UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA: INGENIERÍA ELECTRÓNICA

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE DETECCIÓN Y NOTIFICACIÓN DE CAÍDAS EN PERSONAS DE LA TERCERA EDAD

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

INGENIERO ELECTRÓNICO

Autores:

Redrován Parra Hugo Santiago

Andrade Padilla José Arcesio

Tutor:

Ing. Ángel Soto S. Mg. T,

CUENCA, FEBRERO DE 2016

© DERECHOS DE AUTOR

Nosotros Hugo Santiago Redrován Parra y José Arcesio Andrade Padilla, por medio del presente documento certifico que hemos leído la Política de Propiedad Intelectual de la Universidad Politécnica Salesiana y estamos de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo de investigación quedan sujetos a lo dispuesto en la Política.

Asimismo, autorizo a la Universidad Politécnica Salesiana para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 22 de febrero de 2016

Hugo Santiago Redrován Parra

CI: 010473977-6

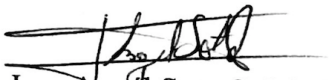
José Arcesio Andrade Padilla

CI: 030233405-7

CERTIFICACIÓN

En calidad de TUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN “Diseño e implementación de un sistema de detección y notificación de caídas en personas de la tercera edad”, elaborado por Hugo Santiago Redrován Parra y José Arcesio Andrade Padilla, declaro y certifico la aprobación del presente trabajo de titulación basándose en la supervisión y revisión de su contenido.

Cuenca, 22 de febrero del 2016



Ing. Angel Soto S. Mg.T

TUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

AGRADECIMIENTO

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a nuestro tutor de proyecto técnico Ing. Angel Soto Mg.T y nuestro director de Grupo de Investigación Dr Ing. Jack Bravo, por ayudarnos a realizar el presente trabajo de investigación, quien con su sabiduría y de una manera desinteresada, nos han enseñado a ejecutar adecuadamente los procesos de investigación.

Además queremos hacer un extensivo agradecimiento a la Dra. Enma Bravo Directora de la Casa de Residencia Geriátrica San Andrés, asistentes de enfermería y sobre todo a la gran familia de adultos mayores que con sus ocurrencias alegraban los momentos de trabajo de este proyecto, gracias por la oportunidad y apoyo brindado para que nosotros como estudiantes logremos cumplir nuestro objetivo que es la Ingeniería.

Hugo Santiago - José Arcesio

DEDICATORIA

A Dios y a la Virgen por guiarme y bendecirme cada día para lograr cumplir una meta mas, a mi abuelo Ernesto Alejandrino (+) que siempre siempre soño verme como un profesional, a mis padres por darme la oportunidad de ser alguién en la vida, a mi tío Luis por su apoyo incondicional en todo momento, familiares y amigos que de una u otra manera siempre estuvieron ahí para brindarme una mano amiga cuando mas lo necesitaba, gracias a todos por ayudarme a superar y seguir adelante.

Hugo Santiago

A Dios por la bendicion brindada, a mis padres por el esfuerzo y sacrifico realizado para verme convertido en un profesional, a mi esposa por la comprension y el apoyo brindado durante el tiempo que llevamos juntos, a mi hija Isabela por ser mi alegria, esperanza y motivacion para seguir superandome y ofrecerle un futuro mejor.

José Arcesio

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO IV
DEDICATORIA V
ÍNDICE GENERAL VI
ÍNDICE DE FIGURAS IX
ÍNDICE DE TABLAS XII
ANTECEDENTES XIV
INTRODUCCIÓN XVI
CAPÍTULO 1. ESTUDIO DE LA POBLACIÓN DE PERSONAS DE LA TERCERA EDAD Y TECNOLOGÍAS DE ASISTENCIA DE CAÍDAS 1
1.1 Población de personas de la tercera edad 1
1.2 Caídas en las personas de la tercera edad 3
1.3 Causas de las caídas en las personas de la tercera edad 4
1.3.1 Factores intrínsecos de caídas 4
1.3.2 Factores extrínsecos de caídas 6
1.4 Consecuencias de las caídas en las personas de la tercera edad 7
1.4.1 Consecuencias físicas 8
1.4.2 Consecuencias psicológicas 8
1.5 Prevención 9
1.5.1 Dejar de fumar 9
1.5.2 Hacer ejercicio 9
1.5.3 Comer sano 10
1.5.4 Adecuar viviendas 10
1.5.5 Uso de tecnología 10
1.6 Tecnologías de asistencia de caídas 10
1.6.1 Dispositivos que usan acelerómetros 11
1.6.1.1 Metodología 11
1.6.1.2 Algoritmos 15
1.6.2 Cámaras 19
1.6.2.1 Metodología 19
1.6.2.2 Algoritmos 22
1.6.3 Teléfonos inteligentes 25
1.6.3.1 Metodología 25
1.6.3.2 Algoritmo aplicado a teléfono inteligente 28
CAPÍTULO 2. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA 32
2.1 Diseño de arquitectura 32

2.2 Diseño e implementación del sistema. 35
2.2.1 Dispositivo de detección de caídas. 35
2.2.1.1 Diseño e implementación de hardware del dispositivo portátil 35
2.2.1.1.1 Acelerómetro Triaxial ADXL 335 35
2.2.1.1.2 Microcontrolador 36
2.2.1.1.3 Xbee S2 37
2.2.1.1.4 Pieza 3D 39
2.2.1.2 Diseño e implementación de software del dispositivo portátil 42
2.2.1.2.1 Sistema de localización paciente/enfermera 44
2.2.1.2.2 Servidor Web 44
2.2.1.2.3 Notificación Push 45
2.2.2 Diseño e implementación de la aplicación móvil IOS 46
2.2.2.1 Opción Administrador 46
2.2.2.2 Opción enfermera 47
2.3 Montaje del sistema 48
CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE DATOS Y RESULTADOS 50
3.1 Sistema de detección de caídas 50
3.1.1 Actividades de la vida diaria 50
3.1.1.1 Sentarse en una silla 51
3.1.1.2 Caminar 51
3.1.1.3 Acostarse 52
3.1.1.4 Subir gradas 53
3.1.1.5 Bajar gradas 54
3.1.2 Eventos de caídas 55
3.1.2.1 Caída de cama. 56
3.1.2.2 Caída de espalda 56
3.1.2.3 Desmayo 57
3.1.2.4 Caída lateral desde una silla. 58
3.1.2.5 Tropiezo y caída 59
3.2 Sistema de notificación de caídas 60
3.2 Presupuesto 61
CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 63
4.1 Conclusiones 63
4.2 Recomendaciones 64
ANEXOS 66
Anexo 1: Script de Matlab para Adquisición de datos 67
Anexo 2: Script de Java para comunicación puerto serial-Parse 70

Anexo 3: Programación Arduino 86
Anexo 4: Script de java para configuración notificación Push 91
Anexo 5: Script para arranque automático del servidor 94
BIBLIOGRAFÍA 95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Incremento de la Población de Adultos Mayores en el Mundo 2

Figura 2: Parentesco de la persona con quien vive el adulto mayor 2

Figura 3: Distribución de las personas adultas mayores en las regiones del país 3

Figura 4: Distribución en números absolutos de la población femenina y masculina de personas de la tercera edad 3

Figura 5: Fractura de Cadera 8

Figura 6: Vertebras torácicas que indican el lugar correcto en donde se puede colocar el dispositivo de detección de caídas 12

Figura 7: Composición del dispositivo 13

Figura 8: Datos de aceleración de una caminata rápida (a) y de una caída hacia adelante (b) 14

Figura 9: Sistema cartesiano de referencia y portátil 17

Figura 10: Sistema de detección de caídas que usa dos acelerómetros 18

Figura 11: Sustracción de fondo. 20

Figura 12: Detección del cambio de la forma de los objetos 20

Figura 13: Detección de caídas basado en la relación de aspecto 21

Figura 14: Ubicación del sensor Kinect en la residencia de un adulto mayor 21

Figura 15: Objeto tridimensional formado utilizando el primer plano extraído. 22

Figura 16: Ángulo de inclinación y centro de momento cuando la persona está de pie 24

Figura 17: Ángulo de inclinación y centro de momento cuando la persona ha caído 24

Figura 18: Diagrama de bloques propuesto para el esquema 26

Figura 19: Datos obtenidos del acelerómetro en el eje X, Y, Z y resultante 26

Figura 20: Resultados de algoritmos de clasificación 27

Figura 21: Algoritmo propuesto para detección de caída 28

Figura 22: Arquitectura del sistema para detección y notificación de caídas. 33

Figura 23: Diagrama de flujo del sistema. 34

Figura 24: Acelerómetro Tri-axial ADXL 335 36

Figura 25: Microcontrolador (MCU) Arduino FIO 37

Figura 26: Xbee S2 38

Figura 27: Diseño 3D realizado en Inventor. 39

Figura 28: Pieza impresa en 3D acoplada a la carcasa. 39

Figura 29: Esquema de conexión Arduino FIO y acelerómetro ADXL 335. 40

Figura 30: Placa PCB para acople entre Arduino FIO y acelerómetro ADXL 335. 40

Figura 31: Dispositivo implementado en la carcasa. 41

Figura 32: Batería Polymer Lithium Ion Battery - 2000mAh. 41

Figura 33: Pechera 41

Figura 34: Dispositivo colocado en una persona. 42

Figura 35: Normalización de los ejes XYZ. 43

Figura 36: Comparación entre actividad diarias (Bajar gradas) y caída (Desmayo). 44

Figura 37: Ingreso cuenta Parse para uso de la base de datos. 45

Figura 38: Base de datos Parse. 45

Figura 39: Venta de ingreso de Usuario. 46

Figura 40: Diagrama de funcionamiento opción Administrador. 47

Figura 41: Diagrama de funcionamiento opción enfermera. 48

Figura 42: Dispositivo receptor. 48

Figura 43: Montaje del sistema 49

Figura 44: Módulo de aceleración resultante producido al sentarse en una silla. 51

Figura 45: Módulo de aceleración resultante producido al caminar. 52

Figura 46: Módulo de aceleración resultante producido al acostarse. 53

Figura 47: Módulo de aceleración resultante producido al subir las gradas. 54

Figura 48: Módulo de aceleración resultante producido al bajar las gradas. 55

Figura 49: Módulo de aceleración resultante producido al caer de la cama. 56

Figura 50: Módulo de aceleración resultante producido al caer de espalda. 57

Figura 51: Módulo de aceleración resultante producido al caer desmayado. 58

Figura 52: Módulo de aceleración resultante producido al caer lateralmente de una silla. 59

Figura 53: Módulo de aceleración resultante producido al tropezar y caer. 60

Figura 54: Notificación Push 61

Figura 55 Pantalla de notificación en caso de ocurrencia de un evento de caída. 61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resultados de algoritmos de clasificación 27
Tabla 2: Valores de pesos y bias 30
Tabla 3: Especificaciones técnicas acelerómetro ADXL 335 36
Tabla 4: Especificaciones técnicas Arduino Fio 37
Tabla 5: Tabla comparativa Xbee Zigbee 38
Tabla 6: Conexión de Pines entre Arduino Fio y acelerómetro. 40
Tabla 7: Datos de usuario para ingreso a la App IOS 49

ABREVIATURAS

Apass	Ganancia pasabanda.
Astop	Ganancia eliminabanda.
DWT	Discrete Wavelet Transform.
Fpass	Frecuencia de corte de pasabanda.
Fstop	Frecuencia de corte eliminabanda.
GITEL	Grupo de Investigación en Telecomunicaciones y Telemática.
IIR	Infinite Impulse Response
INEC	Instituto Nacional de Estadistica y Censos.
IOS	Iphone Operative System
MCU	MicroController Unit
OSX	Operativo System Apple
RA	Relación de Aspecto.
SVM	Support Vector Machine.
SMV	Señal de Magnitud del Vector.
ZB	ZigBee

ANTECEDENTES

En el planeta anualmente se registran miles de personas de la tercera edad que mueren a causa de las caídas. Estudios geriátricos revelan que uno de cada tres ancianos sufre una caída al menos una vez al año y la mayor parte de los accidentes ocurren en su propio hogar.

Ecuador no es ajeno a esta realidad ya que en la mayoría de los casos las personas de la tercera edad se encuentran solos en casa o en el caso de que residan en un centro geriátrico los ancianos no disponen de personal calificado que este pendiente de ellos permanentemente. Al no existir un monitoreo constante del anciano es muy probable que puedan sufrir accidentes que resulten en caídas, si la persona accidentada no recibe asistencia inmediata pueden existir complicaciones graves para el anciano.

Por lo expuesto hemos visto muy necesario asistir a la tecnología para desarrollar un sistema que brinde asistencia a la persona de la tercera edad en caso de que sufran un accidente. El sistema monitorea constantemente al paciente y en caso de caídas notifica a los responsables del paciente en cuestión de segundos; de esta manera el anciano accidentado cuenta con asistencia inmediata reduciendo complicaciones en la salud del mismo.

Con este trabajo anhelamos obtener el título de ingeniero electrónico con mención en sistemas industriales, esto nos brinda una motivación grande ya que podemos aplicar los conocimientos adquiridos en el aula y ponerlos al servicio de la sociedad; en este caso podemos mejorar el nivel de vida de uno de los grupos sociales más vulnerables, los ancianos.

Cabe destacar que este trabajo es parte del proyecto denominado SAFER, desarrollado por el Grupo de Investigación en Telecomunicaciones y Telemática GITEL de la

Universidad Politécnica Salesiana; por lo que nuestro trabajo de titulación sigue los lineamientos investigativos en los que se encuentra inmersa la Universidad.

INTRODUCCIÓN

El avance en las tecnologías de asistencia a personas con discapacidad y personas de la tercera edad ha evolucionado notablemente en los últimos años [18]. Variados sensores son capaces de monitorear al anciano a fin de detectar accidentes y notificar a entidades de emergencia o familiares en caso de existir algún imprevisto.

El envejecimiento de la población se ha constituido en un fenómeno de carácter mundial [1]. El incremento de la población de adultos mayores trae consigo un sin número de problemas y consecuencias relacionadas con la convivencia familiar y el cuidado que se le debe otorgar a este grupo poblacional. El cuidado a los ancianos se dificulta mucho debido a que su salud suele deteriorarse con los años, esto demanda una especial atención y cuidado para las personas de esta edad.

Existen muchos casos en los que los ancianos se quedan solos en casa —debido entre otras cosas a que sus familiares salen a trabajar, estudiar o hacer cualquier diligencia— dejando vulnerable a las personas de la tercera edad por causa de su situación de salud. Esta problemática requiere de un sistema tecnológico de ayuda adecuada y confiable que garantice la integridad del anciano.

Actualmente existen sistemas de asistencia para personas de la tercera edad que utilizan acelerómetros, cámaras, sensores infrarrojos, radares doppler, teléfonos inteligentes etc., estos dispositivos son capaces de identificar si un anciano sufre o no un accidente, adicionalmente son capaces de conectarse inalámbricamente a dispositivos de notificación. De esta manera, la tecnología se convierte en un gran aliado y en una herramienta poderosa para asistir de manera inmediata y segura a los ancianos en caso de que sufran algún accidente.

En base a las tecnologías investigadas y a la situación actual que las personas de la tercera enfrentan, se opta por el desarrollo e implementación de una plataforma de asistencia para el anciano. La plataforma se desarrolla bajo el nombre de Smart Health Assistant for Elderly Care (**SAFER)** por sus siglas en inglés y es desarrollado por el grupo de investigación en telecomunicaciones y telemática (GITEL) de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca dirigido por el Dr. Ing Jack Fernando Bravo Torres.

La plataforma consta de 4 capas dentro de las cuales se encuentran: la capa de COMUNICACIONES se encarga de la localización de pacientes y enfermeras, interfaz inalámbrica (WiFi, RFID, ZigBee, redes celulares etc.), la capa de NUBE se encarga del procesamiento de la información, la capa de MANEJO DE CONOCIMIENTO se encarga de los perfiles de usuario y de las bases de datos del sistemas, por último la capa de APLICACIONES se encarga del desarrollo de aplicaciones inteligentes como notificaciones en caso de accidentes, entretenimiento, monitoreo de signos vitales entre otras.

La idea es que la plataforma se adapte al perfil y las necesidades del usuario, y no que el usuario se adapte al ambiente. De esta manera la vida de la persona de la tercera edad se torna mucho más cómoda, segura y llevadera.

Por el extenso desarrollo que demanda el diseño e implementación de la plataforma SAFER, el trabajo se ha dividido en partes. Es aquí donde aportamos con la parte que es motivo de este proyecto técnico de investigación denominado “Diseño e implementación de un sistema de detección y notificación de caídas en personas de la tercera edad”. El sistema que proponemos es capaz de identificar si una persona de la tercera edad sufre una caída dentro de una residencia geriátrica; en donde el anciano esta cuidado por un administrador y un grupo de enfermeras, de entre las cuales una es la responsable permanente de un determinado paciente.

Si una caída se detecta el sistema envía mediante comunicación WiFi una notificación push al teléfono inteligente del administrador de la residencia geriátrica y otra al teléfono de la enfermera más cercana al anciano accidentado, para esto ambos individuos deben inicializar su sesión en una aplicación desarrollada en IOS, tanto el administrador como la enfermera acceden al sistema con su correo electrónico y una contraseña propia de ellos.

En la notificación se informa el nombre del anciano que sufrió el accidente y el sitio en que esto ocurrió. Al acceder a la notificación push se desplaza una pantalla en la que se puede visualizar datos como: nombre y apellido de la persona de la tercera edad, resumen del historial clínico, nombre y apellido de la enfermera responsable y el número telefónico del familiar responsable del anciano.

La aplicación desarrollada otorga privilegios únicamente al administrador de la residencia geriátrica, por ejemplo esta persona puede acceder a toda la lista de notificaciones de caídas ocurridas en la residencia, puede eliminar o aumentar pacientes y enfermeras de la base de datos del sistema, puede modificar el resumen del historial clínico del paciente, entre otras. Por su parte la enfermera al acceder a la aplicación únicamente puede ver las notificaciones de caídas ocurridas pudiendo únicamente modificar sus datos personales.

El presente libro se desarrolla en 4 capítulos. En el primero se realiza una revisión de la población de personas de la tercera edad a nivel nacional y mundial, se conocen las caídas, las causas y consecuencias de las mismas; adicionalmente se hace un resumen de las tecnologías de detección y notificación de caídas en personas de la tercera edad desarrolladas hasta la actualidad. En el segundo capítulo detalla el diseño y la implementación del sistema a nivel de software y de hardware. En el tercero se muestran y se analizan los resultados obtenidos durante el desarrollo del proyecto. Finalmente en el cuarto capítulo realizan conclusiones y recomendaciones a las que llegamos una vez culminado el proyecto.

El sistema se ha desarrollado pensando principalmente en el cuidado y en el buen vivir de las personas de la tercera edad. Los ancianos son personas que han aportado de una u otra manera con el desarrollo y el progreso de la sociedad y merecen vivir los últimos anos de su vida de una manera sana y confiable. Adicionalmente este trabajo ha sido desarrollado con el fin de crear conciencia en las personas en cuanto al cuidado, comprensión, tolerancia y respeto que las personas de la tercera edad merecen por derecho propio.

CAPÍTULO 1. ESTUDIO DE LA POBLACIÓN DE PERSONAS DE LA TERCERA EDAD Y TECNOLOGÍAS DE ASISTENCIA DE CAÍDAS

En el siguiente capítulo se muestra estadísticas y descripciones de la población de personas de la tercera edad actual y la tendencia de crecimiento para los próximos años, tanto a nivel mundial como a nivel de país. Se define lo que es una caída, las causas, consecuencias y prevención para las mismas. Finalmente se hace un resumen de las tecnologías de asistencia para personas de la tercera edad, realizando énfasis en la metodología de los sistemas y en los algoritmos que se han desarrollado hasta el momento.

1.1 Población de personas de la tercera edad

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), en casi todos los países del mundo, la proporción de personas mayores de 60 años está aumentando más rápidamente que cualquier otro grupo de edad [1]. Se estima que en el planeta hay unos 605 millones de personas que superan los 60 años de edad. Esta tendencia seguirá aumentando durante las próximas décadas. Para el año 2025, se espera que haya 1.200 millones de adultos mayores en la Tierra y dos de cada tres vivan en países en desarrollo [2]; lo que representa el 80% de la población mundial de personas de edad avanzada [3]. En la figura 1 se observa, que entre el año 2002 y 2050, la proporción de los habitantes del planeta mayores de 60 años se duplicará, pasando del 11% al 22%. En números absolutos, este grupo de edad pasará de 605 millones a aproximadamente 2000 millones en el transcurso de medio siglo [5].

