

CIS1430SD03

**USO DE TELÉFONOS INTELIGENTES PARA AYUDAR A PERSONAS CON
DISCAPACIDAD VISUAL A LOCALIZARSE DENTRO DE UN ESPACIO CERRADO**

**ANDREA PATRICIA ORTIZ PULIDO
JONNATHAN SILVESTRE CORREDOR MERCHÁN**

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA DE SISTEMAS
BOGOTÁ, D.C.**

2014

CIS1430SD03

USO DE TELÉFONOS INTELIGENTES PARA AYUDAR A PERSONAS CON
DISCAPACIDAD VISUAL A LOCALIZARSE DENTRO DE UN ESPACIO CERRADO

Autores:

Andrea Patricia Ortiz Pulido

Jonnathan Silvestre Corredor Merchán

MEMORIA DEL TRABAJO DE GRADO REALIZADO PARA CUMPLIR UNO DE LOS
REQUISITOS PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO DE SISTEMAS

Director

Edgar Enrique Ruíz García

Jurados del Trabajo de Grado

Ingeniero Rafael Andrés González Rivera

Ingeniero Luis Guillermo Torres Ribero

Página web del Trabajo de Grado

<http://pegasus.javeriana.edu.co/~CIS1430SD03>

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA DE SISTEMAS
BOGOTÁ, D.C.
DICIEMBRE, 2014

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA DE SISTEMAS

Rector Magnífico

Jorge Humberto Peláez Piedrahita, S.J.

Decano Académico Facultad de Ingeniería

Ingeniero Jorge Luis Sánchez Téllez

Director de la Carrera de Ingeniería de Sistemas

Ingeniero Germán Alberto Chavarro Flórez

Director Departamento de Ingeniería de Sistemas

Ingeniero Rafael Andrés González Rivera

Artículo 23 de la Resolución No. 1 de Junio de 1946

“La Universidad no se hace responsable de los conceptos emitidos por sus alumnos en sus proyectos de grado. Sólo velará porque no se publique nada contrario al dogma y la moral católica y porque no contengan ataques o polémicas puramente personales. Antes bien, que se vean en ellos el anhelo de buscar la verdad y la Justicia”

AGRADECIMIENTOS

Quisiéramos dar gracias a Dios, a la Santísima Virgen María y sobre todo al espíritu santo por llevarnos de la mano en el desarrollo de esta investigación que fue bastante compleja y extensa. Adicionalmente a nuestras familias, en especial a padres, hermanos, tíos y abuelos que estuvieron siempre atentos de nuestras necesidades, de brindarnos apoyo emocional y tener siempre fe en nosotros y nuestros enormes esfuerzos.

Un agradecimiento invaluable al excelentísimo Director de este trabajo, el ingeniero Edgar Enrique Ruíz García, pues su guía fue indispensable para el correcto encaminamiento de los esfuerzos realizados. Su organización y estructuración nos permitió desarrollar un muy buen trabajo con un altísimo grado de calidad.

CONTENIDO

Índice

Lista de Tablas	xiii
Lista de Figuras	xv
Lista de Anexos	xviii
Lista de Ecuaciones	xix
I - INTRODUCCIÓN.....	1
II - DESCRIPCIÓN GENERAL.....	2
Oportunidad, Problemática y Antecedentes	2
Descripción del contexto	2
Pregunta de investigación.....	3
Justificación.....	3
Impacto Esperado	4
Descripción del Proyecto	5
Objetivo general	5
Objetivos específicos.....	5
Fases metodológicas.....	5
III - MARCO TEÓRICO	8
Discapacidad Visual [35]	8
Localización en Espacios cerrados.....	8
LBS.....	9
IV - DESARROLLO DE LA FASE DE INVESTIGACIÓN CUALITATIVA.....	20
RECOLECCIÓN DE DATOS	20
Entrevistas	20
Estado del Arte	20
CODIFICACIÓN ABIERTA.....	31

Requerimientos.....	31
Problemáticas	32
CODIFICACIÓN AXIAL.....	36
Selección de problemáticas	36
CODIFICACIÓN SELECTIVA	37
Modelo.....	37
V - DESARROLLO DE LA FASE DE INVESTIGACIÓN APLICADA PARA EL DESARROLLO DE SOFTWARE	45
FASE DE ELABORACIÓN.....	45
Selección de componentes para cada módulo del modelo.....	45
FASE DE CONSTRUCCIÓN.....	65
Prototipo	65
FASE DE VALIDACIÓN.....	66
Protocolo de Validación	66
VI - CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	78
Conclusiones	78
Recomendaciones.....	79
Trabajos Futuros	80
VII - REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA	81
VIII - ANEXOS	90
Anexo 1. Glosario	90
Anexo 2. Clasificación de la discapacidad visual según el nivel de pérdida	93
Discapacidad visual según el nivel de pérdida	93
Discapacidad visual en función del órgano afectado en oculares y corticales	93
Anexo 3. Otras tecnologías de localización para navegación en interiores	95
Estándar IEEE 802.15 [41].....	95
Código de barras [42]	97

Anexo 4. Otras variables de localización para navegación en interiores	98
Variables de localización [4][43][44].....	98
Anexo 5. Otros métodos de localización para navegación en interiores.....	100
Trilateración	100
Triangulación.....	100
Detección de proximidad.....	100
Vecino más cercano.....	101
Anexo 6. Otros trabajos relacionados en torno al tema de Localización en interiores	102
DRec: Exploring Indoor Navigation with an Un-Augmented Smart Phone (Dekel, Schiller) [81]	
.....	102
An accelerometer based approach for indoor localization (Ching-Hsien Hsu, Chia-Hao Yu) [84]	
.....	102
Towards mobile phone localization without war-driving (Lonut Constandache, Romit Roy Choudhury, Injong Rhee) [82]	
.....	103
Using smartphones for indoor navigation (Marshall, Dietz) [71]	
.....	103
An Indoor Positioning System for a First Responder in an Emergency Environment (Gong Bo Moon, Moon Beom Hur, Gyu-In Jee) [76]	
.....	104
Security Visiting_RFID-Based Smartphone Indoor Guiding System (Hong Zeng, Jianhui Zhang, Guojun Dai, Zhigang Gao, Haiyang Hu) [70]	
.....	106
A WiFi-aided reduced inertial sensors-based navigation system with fast embedded implementation of particle filtering (M. M. Atai, M. J. Korenberg, A. Noureldim) [73]	
.....	107
Bluetooth indoor positioning (Anja Bekkelien) [19]	
.....	108
LocateMe: Magnetic-Fields-Based Indoor Localization Using Smartphones (Kalyan Pathapati Subbu, Brandon Gozick, Ram Dantu) [22]	
.....	109
Beep: 3D Indoor Positioning Using Audible Sound (Atri Mandal, Cristina V. Lopes, Tony Givargis, Amir Haghghat, Raja Jurdak, Pierre Baldi) [79]	
.....	110
The Cricket Indoor Location System (Priyantha) [78]	
.....	111
Properties of Indoor Received Signal Strength for WLAN Location Fingerprinting (Kamol Kaemarungsi, Prashant Krishnamurthy) [45]	
.....	112
Integración de un sistema de posicionamiento indoor en aplicaciones SIG para dispositivo móvil (Laia Descamps-Vila, A. Pérez-Navarro , Jordi Conesa) [13]	
.....	114

Accurate WLAN Indoor Localization Based on RSS Fluctuations Modeling (Shih-Hau Fang, Tsung-Nan Lin) [74].....	115
TraceMe: Indoor Real-Time Location System (Silva, Paralta, Caldeirinha, Rodrigues) [49]	115
SoundLoc: Acoustic Method for indoor Localization without infrastructure (Jia, Jin, Spanos) [122]	116
Anexo 7. Entrevistas aplicadas a personas con diferentes grados de discapacidad visual	118
Persona 1	118
Persona 2	121
Persona 3	123
Persona 4	126
Persona 5	129
Persona 6	132
Persona 7	134
Persona 8	136
Anexo 8. Ventajas y desventajas presentadas en cada uno de los trabajos estudiados para el Estado del Arte	141
Ways4all: Indoor navigation for visually impaired and blind people (Martijn Kiers, Tina Sovec) [17]	141
The Cricket Indoor Location System (Nissanka Bodhi Priyantha) [78].....	141
Using smartphones for indoor navigation (Brandeis Marshall, James E. Dietz) [71]	141
TraceMe - Indoor Real-Time Location System (Pedro M. Mestre A. Silva, Maximino Paralta, Rafael Caldeirinha, Jorge Rodrigues, Carlos M.J.A. Serôdio) [49]	142
DRec: Exploring Indoor Navigation with an Un-Augmented Smart Phone (Amnon Dekel, Elad Schiller) [81].....	142
An accelerometer based approach for indoor localization (Ching-Hsien Hsu, Chia-Hao Yu) [84]	143
Beep: 3D Indoor Positioning Using Audible Sound (Atri Mandal, Cristina V. Lopes, Tony Givargis, Amir Haghighat, Raja Jurdak, Pierre Baldi) [79]	143

