https://dle.rae.es/ca%C3%ADda>. [Último acceso: 10 noviembre 2022].
- [10] Organización Mundial de la Salud, «Organización Mundial de la Salud / Caídas», Organización Mundial de la Salud, 10 abril 2021. [En línea]. Available: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/falls>. [Último acceso: 10 noviembre 2022].
- [11] E. Carnuccio, W. Valiente, M. Volker, G. D. Luca, G. Garcia, D. Giulianelli y S. Barillaro, «Desarrollo de un Prototipo detector de caídas utilizando la placa Intel Galileo Generación I y el sensor MPU6050», *XXIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación*, pp. 954-963, 2017.

- [12] P. Mariana, «Concepto Definición», Concepto Definición, 21 febrero 2021. [En línea]. Available: <https://conceptodefinicion.de/adulto-mayor/>. [Último acceso: 25 noviembre 2022].
- [13] Real Academia Española, «Real Academia Española», RAE, octubre 2020. [En línea]. Available: <https://dle.rae.es/sensor>. [Último acceso: 25 noviembre 2022].
- [14] A. Serna, F. A. Ros y J. C. Rico, «Guía práctica de sensores», *España: Copyright*, 2010.
- [15] UNAM y C. V. Martínez, «Dispositivos vestibles», UNAM, agosto 2015. [En línea]. Available: <http://www2.iingen.unam.mx/ES>. [Último acceso: 13 diciembre 2022].
- [16] R. A. Española, «Real Academia Española», RAE, octubre 2020. [En línea]. Available: 2021. [Último acceso: 13 diciembre 2022].
- [17] R. A. Española, «Real Academia Española», RAE, 2020 octubre. [En línea]. Available: <https://dle.rae.es/SMS?m=form>. [Último acceso: 13 diciembre 2022].
- [18] J. L. Pérez, «Qué es SMS y Cómo funciona», COMUNYCARSE, 04 diciembre 2017. [En línea]. Available: <https://www.comunycarse.com/es/que-es-sms-y-como-funciona/>. [Último acceso: 13 diciembre 2022].
- [19] TechLib, «TechLib», TechLib, [En línea]. Available: <https://techlib.net/definition/ble.html>. [Último acceso: 13 diciembre 2022].
- [20] N. Jia, «Detecting Human Falls with a 3-Axis Digital Accelerometer», *Analog Dialogue*, vol. 43, nº 07, pp. 1-9, Julio 2009.
- [21] A. O. Vicente, G. Olivares, J. M. Gorriz y J. Ramírez, «Wagyromag: red inalámbrica de sensores inerciales para el registro y procesamiento de movimientos corporales», *Simposio en computación temporada 107*, septiembre 2010.
- [22] Freitas, M. Terroso, M. Marques, J. Gabriel, A. T. Márquez y R. Simoes, «Wearable sensor networks supported by mobile devices for fall detection», *CONRICYT*, pp. 1-4, enero 2021.
- [23] Dinngo, «Cursos sobre métodos de innovación», Dinngo, 01 diciembre 2021. [En línea]. Available: <https://www.designthinking.es/inicio/index.php>. [Último acceso: 18 diciembre 2022].
- [24] CETYS UNIVERSIDAD, «CETYA Trends», CETYS UNIVERSIDAD, 2022. [En línea]. Available: <https://www.cetys.mx/trends/ciencia/presente-y-futuro-de-los-adultos-mayores-en-mexico/#:~:text=En%20la%20actualidad%2C%20se%20registran,aumentando%20en%20os%20pr%C3%B3ximos%20a%C3%B1os..> [Último acceso: 18 diciembre 2022].
- [25] Organización mundial de la salud, «Organización mundial de la salud», OMS, 2022. [En línea]. Available: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ageing-and-health>. [Último acceso: 18 diciembre 2022].
- [26] B. A. Gómez, M. d. L. G. Hernández, L. C. Becerril, Y. H. Ortega y D. A. Sánchez, «ACTIVIDADES BÁSICAS DE LA VIDA DIARIA DE LOS ADULTOS MAYORES EN UNA INSTITUCIÓN PÚBLICA», Universidad autónoma del Estado de México.