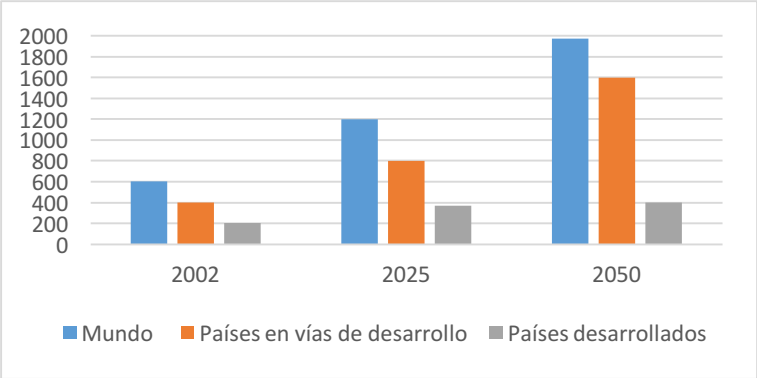


Figura 1: *Incremento de la Población de Adultos Mayores en el Mundo [4].*

El incremento de la población de adultos mayores se debe, entre otras cosas, al aumento de la esperanza de vida y a la disminución de la tasa de fecundidad. El envejecimiento de la población puede considerarse un éxito de las políticas de salud pública y el desarrollo socioeconómico; pero también constituye un reto para la sociedad, que debe adaptarse para mejorar al máximo la salud y la capacidad funcional de las personas mayores, así como su participación social y seguridad [1].

En Ecuador, según el censo de población y vivienda realizado por el Instituto Ecuatoriano de Estadística y Censos (INEC) en el año 2010, se conoció que en el país hay 1'229.089 de personas mayores de 60 años que representan el 7% de la población. De ellos, en cifras absolutas, un 11 % viven solos, un 49% viven con sus hijos, un 16% con sus nietos y un 15% con su esposo(a) [6]. Estos datos se ilustran en la siguiente figura.

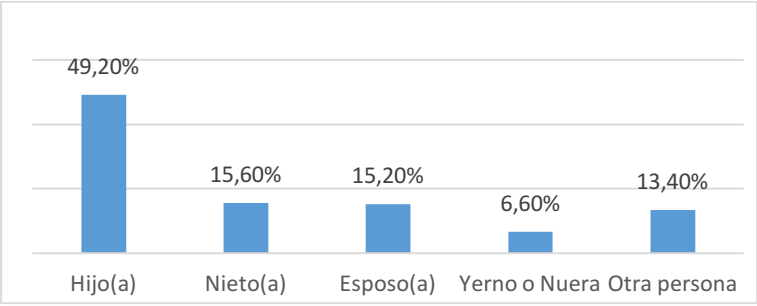


Figura 2: *Parentesco de la persona con quien vive el adulto mayor [7].*

De la población nacional de adultos mayores, la mayoría habitan en la sierra del país aproximadamente 596.429 ancianos residen en este sector; mientras que 589.431 viven en la costa [6]. La figura 3 muestra esta distribución.

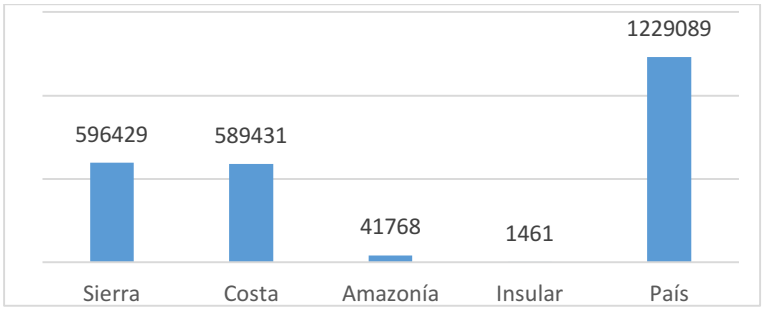


Figura 3: *Distribución de las personas adultas mayores en las regiones del país [7].*

Un dato que llama la atención es que existen más mujeres adultas mayores que hombres [8], ellas representan el 53.4% de la población nacional de personas que superan los 60 años de edad; mientras que los hombres representan el 46.6% [7].

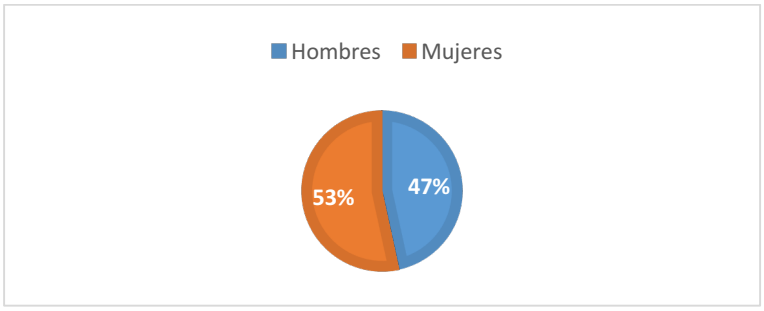


Figura 4: *Distribución en números absolutos de la población femenina y masculina de personas de la tercera edad [7].*

1.2 Caídas en las personas de la tercera edad

De acuerdo a la OMS, las caídas causadas por lesiones accidentales o no intencionales son la segunda causa de muerte a nivel mundial [9]. A octubre del 2012, La OMS ha registrado 37,3 millones de caídas; de las cuales, anualmente, 424.000 resultan ser mortales. De esta estadística, la mayor tasa de mortalidad se ve representada en la población de adultos mayores [9]. Estudios geriátricos con un 58 % de accidentes

ocurridos en su propio hogar en lugares como: cocina, dormitorios o baños, apuntan a que uno de cada tres ancianos sufren una caída al menos una vez al año [10].

Esta Organización define a las caídas como acontecimientos involuntarios que hacen perder el equilibrio; como consecuencia el cuerpo impacta con cualquier objeto o superficie firme que lo detenga. Las lesiones relacionadas con las caídas pueden ser mortales, aunque la mayoría de ellas no lo son [9].

Como ya se ha mencionado, la edad es uno de los principales factores de riesgo de las caídas y los ancianos son quienes corren mayor riesgo de muerte o lesión grave a causa de ella. El riesgo aumenta a medida que aumenta la edad de la persona. La gravedad del riesgo puede deberse, en parte, a los trastornos físicos, sensoriales y cognitivos relacionados con el envejecimiento [9], así como a la existencia de ambientes no aptos para brindar a los adultos mayores la seguridad y el seguimiento necesario.

1.3 Causas de las caídas en las personas de la tercera edad

Las caídas en las personas de la tercera edad se deben a múltiples y variados factores. Para diferenciarlos los dividiremos en factores intrínsecos y extrínsecos [11,12].

1.3.1 Factores intrínsecos de caídas

Estos factores están presentes cuando una caída ocurre a causa de problemas propios del adulto mayor. Entre los factores más comunes tenemos [11,12]:

- Problemas del sistema nervioso
    - Parkinson.
    - Epilepsia.
    - Disfunción automática.
    - Accidente vascular encefálico.

- Enlentecimiento del tiempo de reacción y de los reflejos.
- Disminución de la sensibilidad propioceptiva (El anciano no sabe dónde está situada cada extremidad).
- Alteración de la conductividad nerviosa vestibular (Reacción lenta del equilibrio).
- Cuadros confusionales agudos.

- Problemas de visión

  - Presbiopía.
  - Disminución de la tolerancia a la luz.
  - Disminución de la capacidad de acomodación.
  - Percepción anómala de la profundidad.

- Problemas de audición

  - Disminución de la capacidad auditiva, la cual dificulta la valoración del entorno (Presbiacusia).

- Problemas cardiovasculares

  - Infarto del miocardio.
  - Arritmia.
  - Embolia pulmonar.
  - Síncope.
  - Hipotensión ortostática.
  - Miocardiopatía obstructiva.
  - Mixoma auricular.

- Problemas de osteoarticulares y musculares

  - Atrofia muscular y de partes blandas.
  - Artrosis.

- Artritis.
- Secuelas de fracturas.
- Hallux valgus (Problema de los pies).
- Osteoporosis.

- Uso de fármacos

  - Tranquilizantes.
  - Hipnóticos.
  - Sedantes.
  - Fármacos que afectan la frecuencia cardiaca.
  - Alcohol.
  - Intoxicaciones.

1.3.2 Factores extrínsecos de caídas

Son factores externos, generalmente relacionado con el entorno en el que habita el adulto mayor.

- Suelo

  - Resbaladizo o mojado.
  - Alfombras mal fijadas.
  - Objetos que obstaculizan los sitios de paso.

- Dormitorio

  - Camas muy altas.
  - Baño muy alejado.
  - Ausencia de barras en las camas.

- Baño

  - Duchas o bañeras resbaladizas.
  - Ausencia de agarradores.

- Escaleras

    - Ausencia de agarradores.
    - Escalones altos.
    - Escalera muy empinada.
    - Escalones desgastados.

- Ropa

    - Calzado abierto.
    - Prendas anchas o largas.

- Iluminación

    - Mala iluminación.
    - Deslumbramiento.

- Otros

    - Sillas bajas.

1.4 Consecuencias de las caídas en las personas de la tercera edad

Cuando un adulto mayor sufre una caída, esta puede generar limitaciones físicas y/o psicológicas, dañinas y a menudo fatales para el anciano. Los problemas más comunes como consecuencia de una caída son principalmente lesiones graves como fracturas y traumatismo craneoencefálico, así como ansiedad, depresión y el denominado *"miedo de caer"* [13].

En realidad no todas las caídas producen lesión, sin embargo el grupo de adultos mayores que caen sufren lesiones que van de moderadas a graves [14].

En general las consecuencias de caídas en personas de edad avanzada se clasifican en dos grupos: consecuencias físicas y consecuencias psicológicas.

1.4.1 Consecuencias físicas

Aunque la mayoría de las caídas producen lesiones menores, se estima que alrededor del 5% de los adultos mayores que caen sufren una fractura [14]. De entre las más destacadas por su gravedad se encuentra la fractura de cadera. Como consecuencia el adulto mayor pierde movilidad y la capacidad de valerse por sí mismo.

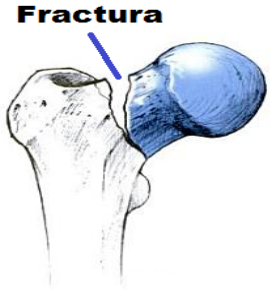


Figura 5: *Fractura de Cadera [15].*

Si el anciano que ha sufrido un accidente está en contacto prolongado con el piso puede correr el riesgo de: hipotermia, delirium, infarto al miocardio, rabdomiólisis (descomposición de las fibras musculares) [16].

1.4.2 Consecuencias psicológicas

Los adultos mayores que han sido víctimas de caídas y dependiendo de la gravedad de la misma, pueden presentar cambios de comportamiento y actitudes que disminuyen sus actividades físicas y sociales; como consecuencia el anciano se aísla de su familia y del entorno social que lo rodea [16], esto debido al temor que el anciano tiene de volver a caer.

El *"miedo a caer",* más conocido como *''Síndrome Post-caídas''* puede generar ansiedad y baja autoestima en el anciano y se constituye en un impedimento para la rehabilitación luego de sufrir una caída. En las terapias, por lo general, el anciano debe caminar, pero el temor es tan grande que el paciente se reúsa a hacerlo generando consecuencias serias como el atrofiamiento de músculos y partes del cuerpo afectadas [14].

1.5 Prevención

Un determinante indiscutible en la forma en la que envejece la persona es el estilo de vida. Las costumbres sanas reducen considerablemente el riesgo de sufrir caídas en cualquier edad que se tenga, pero principalmente en la vejez [17]. A continuación se listan factores que reducen el riesgo de sufrir caídas en el adulto mayor.

1.5.1 Dejar de fumar

Eliminar este mal hábito del estilo de vida genera beneficios a corto y largo plazo

- **Corto plazo**
    - A los 20 minutos la presión arterial y la frecuencia cardiaca regresa a su nivel normal.
    - Luego de 8 horas se recuperan los niveles de oxígeno.
    - A las 72 horas los pulmones aumentan de volumen.
    - A las 12 semanas mejora la circulación sanguínea.

- **Largo plazo**
    - Disminuye los síntomas de enfermedades pulmonares.
    - Aumento de la esperanza de vida.

1.5.2 Hacer ejercicio

El ejercicio es muy importante a medida que pasan los años en la persona, su práctica diaria brinda muchos beneficios al adulto mayor, entre ellos: mejora la salud cardiovascular, aumenta la resistencia, fortalece los músculos, mejora el equilibrio, mantiene fuerte la masa ósea, entre otras. Cualquier edad es adecuada para comenzar a realizar ejercicio; sin embargo este debe estar adaptada a las capacidades y posibilidades de cada individuo [17].

1.5.3 Comer sano

Una alimentación sana y balanceada proporciona energía y bienestar al adulto mayor. En ancianos con problemas de salud se debe evitar los alimentos que les ocasionan malestar, por ejemplo: la sal en personas que sufren de hipertensión o el azúcar en personas con diabetes. Una adecuada alimentación garantiza el bienestar y la seguridad en las personas de avanzada edad [17].

1.5.4 Adecuar viviendas

A fin de mejorar la calidad de vida y prevenir las caídas en adulto mayor, se debe mejorar las viviendas adaptándolas a las necesidades y forma de vida del anciano; por ejemplo se pueden ubicar los dormitorios en la planta baja para evitar el ascenso y descenso de escaleras, se pueden colocar luminarias que no deslumbren la visión del anciano, se pueden colocar señalizaciones en lugares peligrosos como baños o balcones [14]; en fin se trata de crear hogares que brinden confort y seguridad a los ancianos.

1.5.5 Uso de tecnología

Los sistemas de asistencia a personas con discapacidad y ancianos han evolucionado notablemente en los últimos años [18]. Esto brinda tranquilidad y facilidad a familiares para monitorear el estado de salud de los adultos mayores. De esta manera, la tecnología se convierte en un gran aliado y en una herramienta poderosa para asistir de manera inmediata y segura a los ancianos en caso de que sufran algún imprevisto.

1.6 Tecnologías de asistencia de caídas

Varios sistemas de asistencia para personas de la tercera edad son descritos en la literatura. A continuación se detallan los más relevantes y avanzados que se han desarrollado hasta el momento:

- Dispositivos que usan acelerómetros.
- Cámaras de Video.
- Smartphone.
- Tecnología Inalámbrica.

1.6.1 Dispositivos que usan acelerómetros

Parámetros como el desplazamiento, la velocidad y la aceleración pueden ser utilizados para detectar caídas en personas de la tercera edad [19], esto con el fin de salvaguardar la integridad física de este grupo social. El acelerómetro es un dispositivo capaz de proveer estos parámetros y ha sido usado por numerosos investigadores que desarrollan dispositivos para la detección de caídas [20]. El acelerómetro es un dispositivo que ofrece exactitud, portabilidad, fiabilidad, facilidad de manejo, reducción de espacio y bajo costo [23], lo que lo hace atractivo para los investigadores y desarrolladores que lo usan. Este dispositivo actúa como un sensor y es capaz de proveer datos analógicos o digitales (según el acelerómetro que se use) de la aceleración que se producen por el movimiento en los ejes X, Y, Z.

Los dispositivos de detección de caídas que usan acelerómetros se configuran de distinta maneras, se ubican en partes diferentes del cuerpo, usan variados sistemas y dispositivos de procesamiento de datos, múltiples algoritmos, entre otros [20]. A continuación se presenta la metodología y los algoritmos desarrollados hasta el momento por varios investigadores.

1.6.1.1 Metodología

Un aspecto importante a tomar en cuenta cuando se pretende diseñar un sistema de detección de caídas es la posición del dispositivo sobre el cuerpo humano; la posición adecuada del mismo otorga tasas de detecciones más altas y elimina falsas alarmas [20]. Los dispositivos de detección de caídas que usan acelerómetros pueden ser colocados en la espalda de la persona, específicamente a nivel de las vértebras torácicas T4, T7 o T10 [19], esto se observa en la siguiente figura.

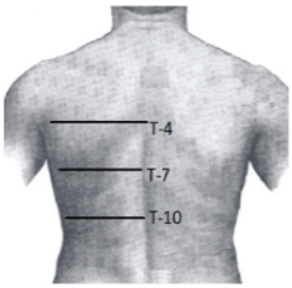


Figura 6: *Vertebras torácicas que indican el lugar correcto en donde se puede colocar el dispositivo de detección de caídas [19].*

Según las investigaciones realizadas en [19], resultados obtenidos mediante los estudios demuestran que la colocación del dispositivo en T10 no es un lugar adecuado. Sin embargo, en T4 y T7 la situación mejora existiendo una ligera ventaja en T4 [19]. El sensor puede ser colocado en la parte frontal a la altura del pecho. De hecho el dispositivo funciona de la misma manera cuando está colocado en la espalda [20].

Partes del cuerpo como el brazo y la muñeca no son lugares apropiados para situar un dispositivo de detección de caídas. Estos lugares presentan una gran cantidad de movimiento generado por la actividad diaria cotidiana, que puede confundirse con una caída. La cadera y las piernas también presentan este problema. Actividades como saltar o correr pueden generar falsas alarmas, disminuyendo la confiabilidad del dispositivo [20].

Se han desarrollado dispositivos que pueden usar en cualquier lugar del torso de un sujeto [25]. Sin embargo, estos sistemas detectan la caída sólo si se presenta un impacto y si luego se censa una posición horizontal. Esto puede confundirse con actividades cotidianas como el simple hecho de acostarse bruscamente.

En cuanto tiene que ver con la composición del dispositivo, este consta con un elemento principal que es el acelerómetro. Este dispositivo presenta varias versiones, por ejemplo se puede usar el acelerómetro tri-axial MMA7260Q [20], también el acelerómetro Bosh BMA 250 tri-axial [25], pero el más conocido en nuestro medio y

al que se tiene más accesibilidad es al acelerómetro tri-axial ADXL en sus versiones más conocidas como la 330, 335, 345, etc de la familia de Analog Devices, que presenta versiones analógicas y digitales con diferentes rangos aceleración.

Además, el dispositivo contiene microcontroladores, conversores analógicos digitales, conversores digital analógicos, baterías (3, 5 o 9 V), memorias SD, botones e indicadores, gestores de carga etc. [19], [20], [22] y [25]. Los elementos se escogen de acuerdo a las necesidades del sistema y el reto es lograr que el dispositivo sea lo más pequeño posible para que no incomode a la persona de la tercera edad que lo use. Un dispositivo implementado luce como se observa en la siguiente figura 7.

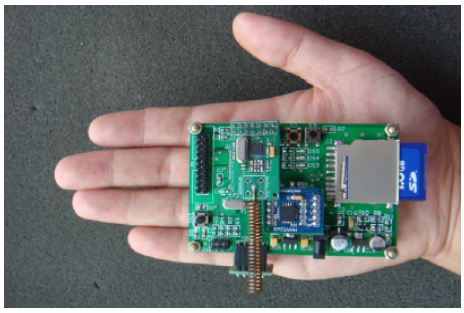


Figura 7: *Composición del dispositivo [20].*

Para detectar caídas con el dispositivo implementado es necesario conocer el comportamiento de la persona de la tercera edad durante sus actividades diarias, con esto se tiene un patrón de comportamiento con el cual se puede diferenciar fácilmente de anomalías como una caída.

Los datos cotidianos de una persona de la tercera edad de aceleración y velocidad pueden ser recogidos por el acelerómetro. Entre las actividades diarias se encuentran el sentarse, levantarse, acostarse, caminar, subir y bajar gradas, entre otros [19] y [20]. Lo que nos interesa conocer son los patrones que presentan las caídas, que generalmente se caracterizan por un impacto en el suelo y por el cambio de orientación de la persona [20]. Las caídas pueden ser: hacia adelante, hacia atrás, hacia los lados etc.

Los datos de las caídas y de las actividades de la vida diarias recogidas por el acelerómetro pueden ser procesados a fin de encontrar diferencias significativas entre ambos eventos y poder detectar una caída. Una de esas diferencias son los picos que se generan durante una caída, el cual es muy superior y no se parece en nada a los picos generados en actividades cotidianas [19]. En la siguiente figura se observa los picos producidos por una actividad cotidiana y un evento de caída.

