




**APLICACIÓN ANDROID BASADA EN LOCALIZACIÓN PARA LA ASISTENCIA
Y GUÍA DE ADULTOS MAYORES**

YENI PAOLA TRUJILLO LAMBERT

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES**

Bucaramanga

2017



**APLICACIÓN ANDROID BASADA EN LOCALIZACIÓN PARA LA ASISTENCIA
Y GUÍA DE ADULTOS MAYORES**

YENI PAOLA TRUJILLO LAMBERT

**Trabajo presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniera Electrónica**

Directora:

**Edith Pulido Herrera Ph.D.
Doctora en Métodos Informáticos Avanzados**

Co-director:

**Daniel Alfonso Sierra Bueno Ph.D,
Doctor en Ingeniería Electrónica**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES**

Bucaramanga

2017

DEDICATORIA

A Dios, a mis padres y a mis hermanos que me apoyaron hasta culminar esta meta.

Yeni Paola Trujillo Lambert.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la fortaleza para seguir durante todo este camino.

A Mis abuelos Matilde Álvarez y Joseph Lambert, a mis padres Nancy Lambert y Edilberto Trujillo, a mis Hermanos Jhonatan Trujillo y Anderson Machado y a Diego Sarmiento, por su constante apoyo y amor.

A la profesora Edith Pulido Herrera, al profesor Daniel Sierra, a Juan Camilo Bravo, a Roberth Alvarez y a Clara Cañon por su ayuda y colaboración en el desarrollo de este proyecto.

Al Ingeniero Jose Silva por compartirme sus conocimientos en Android Studio.

A mi familia, a mis amigas y amigos por su compañía.

Yeni Paola Trujillo Lambert.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	14
1. MARCO TEÓRICO	17
1.1. SISTEMA OPERATIVO ANDROID.....	17
1.2. DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE DEL LG G3 <i>BEAT</i>	19
1.3. SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO PARA PERSONAS IMPLEMENTADOS EN TELÉFONOS INTELIGENTES	20
2. ESTADO DEL ARTE.....	22
2.1. ALGORITMOS IMPLEMENTADOS EN TELÉFONOS INTELIGENTES PARA ESTIMAR LA POSICIÓN DE UNA PERSONA	22
2.2. SISTEMAS DE MONITOREO PARA ADULTOS MAYORES	24
3. COMPONENTES DEL SISTEMA GENERAL DE LA GUÍA PARA EL ADULTO MAYOR.....	26
3.1. ADQUISICIÓN DE DATOS DE LOS SENSORES INCORPORADOS EN EL TELÉFONO INTELIGENTE	27
3.1.1. Principales funciones del acelerómetro y el magnetómetro.....	27
3.1.2. Almacenamiento de la información offline.....	27
3.2. IMPLEMENTACIÓN DEL ALGORITMO PDR MEJORADO.....	28
3.2.1. Mapas offline.....	31
3.3. DESCRIPCIÓN DE LA GUÍA PARA EL ADULTO MAYOR	32
3.3.1. Módulo para el adulto mayor.....	33
4. DISEÑO DE LA INTERFAZ PARA LA GUÍA.....	34

4.1. ESTRUCTURA DE LA APLICACIÓN	34
4.2. FUNCIONAMIENTO DE LA GUÍA PARA EL ADULTO MAYOR.....	36
5. EXPERIMENTOS	38
5.1. GUÍA Y SISTEMA DE ALERTA USANDO EL GPS	39
5.2. GUÍA Y SISTEMA DE ALERTA USANDO EL PDR MEJORADO.....	43
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	46
6.1. LIMITACIONES.....	47
6.2. LECCIONES APRENDIDAS.....	47
7. CONCLUSIONES	49
8. TRABAJO FUTURO	51
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	52
BIBLIOGRAFIA.....	58
ANEXOS	64

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Estructura general del sistema	26
Figura 2. Descripción del Algoritmo PDR.....	28
Figura 3. Ángulos de Euler	31
Figura 4. Módulo del usuario de la app para el usuario (Adulto Mayor).....	33
Figura 5. Diagrama de clases para la guía con GPS.....	35
Figura 6. Diagrama de clases para la guía con PDR mejorado	35
Figura 7. Diagrama de secuencia	36
Figura 8. Pantalla donde el adulto mayor puede seleccionar un lugar.....	36
Figura 9. Pantalla que ofrece la guía para el adulto mayor.....	37
Figura 10. Lugares donde se realizaron las pruebas	38
Figura 11. Notificación de los eventos del adulto mayor	39
Figura 12. Ruta desde el CEIAM hasta el CENTIC, edificios ubicados en el campus de la UIS.	40
Figura 13. Guía GPS dentro del campus de la UIS	40
Figura 14. Señal del GPS obtenida en una caminata de manera offline.....	41
Figura 15. Guía del GPS en un vecindario	42
Figura 16. Prueba de entrada y salida de la zona segura.....	43
Figura 17. Resultado de las rutas obtenidas por el PDR en Matlab.....	44
Figura 18. Ruta obtenida usando el GPS contra el PDR mejorado	45

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Características de los sensores en el LG G3 <i>beat</i>	20
Tabla 2. Resumen de trabajos relacionados basadis en PDR usando teléfonos inteligentes.....	25
Tabla 3. Resultados del sistema de zona segura usando el GPS	42

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A – Programación en Android Studio 3.1.	63

RESUMEN

TÍTULO: APLICACIÓN ANDROID BASADA EN LOCALIZACIÓN PARA LA ASISTENCIA Y GUÍA DE ADULTOS MAYORES *

AUTORA: YENI PAOLA TRUJILLO LAMBERT **.

Palabras Claves: *Smartphone* (Teléfono inteligente), sensores inerciales, estimación de la navegación extendido a personas (PDR), sistema de posicionamiento global (GPS).

Descripción:

En este trabajo se desarrolla una aplicación móvil para localizar y guiar a adultos mayores en ambientes exteriores basado en la opinión de ellos. La aplicación establece una línea de comunicación, mediante el envío de mensajes de texto, notificando la localización actual del adulto mayor a su cuidador e informándole cuando la persona a su cargo: alerte a la aplicación que se siente perdida, salga de la zona segura o haya llegado al destino seleccionado. La guía se lleva a cabo utilizando instrucciones de voz mediante el uso de un *Smartphone* (teléfono inteligente) LG G3 *beat*, equipado con un receptor de posicionamiento global GPS (*Global Position System*), un acelerómetro y un magnetómetro. Adicionalmente, se utiliza el mapa proporcionado por Google para obtener información de los alrededores y definir la zona segura para el adulto mayor. El diseño de la aplicación se llevó a cabo teniendo en cuenta que los sistemas de localización basados únicamente en GPS no pueden detectar pequeños cambios en la posición de las personas, a diferencia de los sistemas de localización que combinan el GPS con el PDR, los cuales dan como resultado una localización y guía más precisa. Sin embargo, la implementación de esta metodología en teléfonos inteligentes necesita una corrección de los parámetros requeridos para el funcionamiento del algoritmo PDR (*Pedestrian Dead Reckoning*), debido a la precisión de los sensores integrados en el dispositivo y la variabilidad en la posición del teléfono inteligente (mano, cintura, bolso entre otros). Los resultados obtenidos de la implementación presentan una tasa de éxito del 92% en las instrucciones ofrecidas a los usuarios en la guía usando el PDR mejorado y un 40% usando únicamente el receptor del GPS.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Directora: Edith Pulido Herrera, Ph.D.

ABSTRACT

TITLE: APLICACIÓN ANDROID BASADA EN LOCALIZACIÓN PARA LA ASISTENCIA Y GUÍA DE ADULTOS MAYORES*

AUTHOR: YENI PAOLA TRUJILLO LAMEBRT **

Key words: Smartphone, Inertial Sensors, Pedestrian Dead Reckoning (PDR), Global Positioning System (GPS).

Description:

In this work, a mobile application is developed to locate and guide older adults in outdoor environments based on their opinion. The application establishes a line of communication, by sending text messages, notifying the current location of the older adult to his caretaker, informing him when the elderly in charge: alert the application that he feels lost, leave the safe zone or Has reached the selected destination. The guide is conducted by voice instructions using a LG G3 beat Smartphone, equipped with a global positioning receiver (GPS), an accelerometer and a magnetometer. In addition, the map provided by Google is used to obtain information about the neighborhood and define the safe zone for the elderly. The design of the application was carried out taking into account that GPS-based localization systems can not detect small changes in people's position, unlike GPS-PDR localization systems which give As a result a more precise location and guide. However, the implementation of this methodology in smartphones needs a correction of the parameters required for the operation of the algorithm ("Pedestrian Dead Reckoning") PDR, due to the precision of the integrated sensors in the device and the variability in the position of the Smartphone (hand, waist, bag among others). The results obtained from the implementation present a success rate of 92% in the instructions offered to the users in the guide using the improved PDR and 40% using only the GPS receiver.

* Degree work.

** Physico-Mechanical Engineering Faculty. School of Electrical Engineering. Supervisor: Edith Pulido Herrera, Ph.D

INTRODUCCIÓN

En la última década, los teléfonos inteligentes (*smartphones*) se convirtieron en una herramienta adecuada para la localización de personas durante sus actividades cotidianas, debido principalmente al aumento de las capacidades computacionales, la incorporación del sistema de posicionamiento global GPS (*Global Position System*) y de sensores inerciales. Lo anterior, ha facilitado el desarrollo de aplicaciones basadas en localización, ya que permite la implementación de algoritmos como la navegación por estima para personas PDR (*Pedestrian Dead Reckoning*) y mapas de datos de alta resolución.

Estudios recientes [1,2] muestran que la precisión del PDR implementado en teléfonos inteligentes con sensores de movimiento de bajo costo se considera buena, teniendo en cuenta que tiene un error promedio en la posición de 1,7% al caminar una distancia 270m [1]. Sin embargo, los estudios resaltan que si el teléfono inteligente no tiene una posición fija en el cuerpo del usuario, determinar los parámetros del PDR y por consiguiente la posición de la persona puede ser más complejo.