Integración de un sistema de posicionamiento indoor en aplicaciones SIG para dispositivo móvil (Laia Descamps-Vila, A. Pérez-Navarro , Jordi Conesa) [13]	143
An Indoor Navigation System For Smartphones (Abhijit Chandgadkar) [50]	144
Towards mobile phone localization without war-driving (Lonut Constandache, Romit Roy Choudhury, Injong Rhee) [82]	144
IndoorAtlas [51]	145
WiFi-Based Indoor Positioning for Multi-Floor Environment (Hung-Huan Liu, Yu-Non Yang) [20]	145
A WLAN fingerprinting based indoor localization technique (Landu Jiang) [5].....	146
An Indoor Positioning System for a First Responder in an Emergency Environment (Gong Bo Moon, Moon Beom Hur, Gyu-In Jee) [76].....	146
BuildNGo, SAILS Technology (Taiwan), Tingyueh Chin [24].....	146
Security Visiting_RFID-Based Smartphone Indoor Guiding System (Hong Zeng, Jianhui Zhang, Guojun Dai, Zhigang Gao, Haiyang Hu) [70].....	147
Indoor magnetic navigation for the blind (Timothy H. Riehle, Shane M. Anderson, Patrick A. Lichter, Nicholas A. Giudice, Suneel I. Sheikh, Robert J. Knuesel, Daniel T. Kollmann, Daniel S. Hedin) [53].....	147
LocateMe: Magnetic-Fields-Based Indoor Localization Using Smartphones (Kalyan Pathapati Subbu, Brandon Gozick, Ram Dantu) [22]	148
Wifi Compass - Wifi Access Point Localization with Android Devices (Thomas Konrad, Paul Wölfel) [21].....	148
A WiFi-aided reduced inertial sensors-based navigation system with fast embedded implementation of particle filtering (M. M. Atai, M. J. Korenberg, A. Noureldim) [73]	149
Accurate WLAN Indoor Localization Based on RSS Fluctuations Modeling (Shih-Hau Fang, Tsung-Nan Lin) [74].....	149
Properties of Indoor Received Signal Strength for WLAN Location Fingerprinting (Kamol Kaemarungsi, Prashant Krishnamurthy) [45].....	149
Bluetooth indoor positioning (Anja Bekkelien) [19].....	150
SoundLoc: Acoustic Method for indoor Localization without infrastructure (Jia, Jin, Spanos) [122]	150

Anexo 9. Evaluación de tecnologías utilizadas para la identificación de una edificación	151
Anexo 10. Evaluación de Técnicas y tecnologías utilizadas para la localización horizontal	154
Anexo 11. Datos tomados en la prueba de concepto de detección del campo magnético	159
Anexo 12. Pantallazos de prueba de concepto de detección del campo magnético..	161
Fase de calibración	161
Fase de localización.....	161
Anexo 13. Pantallazos de prueba de concepto del uso de la red inalámbrica de WLAN-Wifi	162
Fase de calibración	162
Fase de localización.....	162
Anexo 14. Pseudocódigo de los algoritmos propuestos por <i>Landu Jiang</i> [5].....	163
Algoritmo KMLN (K vecinos más probables)	163
Algoritmo de rastreo basado en la ruta más corta	164
Anexo 15. Pseudocódigo de los algoritmos propuestos en esta investigación	165
Algoritmo Basado en el Rango.....	165
Algoritmo Basado en el Rango Extendido	165
Algoritmo Basado en el Rango Extendido con Áreas Adyacentes.....	166
Anexo 16. Modelo entidad relación de la base de datos utilizada en el prototipo desarrollado	168
Anexo 17. Datos tomados para la prueba de concepto de localización vertical mediante el uso del barómetro del teléfono inteligente	169
Anexo 18. Resultados obtenidos al aplicar el protocolo de validación.....	170
Etapa de validación de la localización horizontal	170
Etapa de validación de la localización vertical.....	187
Etapa de validación del modelo completo.....	188

Anexo 19. Encuestas de satisfacción aplicadas a los usuarios sin discapacidad visual durante la prueba del modelo completo	192
Usuario 1	192
Usuario 2	193
Usuario 3	194
Usuario 4	194
Anexo 20. Guía de Instalación de componentes del prototipo.....	197
Instalación de la base de información.....	197
Instalación del proveedor de servicios.....	197
Instalación del consumidor de servicios.....	199
Anexo 21. Pantallazos de la aplicación realizada para el prototipo desarrollado en la presente investigación	201
Fase de calibración	201
Fase de localización.....	202
Anexo 22. Descripción del Trabajo de Grado.....	203
Anexo 23. Carta de autorización (licencia de uso)	206

Lista de Tablas

Tabla 1. Tipos de discapacidad visual de acuerdo al grado de agudeza visual, tomado de [35]8

Tabla 2. Relación entre las Técnicas y Métodos de localización [Elaboración propia].....19

Tabla 3. Relación entre los Métodos y Variables de localización [Elaboración propia]19

Tabla 4. Correspondencia entre necesidades del usuario y requerimientos20

Tabla 5. Observaciones y márgenes de error de los Trabajos relacionados.....29

Tabla 6. Conceptos clave de los trabajos relacionados30

Tabla 7. Requerimientos obtenidos a partir de las entrevistas aplicadas32

Tabla 8. Variables intervinientes identificadas para el prototipo propuesto68

Tabla 9. Variables del experimento que prueba el algoritmo KMLN.....69

Tabla 10. Variables del experimento que prueba el algoritmo basado en el rango.....72

Tabla 11. Variables identificadas en la prueba del algoritmo basado en el rango extendido74

Tabla 12. Comparación de error obtenido con el algoritmo Rango y Rango extendido.....74

Tabla 13. Comparación de error porcentual obtenido con el algoritmo Rango extendido y Rango extendido utilizando áreas adyacentes75

Tabla 14. Variables identificadas para el experimento que prueba la Localización Vertical.....75

Tabla 15. Recorridos realizados en el experimento que prueba la Localización Vertical76

Tabla 16. Resultados obtenidos en la prueba de validación del modelo completo.....77

Tabla 17. Información de la persona 1118

Tabla 18. Información de la persona 2.....121

Tabla 19. Información de la persona 3.....124

Tabla 20. Información de la persona 4.....126

Tabla 21. Información de la persona 5.....129

Tabla 22. Información de la persona 6.....132

Tabla 23. Información de la persona 7.....134

Tabla 24. Información de la persona 8.....137

Tabla 25. Ventajas y desventajas de las Tecnologías utilizadas para la identificación de la edificación [Elaboración propia].....153

Tabla 26. Ventajas y desventajas de las técnicas de Localización Horizontal en interiores [Elaboración propia]158

Tabla 27. Datos del campo magnético en el Lugar 1159

Tabla 28. Datos del campo magnético en el Lugar 2.....	160
Tabla 29. Presión atmosférica registrada en la prueba de concepto de Localización Vertical	169
Tabla 30. Resultados de las pruebas del algoritmo KMLN variando el K.....	171
Tabla 31. Resultados de las pruebas del algoritmo de rastreo basado en la ruta más corta variando el K.....	173
Tabla 32. Resultados de las pruebas del algoritmo basado en el rango (1 metro) variando el K.....	175
Tabla 33. Resultados de las pruebas del algoritmo basado en el rango (2 metros) variando el K...	176
Tabla 34. Resultados de las pruebas del algoritmo basado en el rango (3 metros) variando el K...	178
Tabla 35. Resultados de las pruebas del algoritmo basado en el rango (4 metros) variando el K...	179
Tabla 36. Resultados de las pruebas del algoritmo basado en el rango extendido con 3 metros $K = 3$	180
Tabla 37. Resultados de las pruebas del algoritmo basado en el rango extendido utilizando áreas adyacentes, con 3 metros $K = 3$	187
Tabla 38. Resultados de los 5 recorridos de la prueba de localización vertical utilizando las escaleras y el ascensor	188
Tabla 39. Resultados obtenidos en la prueba de validación del modelo completo (Usuario 1).....	189
Tabla 40. Resultados obtenidos en la prueba de validación del modelo completo (Usuario 2).....	190
Tabla 41. Resultados obtenidos en la prueba de validación del modelo completo (Usuario 3).....	190
Tabla 42. Resultados obtenidos en la prueba de validación del modelo completo (Usuario 4).....	191
Tabla 43. Descripción del Trabajo de Grado para la Biblioteca Alfonso Borrero Cabal S.J.....	205
Tabla 44. Autorizaciones sobre el Trabajo de Grado para la Biblioteca Alfonso Borrero Cabal S.J.	207
Tabla 45. Firmas de autorización de publicación del Trabajo de Grado para la Biblioteca Alfonso Borrero Cabal S.J.	208

Lista de Figuras

Figura 1. Esquema general del marco teórico [Elaboración propia].....	9
Figura 2. Partes de un RLTS, tomado de [4]	10
Figura 3. Relación entre Técnicas y tecnologías de localización [Elaboración propia].....	14
Figura 4. Fenómenos ocurridos a la señal al encontrarse con un objeto, tomado de [4].....	15
Figura 5. Datos que componen un mapa de radio.....	17
Figura 6. Datos medidos en tiempo real para comparar con el mapa del radio	17
Figura 7. Esquema general del método basado en el rastro, tomado de [45].....	19
Figura 8. Ejemplo de un marcador de posición con su codificación, tomado de [50]	22
Figura 9. Representación de un AP y un VAP, tomado de [20]	24
Figura 10. Estructura del método basado en el rastro (<i>fingerprinting</i>), tomado de [5].....	25
Figura 11. Concepto de áreas y lugares estructurales adyacentes [Elaboración propia].....	33
Figura 12. Interrelación entre las problemáticas asociadas a la localización en interiores para personas con discapacidad visual.....	36
Figura 13. Interrelación entre las problemáticas asociadas a la localización en interiores para personas con discapacidad visual y que hacen parte del alcance la investigación.....	37
Figura 14. Sub-módulos de la Localización en interiores en tiempo real	37
Figura 15. Cuadrícula (1m x 1m) superpuesta en el plano de un piso [Elaboración propia]	40
Figura 16. Relación entre los datos requeridos para el modelo de localización en interiores.....	42
Figura 17. Sub-módulos de Comunicación con el usuario con discapacidad visual.....	42
Figura 18. Modelo de localización en interiores para personas con discapacidad visual en notación UML.....	44
Figura 19. Pantallazo de IndoorAtlas.....	51
Figura 20. Lugares donde se tomaron las muestras para la prueba de concepto.....	52
Figura 21. Magnitud del campo magnético, componentes x, y, z en el Lugar 1.....	52
Figura 22. Magnitud del campo magnético, componentes x, y, z en el Lugar 2.....	53
Figura 23. Representación de error de estimación en la localización utilizando la prueba de concepto de Campo Magnético.....	53
Figura 24. Medición del campo magnético al recorrer el mismo recorrido con 3 celulares distintos.....	54
Figura 25. Pantallazo de la aplicación Sails.....	58
Figura 26. Pantallazo de la aplicación Wifi Compass.....	59