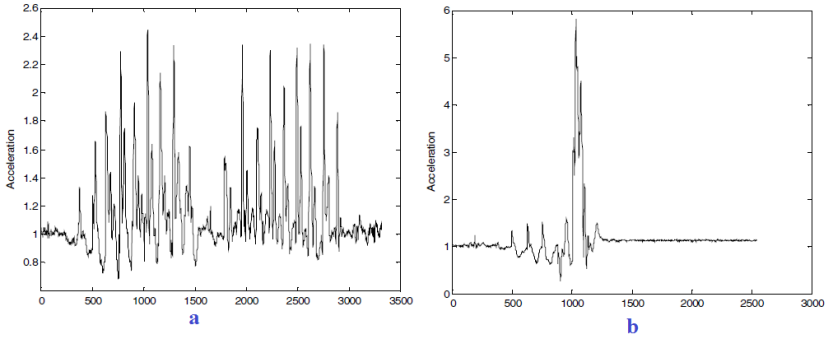


Figura 8: *Datos de aceleración de una caminata rápida (a) y de una caída hacia adelante (b) [20].*

La figura a representa una caminata, que es una actividad cotidiana; mientras que la figura b representa un evento de caída. Como se puede apreciar los picos generados en a alcanzan los 2.4G de aceleración y los de un evento de caída superan los 5G, con esta característica el dispositivo de detección puede diferenciar fácilmente eventos de caída de actividades cotidianas.

También se puede analizar la postura del individuo para detectar caídas, algunos investigadores diferencian este parámetro separándolo en tres grupos. El primero analiza la postura durante las actividades diarias, el segundo durante la ocurrencia de una caída y el tercero analiza la postura realizando actividades de pararse, caminar, pararse, sentarse y pararse nuevamente, durante un minuto [23]. De esta manera se pueden clasificar y diferenciar las actividades cotidianas de una caída.

Algunos estudios proponen analizar solo la postura horizontal del individuo, ya que esta es la más común cuando el adulto mayor sufre una caída [23]. Adicionalmente, se analiza el impacto producido por un golpe violento cuando la persona se estrella con el piso u otro objeto sólido. Una consideración adicional que se toma en cuenta es el

tiempo en el que la persona se encuentra en posición horizontal, si la inactividad se prolonga, la caída resulta ser muy grave y el anciano requiere asistencia urgente [20] y [25]. Este método de detección no es muy seguro debido a que la posición horizontal y su permanencia por prolongado tiempo pueden confundirse con la simple actividad de dormir, con lo que se envían falsas alarmas y reduce la confiabilidad del sistema.

1.6.1.2 Algoritmos

Según la configuración del dispositivo, la toma y procesamiento de los datos el investigador puede optar por distintos algoritmos, algunos desarrollados hasta el momento son descritos a continuación.

Algoritmo 1

Una característica notoria de una caída es la postura horizontal del cuerpo y la inactividad del sujeto por largo tiempo [25]; con estas simples consideraciones se implementa el siguiente algoritmo de detección de caídas. El funcionamiento se indica a continuación.

1. El sistema inicia.
2. El sistema recibe los datos de aceleración de los ejes XYZ proporcionados por un acelerómetro triaxial, estos datos forman el vector de aceleración $a_n = a_{x,n}\ a_{y,n}\ a_{z,n}$. El vector almacena los datos de aceleración de los tres ejes obtenidos en el n ésimo instante de tiempo muestreados a una frecuencia de muestreo de 125 Hz.
3. El vector de aceleración pasa a través de dos filtros pasa bajo de Respuesta de Impulso Infinito (IIR) de un solo polo; el primero P1=13.8 Hz y el segundo P2=0.8 Hz. Luego de que el vector de aceleración pasa por los filtros se generan 2 salidas la $a_{1,n}$ y la $a_{2,n}$; la primera se utiliza para rastrear grandes cambios en la aceleración de los impactos, mientras que la segunda se utiliza para obtener mediciones estables a fin de determinar la posición horizontal.

4. Al vector de aceleración se le aplica un filtro pasa banda IIR para generar una medida del nivel de actividad, la salida obtenida se representa con $a_{act,n}$. El filtro es de tipo elíptico de sexto orden con una banda de paso entre 0.25 Hz y 20 Hz.
5. Se calibra el vector de aceleración mediante la ecuación $|a_{1,n}| = |a_{x,1,n}| + |a_{y,1,n}| + |a_{z,1,n}|$. Además se computa la medida del nivel y el tiempo de actividad.
6. El sistema verifica si la salida $a_{1,n}$ es mayor que Ah o menor que Al. Ah representa una pequeña magnitud de aceleración, mientras Ah representa una gran medida de aceleración; con esta condición se detecta el impacto. Si la condición se cumple salta al siguiente paso, si no el sistema se reinicializa.
7. El sistema espera 1 segundo de inactividad.
8. Se detecta si existe o no la posición horizontal, si no se detecta dicha posición el sistema se reinicializa.
9. Si la posición horizontal es detectada un posible evento de caída se ha detectado.
10. El sistema espera 1segundo más.
11. El sistema testea si existe o no actividad, si esto ocurre el sistema se reinicializa, si no pasa al siguiente paso.
12. Una caída ha ocurrido.

Algoritmo 2

Una caída también puede ser detectada por los impactos y el cambio de orientación del tronco de la persona cuando esta cae; para esto se establece un sistema cartesiano de referencia (XYZ), mientras que el acelerómetro se convierte en un sistema cartesiano portátil (xyz) [20].

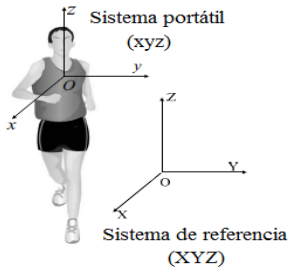


Figura 9: *Sistema cartesiano de referencia y portátil [20].*

Con estos sistemas establecidos se puede calcular la magnitud del impacto y la orientación del tronco de la persona.

La magnitud del impacto se obtiene con la siguiente ecuación

$$a = \sqrt{ax^2 + ay^2 + az^2} \qquad (1)$$

Donde ax, ay y az son las medidas de aceleración de los ejes x, y y z, respectivamente.

Y la orientación de z con respecto a Z se calcula de la siguiente manera.

$$\Theta = arctan \frac{\sqrt{ax^2 + ay^2}}{az} \qquad (2)$$

Con estos datos el algoritmo de detección de caídas sigue los siguientes pasos:

1. El sistema inicia.
2. El sistema detecta el primer impacto.
3. Si el primer impacto ocurre se calcula la orientación $\Theta 1$, si no la ventana de tiempo se mueve hasta que un impacto ocurra.
4. El sistema detecta un segundo impacto.
5. Si esto ocurre calcula la nueva orientación $\Theta 2$, si no la ventana de tiempo se mueve hasta que un nuevo impacto ocurra.
6. El sistema verifica si la orientación cambio.
7. Si esto ocurre una caída ha sido detectada, si no el sistema se reinicia.
8. Si una caída se ha detectado el sistema espera que en 20 segundos se produzca algún movimiento.
9. Si esto ocurre el sistema almacena los datos de la caída y se reinicia, si no manda una alarma de socorro.

Algoritmo 3

Existen sistemas de detección que usan más de un acelerómetro para identificar una caída [26]. El sistema que veremos a continuación sitúa dos elementos de detección el uno en el torso de la persona y el otro en la cadera. La siguiente figura 10 ilustra lo mencionado.

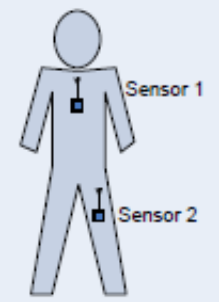


Figura 10: *Sistema de detección de caídas que usa dos acelerómetros [26].*

Con esta configuración el algoritmo funciona de la siguiente manera:

1. El sistema inicia
2. El sistema detecta si existe un impacto, si esto ocurre salta al siguiente paso, si no regresa al inicio.
3. Si el impacto se detecta testea nuevamente si otro impacto ocurre, si esto es afirmativo el sistema vuelva a testear este evento, si no pasa a la siguiente instrucción.
4. El sistema calcula la orientación del sensor 1 y 2 un segundo antes del primer impacto.
5. El sistema calcula la orientación del sensor 1 y 2 dos segundos después del último impacto.
6. El sistema pregunta si hay un cambio de orientación en el sensor 1, si esto pasa una caída ha sido detectada, si no regresa al paso 1.
7. El sistema pregunta si existe un cambio en la posición del sensor 2, si esto ocurre pregunta por el cambio de orientación en el sensor 1, si esto pasa una caída se detecta, si no el sistema regresa al paso 1.

1.6.2 Cámaras

Una alternativa confiable para detectar caídas en las personas de la tercera edad es usar cámaras como dispositivos de monitoreo, seguimiento y detección. Las cámaras proporcionan imágenes y videos en tiempo real de las actividades cotidianas y anomalías que el adulto mayor puede experimentar en su rutina diaria [29] y [33].

1.6.2.1 Metodología

Los sistemas basados en visión aprovechan las cámaras de video para detectar y medir la aceleración, posición, velocidad, desplazamiento, orientación, centros de gravedad, etc. de la persona a fin de detectar caídas mediante el procesamiento de imágenes y video [28].

Generalmente los sistemas de detección de caída basados en visión sitúan las cámaras en el interior del domicilio del anciano para monitorearlo en ambientes cerrados [28], [29] y [33]; sin embargo existen sistemas que utilizan cámaras portátiles las cuales pueden acompañar al adulto mayor dentro o fuera de casa a fin de realizar un seguimiento continuo del mismo y lanzar alertas en caso de que ocurriera algún imprevisto [31].

Existen sistemas que detectan caídas con el uso de una sola cámara, estos ofrecen resultados aceptables y confiables [28], [29] y [33], pero la situación mejora cuando múltiples cámaras conforman el sistema; esto debido a que existe mayor cantidad de información que puede ser comparada y procesada [32].

Varios sistemas de detección de caídas basados en video usan una técnica computacionalmente muy eficiente denominada: sustracción de fondo. Esta técnica compara los pixeles de una imagen para hacer un modelo de referencia y encontrar diferencias con las imágenes adquiridas por las cámaras [29] y [30].

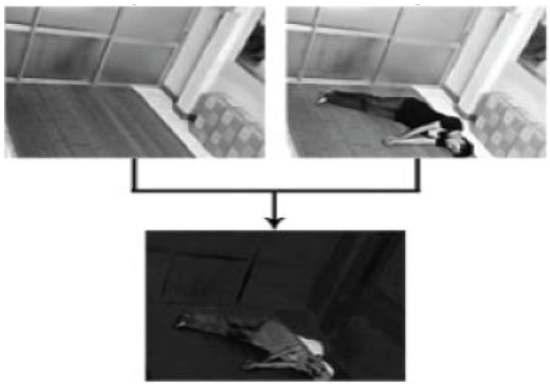


Figura 11: *Sustracción de fondo [29].*

Una vez aplicada esta técnica se pueden detectar los cambios en la forma de los objetos que han sido extraídos con el fin de detectar si dicho movimiento es normal o caracteriza una caída.

Figura 12: *Detección del cambio de la forma de los objetos [29].*

Existen sistemas que relaciona el alto y el ancho de la persona para saber si está de pie o está en el piso. Cuando una persona está de pie en posición vertical, su altura es más que su anchura, por lo que la relación de aspecto de la persona será menor que 1. Si la persona ha caído, su anchura será más que la relación de la altura y el aspecto se convierte en mayor que 1. Pero la relación de aspecto por sí sola no será suficiente para determinar una caída, debido a la relación de aspecto puede llegar a ser igual a 1 cuando la persona se agacha. Por lo tanto, también se requieren los parámetros de inclinación para decidir una caída. Pero con la relación de aspecto, podemos determinar si la persona está de pie en posición vertical o no [33] y [34].

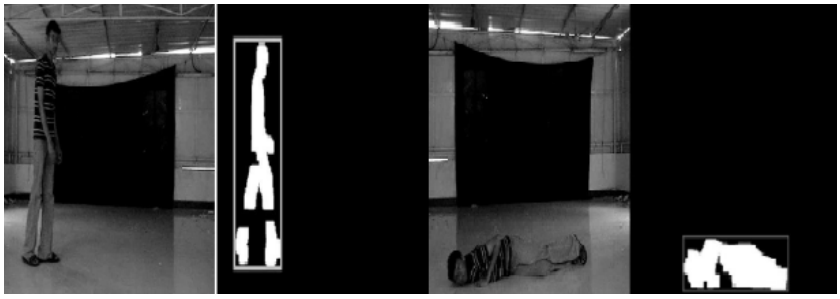


Figura 13: *Detección de caídas basado en la relación de aspecto [33].*

Un método diferente que los investigadores han estudiado para detectar caídas es el de la cuantificación de movimiento, el cual analiza la forma y el periodo de inactividad de un individuo. Este método representa al cuerpo humano con una elipse la cual posee características de: orientación, centroide, eje mayor y eje menor. La orientación y la relación de eje mayor a eje menor determinan si el movimiento es considerado como un posible evento de caída o no. Si el evento se identifica como caída el sistema analiza el periodo de inactividad, con lo que se espera que el centro de gravedad sea cercano a cero o presente cambios mínimos [34].

Una tecnología no tan nueva, pero que puede usarse para detectar caídas es: la utilización de los sensores *Kinect*. Con estos dispositivos se han desarrollado sistemas que monitorea al adulto mayor con el fin de detectar y predecirla probabilidad de que ocurra o no una caída. [35]

Normalmente el Kinect es colocado en un pequeño estante a pocos centímetros del techo, medido desde el suelo, la altura a la que se encuentra el sensor es de 2.75 metros; a esta altura los ancianos se acostumbran a la presencia del dispositivo y luego de algún tiempo el sensor pasa por desapercibido [35].

Figura 14: *Ubicación del sensor Kinect en la residencia de un adulto mayor [35].*

Los investigadores usan un sistema de dos etapas para la detección de caídas. La primera caracteriza el estado vertical de un objeto 3D segmentado para los marcos individuales, luego se identifican los eventos en tierra a través de la segmentación temporal del estado vertical de objetos rastreados en 3D. El estado vertical se basa en tres características esenciales: la altura máxima del objeto, la altura del centro de gravedad y el número de elementos discretizados.

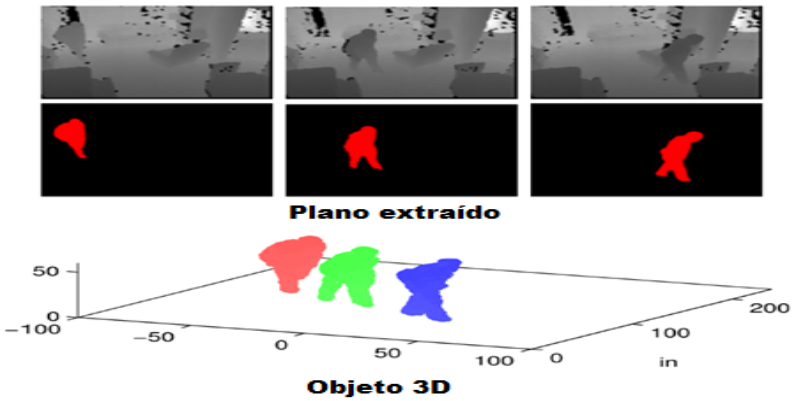


Figura 15: *Objeto tridimensional formado utilizando el primer plano extraído [35].*

La segunda etapa del sistema utiliza un conjunto de árboles de decisión y características extraídas de un evento sobre el suelo para calcular la confianza de que una caída ocurrió o no. El sistema usa un algoritmo de sustracción de fondo dinámico para identificar píxeles de primer plano de las imágenes con profundidad, toda la información es adquirida mediante el Kinect. [35]

1.6.2.2 Algoritmos

Según los datos el investigador puede optar por algoritmos, que se han utilizado hasta el momento tal como el que se presenta a continuación:

Algoritmo 1

Cuando se trabajan con cámaras un método muy usado para procesar imágenes es la sustracción de fondo, esta es una técnica que permite detectar objetos en movimiento y discriminar rápidamente un evento, con lo cual se pueden realizar estudios de movilidad de objetos capturados por cámaras de video estáticas. Con los datos generados al usar el método se puede usar algoritmos de aprendizaje no supervisados

que usan máquinas de vectores de soporte (SVM) a fin de detectar una caída [30]. Los pasos del algoritmo se detallan a continuación:

1. Se toman las imágenes originales que proporcionan las cámaras.
2. Se aplica la técnica de sustracción de fondo.
3. Se extraen las imágenes del proceso anterior.
4. Se aplica el algoritmo de máquinas basado en vectores para clasificar eventos de caídas y eventos de actividades de la vida cotidiana.
5. Se compara si existen una postura normal o una anormal.
6. Si se detecta una postura normal no hay evento de caída.
7. Si se detecta una postura anormal se testea si la magnitud del movimiento que produce tal postura es alta y si el tiempo que permanece en esa postura es largo.
8. Si esto ocurre una caída ha sido detectada, si no el evento de caída no existe.

Algoritmo 2

La mayoría de los sistemas de detección que usan cámaras usan la técnica de la sustracción de fondo, pero esta puede ser combinada con un sin número de características propias de la caída, estas combinaciones se adecuan de acuerdo al criterio del investigador y a las necesidades del sistema. Es así que investigadores plantean la detección de caída de acuerdo a la relación de aspecto y a la inclinación del ángulo [33]; estos parámetros se detallan a continuación:

- **Relación de aspecto.-** Es la relación entre el ancho y el alto de la persona. Esta relación se convierte en una característica confiable para saber si una persona está de pie o se encuentra en posición anormal. La relación de aspecto se calcula con la siguiente formula:

$$RA = \frac{Ancho\ de\ la\ persona}{Altura\ de\ la\ persona} \quad (3)$$

- **Ángulo de inclinación.-** Es el ángulo de inclinación de la persona respecto al suelo. El sistema encierra a la persona en un rectángulo y en primer plano establece el centro de momento de la marcha, luego el ángulo de inclinación

es el formado por una línea vertical que parte desde el centro de momento hasta el vértice superior izquierdo. Cuando la persona se encuentra en posición vertical el ángulo de inclinación debe ser menor de 45 grados.

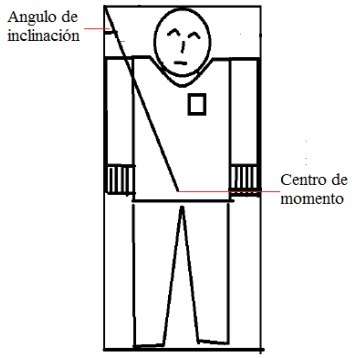


Figura 16: *Ángulo de inclinación y centro de momento cuando la persona está de pie [33].*

Cuando la persona ha caída el ángulo de inclinación debe superar los 45 grados.

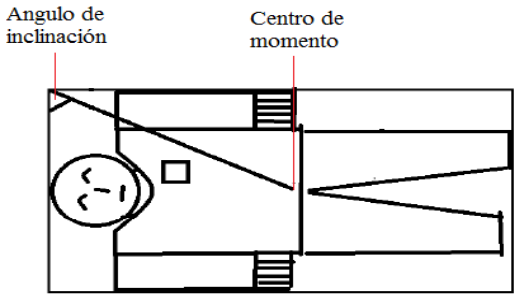


Figura 17: *Ángulo de inclinación y centro de momento cuando la persona ha caído [33].*

Con estas consideraciones se detalla el siguiente algoritmo:

1. Se captura el video con una cámara estática.
2. Se aplica la técnica de sustracción de fondo
3. Se obtienen las imágenes que interesan.
4. Se calcula la relación de aspecto.
5. Se establece las coordenadas XY del centro de momento mediante las siguiente ecuaciones:

$$X_{cm=\frac{\Sigma X_b}{n}} \quad (4) \qquad Y_{cm=\frac{\Sigma Y_b}{n}} \quad (5)$$

Donde:

X_b representa las coordenadas de los pixeles en X.

Y_b representa las coordenadas de los pixeles en Y.

n representa el número total de pixeles

6. Se calcula la pendiente de la línea que une el centro de momento con la esquina superior izquierda mediante la siguiente formula:

$$Pendiente = \frac{Y_{cm} - Y_v}{X_{cm} - X_v} \quad (6)$$

Donde Yv y Xv son las coordenadas de la esquina superior izquierda del cuadro.

7. Se calcula el ángulo de inclinación mediante la siguiente formula:

$$Angulo\ de\ inclinación = tan^{-1}(Pendiente) \quad (7)$$

8. Se verifica si la relación de aspecto es mayor que 1 y si el ángulo de inclinación es mayor a 45 grados, pero menor que 90 grados, si esto ocurre se detecta una caída y se da un aviso de emergencia, si no el sistema se reinicializa.