El uso de teléfonos inteligentes en la localización de personas, ha fomentado la investigación y el desarrollo de aplicaciones móviles que mejoran la calidad de vida de las personas mayores, permitiéndoles estar seguros en momentos de poca lucidez. Considerando, que entre el 5% y el 8% de la población mayor de 60 años puede padecer demencia, siendo la enfermedad del Alzheimer (EA) la forma más común de demencia según la Organización Mundial de la Salud [3]. La EA afecta a alrededor de 47,5 millones de personas en todo el mundo, de las cuales, el 58% viven en países de ingresos bajos y medios.

Estudios sobre la EA [3] indican que las personas que padecen esta enfermedad tienen un trastorno degenerativo. Éste afecta las partes del cerebro que controlan el pensamiento, la memoria y el lenguaje; afectando de manera considerable el desarrollo de actividades de la vida cotidiana. Por ello, han surgido en el mercado aplicaciones en teléfonos inteligentes [4,5,6,7,8] para apoyar a los pacientes con la EA. Se evidenció que dichas aplicaciones no ofrecen servicios de guía en caminatas para poblaciones con necesidades particulares, como es el caso de adultos mayores con demencia. Caso contrario a las aplicaciones desarrolladas para usuarios sanos [9].

Considerando que no hay aplicaciones comerciales de guía para personas mayores, en este documento se planteó como objetivo general “*desarrollar e implementar una aplicación móvil para dispositivos Android que preste un servicio de localización y guía offline para la asistencia de adultos mayores dentro de una zona segura*”. De igual manera, se establecieron los objetivos específicos de este proyecto los cuales se presentan a continuación:

- Implementar en *Android Studio* la lectura de los datos que se obtienen del GPS y sensores inerciales incorporados en el *smartphone*.
- Implementar un método que permita definir una zona segura basada en la información del adulto mayor.
- Implementar y validar un algoritmo desarrollado en el grupo de investigación CEMOS, para la identificación de los parámetros de la marcha del adulto mayor en un *smartphone*.
- Implementar y validar el funcionamiento de la guía offline que permita guiar con audio o imágenes al adulto mayor, cuando él/ella se sienta perdido y esté en condiciones de seguir instrucciones

Para el desarrollo del proyecto se utilizó un teléfono inteligente de gama media LG G3 *beat*, en el cual se implementó un algoritmo PDR combinado con la información

obtenida del mapa suministrado por Google. Los datos obtenidos con esta técnica son usados para mejorar las características del sistema de posicionamiento y de esa manera mejorar la guía, permitiendo así, detectar cambios con mayor exactitud que los sistemas de posicionamiento basados únicamente en el GPS. Resaltando que el prototipo de la aplicación es útil tanto para la localización y guía, como para la prevención de situaciones que puedan poner en riesgo la seguridad del adulto mayor.

La aplicación considera dos escenarios para ofrecer la guía mediante instrucciones de voz:

- En el primer escenario el adulto mayor se siente perdido y solicita la guía al sistema.
- En el segundo escenario el adulto mayor abandona la zona segura.

EL presente proyecto tiene la siguiente estructura: en el capítulo 1 se presenta los conceptos teóricos requeridos para el desarrollo del proyecto. El capítulo 2 expone la revisión del estado del arte en la que se encuentra involucrada el proyecto. Los capítulos 3 y 4 presentan el desarrollo del prototipo de la aplicación exponiendo los componentes y desarrollos puntuales del mismo. En los capítulos 5, 6 y 7 se presenta las pruebas efectuadas del prototipo los resultados obtenidos y las conclusiones finales del proyecto.

1. MARCO TEÓRICO

Android es el sistema operativo más popular para dispositivos móviles [10], es un sistema libre y gratuito con una comunidad amplia de desarrolladores. Este capítulo expone los conceptos básicos sobre el sistema operativo Android y los sistemas de posicionamiento para personas. Adicionalmente, se presenta las especificaciones técnicas del teléfono inteligente implementado.

1.1. SISTEMA OPERATIVO ANDROID

Android es un sistema operativo y una plataforma de software libre desarrollada por Google, basado en un kernel de Linux lo que les da acceso a recursos como los controladores de pantallas memorias *flash* y cámaras. Además, Android permite programar en un entorno de trabajo (*framework*) de Java, y aplicaciones orientadas a objetos. Android dispone de un kit de desarrollo de software (*software development kit*) SDK completo con un depurador y entorno de desarrollo integrado (*Integrated Development Environment*) IDE que permite el autocompletado avanzado de código, herramientas de reestructura y análisis de código [11].

Android, al igual que los teléfonos inteligentes ha evolucionado rápidamente de la versión 1.0 *Apple pie* hasta la *Nougat* 7.1 mejorando en cada versión las animaciones, el uso de la batería, entre otras características que permiten un mejor desempeño de las diferentes aplicaciones [12].

1.1.1. Arquitectura Android. La arquitectura que mantiene una aplicación Android se encuentra conformada por los siguientes elementos:

Administrador de recursos (*ResourceManager*): proporciona acceso a recursos como gráficos o cadenas de textos [13].

Administrador de notificaciones (*NotificationManager*): permite mostrar alarmas personalizadas en la barra de estado [13].

Administrador de actividades (*ActivityManager*): gestiona el ciclo de vida de cada aplicación de Android, se crea cuando la aplicación se ejecuta y permanece hasta que la aplicación deja de funcionar o el sistema necesita memoria para otras aplicaciones [13].

1.1.2. Componentes de una aplicación Android. Los componentes principales de una aplicación desarrollada en Android Studio son:

Actividades (*Activity*): Componente principal encargado de mostrar al usuario la interfaz gráfica, es decir, el medio de comunicación entre la aplicación y el usuario [13].

Layouts: Definen elementos (botones, textos, entre otros) dentro de ficheros .xml, que se ejecutan en las actividades que los heredan [13].

Provedores (*Provider*): Permiten acceder a la información externa que necesita la aplicación para funcionar y se declara dentro del archivo *AndroidManifest* [13].

Intents: Elementos básicos de comunicación entre actividades y clases que permiten, iniciar un servicio u otra interfaz [13].

Clases: Archivo en el cual se declaran las actividades, atributos y el constructor, que permite acceder a todos los métodos incluidos en ella [13].

Servicios (*Service*): Son componentes sin interfaces gráficas que se ejecutan en segundo plano [13].

SensorManager: Clase que permite implementar objetos e interfaces que monitorizan la actualización de datos y cambios en los sensores incorporados en los teléfonos inteligentes [13].

LocationManager: Clase que permite implementar objetos e interfaces que monitorizan la actualización de datos y cambios del receptor del GPS incorporado en los teléfonos inteligentes [13].

Al finalizar la aplicación el desarrollador puede generar un *Android Package (APK)*, el cual es un fichero que contiene el código de la aplicación. Posteriormente, podrá ser descargada, instalada y ejecutada en un teléfono inteligente.

1.2. DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE DEL LG G3 BEAT.

El prototipo de la aplicación móvil para la asistencia y guía de adultos mayores presentado en este proyecto, hace uso de un teléfono inteligente LG G3 beat, el cual cuenta con: una versión de Android 5.0.2, un procesador Qualcomm Snapdragon de 1,2 GHz Quad-Core de cuatro núcleos, 8GB de memoria interna y 1GB de memoria RAM. [14]

Las características de los sensores de movimientos integrados en este dispositivo son presentadas en la Tabla 1; además, se presenta las características que tiene el sistema de posicionamiento (GPS) y la batería.

Tabla 1. Características de los sensores en el LG G3 beat

Sensores	Ejes	Frecuencia de muestreo [Hz]	Unidad de medida
Acelerómetro	3 (x,y,z) incluye la fuerza de la gravedad	100	[m/s ²]
Magnetómetro	3 (x,y,z)	100	[uT]

La frecuencia de muestreo con la que se trabaja en este proyecto para la adquisición de datos del magnetómetro y el acelerómetro es de 30 Hz, debido a que esta es la frecuencia máxima con la que se puede determinar los ángulos de Euler. Este último es un sistema de referencia de ejes ortogonales, normalmente móvil respecto a otro sistema de referencia de ejes ortogonales normalmente fijos.

El GPS integrado en el dispositivo cuenta con soporte A-GPS y GLONASS el cual puede ser muestreado a una frecuencia máxima de 1 [Hz]. La batería tiene una capacidad de 2540 [mAh] y es de tipo Li-Po

1.3. SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO PARA PERSONAS IMPLEMENTADOS EN TELÉFONOS INTELIGENTES

Los sistemas de localización en exteriores determinan la posición de una persona u objeto con un error de unos pocos metros (5 a 20 m), permitiendo el desarrollo de aplicaciones móviles relacionadas con la monitorización de adultos mayores. No obstante, se deben considerar las limitaciones y requisitos que poseen los principales sistemas de posicionamiento en exteriores para poder obtener un buen funcionamiento de los mismos; dichas consideraciones serán descritas a continuación:

1.3.1. Sistema de posicionamiento global GPS. El GPS localiza a una persona u objeto en tres dimensiones (latitud, longitud y altitud), mediante los datos recibidos

de al menos tres satélites de los veinticuatro que componen el sistema [15]. La localización se realiza mediante una triangulación, la cual hace referencia al cálculo de la distancia de un punto terrestre a cuatro o más satélites con posición perfectamente conocida, que se lleva a cabo midiendo el tiempo que tarda en llegar la señal del satélite al dispositivo receptor.

A pesar de la buena precisión que ofrece el GPS (5 a 20m) [16], el inconveniente que el sistema posicionamiento presenta al usarse en exteriores se da cuando la señal del satélite se ve atenuada por edificaciones y arboles impidiendo la línea de visión directa entre el receptor y la constelación de satélites del GPS.

1.3.2. Sistemas de posicionamiento basados en sensores integrados en el teléfono inteligente. El GPS en áreas urbanizadas con alta densidad de edificios y arboles está expuesto a interferencias que puede generar pérdida de la señal [17]. Considerando lo anterior, diferentes estudios presentados en el capítulo 2 buscan mejorar o complementar el sistema de posicionamiento global, siendo los teléfonos inteligentes un dispositivo que permite a los usuarios recuperar y calcular su posición cuando el receptor del GPS incorporado en ellos pierde la señal. La ubicación es calculada por medio de la implementación de algoritmos como el PDR el cual se basa en la información de los sensores inerciales para identificar los parámetros característicos de la marcha de una persona.