- [27] Y. D. L. Herrera, « Aplicación al diseño de calzado», de *Diseño y ergonomía para la tercera edad*, Ciudad de México, Universidad Nacional Autónoma de México, 2019.
- [28] A. I. D. Castillo, M. E. Valadez, J. O. Hernández, J. A. M. Ruiz, Y. Hernández y A. M. Rebollar, «Clasificación de métodos y algoritmos para la detección de caídas en adultos mayores», *7 Jornada de ciencia y tecnología aplicada*, 2021.
- [29] L. Tong, W. Chen, Q. Song y Y. Ge, «A research on automatic human fall detection method based on wearable inertial force information acquisition system», *International Conference on Robotics and Biomimetics*, diciembre 2009.
- [30] M. Vallejo, C. v. Isaza y J. D. Lopez, «Artificial Neural Networks as an alternative to traditional fall detection methods», *Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS*, vol. doi: 10.1109/EMBC.2013.6609833, nº 1, pp. 1648-1651, 2013.
- [31] S. C. A. M. Toledo, «Desarrollo de una plataforma de monitoreo de caídas en domicilio para adultos mayores», 2020.
- [32] M. Erazo Valadez, "Implementación del método de umbrales para la detección de caídas utilizando sensores vestibles", Tesis de Maestría en Ciencias de la Computación, CENIDET, Cuernavaca, Mor., 2022.
- [33] J. A. Miguel Ruiz, "Medición del gasto energético en adultos utilizando sensores vestibles", Tesis de Maestría en Ciencias de la Computación, CENIDET, Cuernavaca, Mor., 2022.
- [34] B. E. A. e. al., «Compendium of Physical Activities: an update of activity codes and MET intensities BARBARA», *Historical Semantics and Cognition*, vol. 1, nº 12, pp. 61-89, 2013, doi: 10.1515/9783110804195.61.
- [35] S. S.A., «¿A qué velocidad debería caminar para tener buena salud?», *Semana S.A.*, 2019. [En línea]. Available: <https://www.semana.com/vida-moderna/articulo/los-beneficios-de-caminar-rapido-para-la-salud/645732/>. [Último acceso: 04 enero 2023].
- [36] Cómo funciona, «Cómo funciona», 2021. [En línea]. Available: <https://como-funciona.co/un-giroscoPIO/>. [Último acceso: 04 enero 2023].

Anexo A

Se realizó una encuesta a un grupo de 10 personas, para saber el interés de este proyecto y las ventajas que obtendrían al utilizarlo. Se basa en dos principales participantes, las personas a cargo de las personas de la tercera edad y los adultos mayores. Esta encuesta busca conocer la opinión de las personas que podrían ser clientes potenciales del producto y servicio que ofrece el proyecto “Dispositivo vestible para la detección de caídas”.

Tiene como objetivo conocer el potencial de utilidad del dispositivo y obtener información de valor para su diseño.

A continuación, se muestran la encuesta realizada

Encuesta de estudio de mercado de dispositivo vestible para detector de caídas

Datos del encuestado

Edad _____ Cuidador _____ Adulto mayor _____ Fecha _____

PREGUNTAS EN COMÚN

1.- ¿Conoce los riesgos de sufrir una caída de un adulto mayor? Si _____ No _____

2.- ¿Conoce o ha utilizado algún producto igual o semejante? Si _____ No _____

¿De ser así, entonces, explique los beneficios y dificultades que encontró en ese producto?

3.- ¿Qué tan útil sería para usted contar con un dispositivo detector de caídas?

1__ 2__ 3__ 4__ 5__

¿Por qué?

4.- ¿Cuánto tiempo considera usted que debería tardar la alerta en llegar al cuidador?

30 Seg. 1 Min. 2 Min. 3 Min. _____ Min.

5.- ¿Qué tanto le interesa el producto?

1__ 2__ 3__ 4__ 5__

6.- ¿Se interesaría en comprarlo?

1__ 2__ 3__ 4__ 5__

ADULTO MAYOR

1.- ¿Ha sufrido alguna caída a lo largo de este año? Si ____ No ____ ¿Cuántas? ____

2.- ¿Sufrió alguna caída el año pasado? Si ____ No ____ ¿Cuántas? ____

3.- ¿Si ha tenido caídas, qué consecuencias han tenido?

4.- ¿Cuánto tiempo tardó en reaccionar y levantarse después de una caída?