Figura 27. Pantallazo que evidencia el error acumulado en la aplicación Wifi Compass	59
Figura 28. Esquema de datos para el método basado en el rastro [Elaboración propia].....	60
Figura 29. Relación entre presión atmosférica y número del piso (altura) en un edificio	63
Figura 30. Diagrama de componentes del prototipo desarrollado	66
Figura 31. Diagrama de despliegue del prototipo desarrollado	66
Figura 32. Ruta de validación de la Localización horizontal.....	68
Figura 33. Error porcentual obtenido al probar el algoritmo KMLN aumentando el K	69
Figura 34. Error del algoritmo: rastreo basado en la ruta más corta aumentando el K.....	70
Figura 35. Porcentaje de error total de estimación del área de localización	70
Figura 36. Resultados del error porcentual del algoritmo basado en el Rango manteniendo constante la distancia del rango mientras varía el K.....	72
Figura 37. Resultados del error porcentual del algoritmo basado en el Rango manteniendo constante el K mientras varía la distancia del rango	73
Figura 38. Partes del ojo humano, tomado de [121]	93
Figura 39. Funcionamiento de tag RFID, tomado de [4]	96
Figura 40. Representación gráfica de la trilateración, tomado de [43]	100
Figura 41. Representación gráfica de la triangulación, tomado de [43]	100
Figura 42. Componentes del sistema, tomado de [76].....	105
Figura 43. Comportamiento del campo magnético, tomado de [22].....	109
Figura 44. Componentes de Beep, tomado de [79].....	110
Figura 45. Arquitectura de Vist@, tomado de [13].....	114
Figura 46. Componentes de TraceMe, tomado de [49].....	116
Figura 47. Proceso de calibración de la prueba de concepto de detección de campo magnético	161
Figura 48. Proceso de localización de la prueba de concepto de detección de campo magnético...	161
Figura 49. Proceso de calibración de la prueba de concepto de uso de la red inalámbrica de WLAN – Wifi	162
Figura 50. Proceso de localización de la prueba de concepto de uso de la red inalámbrica de WLAN - Wifi.....	162
Figura 51. Modelo entidad relación del prototipo desarrollado	168
Figura 52. Generación del WSDL del Servicio Web en NetBeans.....	198
Figura 53. Consola de GlassFish para edición del pool de conexiones	198

Figura 54. Configuración del pool de conexiones de GlassFish.....	199
Figura 55. Configuración de la IP del Servicio Web desde la aplicación móvil en Eclipse ADT ...	199
Figura 56. Proceso de calibración del prototipo desarrollado.....	202
Figura 57. Proceso de localización del prototipo desarrollado	202

Lista de Anexos

Anexo 1. Glosario	90
Anexo 2. Clasificación de la discapacidad visual según el nivel de pérdida	93
Anexo 3. Otras tecnologías de localización para navegación en interiores	95
Anexo 4. Otras variables de localización para navegación en interiores	98
Anexo 5. Otros métodos de localización para navegación en interiores.....	100
Anexo 6. Otros trabajos relacionados en torno al tema de Localización en interiores	102
Anexo 7. Entrevistas aplicadas a personas con diferentes grados de discapacidad visual.....	118
Anexo 8. Ventajas y desventajas presentadas en cada uno de los trabajos estudiados para el Estado del Arte	141
Anexo 9. Evaluación de tecnologías utilizadas para la identificación de una edificación.....	151
Anexo 10. Evaluación de Técnicas y tecnologías utilizadas para la localización horizontal	154
Anexo 11. Datos tomados en la prueba de concepto de detección del campo magnético	159
Anexo 12. Pantallazos de prueba de concepto de detección del campo magnético.....	161
Anexo 13. Pantallazos de prueba de concepto del uso de la red inalámbrica de WLAN-Wifi.....	162
Anexo 14. Pseudocódigo de los algoritmos propuestos por <i>Landu Jiang</i> [5].....	163
Anexo 15. Pseudocódigo de los algoritmos propuestos en esta investigación.....	165
Anexo 16. Modelo entidad relación de la base de datos utilizada en el prototipo desarrollado	168
Anexo 17. Datos tomados para la prueba de concepto de localización vertical mediante el uso del barómetro del teléfono inteligente	169
Anexo 18. Resultados obtenidos al aplicar el protocolo de validación.....	170
Anexo 19. Encuestas de satisfacción aplicadas a los usuarios sin discapacidad visual durante la prueba del modelo completo	192
Anexo 20. Guía de Instalación de componentes del prototipo.....	197
Anexo 21. Pantallazos de la aplicación realizada para el prototipo desarrollado en la presente investigación	201
Anexo 22. Descripción del Trabajo de Grado.....	203
Anexo 23. Carta de autorización (licencia de uso)	206

Lista de Ecuaciones

Ecuación 1. Distancia euclidiana entre dos puntos17

Ecuación 2. Probabilidad condicional, tomado de [46]17

Ecuación 3. Teorema de Bayes, tomado de [47].....18

Ecuación 4. Teorema de Bayes aplicado al método basado en el rastro mediante la medición de RSS
.....18

Ecuación 5. Regla de multiplicación de sucesos independientes aplicada al método basado en el
rastro mediante la medición de RSS18

ABSTRACT

The contribution presented by the research is based on the analysis of indoor positioning where GPS does not work. Nevertheless, its real importance is focused on the kind of users that interact with the system: visually impaired people. Thus, it is proposed an indoor location model, which most important device is a Smartphone, widely used nowadays and which has useful characteristics for the location processes at every single floor of a building. The model is intended to be as non-invasive as possible and not require special devices placed in the building.

RESUMEN

El aporte generado por la investigación se centra en el análisis de la localización en espacios cerrados, donde el GPS no funciona. No obstante, su importancia se centra en el público al que va dirigido el estudio: personas con discapacidad visual. Así, se propuso un modelo de localización en interiores cuyo dispositivo principal es un teléfono inteligente, ampliamente utilizado actualmente y que brinda características útiles para el proceso de ubicación al interior de un piso y entre diferentes pisos. El modelo busca ser lo menos invasivo posible con el usuario, además de no requerir adecuaciones adicionales en la edificación.

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo de grado expone un estudio en torno al tema de localización en espacios cerrados para personas con discapacidad visual. El Sistema de Posicionamiento Global, comúnmente llamado GPS, determina la localización en lugares abiertos en términos de latitud, longitud y altitud; sin embargo, este sistema deja de funcionar al ingresar a una edificación debido a que las señales de radio emitidas por los satélites que giran alrededor de la Tierra y que viajan hasta la superficie, sufren atenuaciones al chocar contra las estructuras físicas de tales edificaciones. Por ello, la localización en interiores requiere un trabajo diferente que se adapte a este tipo de limitaciones.

El estado del arte muestra que las investigaciones hasta el momento realizadas tienen su principal enfoque en personas sin dificultades de visión, lo cual abre un interesante espacio de trabajo. Es necesario interactuar con el usuario de la manera más adecuada para que él pueda acceder efectivamente a la información que le ayudará a ubicarse y desplazarse; por ello, se determinó que el dispositivo que permitiría hacerlo es un teléfono inteligente, por su actual proliferación y masificación, y por sus múltiples características que puede ser utilizadas para beneficiar a la población en condición de discapacidad.

Con esta motivación, se propuso un modelo de localización en interiores orientado específicamente a personas con algún grado de discapacidad visual, el cual tiene como fundamento las necesidades reales de esta población que fueron obtenidas a partir de entrevistas aplicadas durante el proceso de investigación. Esta información, junto a las tecnologías y técnicas actualmente utilizadas con este propósito, permitieron establecer unos lineamientos para garantizar que un sistema de localización pueda brindar información de localización útil para los usuarios. Con el fin de validar el modelo propuesto, se desarrolló un prototipo que integra hardware y software para cumplir con los lineamientos establecidos donde se determinó que la técnica de localización que permitiría a la población con discapacidad visual, obtener información útil, es el uso de la red inalámbrica de área local (WLAN) [1], conocida como Wifi en el caso de la localización al interior de un piso (horizontal), y el uso del barómetro del teléfono inteligente para determinar el piso donde se encuentra el usuario (vertical) [2]. Se decidió utilizar un tag de identificación por radio frecuencia (RFID) [3], de tipo pasivo para hacer la identificación del edificio al entrar en éste con el fin de tener un punto de referencia para iniciar todo el proceso de localización.