2. ESTADO DEL ARTE

Los estudios enumerados en la Tabla 2 proponen métodos basados en la navegación por estima para personas (PDR), con la finalidad de localizar y orientar a los usuarios mediante *smartphones (teléfonos inteligentes)*. Dichos métodos tienen en común el uso de sensores inerciales y el sistema de posicionamiento global (GPS) integrados en los teléfonos inteligentes. Motivo por el cual, en este apartado se presenta un resumen de los principales algoritmos implementados en teléfonos inteligentes para estimar la posición de una persona, los cuales son complementados con técnicas de corrección de errores que permiten obtener una mejor orientación, parámetro importante para determinar la posición de la persona. Adicionalmente, se presenta los sistemas de monitoreo para adultos mayores usados en teléfonos inteligentes.

2.1. ALGORITMOS IMPLEMENTADOS EN TELÉFONOS INTELIGENTES PARA ESTIMAR LA POSICIÓN DE UNA PERSONA

Las diferentes metodologías desarrolladas para estimar la posición de una persona con teléfonos inteligentes se expondrán a continuación:

Qian y otros [18] presentan un sistema de localización basado en el algoritmo PDR, que estima y actualiza la posición del usuario en cada paso, partiendo de la posición inicial que se ha obtenido a través del sistema global de navegación por satélite (GNSS) o suministrada por el usuario. Además, utilizaron un filtro de partículas para emitir la localización final de la persona, mediante un cálculo iterativo de los principales parámetros del PDR (longitud del paso y orientación).

Hsu y otros [19] propone un servicio de localización para personas en zonas urbanas. Éste integra al PDR, un mapa 3D que es complementado con datos del GPS incorporado en el teléfono inteligente. De esta manera se da solución a las atenuaciones y los bloqueos de señales que se dan en el GPS al no tener una línea de visión directa con los satélites.

Xie y otros [20] presentan un nuevo sistema de localización en interiores llamado MaLoc. Ellos utilizan datos de sensores magnéticos e inerciales en teléfonos inteligentes, usando un filtro de partículas aumentado. La característica más importante de MaLoc es que no impone ninguna restricción en la orientación del teléfono inteligente, permitiendo que los usuarios sean libres de llevar sus teléfonos en el lugar que deseen, al momento de determinar la localización. Sin embargo, si existen perturbaciones magnéticas, las partículas del filtro que están cerca del estado verdadero pueden ser eliminadas durante la fase de remuestreo.

El sistema de localización en interiores presentado por Huang y otros [21], implementa una técnica que combina el PDR y la calibración magnética con la cual se extraen la información de los parámetros del usuarios, con el objetivo de estimar la longitud de la zancada y calcular la orientación.

Kang y otros [22] proponen un método práctico de localización en interiores, para manejar movimientos humanos complicados y sensores inerciales ruidosos en teléfonos inteligentes. El objetivo de este trabajo es proporcionar ubicaciones exactas en interiores mediante el cálculo de la orientación mejorada, considerando que éste es el parámetro más importante para el algoritmo PDR. Ellos se enfocan en reducir los errores producidos por el cambio de la dirección mientras la persona camina.

Park y otros [23], proponen un algoritmo para mejorar la precisión del PDR mediante el uso de teléfonos inteligentes con un factor de ponderación. El estimador de

movimiento puede dar factores de ponderación de los datos del acelerómetro y el giroscopio.

A diferencia de los autores anteriores, Pai y otros [24], presentan un sistema que no utiliza ni el GPS, ni un mecanismo de conexión de dispositivos electrónicos de forma inalámbrica (WIFI). Permitiendo que su enfoque sea más eficiente en términos de consumo de batería. Ellos han utilizado la estimación de la longitud del paso y la información de mapas como modelo de entrada para el filtro de partículas, al momento de determinar la orientación y la posición del usuario.

2.2. SISTEMAS DE MONITOREO PARA ADULTOS MAYORES

Los trabajos realizados por Sposaro [25], Moreno [26], Boer [27] y otros, presentan sistemas de monitoreo para adultos mayores en un área segura, utilizando el receptor del GPS integrado en el teléfono inteligente durante largos períodos de tiempo.

La propuesta de Sposaro y otros [25] permite a los cuidadores monitorear a sus pacientes de forma remota. Ellos incluyen en su sistema: la emisión de avisos audibles al paciente ofreciendo instrucciones para navegar, el envío de notificaciones al cuidador con la ubicación del paciente, el establecimiento de una línea de comunicación entre el paciente-cuidador y la realización de una llamada entre cuidador-paciente y paciente-emergencias (911). Todo esto utilizando técnicas de redes bayesianas que estiman la probabilidad de comportamiento errante.

Mientras que Moreno y otros [26], describen el diseño y la evaluación técnica de un servicio de localización, dirigido a apoyar y gestionar las situaciones de desorientación de una persona con deterioro cognitivo leve (Persons With Mild

Cognitive Impairment) PwMCI. Adicionalmente, ofrecen un servicio que alerta a los contactos del paciente si se detecta una situación de peligro según su ubicación.

Por último, Boer [27] diseñó una aplicación móvil llamada Cogknow para ayudar a personas con demencia leve a movilizarse libremente, basada en la opinión de los adultos mayores. El sistema se desarrolló con el propósito de apoyar a los usuarios en sus actividades cotidianas desde tres enfoques diferentes: recordar, comunicarse e interactuar y realizar actividades diurnas y de seguridad.

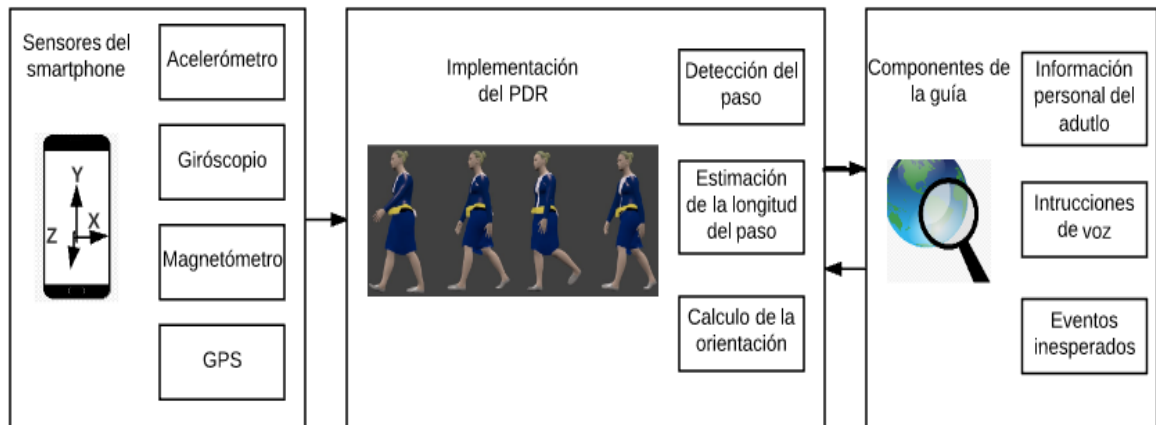
Tabla 2. Resumen de trabajos relacionados basadis en PDR usando teléfonos inteligentes.

Método	Técnica	Siglas	Posición del Teléfono Inteligente
Detección del paso	Detección de picos de la magnitud de la aceleración [21]		Bolsillo, Mano, Cintura
	$Mag = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$	ax = Aceleración en x ay = Aceleración en y az = Aceleración en z	
	Aceleración efectiva [22]		
	$Aef = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} - g$	g = Gravedad 9,8m/s	
	Aceleración vertical [29]	$\theta = \text{atan}(\text{abs}(\text{gravz}/\text{gravity}))$	
	$AccV = a_z * \sin \theta + a_y * \cos \theta$		
Estimación de la longitud de la zancada	Modelo de frecuencia [28]	SL = longitud de zancada a y b = Parametros determinados en la regresión lineal	Bolsillo, Mano, Cintura
	$SI = a * f + b$	f = Frecuencia de caminata	
	Movimiento de partículas [20]		
	$Lave = \sum_{i=0}^{nd} L_i * W_i$	Li = longitud anterior Wi = Promedio ponderado de las partículas actuales	
	Modelo de scarlet [23]		
	$SI = k * \frac{\sum_{i=0}^k a_k - a_{min}}{a_{max} - a_{min}}$	K = Valor contante 0,81 N = Tamaño de la ventana amax = Aceleración maxima a min = Aceleración mínima	
	Longitud de la zancada [29]		
	$StepL = k_d * h * \sqrt{Fpaso}$	Kd = constante que depende del sexo mujer = 0,413 hombre = 0,415 h = Altura	
Modelo no lineal [22]			
	$Lk = n * \sqrt{a_{max} - a_{min}}$	n = distancia real/ distancia estimada	
Cálculo de la Orientación	Correlación entre el magnetómetro y el giroscopio [22]		Bolsillo, Mano, Cintura
	Algoritmo heurístico basado en un filtro de partículas [20]		
	Filtrado de partículas y correspondencia de mapas [24]		
	Combinación del giroscopio junto con un magnetómetro con el fin de implementar un algoritmo llamado coincidencia de mapas magneticos[21]		
	Cuaternios y filtro de partículas [28]		
	Fusión de datos utilizando filtro de kalman [30]		

3. COMPONENTES DEL SISTEMA GENERAL DE LA GUÍA PARA EL ADULTO MAYOR

El prototipo de la aplicación móvil diseñada en este trabajo considera que la interacción entre un adulto mayor y un teléfono inteligente puede ser limitada por las capacidades motrices y cognitivas del usuario. Enfocados en esto, la aplicación cuenta con la participación de dos personas con diferentes capacidades cognitivas y características (adulto mayor y cuidador), el objetivo es obtener un funcionamiento adecuado del sistema general ilustrado en la Figura 1, el cual está conformado por un bloque de adquisición de datos del teléfono inteligente, un bloque para la implementación del algoritmo PDR y por último un bloque que describe la metodología que se implementa para desarrollar la guía para adultos mayores.

Figura 1. Estructura general del sistema



3.1. ADQUISICIÓN DE DATOS DE LOS SENSORES INCORPORADOS EN EL TELÉFONO INTELIGENTE

Las principales funciones y características del acelerómetro y el magnetómetro incorporados en el teléfono inteligente, usados en el presente proyecto para la toma y almacenamiento de datos de manera offline se describirán a continuación.