1.6.3 Teléfonos inteligentes

En el punto 1.6.1 se ha descrito dispositivos de detección de caídas mediante la implementación de dispositivos con acelerómetros; hoy en día los teléfonos inteligentes permiten la evaluación del reconocimiento de las actividades diarias mediante el acelerómetro incorporado en su sistema para la asistencia médica mediante diferentes tipos de notificaciones o alarmas [36, 37, 38,40].

1.6.3.1 Metodología

La metodología aplicada para los teléfonos inteligentes como se indica en la figura 18, se divide en 3 fases cuales son: fase 1 permite el sensado y recolección de datos, mientras la fase 2 y 3 procesan y transmiten la notificación mediante diferentes tipos de tecnologías de comunicación [36]. El módulo resultante de aceleración de los ejes X,Y,Z es la base principal para el análisis de las actividades diarias son la base principal para la implementación de algoritmos para la detección de suceso de caídas permitiendo el monitoreo constante. [36,37]

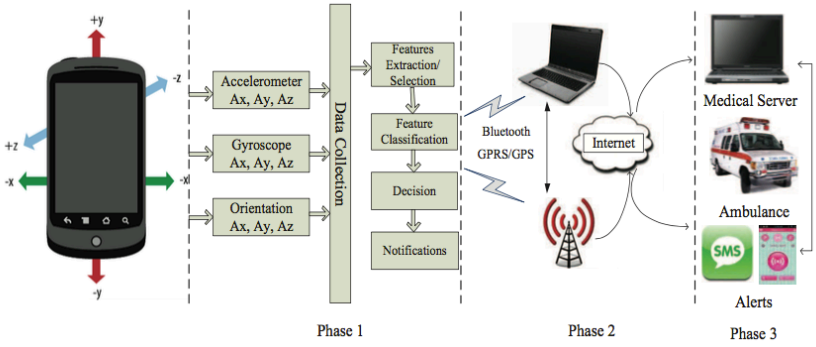


Figura 18: *Diagrama de bloques propuesto para el esquema [36].*

Como se indica en [36] el dispositivo Samsung Nexus permite mediante lenguaje de programación obtener el reconocimiento de actividad basado mediante un algoritmo procesado en una aplicación desarrollada en la plataforma Android que permite recolectar, extraer-clasificar, transmitir y notificar mediante una alarma el suceso de una caída cuando el algoritmo detecte esta actividad mediante los sensores como el acelerómetro del dispositivo teniendo gráficas resultantes como se la puede observar en la figura 19.

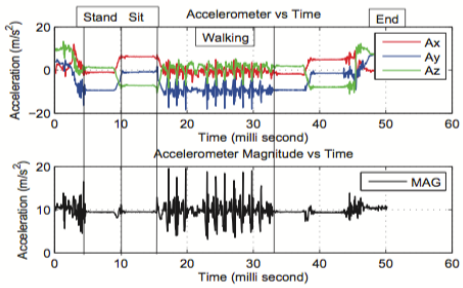


Figura 19: *Datos obtenidos del acelerómetro en el eje X, Y, Z y resultante [36].*

Por medio de las señales resultantes para cada actividad diaria estos dispositivos verifican mediante una clasificación del estado actual, esperando proceder a un estado contrario que pueda reiniciar el estado inicial del sistema [36, 37, 38] y en el caso de una detección de caída el sistema pueda adquirir la información mediante la red 3G de modo que el usuario obtenga una atención médica [37,38].

Mediante un estudio como se realizó en [37] para la detección de caídas se ha propuesto el uso de Support Vector Machine (SVM) para el reconocimiento de caídas en los ancianos, estos datos son obtenidos de las características dadas por el

acelerómetro triaxial del teléfono inteligente, el comportamiento del entrenamiento de SVM con una precisión del 92% en sensibilidad y del 99,75 en especificidad se puede observar en figura 20.

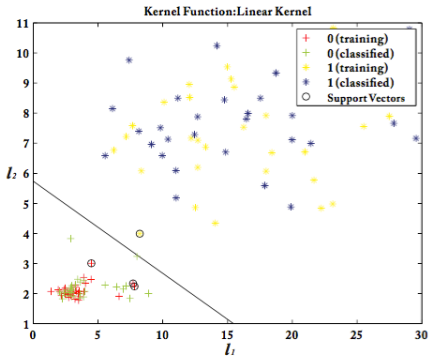


Figura 20: *Resultados de algoritmos de clasificación [37].*

En [38] presenta una comparación de algunas pruebas de sensibilidad y equilibrio de sistemas indicando el desempeño, estos resultados se pueden observar en la tabla 1 que presenta a continuación.

Tabla 1: *Resultados de algoritmos de clasificación [38].*

		Decision Tree	**K-NN**	**Naïve Bayes**
Pocket	Sensitivity(%)	94.0	79.1	96.7
	Specificity(%)	90.2	81.2	83.5
	Accuracy(%)	92.0	80.2	89.5
Belt	Sensitivity(%)	90.6	77.6	97.3
	Specificity(%)	96.1	77.5	80.3
	Accuracy(%)	93.7	77.5	87.6

Para el procesamiento de los dispositivos que se presenta en la actualidad para la gama de teléfonos inteligentes, se puede observar las limitaciones que estos poseen, cual uno de ellos es la batería, por lo que el uso normal de un teléfono es llevarlo continuamente y cargarlo mientras esta en el interior de su casa, otro aspecto de considerar es la ubicación del mismo que normalmente dependiendo la comodidad del usuario lo podrá ubicar en el bolsillo del pantalón o chaqueta [39], estas limitaciones y aspectos

influyen en la orientación del dispositivo para el cual un algoritmo establecido en una posición estable trabaje en su optimo porcentaje de detección de caídas para lo cual debe presentar un algoritmo especial para la ubicación que se encuentra en el cuerpo humano para encontrar los patrones conocidos y asociados con la caída. La solución propuesta que se presenta en [40] indica una exactitud total de 81,3% que se calculó a partir de la detección de caídas algoritmo propuesto. Los tres primeros lugares para detectar una caída fueron: los mensajes de texto con una caída exactitud 95,8% de detección, bolsillo lateral del pantalón con una precisión del 87,5%, y el bolsillo de la camisa del pecho con una precisión del 83,3%.

1.6.3.2 Algoritmo aplicado a teléfono inteligente

Los datos de los investigadores en [37] se puede optar por el algoritmo que se presenta a continuación en la figura 21.

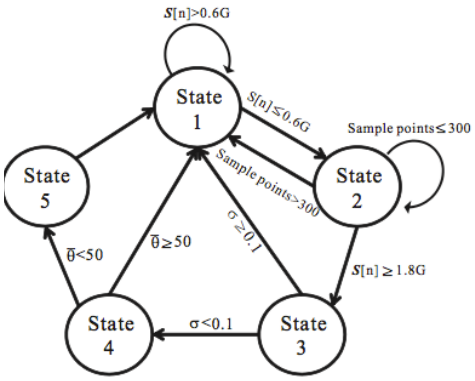


Figura 21: *Algoritmo propuesto para detección de caída [37].*

El acelerómetro triaxial mediante un muestreo periódico a una frecuencia de 150Hz es una secuencia de tres dimensiones $a_x{}^2[n], a_y{}^2[n], a_z{}^2[n]$ obtenidas del sistema donde S[n] es la señal de magnitud del vector (SMV) denominada como:

$$S[n] = \sqrt{a_x{}^2[n] + a_y{}^2[n] + a_z{}^2[n]} \quad (8)$$

Donde:

n = numero de muestras

$a_x{}^2[n], a_y{}^2[n], a_z{}^2[n]$ = son los valores de la gravedad a lo largo de los ejes x, y, z.

Para ilustrar el muestreo de una señal para el sistema se propone un valor de $n = 300$ muestras con el dispositivo en el pecho del usuario para detectar los valores de la gravedad producida en SMV que pueden estar dentro diferentes tipos de actividad con un valor de $S[n] \leq 0.6G \; y \; S[n] \geq 1.8G$.

Se identifica mediante comparación entre el evento de caída y una actividad diaria la variación de SMV del sistema propuesto con la desviación estándar con 50 muestras mediante:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{50}\sum_{251}^{300}(S[n] - \overline{S}_{50})^2} \quad (9)$$

Donde:

$\overline{S}_{50}$ es el promedio de las últimas 50 muestras de $S[n]$.

1. Comprobamos si la desviación estándar es menor que un umbral predefinido 0.1. Si es así, la tercera función satisface la condición y se procede a siguiente estado.
2. Calcula el ángulo medio paso de las últimas 15 muestras por medio del compás electrónico y del dispositivo de orientación del teléfono inteligente.
3. En el caso que el estado 4 posea un ángulo menor a 50 procedemos al estado 5 donde aplicamos Support vector machine (SVM), caso contrario si ángulo es mayor a 50 regresamos al estado 1.
4. Para el estado 5, se propone los valores de pesos y bias correspondientes a la siguiente tabla 2:

Tabla 2: *Valores de pesos y bias [37].*

i	w_i	x_i		Bias b
1	-0.4348	8.2241	3.9882	4.2037
2	0.0061	4.4865	3.0055	
3	0.2377	7.7041	2.3361	
4	0.1911	7.8150	2.2386	

5. Mediante la capacidad de proporcionar una variable lineal y la función kernel no lineal para los patrones de clasificación, donde se caracteriza de un vector de dos dimensiones que permite reconocer si los ancianos sufren un evento de caída que se obtiene mediante las características de alta frecuencia de las secuencias generadas en el sistema aplicando Discrete Wavelet Transform (DWT) por lo tanto puede ser calculado, mediante las siguientes ecuaciones:

$$a_{ax}[n] = \frac{1}{\sqrt{2}}(a_x[2n] + a_x[2n+1]) \quad (10)$$

$$a_{dx}[n] = \frac{1}{\sqrt{2}}(a_x[2n] - a_x[2n+1]) \quad (11)$$

6. Por medio de las ecuaciones anteriores se implementa el SVM que nos permitirá reconocer el suceso de caída con las ecuaciones expuestas a continuación.

$$l_1 = \max_n(|a_{dx}[n]|) + \max_n(|a_{dy}[n]|) + \max_n(|a_{dz}[n]|) \quad (12)$$

Donde: $n = 1\ldots150$

$$l_2 = \sum_{n=1}^{300} |S_{HPF}[n]| \quad (13)$$

7. Donde $S_{HPF}[n]$ es la señal resultante del filtro paso alto de la señal $S[n]$ aplicando las siguientes características:

- Ganancia elimina banda (Astop): $80dB$.
- Ganancia pasa banda (Apass): $1dB$.

- S Frecuencia de corte de elimina Banda (Fstop): $40Hz$.
- Frecuencia pasa banda (Fpass): $50Hz$.

8. Basándose en los resultados de $l1, l2$ se puede construir los vectores:

$$x = (l_1, l_2)^T \quad (14)$$

9. La ecuación 14 permitirá diseñar el vector de soporte para el reconocimiento de caída.

$$y = (w_1x_1 + w_2x_2 + \ldots + w_nx_n).x + b = \sum_{i=1}^{n} w_ix_i.x + b \quad (15)$$

10. La ecuación 15 permitirá separar los sucesos de caída del adulto mayor y no ser relacionado con las actividades diarias.
11. Donde $x1, x2, \ldots, xn$ son 2×1 vectores de soporte, n es el número de vectores de soporte, $w1, w2, \ldots, wn$ son los pesos correspondientes a los vectores de soporte individuales, b es el bias, y indica el resultado de la clasificación. Así cumpliendo con el algoritmo planteado.

CAPÍTULO 2. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

El presente capitulo tiene la finalidad de informar sobre el diseño e implementación del sistema, que da soporte a la viabilidad para la implementación de la Plataforma SAFER que está en proceso de desarrollo por parte del Grupo de Investigación de Telecomunicaciones (GITEL) de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. Por este motivo hemos creído conveniente dividirlo en 3 partes.

En la primera se hablará sobre la arquitectura en el que se desenvolverá el sistema de detección y notificación de caídas en persona de la tercera edad. Se indicará además cual es el trabajo correspondiente para cada fase utilizada para el desarrollo del sistema. Y por último se indicará una revisión general de los softwares utilizados para diseño y programación.

En la segunda parte se indicara el diseño e implementación del sistema, dando detalle a los elementos principales para el desarrollo del dispositivo portátil y de la aplicación móvil IOS para la notificación a la enfermera más cercana cuando existe un suceso de caída.

Finalmente indicaremos el proceso para el montaje del sistema considerando los aspectos principales para el correcto funcionamiento, validando el sistema en la Casa de Residencia Geriátrica San Andrés.

2.1 Diseño de arquitectura

La Arquitectura del sistema se divide en bloques independientes, como se indica en la figura 22. Permitiendo el trabajo de varios dispositivos para su integración a un sistema final. Los bloques correspondientes se definen como:

Bloque 1: Red de dispositivos de detección de caídas.

Bloque 2: Sistema de localización paciente/enfermera.

Bloque 3: Servidor Web.

Bloque 4: Aplicación móvil IOS.

Bloque 5: Montaje del Sistema.

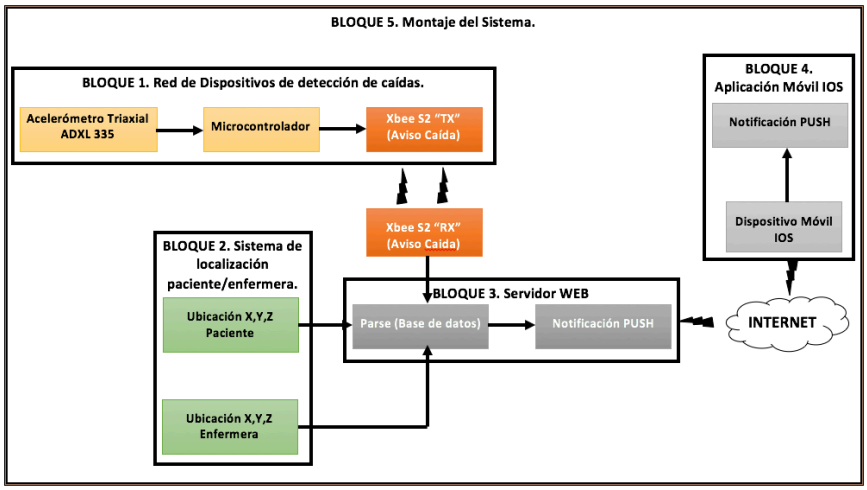


Figura 22: *Arquitectura del sistema para detección y notificación de caídas.*

Fuente: *Los autores.*

Para el proceso de ejecución del sistema se rige al diagrama de flujo de la figura 23 que se presenta a continuación.

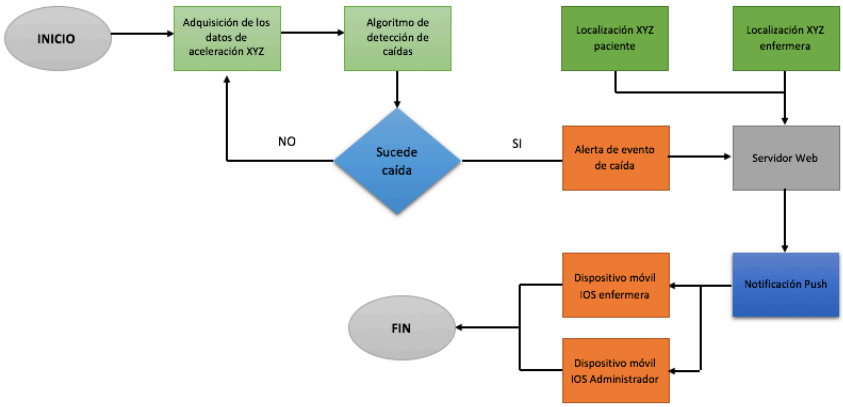


Figura 23: *Diagrama de flujo del sistema.*

Fuente: *Los autores.*

Para el desarrollo de todo el sistema descrito en la figura 22 se ha visto necesario el uso de algunos tipos de software cuales detallamos a continuación.

Arduino, para programar el microcontrolador para la adquisición de datos del acelerómetro analógico Triaxial ADXL 335 e implementación del algoritmo de detección de caídas para el envió de la notificación correspondiente de manera inalámbrica mediante Xbee S2 hacia un computador portátil.

XCTU, Software para programación de los dispositivos Xbee S2 que permite configurar parámetros de comunicación entre dispositivo emisor y receptor.

Matlab, software para adquisición y visualización del módulo resultante de aceleración de las actividades diarias y sucesos de caídas en las personas de la tercera edad.

Parse, servidor web online que contiene la base datos, además permite enlazar la información con una aplicación IOS para la generación de notificaciones PUSH para el dispositivo móvil.

XCode, Software para la programación y desarrollo de la aplicación del dispositivo móvil con sistema operativo IOS.

2.2 Diseño e implementación del sistema.

Para el diseño e implementación del sistema se abordara el proceso para cumplir con las etapas de detección y notificación que se divide en dos partes las mismas que son:

- Dispositivo de detección de caídas.
- Aplicación móvil IOS.

Para cada una de estas partes se presentará todos los materiales propuestos con el fin de satisfacer las necesidades dadas para la detección y notificación de caídas.

2.2.1 Dispositivo de detección de caídas.

2.2.1.1 Diseño e implementación de hardware del dispositivo portátil

El dispositivo se ha desarrollado con la necesidad de detectar una caída de la persona de la tercera edad por medio del hardware indicado que se detalla a continuación.

2.2.1.1.1 Acelerómetro Triaxial ADXL 335

Para la aplicación deseada en este proyecto se ha recurrido al uso de dispositivos electrónicos que permitan obtener la aceleración independiente en cada eje con el fin de medir la aceleración en los ejes X-Y-Z, permitiendo entregar una salida proporcional a la aceleración respectiva a un eje para medir la dirección y aceleración de un cuerpo cuando detecte una caída.

Esta salida puede ser obtenida por un sensor inercial con los que se obtiene valores de aceleración y velocidad como el acelerómetro Tri-axial que en manera conjunta con el algoritmo desarrollado en un MCU se encarga de adquirir las variables de aceleración

permitiendo que el dispositivo alerte al sistema de aviso cuando existe una caída para que el personal de asistencia socorra al adulto mayor en el menor tiempo posible.

Para la medición de aceleración se optó por el acelerómetro ADXL335 que se indica en la figura 24, cual posee la cantidad de ejes necesarios, además de contar con entradas analógicas compatibles a un valor de voltaje de 3.3V que pueden ser conectadas al MCU y contar con las funciones de detección de impactos, esta información puede ser observada a continuación en la tabla 3.

Figura 24: *Acelerómetro Tri-axial ADXL 335 [41].*

Tabla 3: *Especificaciones técnicas acelerómetro ADXL 335 [42].*

# Ejes	Rango	Sensibilidad	Exactitud de sensibilidad (%)	Tipo de salida	Voltage Supply (V)	Supply Current	T º Range
3	+/-3g	300mV/g	+/-10	Analog	1.8 to 3.6	350uA	-40 to 85 º C

Fuente: *Los autores.*

2.2.1.1.2 Microcontrolador

Para el diseño e implementación del dispositivo se ha optado por Arduino Fio que se indica en la figura 25 para lo cual se detalla la información general que posee en la tabla 4.

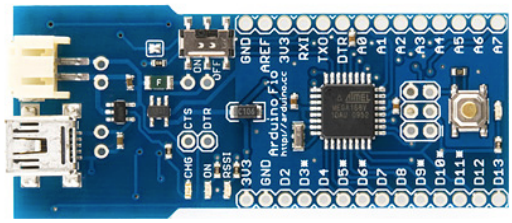


Figura 25: *Microcontrolador (MCU) Arduino FIO [43].*

Tabla 4: *Especificaciones técnicas Arduino Fio [43].*

Procesador	Operación/ Voltaje de ingreso	Velocidad CPU	Analogicas In/Out	Digitales IO/PWM	EEPROM [KB]	SRAM [KB]	USB	UART
ATmega 328P	3.3V / 3.35-12V	8MHz	8/0	14/6	1	2	Micro	1

Fuente: *Los autores.*

Además podemos detallar algunas características físicas que nos presenta el Arduino Fio por lo cual se lo considero para el diseño del sistema de detección y notificación.