Haciendo uso de múltiples Puntos de acceso de la red Wifi (AP), se decidió utilizar la variable RSS (intensidad de la señal recibida) y el método de posicionamiento basado en el rastro [4]. Se decidió utilizar el algoritmo KMLN (*K most likely neighbors*) propuesto por el investigador Landu Jiang [5]

que utiliza el teorema de Bayes para obtener una cantidad K de coordenadas donde es más probable que se encuentre el usuario en cada momento de su desplazamiento. Para determinar dentro de ese conjunto la coordenada donde realmente se encuentra, se partió de un segundo algoritmo de Jiang llamado rastreo basado en la ruta más corta. Sin embargo, al aplicar pruebas sobre este segundo algoritmo, pudo observarse que el error en la localización era menor al propuesto en el documento escrito por el autor, así que en la presente investigación se propusieron 3 nuevos algoritmos que utilizaban algunas premisas del estudio de Jiang pero buscaban mitigar algunos errores que podrían estar ocasionando una baja precisión en la determinación de la localización. Cada uno de los nuevos algoritmos fue diseñado buscando mitigar errores encontrados en el anterior y de esta manera fue reportando una precisión más alta y mejorando la exactitud expuesta por Jiang en su documento de tesis. De esta manera, se obtuvo un error del 23% con una confiabilidad del 70.1% en las pruebas realizadas.

Por su parte, haciendo uso del barómetro se decidió trabajar con la diferencia de presión atmosférica entre los pisos de la edificación. Al aplicar diferentes pruebas se determinó un error del 0% en la determinación del piso donde se encuentra el usuario, con una confiabilidad del 100% en las pruebas realizadas.

Fue posible concluir que el modelo propuesto es viable debido a los resultados obtenidos al aplicar el protocolo de validación para probar el prototipo desarrollado. Adicionalmente, se espera que el estudio realizado tenga una verdadera utilidad para la población con discapacidad visual pues en las entrevistas realizadas expresaron que suelen tener dificultades para desplazarse en lugares públicos cerrados y desconocidos, y por ende les brindaría una importante ayuda para desplazarse con mayor autonomía y tranquilidad; podría ser una herramienta más para su desplazamiento o incluso podría llegar a suplir la necesidad de personas acompañantes o perros lazarillos.

Adicionalmente se hicieron aportes a este tema de investigación en varios sentidos: la mayoría de estudios se centran únicamente en la localización en un solo piso, pero en este trabajo se propone integrarlo también con la determinación del piso, en caso de que el usuario ascienda o descienda a través de la edificación. También se plantea un novedoso manejo de áreas que son adyacentes, es decir, a través de las cuales hay un punto de acceso que permite pasar de una a otra, lo cual pudo mejorar significativamente el nivel de precisión obtenido. Finalmente, se propuso el uso de una tarjeta RFID para facilitar la comunicación desde el usuario hacia la aplicación, que permite abrir instantáneamente la aplicación, al acercarla a la tecnología NFC (*Near Field Communication*) [6] de los actuales teléfonos inteligentes. De la misma manera, el usuario puede solicitar su ubicación al

realizar este mismo procedimiento, evitando el excesivo uso de la pantalla táctil que podría generar cierta carencia de usabilidad por parte de las personas con discapacidad visual e incluso los invidentes. La respuesta a la solicitud es reportada mediante voz, que es la forma más práctica y útil que encuentran los encuestados para conocer su lugar de ubicación. Se informa el nombre del área donde se encuentra para permitir al usuario tomar decisiones acertadas respecto a su desplazamiento en un lugar cerrado.

El impacto generado por esta investigación también podría trascender a otros tipos de población o abrir las puertas a nuevos trabajos futuros para abordar la problemática del enrutamiento del usuario y la identificación de objetos en el camino que puedan llegar a convertirse en obstáculos que dificulten su tránsito o que en determinados casos, atenten contra la vida de los usuarios con dificultades de visión.

I - INTRODUCCIÓN

La presente investigación se centra en el estudio de la temática de localización en interiores orientada a personas con discapacidad visual, ya que en estos entornos el GPS deja de funcionar adecuadamente. A continuación se presenta la estructura que tiene el documento.

Se hace una descripción general donde se incluye la problemática que genera la investigación, así como sus antecedentes, la oportunidad que se presenta y su respectiva justificación, concluyendo con el Impacto esperado. Posteriormente se hace una descripción técnica del trabajo de grado estipulando su visión global, el objetivo general y los específicos, y finalmente la metodología de investigación y las etapas de desarrollo del trabajo.

A continuación se expone el marco teórico con los conceptos imprescindibles para poder abordar el presente documento. Allí se detalla la temática de la discapacidad visual y la localización en espacios cerrados.

Posteriormente se presenta el desarrollo del trabajo que contiene el estudio de los trabajos relacionados en el estado del arte y la justificación de la investigación respecto los hallazgos encontrados. Luego se evidencia el aporte realizado mediante el análisis del contexto del problema, la propuesta del modelo de localización en interiores para personas con discapacidad visual y el prototipo que lo instancia para comprobar su validez, a través de la selección de componentes necesarios para la implementación.

Seguidamente se especifica el protocolo de validación desarrollado para evaluar el prototipo implementado y corroborar que el modelo propuesto satisface el objetivo general. Se presentan resultados y análisis de los mismos.

A continuación se desarrollan las conclusiones respecto a la investigación realizada, se dan algunas recomendaciones generales a posibles autores que decidan seguir esta línea de investigación y para la Carrera de Ingeniería de Sistemas de la Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá. También se profundiza en múltiples trabajos futuros que pueden surgir a partir de la investigación presentada.

Finalmente se encuentran las Referencias y Bibliografía que soporta el trabajo de grado. Y se culmina con algunos anexos que corresponden a la ampliación de información de cada sección descrita previamente.

II - DESCRIPCIÓN GENERAL

Oportunidad, Problemática y Antecedentes

Descripción del contexto

Actualmente a nivel mundial hay aproximadamente 285 millones de personas con discapacidad visual, de las cuales 39 millones son ciegas [7]. El 90% de las personas con discapacidad visual se concentra en países en vía de desarrollo, y en Colombia corresponde a una cifra de 199.348 personas [8]. Ello implica que el 0.43% de la población en Colombia padece de ceguera [8]. Las personas con discapacidad visual cotidianamente deben salir de sus casas para enfrentarse solos, en múltiples ocasiones, al espacio público abierto y cerrado, donde pueden encontrar un sin número de obstáculos que pueden representarles un riesgo al surgir accidentes de diferente índole. Inclusive hay momentos en que necesitan salir y no tienen la autonomía y confianza suficiente para hacerlo si no cuentan con personas que los guíen, perros lazarillos o no tienen conocimiento de algún tipo de herramienta, como la técnica de movilidad de Hoover que se vale del uso de un bastón [9].

Dados los avances tecnológicos, en la actualidad se puede realizar una ubicación con cierta precisión a través del uso del GPS en lugares abiertos donde es posible que la señal emitida por los satélites sea usada efectivamente por algunos dispositivos, como los teléfonos inteligentes [10]. Sin embargo, no se ha encontrado evidencia de la existencia de una herramienta igualmente precisa, útil y posicionada en el mercado que afronte el problema de la localización en espacios cerrados [11][12][13][14][15][16][17][18][19][20][21][22][23][24].

En la actualidad hay muchos estudios respecto a la localización en lugares cerrados e incluso algunos han sido pensados para personas invidentes, a través del uso de dispositivos de apoyo como: bastones electrónicos [18], AP que utilizan Wifi [18][15], dispositivos que utilizan el protocolo ZigBee [25][15], sensores de luz ubicados en el pecho de las personas invidentes [14], y algunos sistemas híbridos que conjugan algunos de los anteriores [11][13]. Sin embargo, lo que se propuso para la presente investigación es utilizar al máximo las funcionalidades que prestan los teléfonos inteligentes, para estimar la ubicación de personas con discapacidad visual en lugares cerrados.

En el último siglo, se han conseguido avances importantes para la población discapacitada en áreas como la educación y la salud, y gracias a las tecnologías de la información se han podido reducir muchas barreras con las que ellos se enfrentaban; no obstante, el escaso reconocimiento del potencial de las tecnologías se convierte en la principal causa de la reducida proliferación de herramientas que ayuden a las personas discapacitadas [16]. Esto ocurre con las aplicaciones para dispositivos móviles, ya que en su mayoría son pensadas para personas con visión pues uno de sus componentes

más atractivos es la interfaz gráfica que proveen. Sin embargo, esto en realidad no es un obstáculo para desarrollar aplicaciones útiles para personas con discapacidad pues los teléfonos inteligentes proveen actualmente sensores como: acelerómetro, magnetómetro, proximidad, giroscopio, barómetro, infrarrojo, humedad y temperatura [12]. De allí surgió un importante interés en desarrollar una aplicación que contribuyera a mejorar las condiciones de vida de estas personas y que pudiera facilitar la realización de sus funciones diarias, permitiéndoles cierto grado de independencia en espacios cerrados, a través de la utilización de teléfonos inteligentes [26].

Pregunta de investigación

¿Cómo las herramientas de hardware y software le pueden ayudar a una persona con discapacidad visual a determinar su ubicación dentro de un lugar cerrado?

Justificación

Este proyecto podría generar un gran impacto en millones de personas con discapacidad visual, no sólo de Bogotá y Colombia, sino de todo el mundo. Sería extremadamente útil y práctico para estas personas que a través de un teléfono inteligente puedan conocer una estimación de su posición dentro de algún espacio cerrado, y a partir de esta información pudieran desplazarse con mayor confianza y seguridad mejorando sus condiciones de vida. Es importante aclarar que el objetivo del trabajo de grado no contempla enrutamiento u orientación, es decir, no se pretende dar una ruta para que la persona con discapacidad visual vaya de un punto a otro, sino que el alcance llega hasta el punto de comunicarle su ubicación dentro de un espacio cerrado cada vez que el usuario lo solicite. Según el censo realizado en 2005 en Colombia, había un cifra de 1.143.992 personas con limitaciones visuales (no es considerado ceguera pero sí un impedimento para reconocer objetos, lugares y personas), la cifra más grande en cuanto a discapacidad en el país, y lo cual equivale a aproximadamente 2,8% de la población colombiana. Según este mismo reporte, “De cada 100 colombianos con limitaciones, el 43,5% tiene limitaciones permanentes para ver” [27][8].