Tipo de caída _____ Reaccionar ____
Levantarse ____

Tipo de caída _____ Reaccionar ____
Levantarse ____

Observaciones:

5.- ¿Cuánto tiempo tardó en pedir ayuda? _____

6.- ¿Cuánto tiempo tardó en llegar alguna persona para ayudarle en la última caída?

7.- ¿Si usted ocupa este producto en qué lugar le gustaría colocarlo?

Cintura ____ Mano ____ Otro sitio, ¿cuál? _____

8.- ¿Tiene una persona que esté al tanto con usted las 24 horas del día? Si ____ No ____

9.- ¿Cree que podría obstaculizar su vida diaria el tener un dispositivo como este?

Si ____ ¿No ____ ¿Si la respuesta fue sí, en qué cree que le afectaría?

10.- ¿Considera indispensable mandar una alerta al cuidador y a los servicios de emergencia?

11.- ¿Considera de utilidad un botón de alerta de caída? Si ____ No ____

12.- ¿Considera de utilidad un botón de cancelación de la alerta de caída? Si ____
No ____

CUIDADOR

1.- ¿Qué tan hábil se considera usted para utilizar un teléfono inteligente para escribir y leer mensajes?

1__ 2__ 3__ 4__ 5__

2.- ¿Cuánto tiempo considera que debería utilizarse el dispositivo en el adulto mayor? _____

3.- ¿Debería utilizar el dispositivo siempre o solo cuando esté solo el adulto mayor?

Siempre _____ Sólo cuando esté solo _____

4.- ¿Qué tan práctico considera la opción de recibir mensajes SMS al teléfono del cuidador cuando ocurra una caída? 1__ 2__ 3__ 4__ 5__

5.- ¿Qué otra modalidad de notificación de la caída considera que sería de utilidad?

6.- ¿Con cuáles servicios cuenta actualmente? Internet ___ Cobertura de señal telefónica ___

7.- ¿Cuántos adultos mayores tiene a su cargo? _____

8.- ¿Considera de utilidad un botón de alerta de caída? Si _____ No _____

9.- ¿Considera de utilidad un botón de cancelación de la alerta de caída? Si _____ No _____

10.- ¿Le gustaría saber la cantidad de batería con que cuenta el dispositivo vestible?

11.- ¿Le gustaría que el dispositivo sea recargable o de pilas AA? Recargable ___ De pilas ___

12.- ¿Considera de utilidad conocer la ubicación donde cayó el adulto mayor? Si ___ No ___

¿Por qué?

13.- Si no contara con un teléfono celular, ¿qué otras alternativas consideran que serían de utilidad para recibir la alerta de caída?

ENCUESTA REALIZADA CUIDADOR

Datos del encuestado

Edad 27 años Cuidador X Adulto mayor _____ Fecha 21- mayo-2021

PREGUNTAS EN COMÚN

1.- ¿Conoce los riesgos de sufrir una caída de un adulto mayor? Si X No _____

2.- ¿Conoce o ha utilizado algún producto igual o semejante? Si _____ No X

¿De ser Sí, entonces, explique los beneficios y dificultades que encontró en ese producto?

3.- ¿Qué tan útil sería para usted contar con un dispositivo detector de caídas?

1__ 2__ 3__ 4X 5__

¿Por qué?

Me ayudaría a saber cuándo se cayó y poder atenderlo lo más pronto posible, también me da más libertad para realizar más actividades sin estar tan pendiente del adulto mayor

4.- ¿Cuánto tiempo considera usted que debería tardar la alerta en llegar al cuidador?

30 Seg. 1 min. 2 min. 3 min. ____ Min.

5.- ¿Qué tanto le interesa el producto?

1__ 2__ 3__ 4 X__ 5__

6.- ¿Se interesaría en comprarlo?

1__ 2__ 3__ 4 X__ 5__

ADULTO MAYOR

1.- ¿Ha sufrido alguna caída a lo largo de este año? Si ____ No ____ ¿Cuántas? ____

2.- ¿Sufrió alguna caída el año pasado? Si ____ No ____ ¿Cuántas? ____

3.- ¿Si ha tenido caídas, qué consecuencias han tenido?

4.- ¿Cuánto tiempo tardó en reaccionar y levantarse después de una caída?