- Posee conector USB que permite cargar la batería con baterías de litio de 3.7V por lo que facilita espacio en el diseño del dispositivo portable.
- Posee shield para conexión de módulos Xbee.
- Posee un Puerto UART que permitirá el enlace de comunicación inalámbrica.
- Entradas analógicas y Salidas Digitales suficientes para el diseño del Dispositivo portable.

2.2.1.1.3 Xbee S2

Para el enlace de comunicación se ha visto necesario analizar una cobertura del área donde el adulto mayor realiza sus actividades diarias donde se presenta una tabla de comparación de los módulos XBEE S2 que se indican en la tabla 5 donde se tomaran las consideraciones necesarias para las necesidades del área de trabajo y para el enlace de comunicación del dispositivo portátil con el sistema de notificación.

Tabla 5: *Tabla comparativa Xbee Zigbee [44].*

Protocolo	Producto	Frecuencia	Descripción	RF Line de rango	Forma	Velocidad de datos RF	Consumo de corriente Tx/Rx	Hardware
Zigbee PRO	Xbee ZB SMT	2.4 GHz	Zigbee red mesh, bajo precio bajo consumo	4000FT/1.2km	SMT	250Kbps	45mA/28mA	S2C
	Xbee Pro ZB SMT	2.4 GHz	Rango extendido Zigbee	2miles/3.2km		250Kbps	100mA/31mA	S2C
	Xbee ZB	2.4 GHz	Zigbee mesh, bajo precio bajo consumo	400ft/120m	Agujero Pasante	250Kbps	N/A	S2
	Xbee PRO ZB	2.4 GHz	Rango extendido Zigbee	2miles/3.2km		250Kbps	205mA/47mA	S2B
		2.4 GHz	International/ variante "J"	5000ft/1.5km		250Kbps		

Fuente: *Los autores.*

Para el diseño se ha optado por el uso de Xbee ZB que se indica en la figura 26 por las características que posee como tener una huella común que la Xbee Pro ZB y puede ser sustituido a un futuro para mejor el alcance de cobertura, además de tener la capacidad de ser acoplado en el Arduino Fio por el shield que posee para su conexión sin afectar el diseño del dispositivo de detección de caídas.

Figura 26: *Xbee S2 [45].*

2.2.1.1.4 Pieza 3D

Para el dispositivo de detección de caídas se ha visto necesario diseñar una pieza 3D cual se indica en la figura 27 que permita acoplar la pechera con la carcasa que contiene el dispositivo tal como se observa en la figura 28 para que el usuario pueda utilizarlo en sus actividades diarias.

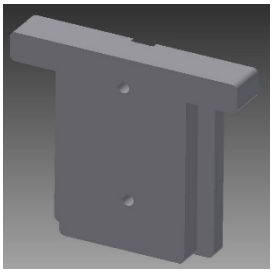


Figura 27: *Diseño 3D realizado en Inventor.*

Fuente: *Los autores.*

Figura 28: *Pieza impresa en 3D acoplada a la carcasa.*

Fuente: *Los autores.*

Al tener ya seleccionado todo el hardware para el diseño del dispositivo se procede mediante el esquema de conexión entre Arduino Fio y el acelerómetro Triaxial ADXL 335 que se indica en la figura 29 conectamos los pines que se indica en la tabla 6.

Tabla 6: *Conexión de Pines entre Arduino Fio y acelerómetro.*

ARDUINO FIO	ACELEROMETRO ADXL 335
GND BLK	GND
3V3	VCC
A0	X
A1	Y
A2	Z
D11	ST

Fuente: *Los autores.*

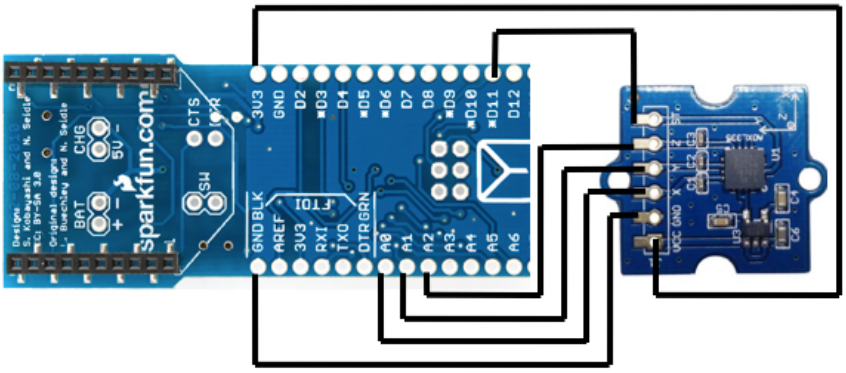


Figura 29: *Esquema de conexión Arduino FIO y acelerómetro ADXL 335.*

Fuente: *Los autores.*

Mediante el diseño esquemático de las necesidades entre elementos electrónicos se da como punto de partida para el diseño de la placa PCB que permitirá acoplar el Arduino Fio con el acelerómetro como se observa en la figura 30.

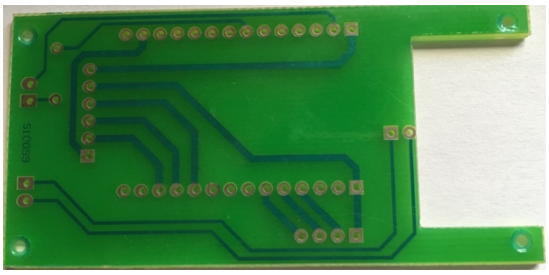


Figura 30: *Placa PCB para acople entre Arduino FIO y acelerómetro ADXL 335.*

Fuente: *Los autores.*

Con la elaboración de la placa PCB para la conexión entre Arduino Fio, acelerómetro y Xbee S2 se procede a implementar el sistema en una carcasa comercial como se indica en la figura 31, siendo alimentada por una batería de 2000mAh que se indica en la figura 32 que nos permita un mayor tiempo de uso. Además este dispositivo puede ser acoplado con una pechera que se indica en la figura 33 mediante una pieza 3D anteriormente diseñada por los autores que permite que el dispositivo se puede colocar al paciente mediante el uso de la misma como se puede observar en la figura 34, esta pechera nos permite una mayor comodidad ya que es ubicado en el esternón del paciente evitando accesorios en áreas que incomoden el movimiento natural en las rutinas de las actividades diarias de la persona de la tercera edad.

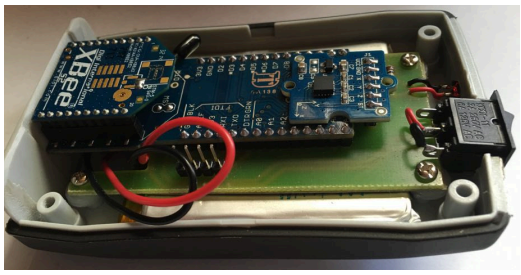


Figura 31: *Dispositivo implementado en la carcasa.*

Fuente: *Los autores.*

Figura 32: *Batería Polymer Lithium Ion Battery - 2000mAh [46].*

Figura 33: *Pechera [47].*

Figura 34: *Dispositivo colocado en una persona.*

Fuente: *Los autores.*

2.2.1.2 Diseño e implementación de software del dispositivo portátil

Con respecto al dispositivo portátil ubicado en el pecho del paciente, se cuenta con un acelerómetro triaxial analógico ADXL 335, un microcontrolador para la interfaz de adquisición de datos con Matlab **(ANEXO 1)** que permite observar el comportamiento de las señales de actividades diarias de las personas de la tercera; la red de dispositivos envía el aviso de manera inalámbrica a través de un módulo Xbee S2 hacia el servidor WEB mediante un script de Java **(ANEXO 2)** cuando el algoritmo implementado en Arduino **(ANEXO 3)** ha detectado el evento de caída.

Por lo tanto el acelerómetro triaxial se ha normalizado con valores de gravedad como se indica en la figura 35, mediante un muestreo periódico a una frecuencia de 20Hz es una secuencia de tres dimensiones $a_x{}^2[n], a_y{}^2[n], a_z{}^2[n]$ obtenidas del sistema donde S[n] es la señal de magnitud del vector (SMV) denominada como:

$$S[n] = \sqrt{a_x{}^2[n] + a_y{}^2[n] + a_z{}^2[n]} \quad (16)$$

Donde:

n = número de muestras.

$a_x{}^2[n], a_y{}^2[n], a_z{}^2[n]$= son los valores de la gravedad a lo largo de los ejes x, y, z.

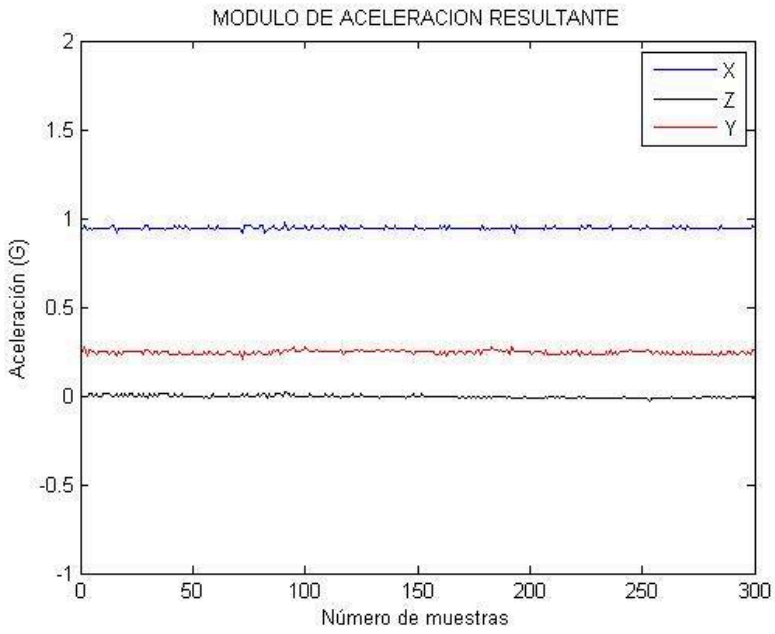


Figura 35: *Normalización de los ejes XYZ.*

Fuente: *Los autores.*

Para adquirir la señal se propone un valor de n= 300, que representa un resultado de adquisición de 15 segundos que es un tiempo suficiente para que las personas de la tercera edad puedan realizar las actividades diarias con el dispositivo en el pecho para detectar los valores de la gravedad producida en SMV que pueden estar dentro diferentes tipos de actividad con un valor de $S[n] \leq 2.2G \; y \; S[n] \geq 0.5\text{G}$, que representa el rango de comportamiento obtenido en las pruebas de adquisición de datos para las actividades diarias de las personas de la tercera edad.

Un suceso de caída se identifica mediante una variación de SMV, en la figura 36 se indica una comparación entre una señal de "bajar gradas" donde la variación del sistema no supera el rango establecido anteriormente, mientras tanto la señal "evento de caída" permite identificar el estado que define una caída típica cumpliendo un ciclo reposo - caída libre – impacto que supera el rango de $S[n] \geq 2.2G$. Así cumpliendo la condición de detección de caídas.

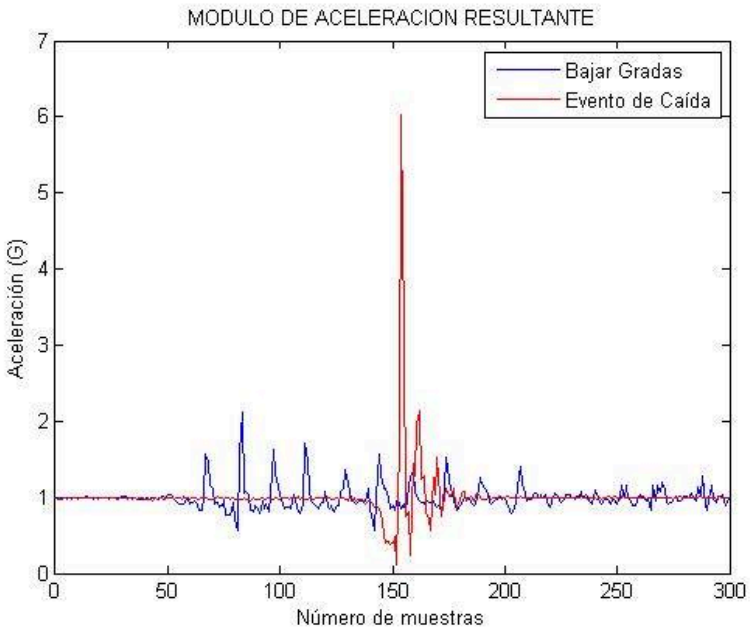


Figura 36*: Comparación entre actividad diarias (Bajar gradas) y caída (Desmayo).*

Fuente: *Los autores.*

2.2.1.2.1 Sistema de localización paciente/enfermera

Este sistema es conformado por etiquetas de radio frecuencia ubicadas en las entradas de acceso de las habitaciones que permite la ubicación del paciente/enfermera en el escenario del centro de atención médico, estos datos de localización son simulados con valores X,Y,Z aleatorios desde Arduino Fio del dispositivo portátil **(ANEXO 3)** para pacientes y enfermeras; mediante un Script de Java **(ANEXO 2)** que al recibir un evento de caída procede a realizar una triangulación entre las coordenadas X, Y, Z entre paciente-enfermera para obtener la ubicación de la enfermera más cercana de toda la lista de enfermeras activas y así dar un aviso mediante una notificación Push al dispositivo móvil IOS.

2.2.1.2.2 Servidor Web

Para la administración y uso el sistema ha sido diseñado e implementado en Parse cuál puede ser ingresado en **https://www.parse.com/login** con email: **redrovanparra@gmail.com** y password: **0104739776** como se observa en la figura 37, que permite la gestión de la base de datos como se indica en la figura 38.

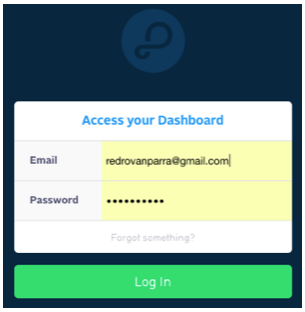


Figura 37: *Ingreso cuenta Parse para uso de la base de datos.*

Fuente: *Los autores.*

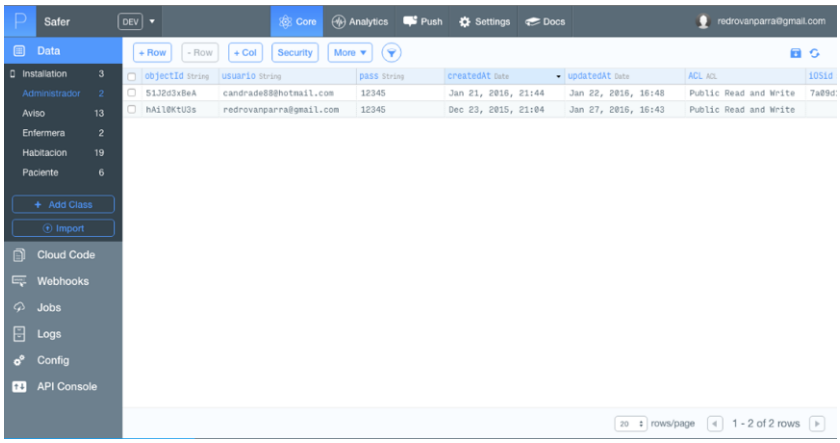


Figura 38: *Base de datos Parse.*

Fuente: *Los autores.*

El servidor identifica el aviso proveniente del dispositivo de detección de caídas mediante el uso de un script de Java **(ANEXO 2)** para la comunicación con el puerto serial del computador. El servidor al identificar el usuario que ha tenido el evento de caída extrae la información del mismo, en donde su ubicación X, Y, Z sea comparada con las ubicaciones X, Y, Z actuales registradas en la base de datos de las enfermeras, siendo responsable de elegir y emitir una notificación de alerta al dispositivo móvil de la enfermera más cercana al paciente.

2.2.1.2.3 Notificación Push

Para el envió de la notificación Push al dispositivo móvil, se ejecuta un script de Java **(ANEXO 4)** que permite acceder a la base de datos en Parse para poder escribir de manera textual la información que deseamos enviar al dispositivo IOS receptor, es

decir siempre al administrador y enfermera más cercana cuando un suceso de caída ha sido registrado.

2.2.2 Diseño e implementación de la aplicación móvil IOS

La aplicación móvil se ha desarrollado con el software XCode en el sistema operativo OSX en donde se ha propuesto las opciones de ingreso de usuario mediante una dirección de correo electrónico y contraseña como se indica en la figura 39 para: administrador o enfermera.

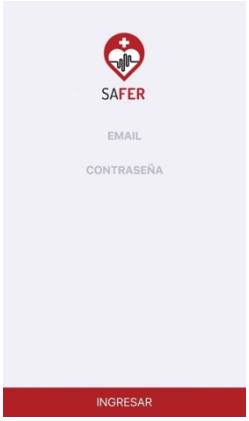


Figura 39: *Venta de ingreso de Usuario.*

Fuente: *Los autores.*

2.2.2.1 Opción Administrador

El dispositivo móvil es capaz de ingresar y editar los datos de: enfermeras, pacientes, lugares y además visualizar el registro de avisos de eventos de caídas que consta con la siguiente información: nombre de la enfermera encargada de la atención del paciente, nombre del paciente, lugar con fecha y hora del evento de caída, datos que son extraídos desde la base de datos realizada en Parse. Además de recibir una notificación Push cuando un evento de caída ha sucedido para tener un monitoreo constante en el dispositivo móvil IOS por parte del Administrador.

En la figura 40 se indica el diagrama de funcionamiento para la opción de Administrador.

Figura 40: *Diagrama de funcionamiento opción Administrador.*

Fuente: *Los autores.*

2.2.2.2 Opción enfermera

El dispositivo móvil recibe notificaciones PUSH enviadas desde el servidor Web, ubicando a la enfermera más cercana del paciente con evento de caída, enviando un reporte con los datos principales del paciente como: Nombre-Apellido, lugar de caída, hora de caída, resumen clínico que pueden ser observados en la App del dispositivo móvil IOS. Adicionalmente, se registra en la base de datos que enfermera ha sido notificada para la atención médica, esta información puede ser visualizada por parte del administrador en la opción avisos.

En la figura 41 se indica el diagrama de funcionamiento para la opción de Administrador.

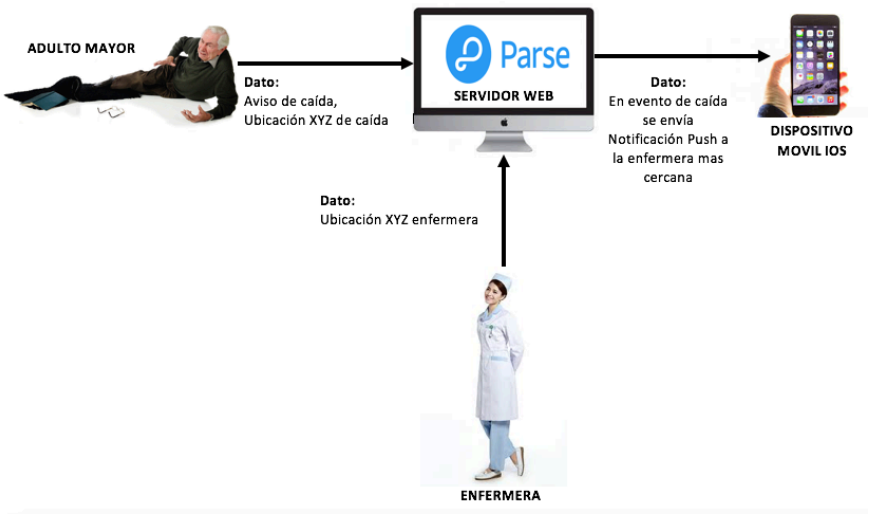


Figura 41: *Diagrama de funcionamiento opción enfermera.*

Fuente: *Los autores.*

2.3 Montaje del sistema

El sistema de detección y notificación de caídas ha sido validado en La Casa de Residencia Geriátrica San Andrés de la ciudad de Cuenca-Ecuador, por lo cual es necesario unir todos los puntos anteriores en uno solo bloque denominado montaje del sistema que se indica en la Arquitectura de la figura 22, que permitirá la evaluación y funcionamiento del sistema, para lo cual es necesario que el dispositivo receptor que se indica en la figura 42 esté conectado al computador y que tenga el archivo RunSafer realizado en Script Editor **(Anexo 5)** activo para el arranque automático del Servidor Web y además permita la recepción de datos del dispositivo portátil cuando un evento de caída ha sucedido.