Según un estudio realizado en el año 2010 por la Fundación Saldarriaga Concha titulado “Discapacidad en Colombia, reto para la inclusión en capital humano” [27] se registró un total de 40.7% de personas con discapacidades visuales. Dentro de los registros se habla que el 76% de las personas con discapacidad perciben barreras físicas en su entorno inmediato (calles públicas y viviendas). El 48.5% percibe barreras en la vía pública y el 46.9% en la vivienda [28]. Esto permite evidenciar que las personas discapacitadas y en especial las que presentan problemas visuales, no encuentran totalmente seguros al desplazarse por las calles y dentro de las viviendas, en Colombia.

Adicionalmente el estudio demuestra que aproximadamente el 42,42% de los departamentos en Colombia muestran un elevado nivel de exclusión en capital humano de las personas con múltiples discapacidades [27]. Una persona con discapacidad visual aprende y logra desarrollar sus demás sentidos en proporciones muy altas, ya que se agudizan dada la carencia de visibilidad. Sin embargo, un estudio hecho por el Instituto Nacional para ciegos en conjunto con la Universidad Nacional de Colombia en este tipo de población demuestra que las personas invidentes suelen sentirse carentes de autonomía en sus actividades al necesitar de otras personas para ello. De acuerdo a información estadística de este estudio, “El 76% de las personas con limitación visual percibe barreras físicas que limitan su grado de autonomía, movilidad y oportunidades sociales; dentro de las barreras físicas más importantes se encuentran aquellas de la vía pública (54%), la vivienda (52%), los medios de transporte (40%), los sitios dedicados al esparcimiento y la recreación (24%), y en los lugares de trabajo y establecimientos educativos (17%)” [27]. El estudio también revela que el 48,1% de ellos reportan que la limitación más importante para realizar actividades cotidianas es la movilidad, es decir, caminar, correr y saltar [29]. De este modo sería fácil deducir que las personas con discapacidad visual se sienten excluidas por su discapacidad, debido a la poca autonomía que perciben al requerir una mascota o una persona que los guíe. Partiendo de ello, es posible encontrar un gran impacto en el proyecto de localización de estas personas en lugares cerrados; ello permitiría proveer una herramienta a la persona con discapacidad visual, con la que podría complementar a las ayudas ya existentes y dar un poco de flexibilidad en caso de que estas no estén disponibles todo el tiempo. De esta forma se apoyaría a las personas con discapacidad visual en sus labores diarias permitiéndoles tener un mayor grado de autonomía, y haciéndoles sentir que son en realidad poseedores de múltiples habilidades con las cuales pueden contribuir a la sociedad.

Impacto Esperado

Este proyecto podría tener un impacto muy importante en diferentes ámbitos. Dado que la modalidad del trabajo de grado es Investigación, el modelo que se propuso puede abrir las puertas a nuevos estudios que permitan una precisión más alta en la localización y diferentes formas de instanciarlo. Adicionalmente, algunos nuevos proyectos podrían utilizar este trabajo como punto de partida para desarrollar mejoras, nuevos módulos y enriquecer diferentes tipos de poblaciones. Por ejemplo, podrían surgir trabajos centrados en dirigir una ruta de una persona con discapacidad visual a través de un lugar cerrado. También podría complementarse con la identificación de objetos y obstáculos en el lugar, con el objetivo de disminuir la posibilidad de accidentalidad de estas personas.

Adicionalmente, generar un modelo que sea lo menos invasivo posible para las personas con discapacidad visual y lo más preciso posible, sin duda generará mucho valor para este tipo de población. La sensación de autonomía y seguridad al desplazarse dentro de un lugar cerrado, es el gran impacto que podría tomar este trabajo. La meta es poder mejorar su calidad de vida mediante el adecuado uso de las actuales tecnologías de software y hardware. No obstante, el impacto podría salirse de estos límites y ser un servicio que aporte en otros ámbitos: no sólo estas personas requieren localizarse en interiores; en ocasiones, las personas con plena facultad de visión, también necesitan ubicarse dentro de un sitio que no es previamente conocido. De esta manera, podría haber diferentes tipos de públicos que dependiendo de sus necesidades, podrían beneficiarse del presente proyecto.

Descripción del Proyecto

Objetivo general

Construir un modelo que al integrar elementos de hardware y software, pueda permitir a una persona con discapacidad visual conocer su localización dentro de un lugar cerrado, a través de una aplicación móvil.

Objetivos específicos

- Definir los requerimientos para determinar la localización de una persona con discapacidad visual dentro de un lugar cerrado.
- Diseñar un modelo para localización en lugares cerrados que satisfaga los requerimientos especificados.
- Validar el modelo propuesto a través de un prototipo funcional y un caso de estudio que compruebe si la solución propuesta satisface los requerimientos planteados.

Fases metodológicas

Se utilizó un conjunto integrado de enfoques metodológicos para alcanzar los objetivos planteados, como se expone en las siguientes fases. El estudio del marco teórico permitió su desarrollo.

Fase de investigación cualitativa [30]

El enfoque cualitativo de la investigación se centra en la recolección de datos sin medición numérica para la construcción de modelos y teorías representativas de la realidad. Esta primera fase buscaba definir los requerimientos para determinar la localización de una persona con discapacidad visual dentro de un lugar cerrado y diseñar un modelo de localización que satisfaga dichos requerimientos. Esta fase de investigación cualitativa se basa en la teoría fundamentada, mediante un diseño sistemático donde se llevan a cabo sub-fases como: recolección de datos, codificación abierta y codificación selectiva [30].

Recolección de datos

La recolección de datos tuvo dos fuentes: la aplicación de entrevistas a personas con discapacidad visual y el estudio del estado del arte.

Por su parte, la recolección de datos cualitativos se realizó mediante el método descriptivo que se llevó a cabo a través de entrevistas (Ver Anexo 7) en profundidad [31, p. 32] aplicadas a personas con diferentes grados de discapacidad visual; con ellas pudo obtenerse información pertinente a la investigación, gracias al proceso de comunicación [32].

Fue necesario indagar en el estado del arte para conocer los trabajos que se han hecho en torno al problema planteado para la investigación y tener una primera visión técnica respecto al tema de localización en interiores para personas sin dificultades de visión y para personas con discapacidad. Se realizó el correspondiente análisis de los trabajos para extraer sus conceptos clave, útiles para la presente investigación, y para concluir qué ventajas y desventajas se presentaban en cada uno de los sistemas propuestos por cada trabajo relacionado.

Codificación abierta [30]

Durante esta etapa se revisaron y analizaron los resultados obtenidos a partir del estado del arte y las entrevistas aplicadas, para obtener en forma de requerimientos, las necesidades encontradas. Además, el análisis permitió reunir grupos de requerimientos asociados para generar (por comparación constante [30]) categorías que buscaban subir a un siguiente nivel de abstracción. Estas categorías fueron denominadas problemáticas dentro del contexto del problema de localización en interiores para personas con discapacidad visual. Sin embargo, como se obtuvieron problemáticas que no hacían parte del alcance de la investigación, fue necesario aplicar una nueva sub-fase de codificación axial [30] donde se posicionó en el “centro” del proceso, las problemáticas que sí estaban alineadas con los objetivos planteados.

Codificación selectiva

A partir de esta fase se definió en detalle cada categoría y las relaciones entre ellas, lo cual dio paso al planteamiento del modelo donde las problemáticas tomaron forma de módulos para el sistema de localización en interiores para personas con discapacidad visual.

Fase de investigación aplicada para el desarrollo de software [33][34]

La metodología seleccionada para la fase de investigación aplicada para el desarrollo de software fue *Agile Unified Process* (AUP) [33]. En ésta se hace uso de técnicas de desarrollo ágil que permiten flexibilidad en torno a la elaboración de modelos y documentos que no requieren tan elevado detalle, y que permiten una mejor gestión de cambios a lo largo de las distintas iteraciones [34].

AUP maneja cuatro fases para el ciclo de vida del software: iniciación, elaboración, construcción y transición. Para el desarrollo de este trabajo de grado, se tomaron en cuenta la fase de elaboración y construcción debido a su alineación con los objetivos específicos, pero además se planteó una fase de validación que hizo énfasis en el protocolo llevado a cabo para hacer las pruebas del prototipo. La fase de iniciación no se tuvo en cuenta pues correspondió al trabajo hecho durante el desarrollo de la propuesta, y la fase de transición no se realizó pues el alcance del proyecto no contempla un despliegue total del software para que sea abiertamente utilizado por el público, debido a su carácter de investigación.

Fase de elaboración

Para esta fase de elaboración, los insumos fueron el modelo propuesto y sus requerimientos. Sin embargo, debido al alcance de tiempo propuesto, debieron definirse aquellos requerimientos del modelo que se implementarían en el prototipo pues permitirían hacer la validación del modelo. El desarrollo del prototipo requirió también una selección de componentes que cumplieran con las restricciones del modelo; por ello, para esta fase también fue necesario tener como insumo la información del estado del arte para determinar las ventajas que prevalecían sobre las desventajas de las técnicas y tecnologías de localización en interiores para hacer una adecuada selección.

Fase de construcción

La fase de construcción tuvo un mayor énfasis en las actividades relacionadas con la implementación del prototipo. Se realizaron varias iteraciones durante las cuales se refinó el prototipo implementado [33][34]. Se destinó la mayor parte del tiempo a la construcción del prototipo a través de la integración de los componentes identificados primariamente en la fase de elaboración [33].