3.1.1. Principales funciones del acelerómetro y el magnetómetro. El acelerómetro permite medir la aceleración y la fuerza inducida por la gravedad basado en la segunda ley de movimiento de Newton, lo cual permite detectar el movimiento; además, los datos obtenidos por el acelerómetro en este proyecto permiten identificar los parámetros de la marcha de una persona a través de las aceleraciones introducidas por el impacto del pie con el suelo mientras camina [31].

Los magnetómetros son comúnmente usados como una brújula digital ya que pueden medir el campo magnético terrestre en cada uno de sus ejes (x,y,z) y proporcionar la orientación de una persona.[31].

La combinación del magnetómetro con el acelerómetro permite obtener los ángulos de Euler, con el cual se calcula la orientación de una persona (*Heading*) de una persona al caminar.

3.1.2. Almacenamiento de la información offline. Los datos de los sensores e información como imágenes y rutas necesarias para el funcionamiento de la guía *offline* son almacenadas de manera local, es decir, en la memoria interna del teléfono inteligente. El almacenamiento se realiza por medio del gestor de bases de datos que tiene por defecto *Android Studio 3.2* conocido como SQLite.

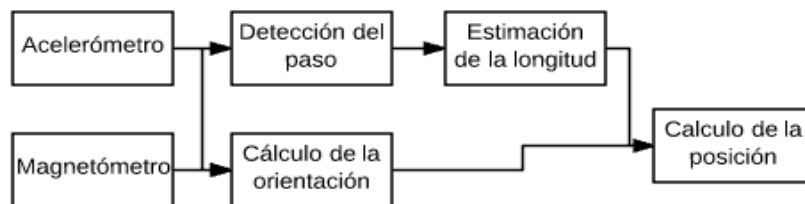
Dicho gestor utiliza una librería que implementa un sistema autónomo, sin necesidad de servidor y de fácil configuración [32]

3.2. IMPLEMENTACIÓN DEL ALGORITMO PDR MEJORADO

Este apartado describe la implementación del algoritmo PDR en un teléfono inteligente, que combina una medida de distancia y el cálculo de la orientación para determinar un cambio en la posición de una persona tal como se presenta en la Figura 2; basado en la información del acelerómetro y el magnetómetro del teléfono inteligente.

Se llevó a cabo la integración del algoritmo PDR con el GPS y el mapa suministrado por Google, con el fin de obtener un resultado exacto en la localización y por consiguiente en la guía de los adultos mayores. Teniendo en cuenta, que la implementación independiente del algoritmo PDR presenta errores al momento de calcular los parámetros que lo conforman, ya que el teléfono inteligente no cuenta con una posición fija (mano, bolsillo, bolso) y la capacidad de procesamiento es limitada por la batería del dispositivo, comparado con los equipos diseñados específicamente para la localización de personas [33].

Figura 2. Descripción del Algoritmo PDR



Las ecuaciones que son usadas para calcular los parámetros que conforman el algoritmo del PDR serán presentadas a continuación:

La Ecuación 1 describe la base del algoritmo PDR [34], conformada por: la longitud del paso (SI), la orientación (Θ), la posición actual (X_k, Y_k) y la posición anterior del usuario (X_{k-1}, Y_{k-1}). El error en la posición estimada es proporcional a la distancia recorrida e independiente del tiempo.

$$\begin{aligned} X_k &= X_{k-1} + \sum_{i=1}^k SL_k * \cos(\theta_k) \\ Y_k &= Y_{k-1} + \sum_{i=1}^k SL_k * \sen(\theta_k) \end{aligned} \quad (1)$$

La detección del paso se fundamenta en la información que proporciona la aceleración a lo largo de cada uno de los tres ejes (x,y,z) para determinar el ciclo de la marcha (fase de apoyo y balanceo). Adicionalmente, hay que considerar que la amplitud de la señal en cada eje varía en función de la ubicación del teléfono inteligente en el cuerpo y la frecuencia de muestreo del sensor, tal como se puede ver en la Tabla 1. Existen diferentes métodos para la detección del paso, generalmente inician con un proceso de filtrado en donde se modifican los componentes de alta frecuencia que pueden generar interferencia en la detección de los pasos, posterior mente se usa un umbral para luego calcular el paso.

Considerando que la persona debe llevar el teléfono inteligente en la mano para que pueda observar las instrucciones que ofrece la guía. En este proyecto se implementa el método presentado por [22], el cual considera que la amplitud de la aceleración es más pequeña cuando el dispositivo se lleva en la mano debido a que hay poca agitación, reduciendo así el error producido por la ubicación del teléfono inteligente. La Ecuación 2 describe la magnitud de la aceleración, donde a_x , a_y y a_z representan cada una de las componentes de la aceleración y g representa la gravedad, que tiene un valor de 9.8 [m/s²].

$$Aef = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} - g \quad (2)$$

La forma de detectar un paso consiste, en verificar dato a dato que la magnitud de la aceleración (Ecuación 2) supere un umbral determinado y una cantidad de muestras que dependen de la frecuencia de muestreo de los datos del acelerómetro. Si se cumplen las condiciones el sistema registra un paso y reinicia el número de muestras; en caso que no se cumplan las condiciones el conteo de pasos no se modifica.

Conociendo la cantidad de pasos que está dando la persona, se procede a estimar la longitud de cada paso, esto permite calcular la distancia total recorrida en el desplazamiento de una persona mientras camina. Se debe tener en cuenta que la longitud del paso varía significativamente dependiendo de las características de la persona, tales como: género, altura, longitud de las piernas, frecuencia de la caminata, etc. Por lo que no se puede asumir que la longitud del paso es constante al momento de estimar la posición de una persona.

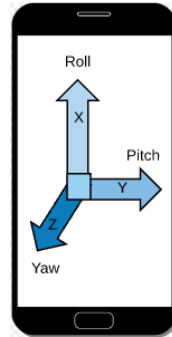
Teniendo en cuenta lo anterior, la longitud del paso se calcula cada vez que se detecta un paso válido, usando el método propuesto y demostrado por [29,35] respectivamente, ilustrado en la Ecuación 3. Siendo a y b parámetros dependientes del usuario, obtenidos mediante una regresión lineal entre la longitud y la frecuencia del paso. Esta última es calculada como el inverso del intervalo del tiempo entre dos pasos válidos [18].

$$Sl = a * f + b \quad (3)$$

Después de estimar la longitud del paso se procede a calcular la orientación de la persona mientras camina, combinando los datos obtenidos por acelerómetro y el magnetómetro incorporados en el teléfono inteligente para calcular los ángulos de Euler (*Roll*, *Pitch*, *Yaw*) usados para describir la posición de un dispositivo en tres dimensiones, ilustradas en la Figura 3. Siendo el *Roll* el movimiento del objeto en el eje X, el *Pitch* en el eje Y y el *Yaw* el movimiento en z. Éstos son necesarios

porque el *Yaw* se asocia con la orientación del usuario la cual se implementa dentro de la Ecuación 1.

Figura 3. Ángulos de Euler



Debido a que los datos del magnetómetro se pueden ver afectados por factores externos (ruido magnético), se debe tener en cuenta que los ángulos de Euler pueden arrojar resultados erróneos en el *Yaw* afectando el cálculo de la posición final estimada de la persona.

Considerando que la fiabilidad del prototipo de la aplicación en este proyecto depende de la posición calculada por el PDR, se calcula una desviación estándar que compensa la orientación obtenida por el *Yaw* y disminuye la deriva.

La desviación estándar se calcula usando la orientación obtenida por el GPS descrita en la Ecuación 4, donde $\Delta Norte$ es la diferencia entre la posición actual y la anterior en la coordenada norte mientras que $\Delta Este$ es la diferencia entre la posición actual y la anterior en la coordenada este.

$$Orientación\ GPS = \text{atan}\left(\frac{\Delta Norte}{\Delta Este}\right) \quad (4)$$

3.2.1. Mapas offline. El cálculo del algoritmo PDR mejorado presentado anteriormente, se hace con el fin de complementar la información de las rutas

frecuentes obtenidas de mapas de manera offline y así reducir el error en el cálculo de la posición de la persona. La información de las rutas contiene las coordenadas que componen cada tramo, lo que permite corroborar la posición de la persona mientras camina y ofrecer la instrucción que debe realizar de manera *online*, por medio del algoritmo PDR mejorado.

3.3. DESCRIPCIÓN DE LA GUÍA PARA EL ADULTO MAYOR

Las personas mayores extraviadas y con deterioro cognitivo leve deben localizarse en un corto período de tiempo, aproximadamente 24 horas, puesto que después de este lapso de tiempo la probabilidad de encontrarlos vivos con lesiones graves o muertos es alta [36]. En consecuencia de lo anterior, el prototipo de la aplicación busca reducir el impacto de esta problemática en la población, agilizando el proceso de ubicación de una persona extraviada y disminuyendo los riesgos a los que se expone.

Es importante mencionar, que la mayoría de los enfoques de investigación y soluciones comerciales existentes en el tema, se centran principalmente en el seguimiento y la supervisión de los usuarios por medio de zonas seguras y alarmas [25,26,27]. En contraposición, en este trabajo se considera el evento en que el adulto mayor se siente perdido y pide a la aplicación la guía hasta un lugar conocido.

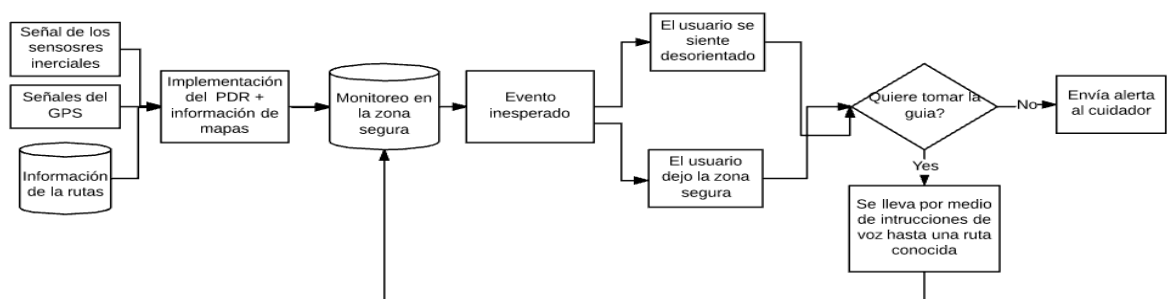
El diseño del prototipo de la aplicación fue llevado a cabo teniendo en cuenta la opinión del adulto mayor, obtenida mediante encuestas realizadas dentro del proyecto “Análisis de desorientación espacial a través de la movilidad individual. Caso de estudio: los adultos mayores” [37], vinculado al grupo de investigación CEMOS.