Figura 42: *Dispositivo receptor.*

Fuente: *Los autores.*

Al tener ya listo el dispositivo receptor; los dispositivos móviles IOS pueden ser iniciados sesión en la App como se indica en la tabla 7:

Tabla 7: *Datos de usuario para ingreso a la App IOS.*

Tipo de Usuario	Email	Password
Administrador	redrovanparra@gmail.com	12345
	candrade88@hotmail.com	12345
Enfermera	scoello@gmail.com	aaa
	ereal2802@hotmail.com	aaa

Fuente: *Los autores.*

Estas cuenta deben estar activas para poder recibir las notificaciones PUSH en eventos de caída o puedan acceder a la información de la base de datos, estos dispositivos móviles IOS deben contar con un servicio WiFi o 3G/4G para su uso. Además se debe considerar para el caso de enfermeras que no inicien sesión, cierren sesión o estén fuera de turno de trabajo la App por defecto ubica en una posición X, Y, Z denominada "OUT" que significa que la enfermera está fuera de zona de cobertura para ofrecer un servicio de asistencia así evitando confusiones en el momento de detección de la enfermera más cercana.

En la figura 43 se presenta todos los elementos necesarios para el montaje del sistema.

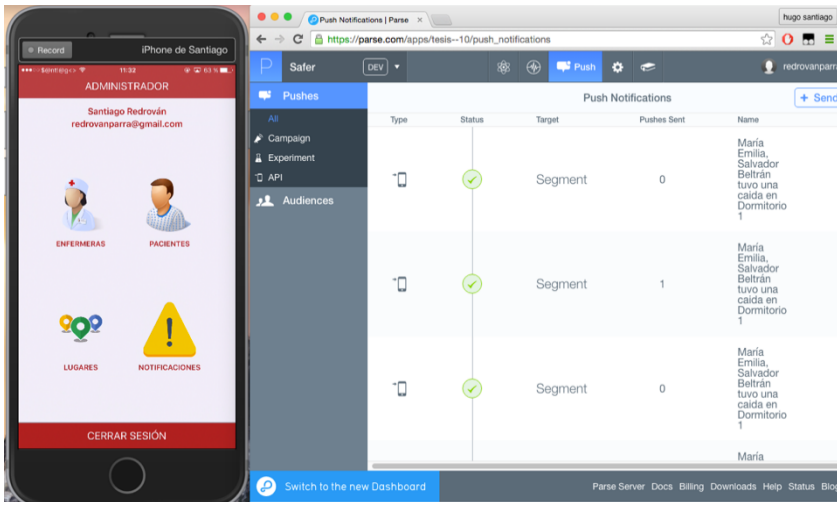


Figura 43: *Montaje del sistema*

Fuente: *Los autores.*

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE DATOS Y RESULTADOS

En el siguiente capítulo presentamos y analizamos los datos de aceleración recogidos de las personas de la tercera edad, para conocer su comportamiento en actividades cotidianas y establecer un rango en el que se pueda diferenciar dichas actividades de un evento de caída. Tambien se muestra la funcionalidad de la aplicación; se presenta la pantalla de notificación que recibe el administrador y la enfermera más cercana al paciente cuando se ha producido una caída. Adicionalmente se muestra el presupuesto necesario para implementar el sistema.

En total se realizaron 20 pruebas de actividades diarias a 8 personas de la tercera edad, pacientes de la Casa de Residencia Geriátrica San Andrés.

El desarrollo y funcionamiento del sistema se divide en dos etapas, las mismas son:

3.1 Sistema de detección de caídas

Los datos adquiridos para detectar una caída se dividen en 2 grupos: datos de actividades de la vida cotidiana y datos de eventos de caída, los mismos se presentan a continuación:

3.1.1 Actividades de la vida diaria

De acuerdo a la experimentación y a conversaciones efectuadas con la doctora responsable de la Casa de Residencia Geriátrica San Andrés, las actividades diarias más comunes que las personas de la tercera edad efectúan son: sentarse y levantarse de una silla, caminar, acostarse y levantarse de la cama, subir y bajar gradas. En la siguiente sección se muestran y analizan algunas de estas actividades.

3.1.1.1 Sentarse en una silla

En esta prueba las personas de la tercera edad se encuentran de pie, de espaldas a una silla, cuando se les indica proceden a sentarse; de esta forma se registra el comportamiento de la aceleración que esta actividad produce. A continuación se aprecia la curva de aceleración adquirida de uno de los residentes de la Casa de Residencia Geriátrica.

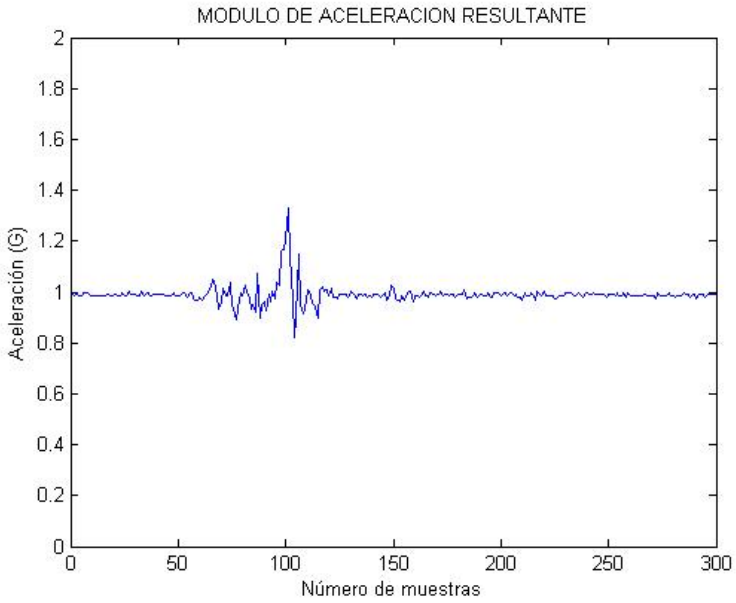


Figura 44: *Módulo de aceleración resultante producido al sentarse en una silla.*

Fuente: *Los autores.*

En la figura podemos apreciar la curva que el experimento produce, de la misma podemos observar que el pico máximo es de 1.3276G, mientras que el mínimo pico es de 0.8207G.

3.1.1.2 Caminar

En esta prueba la persona camina en línea recta en una superficie horizontal sin presencia de obstáculo alguno, los datos adquiridos del experimento se aprecian en la siguiente figura.

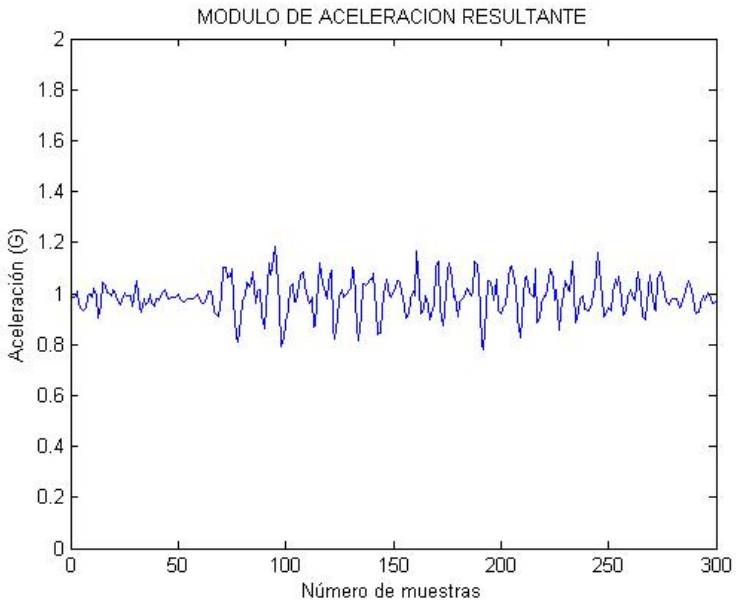


Figura 45: *Módulo de aceleración resultante producido al caminar.*

Fuente: *Los autores.*

En el experimento se aprecia que el pico superior es igual a 1.1864G, mientras que el mínimo pico tiene un valor de 0.7825G.

3.1.1.3 Acostarse

En este experimento se pidió a las personas que se acostaran en la cama de la manera que ellos acostumbran. En el desarrollo del experimento las personas siguen los siguientes pasos: primero se sientan, luego se apoyan en la cama y finalmente se acuestan. La gráfica del experimento se presenta a continuación.

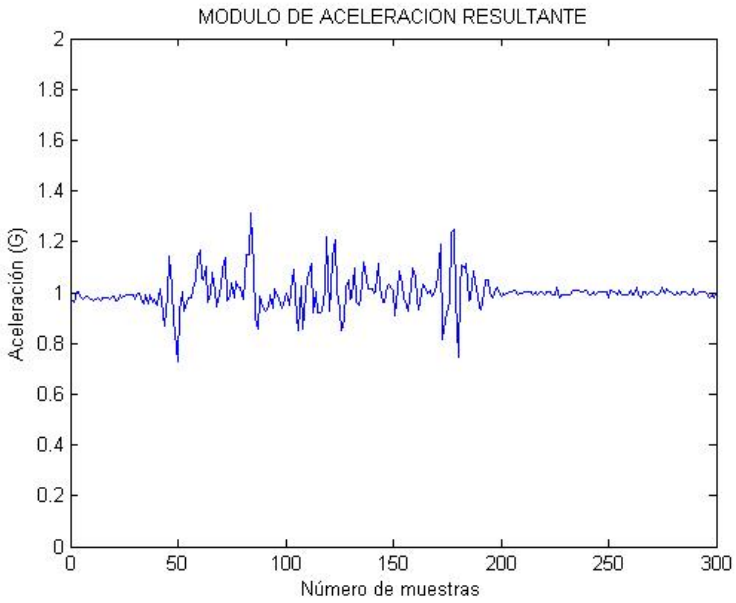


Figura 46: *Módulo de aceleración resultante producido al acostarse.*

Fuente: *Los autores.*

El pico máximo producido en el experimento es de 1.3139G y el mínimo tiene un valor de 0.7255G.

3.1.1.4 Subir gradas

En este experimento a las personas de la tercera edad se les pide que suban los escalones de la Casa de Residencia Geriátrica, muchas de las personas se ayudan de las agarraderas para desarrollar la prueba. El resultado del experimento se observa en la siguiente figura.

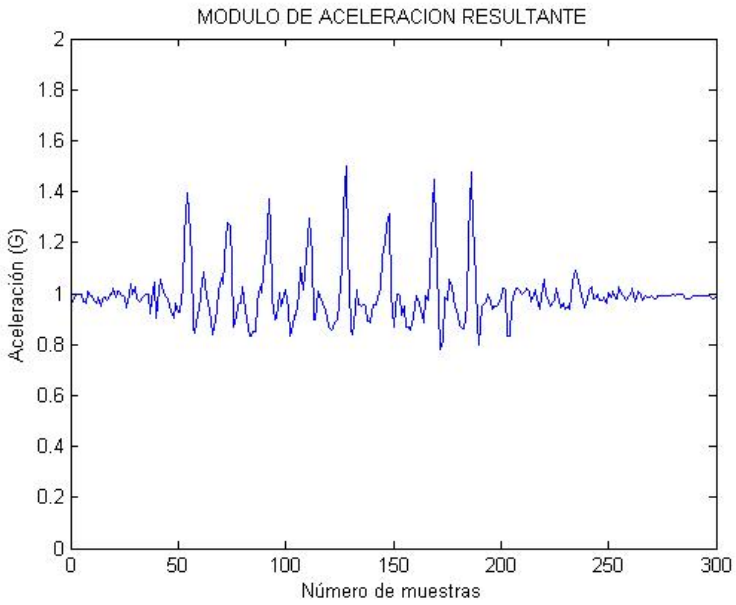


Figura 47: *Módulo de aceleración resultante producido al subir las gradas.*

Fuente: *Los autores.*

El pico máximo producido en el experimento es de 1.5025G y el mínimo es de 0.7829G.

3.1.1.5 Bajar gradas

Esta prueba se efectuó inmediatamente luego de que las personas de la tercera edad suban los escalones, el resultado del experimento se aprecia a continuación.

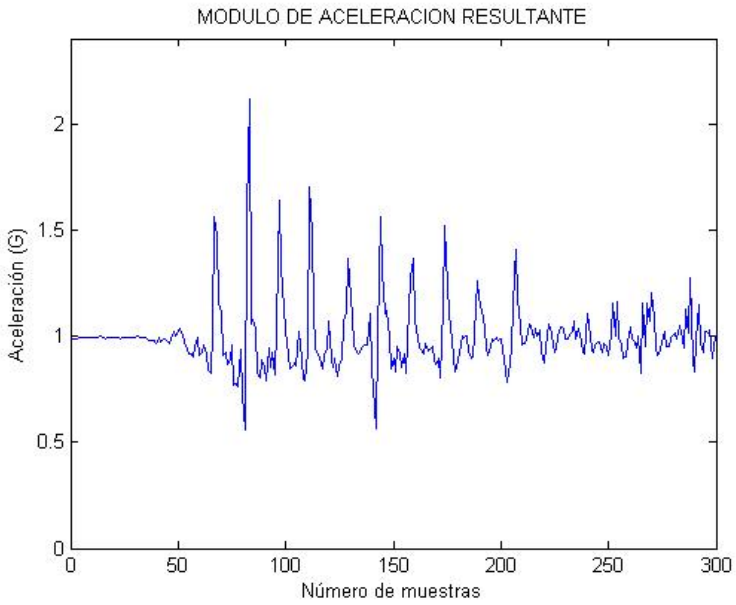


Figura 48: *Módulo de aceleración resultante producido al bajar las gradas.*

Fuente: *Los autores.*

En esta prueba se registró el mayor pico producido por una persona de la tercera edad en una actividad cotidiana. El módulo de aceleración resultante alcanzo 2.2G como pico máximo y 0.5576G como mínimo, esto debido a que al bajar un escalón a muchos de los ancianos les ganaba la gravedad y tendían a inclinar el cuerpo demasiado adelante; al percatarse de esto el anciano tomaba precauciones para que esto no ocurra nuevamente.

Como se aprecian en los experimentos realizados el valor máximo del módulo de aceleración resultante no supera el rango establecido en el capítulo 2 para la detección de una caída, esto debido al movimiento suave y pausado que las personas de la tercera edad poseen.

3.1.2 Eventos de caídas

En vista de que al realizar las pruebas en la Casa de Residencia Geriátrica no se presentaron eventos de caída en personas de la tercera edad, estos eventos fueron simulados por los autores, para esto se utilizó una colchoneta, la misma absorbe gran

parte del impacto reduciendo la magnitud del módulo de aceleración resultante. A continuación se muestran algunos de los tipos de caída más frecuentes que las personas de la tercera edad pueden sufrir.

3.1.2.1 Caída de cama.

En este experimento el cuerpo de uno de los investigadores está en posición horizontal soportado en una cama, luego desde esa posición se simula el evento de caída, el mismo se observa en la siguiente figura.

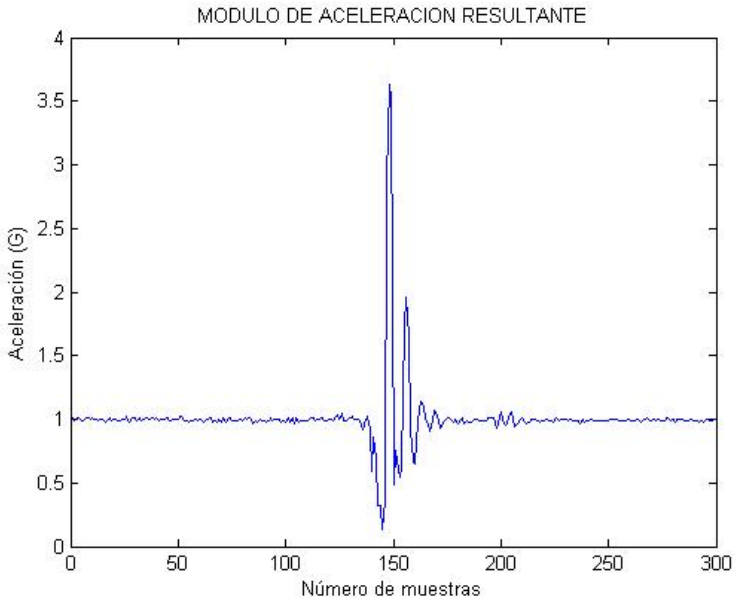


Figura 49: *Módulo de aceleración resultante producido al caer de la cama.*

Fuente: *Los autores.*

El experimento alcanza un pico máximo de 3.6275G y un mínimo pico de 0.1348G.

3.1.2.2 Caída de espalda

En este experimento el investigador se encuentra de pie y al dar la señal deja caer el cuerpo de forma libre hacia atrás. El resultado del experimento se aprecia a continuación.

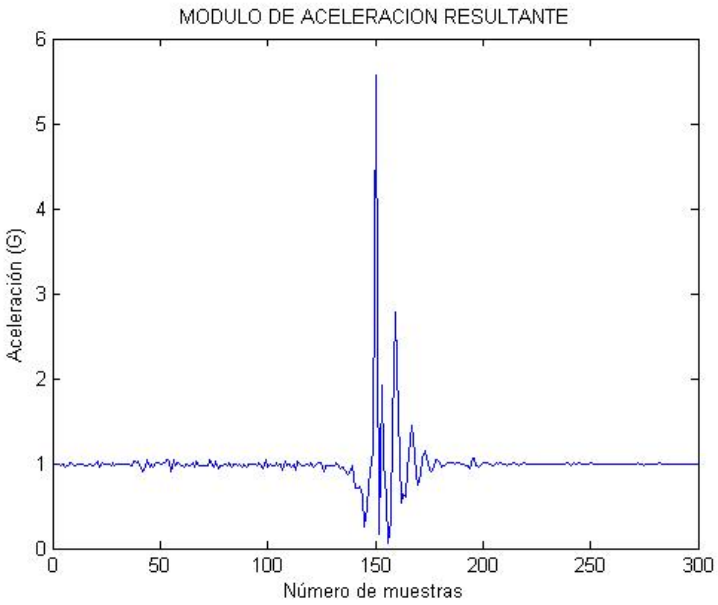


Figura 50: *Módulo de aceleración resultante producido al caer de espalda.*

Fuente: *Los autores.*

El pico máximo tiene un valor de 5.5709G y el pico mínimo de 0.0542G.

3.1.2.3 Desmayo

En este experimento el investigador deja caer su cuerpo hacia adelante simulando un desmayo. La figura del experimento es la siguiente.

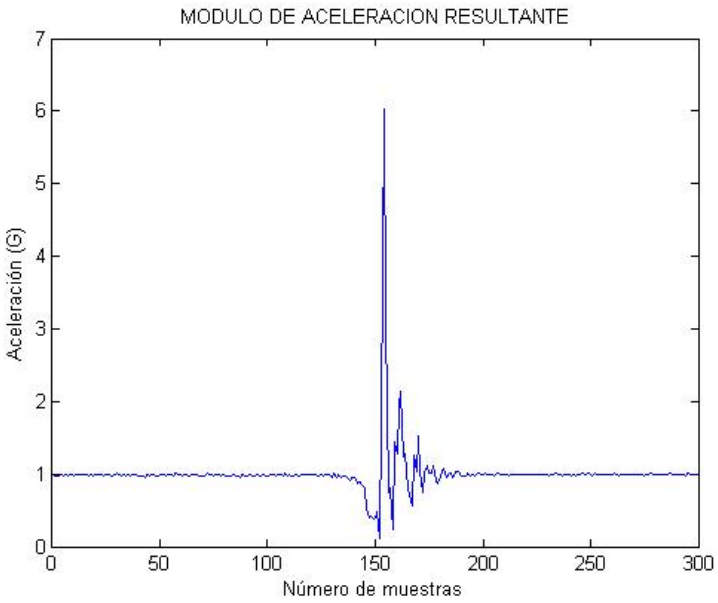


Figura 51: *Módulo de aceleración resultante producido al caer desmayado.*

Fuente: *Los autores.*

En este experimento se alcanzó un pico máximo de 6.0376G y un mínimo de 0.1198G.

3.1.2.4 Caída lateral desde una silla.

Esta caída se simula debido a que durante la experimentación se observó que muchas de las personas de la tercera edad al estar sentados por prolongado tiempo se duermen, inclinan el cuerpo hacia un lado, esta postura es peligrosa en el anciano ya que puede generar una caída grave. El resultado del experimento se aprecia en la siguiente figura.