Fase de Validación

Durante esta fase se validó el modelo, a través del planteamiento de un caso de estudio, donde se representó el momento en que una persona con discapacidad visual se enfrenta a un lugar cerrado y utiliza la aplicación móvil, que implementa el modelo propuesto, para conocer su localización. Para ello, se desarrolló un protocolo de validación que permitió hacer una observación para determinar el nivel de precisión de los algoritmos de localización. Posteriormente se indagó a los usuarios, mediante preguntas abiertas y cerradas, para conocer el nivel de satisfacción y utilidad percibida. Las pruebas realizadas no tuvieron como usuarios a personas con discapacidad visual ya que, al no desarrollar un producto final, resultado de un trabajo de aplicación, no es pertinente permitir que este tipo de población utilice un prototipo.

III - MARCO TEÓRICO

El presente proyecto maneja dos grandes temáticas: la discapacidad visual y la localización en espacios cerrados. A continuación se describirán separadamente, sin embargo, su interrelación es la que posibilita este proyecto de investigación y se encuentra desarrollado en la sección de Justificación de la descripción general del proyecto.

Discapacidad Visual [35]

La discapacidad visual consiste en la afectación, o en la carencia de la visión. La pérdida de visión tiene a su vez consecuencias sobre el desarrollo y por tanto es necesario aportar, a través de medios alternativos, información que no se puede obtener a través del sentido de la vista. En el grupo de personas con discapacidad visual existe una gran diversidad de causas que se ven determinadas por dos factores: el grado de pérdida visual y el momento de aparición de la discapacidad, ya que estos determinan el grado de desarrollo de la persona y las posibilidades de aprendizaje durante su vida.

La evaluación del funcionamiento ocular se determinada por la agudeza visual y el campo visual. La primera corresponde a la capacidad para discriminar dos puntos o líneas, lo cual se mide por el ángulo visual mínimo desde el cual pueden verse aún separados los puntos o líneas. Esto depende de la distancia a la que se establece la discriminación y de la distancia a la que el ángulo formado por los ojos al mirar el objeto, es de 1° (grado). Para la visión normal, la razón entre ambas distancias es 1/1. Con el aumento de denominador de la fracción, se incrementa la deficiencia visual. El tipo de deficiencia de acuerdo a la agudeza visual se presenta en la Tabla 1.

Agudeza visual	0 a 0.02	0.05 a 0.12	0.12 a 0.3	0.3 a 0.8	0.8 a 1
Tipo de deficiencia	Ceguera	Deficiencia grave	Deficiencia moderada	Deficiencia ligera	Normal

Tabla 1. Tipos de discapacidad visual de acuerdo al grado de agudeza visual, tomado de [35]

El campo visual se relaciona con los límites que tiene el ojo para captar información. En la visión normal los límites son: 60° hacia la zona nasal, 90° la, zona temporal, 50° , arriba y 70° , abajo. Existe una clasificación adicional de acuerdo al grado de afectación, lo cual se detalla en el Anexo 2.

Localización en Espacios cerrados

La teoría que respalda toda la temática de localización en espacios cerrados se muestra en la Figura 1. Allí se evidencia de forma general los aspectos más importantes del marco teórico necesario para comprender la información encontrada en las investigaciones y proyectos que se expondrán en la siguiente sección de Estado del Arte.

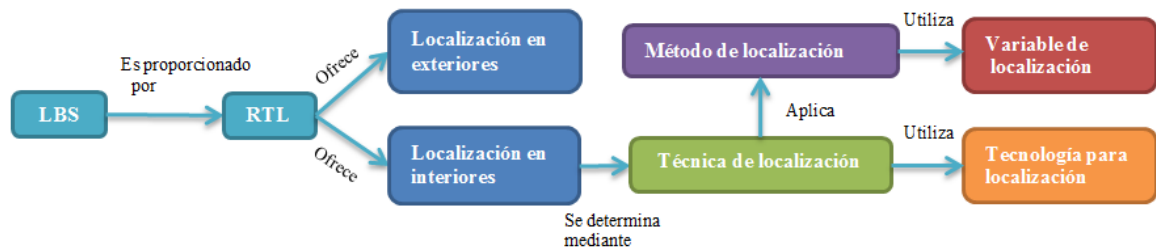


Figura 1. Esquema general del marco teórico [Elaboración propia]

LBS

Hoy en día, los avances tecnológicos permiten ofrecer servicios basados en la localización (LBS) que utilizan la información geográfica que nos rodea [36]. Estos servicios son proporcionados mediante sistemas de localización en tiempo real (RTLS).

RTLS [4]

Los RTLS permiten encontrar, rastrear, administrar, analizar y utilizar la información respecto al lugar donde personas u objetos están ubicados. Esto se logra debido a que la persona u objeto lleva consigo un dispositivo inalámbrico como un computador portátil, un teléfono inteligente, una PDA (*Personal Digital Assistant*), u otra tecnología que le permita ser parte del RTLS. Estos sistemas están compuestos por las siguientes partes:

Estación móvil: Dispositivo móvil que está habilitado con la tecnología de localización. Puede estar ligado a un objeto o puede ser cargado por una persona.

Sensor de localización: Dispositivo que usualmente tiene una posición conocida. Se utiliza para localizar las estaciones móviles.

Motor de localización: Es el software que se comunica con las estaciones móviles y los sensores de localización para determinar la localización de las estaciones móviles. El motor de localización reporta esta información al middleware y las aplicaciones.

Middleware: Es el software que reside entre los componentes tecnológicos del RTLS (estaciones móviles, sensores de localización, y el motor de localización) y las aplicaciones de negocio que son capaces de explotar el valor de la tecnología.

Aplicación: Es conocida como aplicación de software, aplicación de usuario final o software de aplicación, con el cual tienen contacto directo los usuarios e interactúa con el middleware. El motor de localización, middleware y aplicación pueden correr en el mismo computador o en diferentes. Las aplicaciones suelen tener una interfaz como un navegador, una PDA o un teléfono inteligente. Todos estos componentes se ilustran en la Figura 2.

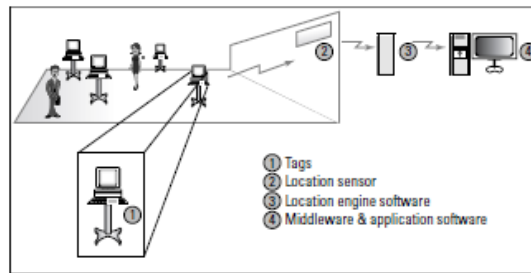


Figura 2. Partes de un RLTS, tomado de [4]

Modelos de localización [4]

Cuando quiere conocerse la localización física de una persona u objeto, puede tenerse en cuenta:

Posición Absoluta: Son coordenadas absolutas como la latitud, longitud y altitud.

Posición Relativa: Es la distancia en tres dimensiones con referencia a un punto fijo predefinido.

Posición Simbólica: Implica la presencia en un área específica o cerca de algo o alguien.

Tecnologías de localización [4]

Se han diseñado muchos sistemas y tecnologías para proveer localización de personas u objetos. Actualmente es posible construir un RTLS utilizando luz, la cámara, infrarrojos, sonido, ultrasonido, Bluetooth, Wifi, RFID, ZigBee, banda ultra ancha, GPS, entre otras.

Navegación en exteriores

El GPS es utilizado como principal herramienta para determinar una ubicación en cualquier lugar abierto en el mundo y bajo cualquier condición climatológica, a través de 24 satélites que giran alrededor de la tierra y son encargados de enviar señales de radio a la superficie [36][37]. Partiendo de la información proporcionada por tales satélites, el receptor GPS determina la ubicación en el globo con un margen de error aproximado de 15 metros [37]. Sin embargo, las señales emitidas por los satélites se atenúan al atravesar las edificaciones y por ello puede resultar poco exitosa la determinación de una posición al interior de una construcción [38]. Es por ello que surge la necesidad de proporcionar una solución capaz de posicionar a personas u objetos en lugares cerrados.

Navegación en interiores (IPS)

Frente a la incapacidad del GPS para determinar con mayor precisión una ubicación en espacios cerrados, han surgido tecnologías de hardware y software que se utilizan actualmente en técnicas de localización en interiores, con el fin de identificar el lugar donde se encuentra una persona u objeto dentro de una edificación, a través de los distintos dispositivos utilizados que resultan ser invasivos en mayor o en menor grado para los usuarios [38]. Estas soluciones son denominadas IPS (sistema de posicionamiento en interiores) dadas sus características y su alcance en espacios cerrados. Por tal

motivo, son principalmente usadas en supermercados, centros comerciales, aeropuertos, bodegas, oficinas, casas, para monitoreo y seguimiento de personas u objetos en interiores [4].

Estándar IEEE 802.11 [4]

Al hablar de la red inalámbrica Wifi, se está refiriendo al estándar IEEE 802.11. Wifi es una tecnología usada alrededor del mundo para conectarse a internet o cualquier red, sin necesidad de cables o alambres. Todo tipo de dispositivos desde computadores hasta celulares o desde televisores hasta consolas de videojuegos, utilizan Wifi. Al utilizar esta tecnología, los dispositivos se conectan de forma inalámbrica a un Access Point Wifi (AP) que es quien provee el enlace para internet o cualquier otra red, actuando como estación base [1]. Esta red implementa un conjunto de servicios básicos (BSS) como la creación de un objeto de seguridad llamado Identificador del conjunto de servicios (SSID). El SSID es el nombre de la red inalámbrica [39]. Estas redes están constituidas principalmente por 2 componentes: estaciones y AP [40].