La descripción del módulo diseñado para el prototipo de la aplicación del adulto mayor es presentada a continuación.

3.3.1. Módulo para el adulto mayor. La Figura 4 presenta el módulo para el adulto mayor. Este módulo hace uso de las señales en cada uno de sus ejes (x,y,z) proporcionadas por los acelerómetro, los magnetómetro además de la señal obtenida por el receptor del GPS, incorporados en el teléfono inteligente. Adicionalmente, requiere la información de las rutas frecuentes del adulto mayor, las cuales son proporcionadas por el cuidador y se encuentran almacenadas de manera local en el teléfono inteligente.

Los datos obtenidos mediante el uso de la información descrita en el párrafo anterior, permiten identificar cuando el usuario solicita la guía al sistema o abandona la zona segura; eventos que se le notifican al cuidador mediante un mensaje de texto. La guía se da usando comandos de voz, dado que en un estudio previo [37] se encontró que las imágenes confundían a los adultos mayores al momento de seguir instrucciones y considerando lo difícil que puede ser la interacción entre el adulto mayor y el teléfono inteligente si se le incorporan más funcionalidades.

Figura 4. Módulo del usuario de la app para el usuario (Adulto Mayor)



Es importante mencionar que el cuidador es la persona encargada de registrar la información personal del adulto mayor en la aplicación (nombre, apellido, dirección de la casa, contactos y lugares frecuentes).

4. DISEÑO DE LA INTERFAZ PARA LA GUÍA

La aplicación diseñada en Android para la guía del adulto mayor considera que la interacción entre la aplicación y el adulto mayor debe ser lo más sencilla posible, con el fin de que el adulto mayor pueda aprender fácilmente a manejar la aplicación. Lo anterior, teniendo en cuenta que la mayoría de los adultos mayores en la actualidad no manejan adecuadamente los teléfonos inteligentes.

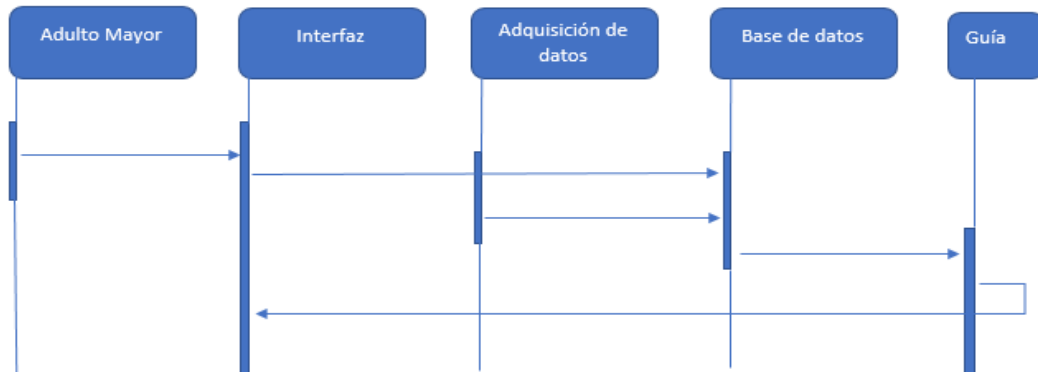
A continuación, se presenta la estructura de la aplicación donde se muestran las clases y el funcionamiento de las interfaces que la conforman.

4.1. ESTRUCTURA DE LA APLICACIÓN

La aplicación consta de cuatro interfaces (*Layouts*): Inicio, registro, selección de ruta y guía. Cada *layout* está compuesto con diferentes clases, métodos y objetos en los que se implementa la guía con el GPS y con el PDR mejorado, tal como se observa en la Figura 5 y 6 respectivamente. Estas figuras permiten observar el diagrama UML (Lenguaje de modelado unificado), en el cual se describe la estructura estática del sistema y el flujo de los datos entre la aplicación y la implementación de los diferentes algoritmos.

Adicionalmente, se presenta en la Figura 7 el diagrama de secuencia que muestra la forma en que los objetos se comunican entre sí al transcurrir el tiempo. Éste inicia con el registro de la información del adulto mayor en la interfaz gráfica, la cual activa la lectura de los datos obtenidos por el acelerómetro y el magnetómetro, para ser posteriormente almacenada en la base de datos junto con la información del adulto mayor. Basados en esta información, el sistema podrá determinar la posición de la persona usando el algoritmo PDR mejorado, brindando una guía en la interfaz del

Figura 7. Diagrama de secuencia



4.2. FUNCIONAMIENTO DE LA GUÍA PARA EL ADULTO MAYOR

Lo primero que se debe realizar para tener un buen funcionamiento de la guía, es el registro de los datos del adulto mayor y las rutas frecuentes por parte del cuidador. Cabe resaltar que este registro se realiza una sola vez y los datos se almacenan en la memoria interna del teléfono inteligente.

Luego del registro, el adulto mayor encontrará cada que ingrese a la aplicación una pantalla de saludo, en la cual debe oprimir un botón si quiere recibir la guía. En caso de que oprima el botón, encontrará un listado como el de la Figura 8 con las rutas frecuentes y una descripción de cada lugar, del cual podrá seleccionar una.

Figura 8. Pantalla donde el adulto mayor puede seleccionar un lugar



En el momento que el adulto mayor selecciona el lugar de destino, encontrará otra pantalla como la presentada en la Figura 9, donde deberá oprimir el botón de confirmación (✓) con el cual dará inicio al algoritmo PDR mejorado. En este momento la aplicación empezara a calcular la posición del adulto mayor en la ruta seleccionada para ofrecer la guía mediante instrucciones de voz. Es importante mencionar que el adulto deberá esperar aproximadamente 10 segundos hasta que el sistema le indique que ya puede iniciar la caminata, este tiempo de espera es lo que tarda el GPS en obtener señal. Al momento de llegar al lugar o sentirse ubicado el adulto podrá detener la guía oprimiendo el botón de parada.

Figura 9. Pantalla que ofrece la guía para el adulto mayor



5. EXPERIMENTOS

Con el fin comprobar el funcionamiento de la guía para los adultos mayores desarrollada en este proyecto, se decidió realizar una comparación entre el desempeño de la guía ofrecida usando solo el receptor del GPS incorporado en el teléfono inteligente y la guía usando el PDR mejorado. Las pruebas se realizaron dentro del campus de la UIS, en una zona con alta densidad de árboles y en un vecindario.

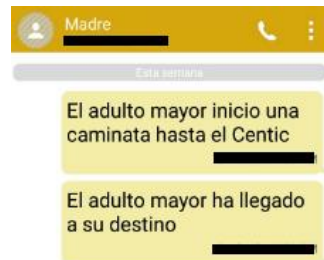
Figura 10. Lugares donde se realizaron las pruebas



La guía se probó con 5 adultos jóvenes entre los 20 y 27 años y 2 adultos mayores entre los 60 y 80 años. Todos los datos obtenidos en las pruebas fueron guardados en archivos .txt con el fin de realizar de manera *offline* un análisis de los datos en Matlab. Cabe mencionar que los adultos mayores que participaron en las pruebas no conocían el campus y solo manejaban teléfonos tradicionales (los cuales solo le prestan el servicio de realizar y recibir llamadas), por la complejidad que implica para ellos usar un teléfono inteligente.

El cuidador fue notificado por medio de mensajes de texto cada vez que se presentaba un evento en la camina del adulto mayor, tal como se puede apreciar en la Figura 11.

Figura 11. Notificación de los eventos del adulto mayor



Las pruebas realizadas tenían como objetivo, obtener una comparación cuantitativa del rendimiento de la guía implementada con el GPS y el PDR mejorado. Así como también conocer las ventajas y limitaciones que tiene la guía

5.1. GUÍA Y SISTEMA DE ALERTA USANDO EL GPS

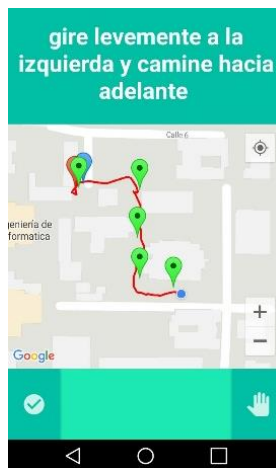
En esta prueba al adulto se le pidió llegar al (Centro de tecnologías de información y comunicación) CENTIC iniciando la prueba desde el (Centro de estudios e investigaciones ambientales) CEIAM por medio de la guía desarrollada en este trabajo tal como se puede ver en la Figura 12, usando solo la señal obtenida por él GPS. El fin de esta prueba era simular la caminata de un adulto mayor hasta un lugar conocido usando la guía y probar la eficiencia del receptor del GPS integrado en el smartphone como sistema de localización único. La ruta tenía una distancia de 144.7 metros, una duración de 2 minutos a pie, contaba con 5 instrucciones de audio que indicaban los puntos de decisión usando como referencia objetos sobresalientes de la zona como un cajero.

Figura 12. Ruta desde el CEIAM hasta el CENTIC, edificios ubicados en el campus de la UIS.



Los resultados observados al implementar la guía en el teléfono inteligente LG G3 *beat* dentro del campus de la UIS, usando el receptor del GPS con una frecuencia de lectura de 1 segundo, se consideran no óptimos para usarlos en la implementación de la guía. Ya que en promedio el sistema identificó 2 de las 5 instrucciones definidas para la ruta. Cada punto de decisión contaba con un radio de lectura de 10m a la redonda, conformado con latitudes y longitudes. Dichos puntos de decisión se presentan en la Figura 13 por medio de marcadores de color verde.