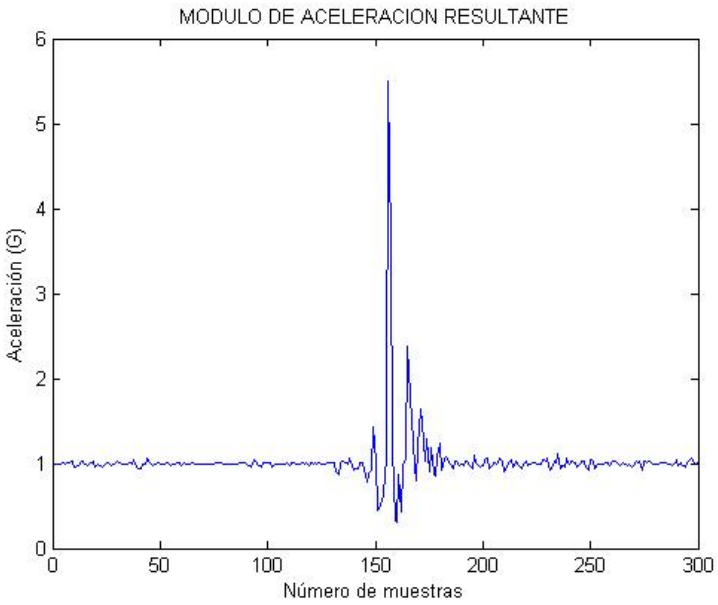


Figura 52: *Módulo de aceleración resultante producido al caer lateralmente de una silla.*

Fuente: *Los autores.*

El valor del pico máximo del experimento alcanza los 5.4997 G y el mínimo pico los 0.3095G.

3.1.2.5 Tropiezo y caída

A pesar de que la Casa de Residencia Geriátrica está adaptada para que las personas de la tercera edad se movilicen con facilidad, no está exenta a que obstáculos bloqueen la ruta del anciano y eventualmente este caiga; es por este motivo que esta prueba fue simulada. La representación de esta caída se muestra en la siguiente figura.

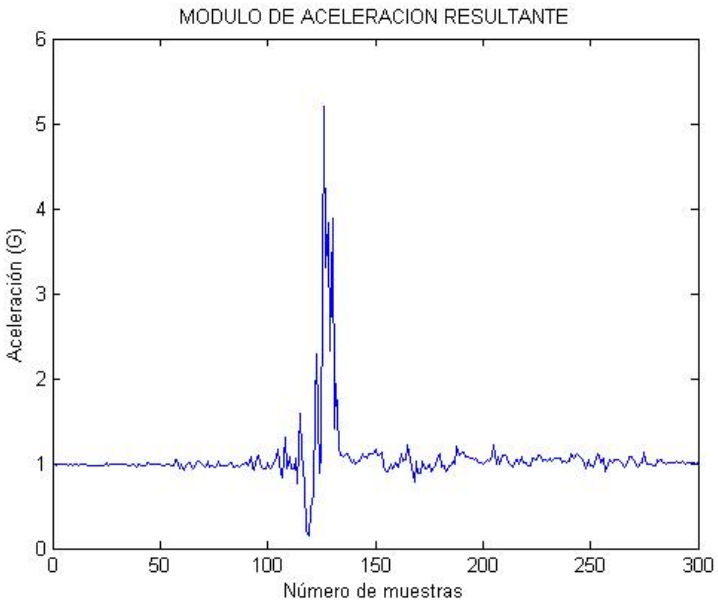


Figura 53: *Módulo de aceleración resultante producido al tropezar y caer.*

Fuente: *Los autores.*

El valor del pico máximo del experimento llega hasta los 5.1999G y el mínimo es de 0.1472G.

De los experimentos de caídas realizados podemos apreciar que el valor del módulo de aceleración resultante supera el rango de 2.2G obteniendo valores muy superiores, incluso a pesar de la presencia de un elemento de amortiguamiento durante cada prueba.

3.2 Sistema de notificación de caídas

Cuando un evento de caída ha sido detectado el sistema envía una notificación push al administrador de la Casa de Residencia Geriátrica y a la enfermera más cercana al paciente. La notificación enviada se muestra en la siguiente figura.

Figura 54: *Notificación Push*

Fuente: *Los autores.*

Cuando se accede a la notificación se despliega la siguiente pantalla

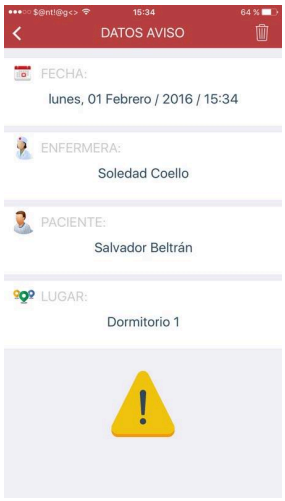


Figura 55: *Pantalla de notificación en caso de ocurrencia de un evento de caída.*

Fuente: *Los autores.*

En esta pantalla se muestra la fecha y hora de caída, la enfermera responsable del paciente, el nombre del paciente y el lugar en el que la persona ha caído, además se tiene acceso a los datos personales de la enfermera y al historial clínico del paciente, en caso de emergencia la aplicación posee un icono reservado para realizar llamadas a un familiar del paciente.

3.2 Presupuesto

En la siguiente tabla se indican los elementos necesarios con su respectivo valor unitario y valor total del presupuesto necesario para la implementación del sistema.

Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Arduino Fio original	1	$40.179	$40.179
Batería 3.7V 3A	1	$22.277	$22.277
Módulos Xbee S2	2	$40.179	$80.357
Xbee USB Xplorer	1	$12.50	$12.50
Acelerómetro ADXL 335	1	$25	$25
Adaptador 5V 2A	1	$6.698	$6.698
Carcasa	1	$21	$21
Impresión 3D	1	$15	$15
Pechera	1	$26.79	$26.79
Placa PCB	3	$29.18	$29.18
Diseño Placa	8horas	$5	$40
Programación App	216horas	$5	$1080
Diseño Base de Datos	32horas	$5	$160
		Subtotal	$1558.981
		Iva	$187.077
		Total	$1746.058

CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Las personas de la tercera edad son un grupo de la sociedad muy vulnerable debido al deteriorado estado de salud que poseen, por lo cual este grupo social requieren cuidados y atenciones que se adecuen a su estilo de vida.

Los sistemas de detección de caídas en nuestro medio, no son empleados de una manera comercial debido al poco avance tecnológico en el cuidado de ancianos en nuestro país y al excesivo costo que representa la implementación de estos dispositivos en casas geriátricas para adecuarlas viviendas de las personas de la tercera edad.

La adquisición de datos mediante Matlab permitió el reconocimiento de las señales de aceleración del módulo resultante para la observación del comportamiento de las actividades diarias de las personas de la tercera edad.

Según las pruebas realizadas en la Casa de Residencia Geriátrica San Andrés, la adquisición de datos fue satisfactorio brindando resultados similares entre los adultos mayores, permitiendo así encontrar un rango de actividad para el comportamiento de las actividades diarias y eventos de caídas.

Los resultados obtenidos al ubicar el dispositivo portátil en el esternón de la persona de la tercera edad, resultaron ser adecuados ya que se logró obtener una mejor captación de información debido a la estabilidad que esta zona otorga al dispositivo.

Las caídas se logran detectar por los grandes picos de aceleración que sobrepasan los valores de 2.2.G, en comparación con las actividades de la vida diaria que se caracterizan por estar dentro de un rango entre 0.5 - 2.2G.

La app móvil permite registrar los administradores, enfermeras y pacientes necesarios para el monitoreo de notificaciones de caídas en un centro de atención médica.

El sistema propuesto brinda un gran apoyo a las enfermeras para que logren una atención inmediata al momento de un suceso de caída buscando siempre a la enfermera más cercana del paciente ya que el monitoreo del dispositivo es constante.

4.2 Recomendaciones

Se recomienda ampliar investigaciones para establecer diferencias entre caídas como fue en nuestro caso en una colchoneta con superficies duras, que permitan analizar los picos de aceleración resultantes.

Se puede incorporar la etiqueta de ubicación para monitorear la posición del paciente y enfermera; como se estableció en la investigación de la plataforma SAFER que se encuentra realizando el grupo de investigación GITEL.

El trabajo desarrollado puede ser mejorado mediante la incorporación de elementos de montaje superficial que permitan reducir el volumen del dispositivo portátil.

Para una mejor respuesta en la notificación push se recomienda tener una buena conexión de internet para los dispositivos móviles IOS y para el servidor Web que posee la base de datos.

Para las futuras líneas de investigación se recomienda migrar los códigos de programación realizados en las plataformas IOS, OSX hacia nuevas plataformas de dispositivos Android, Windows Phone, para obtener una mejor cobertura del servicio en los centros de atención para las personas de la tercera edad o abrir nuevas aplicaciones de servicio como se propone en la plataforma SAFER.

ANEXOS

Anexo 1: Script de Matlab para Adquisición de datos

```
function R1=ADC_Serial(muestras)
close all;
clc;
voltaje=0;
voltaje1=0;
voltaje2=0;

delete(instrfind({'port'},{'COM8'}));
puerto=serial('COM8');
puerto.BaudRate=9600;

fopen(puerto);
contador=1;

figure(1);

while contador<=muestras
ylim([-3 3]);
xlim([0 contador+50]);
valorADC=fscanf(puerto,'%d,%d,%d')';
voltaje(contador)=(valorADC(1)-386)/76;
```

```
X=voltaje;

voltaje1(contador)=(valorADC(2)-388)/76;

Y=voltaje1;

voltaje2(contador)=(valorADC(3)-400)/76;

Z=voltaje2;

Re=sqrt(X.^2+Y.^2+Z.^2);

plot(voltaje);

plot(voltaje1,'red');

plot(voltaje2,'black');

plot(Re,'blue');

drawnow

contador=contador+1;

end


X1=reshape(X,[muestras,1]);

Y1=reshape(Y,[muestras,1]);

Z1=reshape(Z,[muestras,1]);

R1=reshape(Re,[muestras,1]);


A=sentadasilla

B=levantadasilla

C=caminata

D=Acostada
```

```
E=levantadacama

F=subirgradas

G=bajar gradas


xlswrite('E.xlsx',X1,'matlab','A1');

xlswrite('E.xlsx',Y1,'matlab','B1');

xlswrite('E.xlsx',Z1,'matlab','C1');

xlswrite('E.xlsx',R1,'matlab','D1');


fclose(puerto);

delete(puerto);


end
```

Anexo 2: Script de Java para comunicación puerto serial-Parse

```
//
++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++
++++++++++++++++

// PARSE Classes!

//
++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++
++++++++++++++++

var Parse = require('parse/node');

var parse_JSKey = "SsDuVCtScvWPAVIO9R8L3u208FdSgounmmTVToFb";

var parse_AppKey = "BA9wgaFEzskoCnV9VOzdPqRoSsEhLH6Gb4CgOpig";

Parse.initialize(parse_AppKey, parse_JSKey);

//
++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++
++++++++++++++++


var serialport = require("serialport");

var SerialPort = serialport.SerialPort;


var serialPort = new SerialPort("/dev/cu.usbserial-A600CFS9", {

   baudrate: 9600,

   parser: serialport.parsers.readline("\n")

});
```

```
serialPort.on("open", function () {
    console.log('open');
    serialPort.on('data', function(data) {

        console.log("Lo que se recibe por serial es: " + data);
        var dataStr = "" + data

        if (dataStr.charAt(0) == 'C'){

            console.log("Se registra una caida")
            var regExp = /\(([^)]+)\)/;
            var matches = regExp.exec(dataStr);
            //console.log(matches[1]);

            var Aviso = Parse.Object.extend("Aviso");
            var aviso = new Parse.Object("Aviso");
            var ahora = new Date();
            aviso.set('fecha', ahora);

            var Paciente = Parse.Object.extend("Paciente");
            var queryPaciente = new Parse.Query(Paciente);
            queryPaciente.equalTo("idDispositivo", matches[1]+"");
            queryPaciente.find({
```

```
success: function(results) {

    var pac = results[0];
    var paciente = new Parse.Object("Paciente");
    paciente.id = pac.id;
    aviso.set('idPaciente', paciente);
    var xP = pac.get('ubicacionX')
    var yP = pac.get('ubicacionY')
    var zP = pac.get('ubicacionZ')

    var Habitacion = Parse.Object.extend("Habitacion");
    var queryHabitacion = new Parse.Query(Habitacion);
    queryHabitacion.equalTo("ubicacionX", xP);
    queryHabitacion.equalTo("ubicacionY", yP);
    queryHabitacion.equalTo("ubicacionZ", zP);
    queryHabitacion.find({
        success: function(results) {

            var hab = results[0];
            var habitacion = new Parse.Object("Habitacion");
            habitacion.id = hab.id;
            aviso.set('idHabitacion', habitacion);
```

```
                    var Enfermera = Parse.Object.extend("Enfermera");
                    var queryEnfermera = new Parse.Query(Enfermera);
                    queryEnfermera.equalTo("ubicacionX", xP);
                    queryEnfermera.equalTo("ubicacionY", yP);
                    queryEnfermera.equalTo("ubicacionZ", zP);
                    queryEnfermera.find({
                       success: function(results) {

                          if (results.length>0){
                             //console.log("Hay una enfermera en donde se cayó el
paciente")
                             var enf = results[0];
                             var enfermera = new Parse.Object("Enfermera");
                             enfermera.id = enf.id;
                             aviso.set('idEnfermera', enfermera);

                             aviso.save(null, {
                                success: function(aviso) {
                                   // Execute any logic that should take place after the
object is saved.
                                   console.log('Nuevo aviso creado con objectId: ' +
aviso.id);
                                },
                                error: function(aviso, error) {
```

```
                                    // Execute any logic that should take place if the save
fails.
                                    // error is a Parse.Error with an error code and
message.
                                    console.log('Falló al crear el nuevo aviso con código
de error: ' + error.message);
                                }
                            });
                        }
                        else{
                            //console.log("No hay enfemeras en donde se cayó el
paciente, buscando enfermeras que estén en el mismo piso")
                            var Enfermera = Parse.Object.extend("Enfermera");
                            var queryEnfermera = new Parse.Query(Enfermera);
                            queryEnfermera.equalTo("ubicacionZ", zP);
                            queryEnfermera.find({
                               success: function(results) {

                                var valorFormula = 0
                                var idEnfermera = ""
                                if (results.length>0){

                                    //console.log("Hay enfermeras en el piso en donde
se cayó el paciente")
```

```
                    for (var i = 0; i < results.length; i++) {
                        var enfermeraActual = results[i];
                        var xE = enfermeraActual.get('ubicacionX')
                        var yE = enfermeraActual.get('ubicacionY')
                        var zE = enfermeraActual.get('ubicacionZ')
                        if (i==0){
                            idEnfermera = enfermeraActual.id
                            valorFormula = Math.sqrt( Math.pow((xP-
xE),2) + Math.pow((yP-yE),2) )
                        }
                        else{
                            valorFormulaActual = Math.sqrt(
Math.pow((xP-xE),2) + Math.pow((yP-yE),2) )
                            if (valorFormulaActual<valorFormula){
                                idEnfermera = enfermeraActual.id
                                valorFormula = valorFormulaActual
                            }
                        }
                    }

                    var enfermera = new Parse.Object("Enfermera");
                    enfermera.id = idEnfermera;
                    aviso.set('idEnfermera', enfermera);
```

```
                                    aviso.save(null, {
                                        success: function(aviso) {
                                            // Execute any logic that should take place after
the object is saved.
                                            console.log('Nuevo aviso creado con objectId: '
+ aviso.id);
                                        },
                                        error: function(aviso, error) {
                                            // Execute any logic that should take place if the
save fails.
                                            // error is a Parse.Error with an error code and
message.
                                            console.log('Falló al crear el nuevo aviso con
código de error: ' + error.message);
                                        }
                                    });


                                }
                                else{
                                    //console.log("No hay enfermeras en el mismo piso,
aplicando formula para determinar la mas cercana")

                                    var Enfermera = Parse.Object.extend("Enfermera");
                                    var queryEnfermera = new Parse.Query(Enfermera);
```

```
                queryEnfermera.find({
                    success: function(results) {

                        var valorFormula = 0
                        var idEnfermera = ""
                        if (results.length>0){

                            //console.log("Probando con todas las
enfermeras")
                            for (var i = 0; i < results.length; i++) {
                                var enfermeraActual = results[i];
                                var xE =
enfermeraActual.get('ubicacionX')
                                var yE =
enfermeraActual.get('ubicacionY')
                                var zE =
enfermeraActual.get('ubicacionZ')
                                if (i==0){
                                    idEnfermera = enfermeraActual.id
                                    valorFormula = Math.sqrt(
Math.pow((xP-xE),2) + Math.pow((yP-yE),2) + Math.pow((zP-zE),2))
                                }
                                else{
                                    valorFormulaActual = Math.sqrt(
Math.pow((xP-xE),2) + Math.pow((yP-yE),2) + Math.pow((zP-zE),2))
```

```
            if (valorFormulaActual<valorFormula){
                idEnfermera = enfermeraActual.id
                valorFormula = valorFormulaActual
            }
        }
    }

    var enfermera = new
Parse.Object("Enfermera");
    enfermera.id = idEnfermera;
    aviso.set('idEnfermera', enfermera);

    aviso.save(null, {
        success: function(aviso) {
            // Execute any logic that should take
place after the object is saved.
            console.log('Nuevo aviso creado con
objectId: ' + aviso.id);
        },
        error: function(aviso, error) {
            // Execute any logic that should take
place if the save fails.
            // error is a Parse.Error with an error
code and message.
```

```
                                        console.log('Falló al crear el nuevo
aviso con código de error: ' + error.message);
                                    }
                                });

                            }
                            else{
                                console.log("No hay registros de enfermeras
")
                            }

                        },
                        error: function(error) {
                            alert("Error al buscar enfermeras: " + error.code
+ " " + error.message);
                        }
                    });

                }

            },
            error: function(error) {
                alert("Error al buscar enfermeras: " + error.code + " " +
error.message);
```

```
                                    }
                                });


                            }


                        },
                        error: function(error) {
                            alert("Error al buscar enfermeras: " + error.code + " " +
error.message);
                        }
                    });


                },
                error: function(error) {
                    alert("Error al buscar habitaciones: " + error.code + " " +
error.message);
                }
            });


        },
        error: function(error) {
            alert("Error al buscar paciente: " + error.code + " " + error.message);
        }
    });
```

```
}
else{
    console.log("Se registra una ubicación")
    if (dataStr.charAt(1) == 'P'){

        var regExp = /\(([^)]+)\)/;
        var matches = regExp.exec(dataStr);
        //console.log(matches[1]);
        //console.log("La ubicación es de un paciente")

        var Paciente = Parse.Object.extend("Paciente");
        var queryPaciente = new Parse.Query(Paciente);
        queryPaciente.equalTo("idDispositivo", matches[1]);
        queryPaciente.find({
            success: function(results) {

                var regExp = /\[([^)]+)\]/;
                var matches = regExp.exec(dataStr);
                //console.log("la ubicación es " + matches[1]);
                var arrayUbicacion = matches[1].split(',');

                var paciente = results[0];
```

```
                paciente.set("ubicacionX",Number(arrayUbicacion[0]))
                paciente.set("ubicacionY",Number(arrayUbicacion[1]))
                paciente.set("ubicacionZ",Number(arrayUbicacion[2]))


                paciente.save(null, {
                    success: function(paciente) {
                        // Execute any logic that should take place after the object is
saved.
                        console.log('Paciente actualizado con objectId: ' + paciente.id);
                    },
                    error: function(paciente, error) {
                        // Execute any logic that should take place if the save fails.
                        // error is a Parse.Error with an error code and message.
                        console.log('Falló al actualizar el paciente con código de error: '
+ error.message);
                    }
                });


            },
            error: function(error) {
                alert("Error: " + error.code + " " + error.message);
            }
        });
```

```
}
else{

    var regExp = /\(([^)]+)\)/;
    var matches = regExp.exec(dataStr);
    //console.log(matches[1]);
    //console.log("La ubicación es de una enfermera")

    var Enfermera = Parse.Object.extend("Enfermera");
    var queryEnfermera = new Parse.Query(Enfermera);
    queryEnfermera.equalTo("idDispositivo", matches[1]);
    queryEnfermera.find({
        success: function(results) {

            var regExp = /\[([^)]+)\]/;
            var matches = regExp.exec(dataStr);
            //console.log("la ubicación es " + matches[1]);
            var arrayUbicacion = matches[1].split(',');

            var enfermera = results[0];
            enfermera.set("ubicacionX",Number(arrayUbicacion[0]))
            enfermera.set("ubicacionY",Number(arrayUbicacion[1]))
            enfermera.set("ubicacionZ",Number(arrayUbicacion[2]))
```

```
                enfermera.save(null, {
                    success: function(enfermera) {
                        // Execute any logic that should take place after the object is
saved.
                        console.log('Enfermera actualizada con objectId: ' +
enfermera.id);
                    },
                    error: function(enfermera, error) {
                        // Execute any logic that should take place if the save fails.
                        // error is a Parse.Error with an error code and message.
                        console.log('Falló al actualizar la enfermera con código de error:
' + error.message);
                    }
                });


            },
            error: function(error) {
                alert("Error: " + error.code + " " + error.message);
                }
            });


        }
```

```
        }


    });

});
```