Tipo de caída _____ Reaccionar ____
Levantarse ____

Tipo de caída _____ Reaccionar ____
Levantarse ____

Observaciones:

5.- ¿Cuánto tiempo tardó en pedir ayuda? _____

6.- ¿Cuánto tiempo tardó en llegar alguna persona para ayudarlo en la última caída?

7.- ¿Si usted ocupa este producto en qué lugar le gustaría colocarlo?

Cintura ____ Mano ____ Otro sitio, ¿cuál? _____

8.- ¿Tiene una persona que esté al tanto con usted las 24 horas del día? Si ____ No ____

9.- ¿Cree que podría obstaculizar su vida diaria el tener un dispositivo como este?

¿Si ____ ¿No ____ ¿Si la respuesta fue sí, en qué cree que le afectaría?

10.- ¿Considera indispensable mandar una alerta al cuidador y a los servicios de emergencia?

11.- ¿Considera de utilidad un botón de alerta de caída? Si ____ No ____

12.- ¿Considera de utilidad un botón de cancelación de la alerta de caída? Si ____
No ____

CUIDADOR

1.- ¿Qué tan hábil se considera usted para utilizar un teléfono inteligente para escribir y leer mensajes?

1__ 2__ 3__ 4__ 5X

2.- ¿Cuánto tiempo considera que debería utilizarse el dispositivo en el adulto mayor?
El mayor tiempo posible

3.- ¿Debería utilizar el dispositivo siempre o solo cuando esté solo el adulto mayor?
Siempre X Sólo cuando esté solo _____

4.- ¿Qué tan práctico considera la opción de recibir mensajes SMS al teléfono del cuidador cuando ocurra una caída? 1__ 2__ 3__ 4X 5__

5.- ¿Qué otra modalidad de notificación de la caída considera que sería de utilidad?
Un sonido por parte del dispositivo

6.- ¿Con cuáles servicios cuenta actualmente? Internet X Cobertura de señal telefónica X

7.- ¿Cuántos adultos mayores tiene a su cargo? 2

8.- ¿Considera de utilidad un botón de alerta de caída? Si ____ No X

9.- ¿Considera de utilidad un botón de cancelación de la alerta de caída? Si X
No ____

10.- ¿Le gustaría saber la cantidad de batería con que cuenta el dispositivo vestible? Si

11.- ¿Le gustaría que el dispositivo sea recargable o de pilas AA? Recargable X De pilas ____

12.- ¿Considera de utilidad conocer la ubicación donde se cayó el adulto mayor?
Si X No ____

¿Por qué?

Para saber el lugar donde debo ir y saber qué área es un problema para la persona

13.- Si no contara con un teléfono celular, ¿qué otras alternativas consideran que serían de utilidad para recibir la alerta de caída?

Una computadora

Anexo B

Encuesta para la evaluación de la aceptación del dispositivo vestible

Se aplicará esta encuesta con el objetivo de evaluar el diseño del dispositivo, los datos que aparezcan serán sólo utilizados para el estudio "Dispositivo vestible para detección de caídas en adultos" y no se solicitan datos personales a excepción de la edad.

Contesta las siguientes preguntas de manera sincera, considera que 1 es la calificación más baja que se puede poner y 5 la más alta.

Edad del encuestado: _____ Cuidador Adulto mayor

1. Del 1 al 5 ¿Qué tanto le gusta a usted el dispositivo?
1 2 3 4 5

0. Del 1 al 5 ¿Qué tanto le gusta el color del dispositivo?
1 2 3 4 5

0. Del 1 al 5 ¿Qué tan agradable es para usted al tacto el dispositivo?
1 2 3 4 5

0. Del 1 al 5 ¿Qué tan resistente considera usted que es el dispositivo?
1 2 3 4 5

0. Del 1 al 5 ¿Qué tan fácil es colocarse el dispositivo para usted?
1 2 3 4 5

0. Del 1 al 5 ¿Qué tan práctico es para usted el tamaño del dispositivo?
1 2 3 4 5

0. Del 1 al 5 ¿Qué tan fácil es presionar el botón del dispositivo?
1 2 3 4 5

0. Del 1 al 5 ¿Para usted qué tan ligero es el dispositivo para portarlo diariamente?
1 2 3 4 5