Figura 13. Guía GPS dentro del campus de la UIS



La causa del resultado nombrado en el párrafo anterior se puede apreciar en el recorrido registrado en la Figura 13 (color rojo), donde se ve que la señal del receptor del GPS no llega a los puntos de decisión preestablecidos a pesar de que la persona camine por la ruta definida. El ruido de la señal se puede apreciar de manera más clara en la Figura 14, obtenida de manera offline en Matlab basada en los datos colectados por el receptor del GPS durante la prueba.

Figura 14. Señal del GPS obtenida en una caminata de manera offline.



La guía obtiene un mejor resultado al cambiar el escenario a un vecindario en el cual es notoria la ausencia de árboles, tal como se puede observar en la Figura 15. Las instrucciones para llegar al punto final se dieron de manera correcta en 1 de los 3 puntos definidos. Las imprecisiones son causadas por factores ambientales, los cuales alteran los resultados de los datos obtenidos por el receptor del GPS, limitando así el funcionamiento de la guía ya que la señal del GPS no llega al radio de lectura manejado por las instrucciones.

Figura 15. Guía del GPS en un vecindario



Los resultados de las pruebas realizadas usando el receptor del GPS mientras se caminaba por los límites de la zona segura, entrando y saliendo de ésta con el fin de determinar el tiempo de respuesta del sistema (alerta), se presentan en Tabla 3.

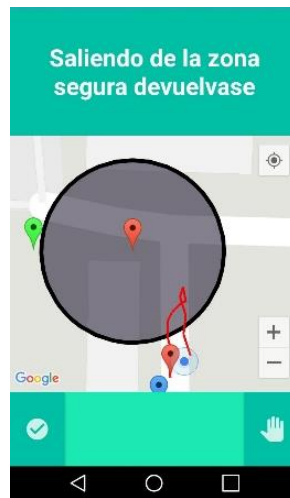
Tabla 3. Resultados del sistema de zona segura usando el GPS

Participante	Cruces Totales	Cruces detectados	Tiempo que tarda el sistema en mostrar la alerta
P1	4	3	8s
P2	6	5	6s
P3	1	1	10s
P4	2	2	6s
P5	4	4	7s

Si el usuario permanece en el límite de la zona segura puede que el sistema reconozca una salida inexistente. Sin embargo, en promedio el sistema de detección de la zona segura tarda en notificar al usuario que entro o salió de ella 7.4s. y tiene un porcentaje de eficiencia del 91.66%.

La Figura 16 presenta el recorrido realizado por un usuario al entrar y salir de la zona segura, la cual tenía un radio de 20m en esta prueba. Sin embargo, el radio es una variable que es definida por el cuidador o responsable del adulto mayor.

Figura 16. Prueba de entrada y salida de la zona segura.



5.2. GUÍA Y SISTEMA DE ALERTA USANDO EL PDR MEJORADO

En esta prueba al adulto se le pidió realizar el mismo recorrido planteado en la prueba anterior iniciando en el CEIAM y terminando en el CENTIC, por medio de la guía desarrollada en este trabajo usando el PDR mejorado. El fin de esta prueba es determinar el desempeño de la guía, la cual cuenta con 5 instrucciones de audio que indican los puntos de decisión, usando como referencia objetos sobresalientes como un cajero.

Los resultados observados al implementar la guía en el teléfono inteligente LG G3 *beat* dentro del campus de la UIS, usando el acelerómetro y el magnetómetro con una frecuencia de lectura de 30 Hz y una desviación estándar de los datos obtenidos de manera offline en Matlab de 0.3044, se consideran óptimos para usarlos como guía. Ya que en promedio el sistema identificó 5 de las 5 instrucciones definidas para la ruta, guiando al usuario en cada una de ellas. Cabe resaltar, que cada punto

de decisión contaba con un radio de lectura de 3 m a la redonda, conformado con los puntos de X asociado al este y Y asociado al norte en el sistema global de coordenadas (ENU).

La Figura 17, presenta las gráficas obtenidas en Matlab de las rutas recorridas por los usuarios calculada por el PDR y el PDR mejorado, usando los datos almacenados en tiempo real mientras se realizaba la prueba. Lo que permite corroborar que la precisión del sistema combinado del PDR con el GPS, es mayor a la obtenida sola por el PDR, ya que esta última se ve afectada por la deriva.

Figura 17. Resultado de las rutas obtenidas por el PDR en Matlab



De la misma manera, la Figura 18 presenta el rendimiento obtenido al calcular la posición con el PDR mejorado y el receptor del GPS.

Figura 18. Ruta obtenida usando el GPS contra el PDR mejorado



En promedio el sistema de detección de la zona segura tarda en notificar al usuario que entro o salió de ella 1 segundo. Este valor se dedujo después de realizar pruebas, iterando la entrada y salida en la zona segura.

Además de la prueba con los algoritmos presentados en este proyecto, se consideraron otros métodos como el de la detección del paso presentado por [29], el cual fue descartado por los recursos que consumía en el dispositivo a la hora de realizar el procesamiento de los diferentes filtros pasa baja y pasa banda.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El porcentaje de instrucciones ofrecidas de manera errónea en la guía usando el PDR mejorado fue de un 8% considerando que se realizaron 10 pruebas con 5 instrucciones cada una. Esto es consecuencia de la precisión en los parámetros calculados por el PDR mejorado los cuales dependen de la longitud del paso y la frecuencia de caminata de la persona. Además, la alerta de ingreso o salida de la zona segura se llevó a cabo en la totalidad de los casos.

La precisión del receptor del GPS al calcular la posición evaluando solamente los puntos de decisión en cada eje es de 2.88% en X y 4.19% en Y, mientras que la precisión calculada por el PDR mejorado en para cada punto de decisión en el eje X es de 1.10% y en Y 1.445%. En consecuencia, la guía implementada con el PDR mejorado permite ofrecer una guía más acertada que la que pueden ofrecer los sistemas que usan solo el receptor del GPS.

Por otra parte, las pruebas de campo anteriormente nombradas nos permitieron identificar que aproximadamente un 10% de los adultos fallaron al seguir la guía debido a que presentaban problemas para identificar instrucciones de orientación (derecha e izquierda). Sin embargo, la interfaz de la aplicación obtuvo una respuesta positiva por parte de los usuarios debido a la sencillez de su uso, evidenciando que al incluir la opinión de los adultos mayores en el diseño, se mejora la accesibilidad de la aplicación.

El consumo de batería del teléfono inteligente en general no afecta el funcionamiento del mismo. Teniendo en cuenta que el celular consumía solo un 2% de la batería en pruebas que tenían una duración de 4 minutos.

6.1. LIMITACIONES

El funcionamiento del sistema se ve restringido al ser el adulto mayor quien indique el momento en que se va iniciar la caminata, puesto él/ella puede olvidar activarlo en algún momento en el que su cuidador no esté presente. Además, la necesidad de que sea un teléfono inteligente limita la accesibilidad a adultos mayores de bajos recursos, quienes solo manejan celulares tradicionales.

Para que la aplicación pueda notificar al cuidador los diferentes eventos en los que esté el adulto mayor por medio de mensajes, el teléfono inteligente del el/ella debe contar con una recarga mínima que se lo permita enviar.

Otro hecho importante a considerar en este apartado, son las habilidades cognitivas que debe tener el adulto mayor: él/ella debe poder seguir instrucciones, oprimir un botón y reconocer en que momento necesita la guía. Además de que debe tener una capacidad auditiva y visual buena.

6.2. LECCIONES APRENDIDAS

Las actividades desarrolladas en el marco del proyecto me permitieron adquirir habilidades en el área de:

- Programación orientada a objetos, lo cual permitió el desarrollo de una aplicación móvil, que funciona en tiempo real y puede ser extendida a otros dispositivos que cuenten con las mismas características del teléfono inteligente usado en este proyecto.
- Investigación, considerando que la búsqueda de información en base de datos científicas usadas para desarrollar el estado del arte de este proyecto, permitió desarrollar un artículo científico el cual ha sido aceptado y será

publicado en el segundo taller internacional sobre tecnología móvil para la salud [38], dicho taller se llevará a cabo del 21 al 23 de junio del 2017 en Exeter, Inglaterra.

- Logística y planeación, dado que durante en el desarrollo de las pruebas de campo se realizaron tareas de contratación de personal, análisis costos y búsqueda de adultos mayores aptos para las pruebas en diferentes hogares geriátricos de la ciudad.
- Trabajo cooperativo, teniendo en cuenta que cada una de las lecciones nombras anteriormente fueron obtenidas, corregidas y desarrollas dentro del proyecto 1817 dirigido por la doctora Edith Pulido, integrado por el doctor Daniel Sierra, los estudiantes de maestría Juan Camilo Bravo, Roberth Álvarez y la estudiante de pregrado Clara Cañón.

7. CONCLUSIONES

A partir de los desarrollos presentados y los resultados obtenidos en el presente trabajo de grado, es posible enunciar la siguiente conclusión general:

- Una guía de navegación como la presentada en este proyecto, puede ser una herramienta muy valiosa en la vida de los adultos mayores que sufren de demencia leve. Considerando, que la sensación de libertad e independencia, podría ofrecerle al adulto mayor, la posibilidad de salir al exterior y dar un paseo de manera independiente. Teniendo en cuenta, que él/ella contará con la ayuda de la guía en caso de que la necesite. Además, con esta ayuda el trabajo del cuidador se reduce considerablemente.

De manera más puntual:

- Es posible desarrollar en Android Studio 3.2 una interfaz que permite realizar la lectura de los datos del GPS y de los sensores incorporados en un teléfono inteligente LG G3 *beat* de manera simultánea, dichos datos permiten procesar el algoritmo del PDR mejorado, para ofrecer una guía en tiempo real mediante el uso de instrucciones de voz. La cual, tiene como fin ayudar a adultos mayores a caminar de una manera segura.
- Al involucrar al grupo objetivo (adultos mayores) en la investigación preliminar y en la evaluación del sistema de guía, se pudo crear una interfaz adecuada para las necesidades y capacidades del adulto mayor.
- Se observó que el PDR mejorado, tiene un mejor rendimiento en la detección de cambios a pequeña escala comparado con la señal que se obtiene por el

receptor del GPS. Esto permitió desarrollar una guía más exacta usando un teléfono inteligente.