Las redes son construidas para transferir datos entre estaciones (dispositivos que se conectan a la red como celulares, PDA, tabletas, computadores, entre otros, mediante interfaces de red inalámbricas). Mientras tanto, los AP cumplen la función de “puente” inalámbrico-cableado.

El indicador de la intensidad de la señal recibida (RSSI) es una medida de la energía presente en una señal recibida por un Wifi AP desde otro. Sin embargo, es importante aclarar que el término comúnmente utilizado RSS (intensidad de la señal recibida), aplica para cualquier dispositivo que emita señales de radio. Como los niveles de potencia de transmisión de la señal son bien conocidos, la RSS puede ser utilizada para estimar la distancia entre los AP y las estaciones móviles Wifi [4].

Estándar IEEE 802.15 [41]

Es el grupo de estándares de comunicación inalámbrica definida por el Instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos (IEEE), para redes personales inalámbricas (WPAN). Los dispositivos y tecnologías que cumplan con este estándar poseen bajo consumo de energía, corto alcance, bajo poder, bajo costo y está presente en redes pequeñas. Hacen parte de este estándar la tecnología de Identificación por radio frecuencia (RFID), la Red inalámbrica de Bluetooth y la Red inalámbrica de Sensores (WSN) cuya información ampliada se encuentra en el Anexo 3.

Sensores para localización [4]

Existen también algunos sensores que son recientemente utilizados como tecnología para localización en interiores. Estos sensores pueden incorporarse a algún dispositivo como un robot, o pueden estar inmersos en los actuales teléfonos inteligentes.

Acelerómetro: Es un dispositivo que mide aceleraciones no gravitacionales. Matemáticamente es posible determinar la distancia recorrida si se conoce la dirección del desplazamiento y por ende podría deducirse la posición de la estación móvil.

Giroscopio: Mide la orientación para determinar el ángulo con que la estación móvil ha sido rotada.

Magnetómetro: Mide la magnitud y/o dirección del campo magnético, que son utilizados para calcular la posición de la estación móvil con respecto a la posición inicial, relativa a los polos magnéticos de la Tierra.

Barómetro: Mide la presión atmosférica como altitud sobre el nivel medio del mar pues la presión depende en gran medida de la altura. Se utiliza para conocer la elevación de la estación móvil.

Código de barras [42]

Así como existe la tecnología RFID, hay otros tipos de tecnología que también cumplen la función de identificación: los códigos de barra, cuya información ampliada se encuentra en el Anexo 3.

Técnicas de localización [4]

Al utilizar alguna(s) de la(s) anterior(es) tecnología(s), puede aplicarse una técnica de localización.

Uso de RFID

Al utilizar los tags y lectores RFID es posible determinar la localización de una persona u objeto al interior de una edificación. Esto es posible ya que cada tag RFID posee información de identificación. Dependiendo del método de localización, o algoritmos escogidos, es posible que se distribuyan estratégicamente los tags activos, semipasivos o pasivos (o los lectores), mientras que la persona u objeto debe cargar un lector (o una estación móvil).

Uso de código de barras unidimensional o bidimensional

Al leer los códigos de barra sería posible determinar la localización de una persona u objeto en una edificación. Al igual que la tecnología RFID, el código de barras posibilitaría la identificación de diferentes lugares al ser ubicados en áreas estratégicas de la edificación.

Navegación inercial

Es un sistema donde las estaciones móviles utilizan sensores como el acelerómetro y giroscopio (o en ocasiones el magnetómetro) para rastrear continuamente su posición, orientación y velocidad (dirección y aceleración) con el objetivo de usar posteriormente esta información para calcular su ubicación precisa, relativa a la posición de partida.

Eco-localización

A través de la caracterización acústica de diferentes áreas es posible obtener datos característicos para ellas y estimar la localización de una persona u objeto que lleve consigo un dispositivo capaz de medir la reverberación de un sonido producido por un altavoz y percibido por un micrófono.

Detección del Campo Magnético

A través de la medición de la variación del campo magnético causado por la misma Tierra, es posible obtener datos propios para diferentes lugares y estimar la localización de una persona u objeto que cargue un magnetómetro para hacer la correspondiente medición.

Uso de la red inalámbrica de WLAN-Wifi

A través de las señales emitidas por los Wifi AP distribuidos en una edificación, es posible ubicar una persona u objeto utilizando diversos métodos o algoritmos de localización. Usualmente los dispositivos que se encargan de recibir esas señales son teléfonos inteligentes, PDA, computadores, y cualquiera que tenga una tarjeta de red.

Uso de la red inalámbrica de Bluetooth

Al igual que en la red Wifi, existen Bluetooth AP que deben ser ubicados estratégicamente en una edificación para permitir determinar la localización de una persona u objeto, a través de la emisión de sus respectivas señales. En este caso se utilizan principalmente teléfonos inteligentes para recibir las señales, pero también podría ser cualquier dispositivo que cumpla con el estándar requerido.

Uso de la red inalámbrica de sensores (WSN) [43][44]

Diferentes tipos de sensores como acústicos, ultrasonido, infrarrojos; con sistemas de comunicación como ZigBee, 6LoWPAN, entre otros; pueden conformar una red de nodos que al comunicarse entre sí, a través de diversos métodos o algoritmos de localización, podrían determinar la ubicación de una persona u objeto. De la misma forma que en técnicas anteriores, los sensores deben ubicarse estratégicamente dentro de la edificación. Se utiliza la distancia que hay desde un nodo con una posición conocida, para determinar la ubicación de nuevos nodos que entren a la red (es decir, aquellos nodos que son cargados por las personas u objetos que quieren ser localizados). A este nodo cuya posición es conocida, se le denomina ancla o baliza y es quien difunde la información de su ubicación al resto de nodos de la red, quienes pueden inferir su ubicación.

En la Figura 3 se evidencia la relación entre las técnicas de localización y las respectivas tecnologías utilizadas.

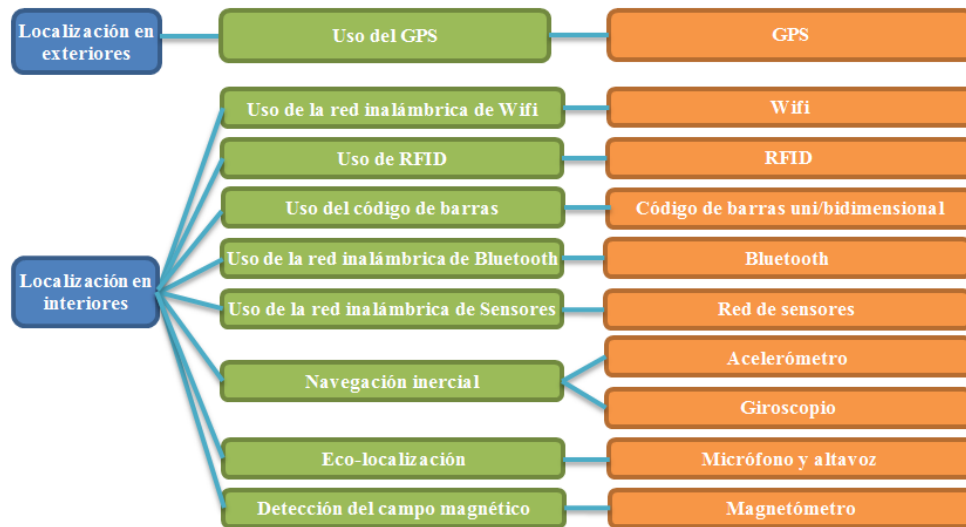


Figura 3. Relación entre Técnicas y tecnologías de localización [Elaboración propia]

En la Figura 3 no se hace explícito el Barómetro ya que éste podría ser utilizado por cualquiera de las técnicas para determinar la altura a la cual está la estación móvil. Adicionalmente, se mencionó anteriormente que una red de sensores puede estar constituida por nodos ZigBee, 6LoWPAN, con sensores infrarrojos, acústicos, ultra sonido, etc.

Variables de localización [4][43][44]

Dependiendo de cada técnica de localización y las respectivas tecnologías utilizadas, existen diversos métodos o algoritmos que permiten administrar la información proporcionada por tales dispositivos para estimar la localización de una persona u objeto. Cada uno de los métodos hace uso de una o varias variables que permiten hacer mediciones y posteriormente aplicar los cálculos correspondientes. A continuación se expone una de las variables más utilizadas para determinar localización en interiores, sin embargo, existen otras cuya información ampliada se encuentra en el Anexo 4.

Indicador de la intensidad de la señal recibida (RSSI)

Corresponde a la sigla en inglés de *Received Signal Strength Indicator* y es una medida de la energía presente en una señal de radio recibida. Cuando una señal deja su fuente, esta se atenúa, es decir que la potencia decremента de forma logarítmica. Dado que la intensidad de energía de la señal es bien conocida al inicio de la transmisión, el RSSI puede ser usado para estimar la distancia que ha viajado. Sin embargo, esta señal es afectada por los obstáculos, la temperatura, la humedad, la reacomodación de muebles, la presencia y movimiento de las personas, entre otros. Esto implica que la señal recibida puede ser diferente a la esperada teóricamente. A continuación se enuncian algunas de las limitaciones que presenta el RSSI [4]:

1. **Desvanecimiento por trayectorias múltiples:** se produce cuando el receptor ve la superposición de múltiples copias de la señal transmitida, cada uno recorriendo un camino diferente. Este efecto se produce cuando elementos como personas, sillas, mesas y otros objetos que se encuentran en el camino, hacen que la señal rebote en diferentes direcciones. Una porción de la señal puede ir directamente al destino, mientras que otra parte puede rebotar de una silla para el techo y luego a su destino. Como resultado, parte de la señal presenta un retraso y viaja un camino más largo al receptor. De esta manera, la señal puede tomar diferentes caminos, como lo ilustra la Figura 4.