Anexo 3: Programación Arduino

```
bool flag = true;

int contador = 0;

void ubicacion ()

{ //INICIO VOID UBICACION

if ((contador == 500) && (flag == true)) {

//_____________________________________________________________//

// SIMULACION DE UBICACIONES PARA ENFERMERAS Y PACIENTES

//_____________________________________________________________//

int numEnfermera= random(1,2); // Actualizacion ubicacion enfermera "X"

// PARA IDENTIFICADOR ENFERMERA (N"X")

String Id = "N";

String IdEnfermera = Id+numEnfermera;

// PARA IDENTIFICADOR PACIENTE

String IdPaciente ="A";

// UBICACION ALEATORIA PARA ENFERMERA

int Ubi_enfermera_X = random(2);     // genera número aleatorio entre 0 y 2 para posición X de la enfermera 1

int Ubi_enfermera_Y = random(2);     // genera número aleatorio entre 0 y 2 para posición Y de la enfermera 1

int Ubi_enfermera_Z = random(1,2);     // genera número aleatorio entre 0 y 2 para posición Z de la enfermera 1

// UBICACION ALEATORIA PARA PACIENTE
```

```
int Ubi_paciente_X = random(2);   // genera número aleatorio entre 0 y 2 para posición X del paciente

int Ubi_paciente_Y = random(2);   // genera número aleatorio entre 0 y 2 para posición Y del paciente

int Ubi_paciente_Z = random(1,2);     // genera número aleatorio entre 0 y 2 para posición Z del paciente

// VISUALIZADOR DE UBICACION ENFERMERA 1 CON IDENTIFICADOR "N1" ===> UE(idDispositivoEnfermera)[ubicaciónX,ubicaciónY,ubicaciónZ]

String IdUE = "UE";

String parIzq = "(";

String parDer = ")";

String comillas = "," ;

String corcheteIzq = "[";

String corcheteDer = "]";

String IdUbicEnfermera = IdUE+parIzq+IdEnfermera+parDer+corcheteIzq+Ubi_enfermera_X
+comillas+Ubi_enfermera_Y+comillas+Ubi_enfermera_Z+corcheteDer;

Serial.println(IdUbicEnfermera);

// VISUALIZADOR DE UBICACION PACIENTE CON IDENTIFICADOR "A" ===> UP(idDispositivoPaciente)[ubicaciónX,ubicaciónY,ubicaciónZ]

String IdUP = "UP";

String IdUbicPaciente = IdUP+parIzq+IdPaciente+parDer+corcheteIzq+Ubi_paciente_X
+comillas+Ubi_paciente_Y+comillas+Ubi_paciente_Z+corcheteDer;

Serial.println(IdUbicPaciente);

flag = false;
```

```
contador = 0;

}

else{

  contador = contador + 1;

  flag = true;

}

  } // FIN VOID UBICACION

void setup() {

// INICIO DE COMUNICACION SERIAL

Serial.begin(9600);

delay(1000);

// INDICADOR ON/OFF

pinMode(6, OUTPUT); // Se declara pin 6 como salida para encender visualizador ON/OFF cuando se enciende el Dispositivo

analogWrite(6,10); // analogWrite(PIN,valorPWM)

}

void loop() {

   ubicacion();

 // ADQUIRIMOS LOS VALORES DEL ACELEROMETRO EN LOS EJES X,Y,Z EN LAS ENTRADAS ANALOGICAS A3,A4,A5

float G_x = (analogRead(A3)-386); //RESTAMOS VALOR SERIAL DE 386 PARA ENCERAR EJE-X

float G_y = (analogRead(A4)-388); //RESTAMOS VALOR SERIAL DE 388 PARA ENCERAR EJE-Y
```

```
float G_z = (analogRead(A5)-400); //RESTAMOS VALOR SERIAL DE 400 PARA ENCERAR EJE-Z

// TRANSFORMAMOS DATOS SERIALES A VALORES DE GRAVEDAD CON G = VALOR SERIAL DE 76

float Gx=G_x/76; // GRAVEDAD EJE X EN VALOR DE UNIDAD G

float Gy=G_y/76; // GRAVEDAD EJE Y EN VALOR DE UNIDAD G

float Gz=G_z/76; // GRAVEDAD EJE Z EN VALOR DE UNIDAD G

// ELEVAMOS AL CUADRADO LOS VALORES DE GRAVEDAD DE CADA EJE X,Y,Z

float G2x=pow(Gx,2); // VALOR AL CUADRADO DEL EJE X

float G2y=pow(Gy,2); // VALOR AL CUADRADO DEL EJE Y

float G2z=pow(Gz,2); // VALOR AL CUADRADO DEL EJE Z

// MODULO DE GRAVEDAD RESULTANTE DE LOS EJES X,Y,Z ===> G_resultante = RaizCuadrada ( EjeX_alCuadrado + EjeY_alCuadrado + EjeZ_alCuadrado )

float G_resultante= sqrt(G2z+G2y+G2x);

//Serial.println(G_resultante);

delay (100);

// DETECCION DE CAIDA

if  (G_resultante>2.3 ) // RANGO LIMITE DE ACTIVIDADES DIARIAS DEL ADULTO MAYOR

{

 //Serial.println("CAIDA");

 //Serial.println(G_resultante);

 Serial.println("C(A)"); // AVISO DE CAIDA ===> C(idDispositivoPaciente)
```

```
  delay(1000);

   } // FIN DEL IF (G_resultante>2.2 )

} // FIN DEL VOID LOOP
```

Anexo 4: Script de java para configuración notificación Push

```
Parse.Cloud.afterSave("Aviso", function(request) {

        // ---------------------------------- DEFINICION DE VARIABLES ----------------
------------------

        var paciente = request.object.get("idPaciente");
    var habitacion = request.object.get("idHabitacion");
    var enfermera = request.object.get("idEnfermera");

        var nombreEnfermera;
        var nombrePaciente;
        var nombreHabitacion;
    var iOSidEnfermera;
    var notificacionPush;

        // ---------------------------------- CODIFICACION EN CADENA ----------------
------------------

        var Enfermera = Parse.Object.extend("Enfermera");
        var queryEnfermera = new Parse.Query(Enfermera);

        // -- OBTIENE EL NOMBRE E ID DE IOS DE LA ENFERMERA---
```

```
        queryEnfermera.get(enfermera.id).then(function(objetoEnfermera) {
          nombreEnfermera = objetoEnfermera.get("nombres");
          iOSidEnfermera = objetoEnfermera.get("iOSid");
          var Habitacion = Parse.Object.extend("Habitacion");
          var queryHabitacion = new Parse.Query(Habitacion);
          return queryHabitacion.get(habitacion.id);

        // ---------- OBTIENE EL NOMBRE DE LA HABITACION---------
        }).then(function(objetoHabitacion){

          nombreHabitacion = objetoHabitacion.get("nombre");
          var Paciente = Parse.Object.extend("Paciente");
          var queryPaciente = new Parse.Query(Paciente);
          return queryPaciente.get(paciente.id);

        // ---------- OBTIENE EL NOMBRE DEL PACIENTE ----------
        }).then(function(objetoPaciente){

       nombrePaciente = objetoPaciente.get("nombres") + " " +
objetoPaciente.get("apellidos");
       notificacionPush = nombreEnfermera + ", " + nombrePaciente + " tuvo una
caída " + nombreHabitacion;

       var pushAdmin = new Parse.Query(Parse.Installation);
```

```
    pushAdmin.equalTo('esAdmin',true);


    Parse.Push.send({
      where: pushAdmin,
      data: { alert: notificacionPush, badge:"Increment", sound: "alert.caf", }
      }, {
      success: function() { console.log("Notificacion para admins enviada");
/*response.success(); */},
      error: function(error) { throw "Got an error " + error.code + " : " +
error.message; }
    });
    var pushEnfermera = new Parse.Query(Parse.Installation);
    pushEnfermera.equalTo('deviceToken',iOSidEnfermera);
    Parse.Push.send({
      where: pushEnfermera,
      data: { alert: notificacionPush, badge:"Increment", sound: "alert.caf", }
      }, {
      success: function() { console.log("Notificacion para enfermera enviada");
/*response.success(); */},
      error: function(error) { throw "Got an error " + error.code + " : " +
error.message; }
    });
     });
});
```

Anexo 5: Script para arranque automático del servidor

```
do shell script “/usr/local/bin/node
/Users/HugoSantiago/Desktop/DocsEnfermeria/cliente.js”
```

BIBLIOGRAFÍA

[1] Organización Mundial de la Salud, ´´Envejecimiento'', [Online], 2015, Disponible en: http://www.who.int/topics/ageing/es/.

[2] El Abrazo Mundial, ´´Campaña de la OMS por un envejecimiento activo´´, 2001, [Online], Disponible en: http://www.who.int/ageing/publications/alc_elmanual.pdf?ua=1.

[3] Organización Mundial de la Salud, ´´Cuidados Globales Amigables con los Mayores: Una Guía´´, 2005, [Online], Disponible en: http://www.who.int/ageing/AFCSpanishfinal.pdf?ua=1.

[4] Organización Mundial de la Salud, ''Día Internacional de las Personas Mayores'', 2002, [Online], Disponible en: http://www.who.int/ageing/events/idop_rationale/es/.

[5] Organización Mundial de la Salud, ''Envejecimiento y ciclo de vida'', 2002, [Online], Disponible en: http://www.who.int/ageing/about/facts/es/.

[6] B. Villacís, ´´En el Ecuador hay de 1´229.089 adultos mayores, 28 % se siente desamparado´´, 2011, [Online], Disponible: http://www.inec.gob.ec/inec/index.php?option=com_content&view=article&id=360%3Aen-el-ecuador-hay-1229089-adultos-mayores-28-se-siente-desamparado&catid=68%3Aboletines&Itemid=51&lang=es.

[7] Instituto Nacional de Estadística y Censos, INEC, '' Salud, Bienestar y envejecimiento'', 2009, [Online], Disponible en: http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wpcontent/descargas/Presentaciones/estadisticas_adulto_mayor.pdf

[8] Ministerio de Inclusión Económica y Social, ´´Agenda de igualdad para Adultos mayores´´, 2013, [Online], Disponible en: http://www.inclusion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/Agendas_ADULTOS.pdf

[9] Organización Mundial de la Salud, ´´Caídas: Datos y Cifras´´, 2012, [Online], Disponible en: http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs344/es/

[10] ABC.es Familia, ´´Las caídas en personas mayores producen más muertes muertos que los accidentes de tráfico´´, 2014, [Online], Disponible en: http://www.abc.es/familia-mayores/20140323/abci-caidas-personas-mayores-201403181822.html

[11] Dr. P. Marín, ‘’ Caídas en los Ancianos: Causas, Consecuencias y Prevención’’, Universidad Católica de Chile, 1999, [Online], Disponible en: http://escuela.med.puc.cl/publ/boletin/osteoporosis/CaidasAncianos.html

[12] Dra. M. Queralt, ‘’ Perdida de equilibrio y caídas de personas mayores’’, Canal salud, [Online], Disponible en: http://www.mapfre.es/salud/es/cinformativo/causas-perdidas-equilibrio-ancianos.shtml

[13] ZA da Silva, A. Gómez, ‘’Morbilidad, factores de riesgo y consecuencias de las caídas en los ancianos’’, *Elsevier* vol. 30, Mayo de 2008, Departamento de Fisioterapia, Universidad de Murcia, [Online], Disponible en: http://www.elsevier.es/es-revista-fisioterapia-146-articulo-morbilidad-factores-riesgo-consecuencias-las-13121247

[14] L. Alvarado, C. Astudillo, J. Sánchez, ‘’Prevalencia de caídas en adultos mayores y factores asociados en la parroquia Sidcay y Cuenca’’, Tesis de Grado, Universidad de Cuenca, 2013, [Online], Disponible en: http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/6729/1/TESIS.pdf

[15] R. Fitzgerald, H. Kaufer, A. Malkani, ‘’Fractura de cadera intracapsular’’, *Ortopedia,* Ed. Panamericana, Tomo 1, 2002, pp. 393 [Online], Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=z0duOA9ZzBQC&printsec=frontcover&dq=Ortopedia,+Volumen+1&hl=es&sa=X&ved=0CBoQ6AEwAGoVChMI_p6OtcXWyAIVAioeCh2jiA8e#v=onepage&q=Ortopedia%2C%20Volumen%201&f=false.

[16] Dr. J. Calleja, Dra. M. Lozano, Dra. A. Muñoz, Dra. A. Olivares, Dra. Y. Osio, ‘’Prevención y atención de las caídas en la Persona Adulta Mayor’’, Guía de consulta para el medico de primer nivel de atención, 2013, [Online], Disponible en: http://www.cenaprece.salud.gob.mx/programas/interior/adulto/descargas/pdf/Guia_Caidas_2aa.pdf

[17] Dra. F. Giber, ‘’ Manual Para la Prevención de caídas en las Personas Mayores, Consejos para mejorar la calidad de vida’’, *Ed. NED*, Primera edición, 2014, [Online], Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=IbMeBQAAQBAJ&pg=PA42&dq=manual+para+prevencion+de+caidas+en+el+adulto+mayor&hl=es&sa=X&ved=0CBoQ6AEwAGoVChMIzMnqluXWyAIVgiQeCh1tzg8z#v=onepage&q=manual%20para%20prevencion%20de%20caidas%20en%20el%20adulto%20mayor&f=false

[18] J. Barroso, J. Cabero y R. Romero, ´´Las personas mayores y las nuevas tecnologías: una acción en la sociedad de la información´´, Universidad de Sevilla, [Online], Disponible en: http://tecnologiaedu.us.es/cuestionario/bibliovir/mayoresynntt.pdf

[19] J. Jerene, N. Tam, Y. Donald, Z. Steven, J. Bisarra y A. Dentino, ‘’A Fall Detection Study on the Sensors Placement Location and a Rule-Based Multi-Thresholds Algorithm Using Both Accelerometer and Giroscopes’’, IEEE International Conference on Fuzzy Systems, 2011.

[20] T. Lina, C. Wei, S. Quanjun y Ge Yunjian, ‘’A research on automatic human fall detection method based on wearable inertial force information acquisition system’’, IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, 2009.

[21] Li Yanjun, Chen Gan, Shen Yueyun, Zhu Yiahu y Cheng Zhen, ‘’Accelerometer-Based Fall Detection Sensor System for the Elderly’’, Proceedings of IEEE, 2012.

[22] A. Fernandez, M. Sokolova, J. Serrano, C. Castillo, V. Moreno y R. Castineira, ‘’HOLDS: Efficient Fall Detection through Accelerometers and Computer Vision’’, Eighth International Conference on Intelligent Environments, 2012.

[23] A. Jeon, J. KimI. Kim, J. Jung, S. Ye, J. Ro, S. Yoon, J. Son, B. Kim, B. Shim y G. Jeon, ‘’Implementation of the Personal Emergency Response System using a 3-axial Accelerometer’’, 6th International Special Topic Conference on ITAB, Tokyo, 2007.

[24] Ning Jia, ‘’ Detecting Human Falls with a 3-Axis Digital Accelerometer’’, 2009, Analog Dialogue, [Online], Disponible en: www. Analog.com.

[25] Ravi Narasimhan, ‘’Skin-Contact Sensor for Automatic Fall Detection’’, 34th Annual International Conference of the IEEE EMBS San Diego, California USA, 2012.

[26] M. Petar, M. Roman, J. Marko, H. Hrvoje, L. Aimé y V. Patrizia, ‘’System for monitoring and fall detection of patients using mobile 3-axis accelerometers sensors’’, Universidad de Zagred y Universidad de Salento,

[27] Nordic Semiconductor, ‘’nRF905, Single chip 433/868/915MHz Transceiver’’, [Online], Disponible en: http://www.nordicsemi.com/eng/Products/Sub-1-GHz-RF/nRF905

[28] H. Zaw, E. Simon y C. Kuanf, ‘’A Monocular View invariant Fall Detection System for the Elderly in Assisted Home Environments’’, Seventh International Conference on Intelligent Environments, 2011.

[29] N. Viet, Le Minh, Do Anh, D. Hoang, T. Toan y T. Duc, ‘’An Efficient Camera-based Surveillance for Fall Detection of Elderly People’’, IEEE 9th Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA), 2014.

[30] Yu Miao, Yu Yuanzhang, R. Adel, R. Syed, W. Liang y C. Jonathon, ‘’ An Online One Class Support Vector Machine Based Person-Specific Fall Detection System for Monitoring an Elderly Individual in a Room Environment’’, IEEE journal of biomedical and health informatics, vol. 17, 2013.

[31] O. Koray, M. Anvith, C. Mauricio y V. Senem, ‘’ Automatic Fall Detection and Activity Classification by a Wearable Embedded Smart Camera’’, IEEE journal on emerging and selected topics in circuits and systems, vol. 3, 2013.

[32] A. Edouard, M. Franck, A. Alain, R. Arnauld y M. Jean, ‘’ Fall Detection With Multiple Cameras: An Occlusion-Resistant Method Based on 3-D Silhouette Vertical Distribution’’, IEEE transactions on information technology in biomedicine, vol. 15, 2011.

[33] V. Vaidehi, K. Ganapathy, K. Mohan, A. Aldrin, K Nirmal, ‘’ Video Based Automatic Fall Detection in Indoor Environment”, IEEE-International Conference on Recent Trends in Information Technology, ICRTIT, 2011.

[34] C. Chin, Tan Wooi, C. Yoong, N. Mohamed y K. Ettikan, ‘’ Visual based Fall Detection with Reduced Complexity Horprasert Segmentation using Superpixel’’, Proceedings of 2015 IEEE 12th International Conference on Networking, Sensing and Control, Howard Civil Service International House, Taipei, Taiwan, 2015.

[35] E. Stone, M. Skubic, ‘’Fall Detection in Homes of Older Adults Using the Microsoft Kinect’’, IEEE, Biomedical and Health Informatics, 2015.

[36] M. Rasheed, N. Javaid, T. Alghamdi, S. Mukhtar, U. Qasim, Z. Ali Khan y M. Baidar‘’Evaluation of Human Activity Recognition and Fall Detection Using Android Phone”, IEEE 29th International Conference on Advanced Information Networking and Applications,2015.

[37] Lih-Jen Kau, Chih-Sheng Chen.‘’A Smart Phone-Based Pocket Fall Accident Detectiong, Positioning and Rescue System”, IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, 2014.

[38] B. Aguiar, T. Rocha, J. Silva e Inês Sousa, ‘’Accelerometer-Based Fall Detection for Smartphones”, IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications (MEMEA), 2014.

[39] F. Büsching, H. Post, Matthias, L. Wolf, ‘’Fall Detection on the Road”, IEEE 15th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services, 2013.

[40] L. Valcourt, Y. DeLaHoz, y M. Labrador, ‘’Human Fall Detection with Smartphones”, IEEE Latin-America Conference on Comunications (LATINCOM), 2014.

[41] HETP, “Grove Sensor acelerómetro analógico ADXL335”, [online], Disponible en: https://hetpro-store.com/grove-sensor-acelerometro-analogico-adxl335/

[42] Analog Deices, “ADXL 335” [online], Disponible en: https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/SMD/adxl335.pdf

[43] Arduino, “Arduino FIO” [online], Disponible en: https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardFio

[44] DIGI, “Xbee Family Features Comparison” [online], Disponible en: http://www.digi.com/pdf/chart_xbee_rf_features.pdf

[45] Sparkfun, “Xbee ZB” [online]. Disponible en: https://www.sparkfun.com/products/10414

[46] Sparkfun, “Polymer Lithium Ion Battery-2000mAh” [online], Disponible en: https://www.sparkfun.com/products/8483

[47] Mercado Libre, “Pechera Chest Mount Gopro Montura Para Pecho Camara Go Pro” [online], Disponible en: http://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-531829040-pechera-chest-mount-gopro-montura-para-pecho-camara-go-pro-_JM