- Se demostró que los puntos de referencia son una parte clave de la guía y pueden utilizarse eficazmente dentro de los sistemas de navegación peatonal. Un dispositivo que basa su guía alrededor de puntos de referencia puede superar en exactitud a un mapa tradicional.

8. TRABAJO FUTURO

Como trabajo futuro se propone la implementación de algoritmos que permitan realizar una corrección de errores como el filtro de Kalman, de manera tal que sea posible implementar una guía con un porcentaje mínimo de error, basada en los algoritmos y metodologías determinadas en el desarrollo del presente trabajo de grado.

Para que el diseño de la guía tenga un mejor rendimiento, se debe desarrollar una guía que considere el caso en el que no se puede obtener información del GPS por un periodo de tiempo, como sucedería en el momento que el adulto mayor ingrese a una edificación.

Se debe seguir trabajando en el diseño de una ayuda de navegación para un grupo más grande de adultos mayores, que considere que los adultos mayores de hoy en un futuro les quedara más sencillo manejar una aplicación móvil con más herramientas en un teléfono inteligente.

Para realizar una aplicación que pueda ser distribuida en la tienda de Google (Playstore), se debe almacenar la información en un servidor público que permita a los cuidadores tener acceso a todos los datos calculados en la aplicación en cualquier lugar.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] M. Kourogi and T. Kurata, "A method of pedestrian dead reckoning for smartphones using frequency domain analysis on patterns of acceleration and angular velocity", In Position, Location and Navigation Symposium-PLANS, 2014 IEEE/ION, pp. 164-168, 2014.
- [2] A. Serra, D. Carboni and V Marotto, "Indoor pedestrian navigation system using a modern smartphone", In Proceedings of the 12th international conference on Human computer interaction with mobile devices and services, pp. 397-398, ACM, 2010.
- [3] Organización mundial de la salud. [sitio web], Demencia. [Consulta: 25 de enero 2017]. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs362/es/>.
- [4] Google Play. [sitio web], Tweri: Localizador Alzheimer. [Consulta: 25 de enero 2017]. Disponible en: https://play.google.com/store/apps/details?id=es.solusoft.tweri&hl=es_419.
- [5] Google Play. [sitio web], Encuentrame (cuidador). [Consulta: 25 de enero 2017]. Disponible en: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.mayn.carer&hl=es_419.
- [6] Google Play. [sitio web], GEOTONOME. [Consulta: 25 de enero 2017]. Disponible en: https://play.google.com/store/apps/details?id=fr.geotraceur.geotonome.supervision&hl=es_419.

- [7] Google Play. [sitio web], Localizador GPS Corcanoe. [Consulta: 25 de enero 2017]. Disponible en: https://play.google.com/store/apps/details?id=corcanoe.gps.tracker&hl=es_419.
- [8] Google Play. [sitio web], Localizador GPS, Wayo. [Consulta: 25 de enero 2017]. Disponible en: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.app.wayo&hl=es_419.
- [9] Google Play. [sitio web], Mapa y navegador GPS. [Consulta: 25 de enero 2017]. Disponible en: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.navigation.directions&hl=es_419.
- [10] Stat Counter. [sitio web], Android overtakes Windows for first time. [Consulta 15 de abril 2017]. Disponible en: <http://gs.statcounter.com/press/android-overtakes-windows-for-first-time>.
- [11] M. Báez, Á. Borrego, J. Cordero, L. Cruz, M. González, F. Hernández and P Torralbo. Introducción a Android. EME Madrid, España, 121. 2012.
- [12] Developer. [sitio web], Android 7.1 for Developers [Consulta: 28 de enero 2017]. Disponible en: <https://developer.android.com/about/versions/nougat/android-7.1.html>.
- [13] A. Catalan. Curso Android: “Desarrollo de aplicaciones móviles”, 2011.
- [14] LG. [sitio web] LG G3 beat, “Especificaciones Técnicas”. [Consulta 22 de enero 2017]. Disponible en: <http://www.lg.com/cl/celulares/lg-LGD724-g3-beat>.

- [15] E. Kaplan, and C. Hegarty. "Understanding GPS: principles and applications. Artech house". 2005.
- [16] J. R. Casar, "Tecnologías y Servicios para la Sociedad de la Información". Universidad Politécnica de Madrid, 2005.
- [17] S. Jain, C. Borgiattino, Y. Ren, M. Gruteser, Y. Chen, and C. F. Chiasserini, "Lookup: Enabling pedestrian safety services via shoe sensing". In Proceedings of the 13th Annual International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services (pp. 257-271). ACM. 2015.
- [18] E. P. Herrera, H. Kaufmann, and R. Quirós, "Assessment of Step Determination in a GPS/Compass/IMU System for Personal Positioning".
- [19] L. T. Hsu, Y. Gu, and S. Kamijo, "Sensor integration of 3D map aided GNSS and smartphone PDR in urban canyon with dense foliage". In Position, Location and Navigation Symposium (PLANS), 2016 IEEE/ION, pp. 85-90. IEEE, 2016
- [20] H. Xie, T. Gu, X. Tao, H. Ye, and J. Lu, "A Reliability-Augmented Particle Filter for Magnetic Fingerprinting Based Indoor Localization on Smartphone", IEEE Transactions on Mobile Computing, 15(8), 1877-1892, 2016.
- [21] C. Huang, G. Zhang, Z. Jiang, C. Li, Y. Wang, and X. Wang, "Smartphone-based indoor position and orientation tracking fusing inertial and magnetic sensing". In Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC), 2014 International Symposium, pp. 215-220. IEEE, 2014.
- [22] W. Kang, S. Nam, Y. Han, and S. Lee, "Improved heading estimation for smartphone-based indoor positioning systems". In Personal Indoor and Mobile

Radio Communications (PIMRC), 2012 IEEE 23rd International Symposium, pp. 2449-2453, IEEE, 2012.

- [23] M. Park, V. Chirakkal, and D. Han, "Robust pedestrian dead reckoning for indoor positioning using smartphone". In Consumer Electronics (ICCE), 2015 IEEE International Conference, pp. 80-81, IEEE, 2015.
- [24] D. Pai, I. Sasi, P. Mantripragada, M. Malpani, and N. Aggarwal, "Padati: A robust pedestrian dead reckoning system on smartphones". In Trust, Security and Privacy in Computing and Communications (TrustCom), 2012 IEEE 11th International Conference, pp. 2000-2007, IEEE, 2012.
- [25] F. Sposaro, J. Danielson, and G. Tyson, "iWander: An Android application for dementia patients". In Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2010 annual international conference of the IEEE, pp. 3875-3878, IEEE, 2010.
- [26] P. Moreno, M. Hernando, and E. Gómez, "Design and technical evaluation of an enhanced location-awareness service enabler for spatial disorientation management of elderly with mild cognitive impairment". IEEE journal of biomedical and health informatics, 19(1), 37-43, 2015.
- [27] J. Boer, "Auditory navigation for persons with mild dementia" (Master's thesis, University of Twente), 2008.
- [28] F. Li, C. Zhao, G. Ding, J. Gong, C. Liu, and F. Zhao, "A reliable and accurate indoor localization method using phone inertial sensors". In Proceedings of the 2012 ACM Conference on Ubiquitous Computing, pp. 421-430, ACM, 2012.

- [29] Q. Tian, Z. Salcic, K. Wang, and Y. Pan, "A hybrid indoor localization and navigation system with map matching for pedestrians using smartphones". *Sensors*, 15(12), 30759-30783, 2015
- [30] E. P. Herrera, and H. Kaufmann, "Adaptive methods of Kalman filtering for personal positioning systems". In *Proceedings of the 23rd International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation*, Portland, OR, USA (pp. 21-24), 2010.
- [31] S. Lowe, and G. ÓLaighin, "Monitoring human health behavior in one's living environment: a technological review". *Medical engineering & physics*, 36(2), 147-168, 2014.
- [32] Developers. [sitio web] SQLiteDatabase, [Consulta 23 de enero 2017]. Disponible en: <https://developer.android.com/reference/android/database/sqlite/SQLiteDatabase.html>.
- [33] A. R. Jimenez, F. Seco, C. Prieto, and J. Guevara, "A comparison of pedestrian dead-reckoning algorithms using a low-cost MEMS IMU". In *Intelligent Signal Processing, WISP 2009. IEEE International Symposium*, pp. 37-42. IEEE, 2009.
- [34] Z. Tian, Y. Zhang, M. Zhou, and Y. Liu, "Pedestrian dead reckoning for MARG navigation using a smartphone". *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2014.
- [35] R. Margaria "Biomechanics and energetics of muscular exercise". Clarendon Press, Oxford, England, 1978.

- [36] E. P. Herrera, "Location-based technologies for supporting elderly pedestrian in "getting lost" events". Disability and Rehabilitation: Assistive Technology, 1-9, 2016.
- [37] E. P. Herrera. [sito web], proyectos. [Consulta: 25 de enero 2017]. Disponible en: <http://cemos.uis.edu.co/epulidoh/>.
- [38] Conference on frontier of computer science and technology. [sito web], proyectos. [Consulta: 02 de mayo 2017]. Disponible en: <http://cse.stfx.ca/~FCST2017/>.

BIBLIOGRAFIA

BÁEZ M., BORREGO Á., CORDERO J., CRUZ L., GONZÁLEZ M., HENÁNDEZ F. & TORRALBO P., Introducción a Android. EME Madrid, España, pp. 121. 2012.

BOER J., “Auditory navigation for persons with mild dementia” (Master's thesis, University of Twente), 2008.

CASAR J. R., “Tecnologías y Servicios para la Sociedad de la Información”. Universidad Politécnica de Madrid, 2005.

CATALAN A. Curso Android: “Desarrollo de aplicaciones móviles”, 2011.

CONFERENCE on frontier of computer science and technology. [sitio web], proyectos. [Consulta: 02 de mayo 2017]. Disponible en: <http://cse.stfx.ca/~FCST2017/>.

DEVELOPER. [sitio web], Android 7.1 for developers. [Consulta: 28 de enero 2017]. Disponible en: <https://developer.android.com/about/versions/nougat/android-7.1.html>.

DEVELOPERS. [sitio web] SQLiteDatabase, [Consulta 23 de enero 2017]. Disponible en: <https://developer.android.com/reference/android/database/sqlite/SQLiteDatabase.html>.

GOOGLE PLAY. [sitio web], Encuéntrame (cuidador). [Consulta: 25 de enero 2017].
Disponibile en:
https://play.google.com/store/apps/details?id=com.mayn.carer&hl=es_419.

GOOGLE PLAY. [sitio web], Geotonome [Consulta: 25 de enero 2017].
Disponibile en:
[https://play.google.com/store/apps/details?id=fr.geotraceur.geotonome.supervision
&hl=es_419](https://play.google.com/store/apps/details?id=fr.geotraceur.geotonome.supervision&hl=es_419).

GOOGLE PLAY. [sitio web], Localizador GPS Corcanoe. [Consulta: 25 de enero
2017]. Disponible en:
https://play.google.com/store/apps/details?id=corcanoe.gps.tracker&hl=es_419.

GOOGLE PLAY. [sitio web], Localizador GPS Wayo. [Consulta: 25 de enero 2017].
Disponibile en:
https://play.google.com/store/apps/details?id=com.app.wayo&hl=es_419.

GOOGLE PLAY. [sitio web], Mapa y navegador GPS. [Consulta: 25 de enero 2017].
Disponibile en:
https://play.google.com/store/apps/details?id=com.navigation.directions&hl=es_419.

GOOGLE PLAY. [sitio web], Tweri: Localizador Alzheimer. [Consulta: 25 de enero
2017]. Disponible en:
https://play.google.com/store/apps/details?id=es.solusoft.tweri&hl=es_419.

HERRERA E. P., "Location-based technologies for supporting elderly pedestrian in
"getting lost" events". Disability and Rehabilitation: Assistive Technology, pp. 1-9,
2016.

HERRERA E. P., [sito web], proyectos. [Consulta: 25 de enero 2017]. Disponible en: <http://ceмос.uis.edu.co/epulidoh/>.

HERRERA E. P., and KAUFMANN H., “Adaptive methods of Kalman filtering for personal positioning systems”. In Proceedings of the 23rd International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, Portland, OR, USA pp. 21-24, 2010.

HERRERA E. P., KAUFMANN H., and QUIRÓS R., “Assessment of Step Determination in a GPS/Compass/IMU System for Personal Positioning.

HUANG C., ZHANG G., JIANG Z., LI C., WANG Y., and WANG X., “Smartphone-based indoor position and orientation tracking fusing inertial and magnetic sensing”. In Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC), 2014 International Symposium, pp. 215-220. IEEE, 2014.

HSU L. T., GU Y., and KAMIJO S., “Sensor integration of 3D map aided GNSS and smartphone PDR in urban canyon with dense foliage”. In Position, Location and Navigation Symposium (PLANS), 2016 IEEE/ION, pp. 85-90. IEEE, 2016.

JAIN S., BORGIATTINO C., REN Y., GRUTESER M., CHEN Y. and CHIASSERINI C. F. “Lookup: Enabling pedestrian safety services via shoe sensing”. In Proceedings of the 13th Annual International Conference on Mobile Systems, Applications and Services. pp. 257-271. ACM. 2015.

JIMENEZ A. R., SECO F., PRIETO C., and GUEVARA J., “A comparison of pedestrian dead-reckoning algorithms using a low-cost MEMS IMU”. In Intelligent Signal Processing, WISP 2009. IEEE International Symposium, pp. 37-42. IEEE, 2009.

KANG W., NAM S., HAN Y., and LEE S., "Improved heading estimation for smartphone-based indoor positioning systems". In Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), 2012 IEEE 23rd International Symposium, pp 2449-2453, IEEE, 2012.

KAPLAN E. and HEGARTY C. "Understanding GPS: principles and applications. Artech house". 2005.

KOUROGI M. and KURATA T., "A method of pedestrian dead reckoning for smartphones using frequency domain analysis on patterns of acceleration and angular velocity", In Position, Location and Navigation Symposium-PLANS, 2014 IEEE/ION, pp. 164-168, 2014.

LI F., ZHAO C., DING G., GONG J., LIU C., and ZHAO F., "A reliable and accurate indoor localization method using phone inertial sensors". In Proceedings of the 2012 ACM Conference on Ubiquitous Computing, pp. 421-430, ACM, 2012.

LOWE S., and ÓLAIGHIN G., "Monitoring human health behavior in one's living environment: a technological review". Medical engineering & physics, vol. 36, no. 2, pp. 147-168, 2014.

LG. [sitio web] LG G3 beat, "Especificaciones Técnicas". [Consulta 22 de enero 2017]. Disponible en: <http://www.lg.com/cl/celulares/lg-LGD724-g3-beat>.

MARGARIA R., "Biomechanics and energetics of muscular exercise". Clarendon Press, Oxford, England, 1978.

MORENO P., HERNANDO M., and GÓMEZ E., Design and technical evaluation of an enhanced location-awareness service enabler for spatial disorientation

management of elderly with mild cognitive impairment". IEEE journal of biomedical and health informatics, vol. 19, no. 1, pp. 37-43, 2015.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD [Sitio web], Demencia. [Consulta: 25 de enero 2017]. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs362/es/>.

PAI D., SASI I., MANTRIPRAGADA P., MALPANI M., and AGGARWAL N., "Padati: A robust pedestrian dead reckoning system on smartphones". In Trust, Security and Privacy in Computing and Communications (TrustCom), 2012 IEEE 11th International Conference, pp. 2000-2007, IEEE, 2012.

PARK M., CHIRAKKAL V., and HAN D., "Robust pedestrian dead reckoning for indoor positioning using smartphone". In Consumer Electronics (ICCE), 2015 IEEE International Conference, pp. 80-81, IEEE, 2015.

SERRA A. and MAROTTO V., "Indoor pedestrian navigation system using a modern smartphone", In Proceedings of the 12th international conference on Human computer interaction with mobile devices and services, pp. 397-398, ACM, 2010.

SPOSARO F., DANIELSON J., and TYSON G., "iWander: An Android application for dementia patients". In Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2010 annual international conference of the IEEE, pp. 3875-3878, IEEE, 2010.

STAT COUNTER. [sitio web], Android overtakes Windows for first time. [Consulta 15 de abril 2017]. Disponible en: <http://gs.statcounter.com/press/android-overtakes-windows-for-first-time>.

TIAN Q., SALCIC Z., WANG K., and PAN Y., "A hybrid indoor localization and navigation system with map matching for pedestrians using smartphones". Sensors, vol. 15, no. 12, pp.30759-30783, 2015.

TIAN Z., ZHANG Y., ZHOU M., and LIU Y., "Pedestrian dead reckoning for MARG navigation using a smartphone". EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 2014.

XIE H., GU T., TAO X., YE H., and LU J., "A Reliability-Augmented Particle Filter for Magnetic Fingerprinting Based Indoor Localization on Smartphone", IEEE Transactions on Mobile Computing, vol. 15, no. 8, pp.1877-1892, 2016.

ANEXOS

ANEXO A - Programación en Android Studio

En este anexo se mostrará parte del código donde se encuentran los métodos principales implementados en la guía, así como el método que permite conectar *Android Studio* con el servidor.

El código que presentamos a continuación es el método que permite detectar los cambios en los diferentes sensores incorporados en el *smartphone*. Este puntualmente es el del acelerómetro, el magnetómetro tiene la misma estructura.

```
public void onSensorChanged(SensorEvent event) {  
  
    //Defino los cambios en cada sensor  
    Sensor mySensor = event.sensor;  
  
    //Obtendo datos del acelerometro  
    if (mySensor.getType() == Sensor.TYPE_ACCELEROMETER) {  
  
        //Calculo el Timestamp del sensor  
        startTimestampacc = event.timestamp;  
        acc = startTimestampacc/1000000000.0;  
  
        //Guarda cada valor que detecte el sensor  
        x = event.values[0];  
        y = event.values[1];  
        z = event.values[2];  
  
        //Variable usada para calcular los angulos de euler  
        mGravity = event.values.clone();  
  
        //Determino la magnitud de la aceleracion  
        float ac = (x * x + y * y + z * z);  
        double acc = ac;  
        mag = (Math.sqrt(acc)) - Gravity;  
    }  
}
```

El código presentado a continuación permite pasar los datos obtenidos por el GPS (Latitud y Longitud) al sistema global de coordenadas ENU (x,y), usando la clase LLa2Ecef. La cual contiene los parámetros necesarios para realizar la transformación

```
//transformo las cordernadas del GPS a ECEF (earth centered, earth fixed)
AS_ref = trans.LLa2ECEF(GpsLeer.dx,GpsLeer.dy,GpsLeer.de);

//transformo las cordernadas de ECEF a ENU (east, nort, up)
trans.enu(AS_ref.get(0),AS_ref.get(1),AS_ref.get(2),GpsLeer.dy*(Math.PI/180),GpsLeer.dx*(Math.PI/180));
```

Los códigos presentando a continuación presenta la implementación realizada en Android Studio 3.2 de los métodos descritos en el capítulo 3:

Detección del paso

```
void deteccion(double mag, SensorEvent event) {
    // detecto el paso metodo
    if(mag >= u && contar >=10 && !clickd2)
    {
        //muestras
        contar=0;

        //pasos
        step=step+1;
    }
}
```

Calculo de la longitud del paso:

```
// Contador de zancadas
if(step%2==0) {
    zanc= zanc+1;
}

//Periodo
time1=event.timestamp/1000000000.0;

//Frecuencia
Fpaso= 1/(time1 - t_anterior);

t_anterior = time1;

if (time1 - t_anterior > 1.8e+6)
    Toast.makeText(this.activity, "Su familiar se detuvo",Toast.LENGTH_LONG).show();

//Contador que permite recalcular los parametros a y b cada 5 pasos
if (i == 5)
    i = 0;

int tmp = i++;

//Variables de entrada en la regresion lineal
x[tmp] = Fpaso;
y[tmp] = sl;

//Calculo de la regresion lineal
Regresion rg = new Regresion(x, y);
rg.lineal();

//Estimacion de la longitud del paso
sl = rg.a + rg.b*Fpaso;
//Longitud total de los pasos
ltotal += sl;
```

Estimación de la posición del usuario:

```
//PDR mejorado
Pnc = pnc + SL_ekf*Math.cos(Az);
Pec = pec + SL_ekf*Math.sin(Az);

//Valor anterior
pnc =Pnc;
pec =Pec;
```