Reflexión (reflection): La señal golpea un obstáculo y rebota.

Dispersión (scattering): La señal golpea un obstáculo y rebota, dispersándose en múltiples señales.

Difracción (diffraction): La señal pasa cerca a esquinas u objetos de forma que cambia su dirección, pero dispersándose en múltiples señales.

Refracción (refraction): La señal se curva al pasar a través de un objeto.

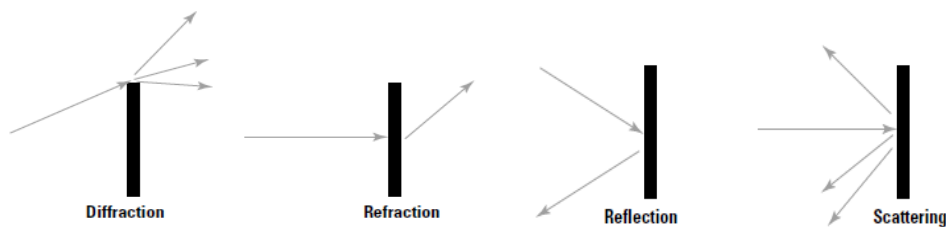


Figura 4. Fenómenos ocurridos a la señal al encontrarse con un objeto, tomado de [4]

2. **Tiempo de retardo:** Es la cantidad de variación en el tiempo entre las diferentes señales de radio frecuencia. Esto puede causar cambios de fase y polarización como en el desvanecimiento por trayectorias múltiples; sin embargo, éste último afecta la amplitud de la señal mientras que el tiempo de retardo afecta la habilidad de decodificación del receptor dada la distorsión.
3. **Aliasing:** Se produce cuando varias ubicaciones reciben la misma RSS (intensidad de la señal recibida) de un mismo AP. Incluso debido a las variaciones en la RSS causadas por los obstáculos, las dos ubicaciones ni siquiera necesitan estar a la misma la distancia del AP. Esto demuestra que aplicar métodos como la trilateración, no conducen a una estimación precisa porque hay múltiples posiciones con las mismas características de la señal.
4. **Efecto Doppler:** Este efecto se manifiesta de dos formas: movimiento relativo entre el transmisor y el receptor, y las condiciones de radio frecuencia donde no hay una línea de visión (LOS) entre los dos actores, lo cual dificulta al receptor la decodificación de la señales recibidas.

Métodos de localización [4][43][44]

Cada método de localización utiliza una o más variables para determinar la localización. Estos métodos se asocian a diversos algoritmos que se relacionan directamente con la implementación hecha. A continuación se expone uno de los métodos más utilizados para localización en interiores, pero existen algunos otros que se encuentran ampliados en el Anexo 5.

Análisis de escenas

Se examina una vista desde un punto determinado para derivar conclusiones acerca de la ubicación del observador. Esto implica que previamente se deben conocer las condiciones del entorno y algunos patrones que permiten deducir una posición de acuerdo al conocimiento previo de la escena. Uno de los métodos que cumple con ello es el basado en el rastro [45].

Posicionamiento basado en el rastro (*fingerprinting*) [45]

Este método se basa en el siguiente hecho: si hay situaciones que caracterizan a un ambiente, bajo ciertas condiciones y en un momento dado, entonces en cualquier momento, podrán volverse a encontrar aproximadamente esas mismas características, siempre y cuando el medio no haya sufrido grandes cambios. Esto implica, para el contexto de la presente investigación, que si un espacio cerrado muestra ciertas características que lo identifican (huella del lugar) y estas no cambian significativamente en el tiempo, podrían compararse con las características observadas posteriormente y determinar cuál es ese lugar. Para la localización en interiores se aplicaría al medir algún indicador que caracterice a cada lugar, como por ejemplo, la emisión de señales de radio desde dispositivos presentes en la edificación. Al tener esta información previa, es posible hacer posteriormente una comparación que permita saber información sobre el lugar.

Este método se lleva a cabo en dos fases: Calibración y Localización. En la fase de calibración se construye una base de datos con el rastro (RSS) y la localización (en conjunto se les llama mapa del radio), donde cada uno de los registros en la base de datos corresponde al mapeo de un punto de referencia o coordenada (RP) y su rastro (RSS). Sin embargo, al situarse en un punto, es posible obtener distintos valores en diferentes momentos debido a la variación en la señal, como se mencionó anteriormente en las limitaciones de la RSS. Dada esta circunstancia, deben medirse múltiples valores en un mismo RP y por tanto la ubicación puede determinarse a través de un valor promedio o probabilístico de todas las muestras tomadas, en la fase de localización.

Valor promedio

Las mediciones del *rastros* están constituidas por un vector \mathbf{R} que contiene todos los valores promedio de las RSS emitidas por cada AP detectado en cada ubicación particular RP. El mapa del radio

contiene el vector de valores promedio de RSS para una malla de ubicaciones en un área cerrada, como lo demuestra la Figura 5.

$$R = \{RSS_{RP_1AP_1}, RSS_{RP_1AP_2}, \dots, RSS_{RP_2AP_1}, RSS_{RP_2AP_2}, \dots, RSS_{RP_mAP_1}, RSS_{RP_mAP_n}\}$$

Figura 5. Datos que componen un mapa de radio

Luego, para determinar la ubicación de la persona (tiempo real) que está en movimiento y cargando un dispositivo (estación móvil MS), se miden las RSS en cada posición, obteniendo un vector Q , como se muestra en la Figura 6.

$$Q = \{RSS_{AP_1}, RSS_{AP_2}, \dots, RSS_{AP_n}\}$$

Figura 6. Datos medidos en tiempo real para comparar con el mapa del radio

De esta forma, se calcula la distancia euclidiana entre el vector Q (valores medidos en el momento de la localización) y el vector R correspondientes a todos los RP (valores promedio almacenados previamente en la base de datos en la fase de calibración) como se muestra en la Ecuación 1:

$$d_E(R, Q) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (RSS_i - RSS'_i)^2}$$

Ecuación 1. Distancia euclidiana entre dos puntos

n : cantidad de AP detectados en un momento determinado.

RSS_i : i -ésima señal emitida por el AP_n en la fase de localización (Vector Q).

RSS'_i : Valor promedio de las RSS emitidas por el AP_n en la fase de calibración (Vector R).

Así, la localización estimada será aquel RP donde la distancia euclidiana es menor.

Valor probabilístico

Se utiliza un método probabilístico mediante el Teorema de Bayes para encontrar el RP más posible dentro del conjunto de RP previamente almacenados en la base de datos y cuyo vector de señales RSS tomadas en diversas condiciones y horas del día, maximiza la probabilidad condicional $P(RP_i/Q)$: probabilidad de estar en RP_i dado que actualmente se tiene un vector de RSS emitidas por diversos AP. El vector Q está definido de igual forma que en la sección de Valor promedio.

La probabilidad condicional se define como “La ocurrencia de un evento A, bajo la condición de que ocurra, haya ocurrido u ocurrirá un evento B” [46], como lo muestra la Ecuación 2.

$$P\left(\frac{A}{B}\right) = P(A \cap B) * P(B), P(B) > 0$$

Ecuación 2. Probabilidad condicional, tomado de [46]

De este modo, el teorema de Bayes enuncia la forma de calcular la probabilidad condicional opuesta, es decir $P(B/A)$ en términos de $P(A/B)$. Sabiendo que existe un conjunto de eventos $\{B_1, B_2, \dots, B_i, \dots, B_n\}$ mutuamente excluyentes (no pueden suceder todos al mismo tiempo) cuya

probabilidad de ocurrencia es mayor que cero y conociendo las probabilidades condicionales $P(A/B_i)$ del evento A, entonces se puede deducir la Ecuación 3 [47]:

$$P\left(\frac{B_i}{A}\right) = \frac{P\left(\frac{A}{B_i}\right) * P(B_i)}{P(A)}$$

Ecuación 3. Teorema de Bayes, tomado de [47]

$P(B_i)$: Probabilidades *a priori* que se conocen de antemano del evento B.

$P(A/B_i)$: Probabilidad de la ocurrencia del evento A dado el evento B_i .

$P(B_i/A)$: Probabilidades *a posteriori* del evento que se conocerán luego del cálculo propuesto.

Volviendo sobre el caso de estudio de las RSS emitidas por diferentes AP, la $P(RP_i/Q)$ puede entonces hallarse, como se muestra en la Ecuación 4 [5]:

$$P\left(\frac{RP_i}{Q}\right) = \frac{P\left(\frac{Q}{RP_i}\right) * P(RP_i)}{P(Q)}$$

Ecuación 4. Teorema de Bayes aplicado al método basado en el rastro mediante la medición de RSS

$P(RP_i)$ es la probabilidad *a priori* de estar en el lugar RP_i , lo cual proporciona una nueva forma de usar la información previa de la posición que da paso a los algoritmos de seguimiento del recorrido de la MS (persona que se está desplazando).

$P(Q)$ es la probabilidad de encontrar el vector Q de valores RSS, lo cual no depende de la localización RP_i y es usualmente visto como una constante de normalización.

$P(Q/RP_i)$ es la probabilidad condicional de obtener el conjunto de valores RSS del vector Q al estar en el lugar RP_i , lo cual puede ser aproximado al número de veces que el vector Q aparece en el conjunto de mediciones hechas previamente en el lugar RP_i . Para calcular ese valor, se utiliza la probabilidad de ocurrencia simultánea de todos los sucesos independientes que corresponden a cada RSS medida [5]. El suceso de obtener una RSS emitida por un AP dado que se está en un lugar (RP_d) es independiente de obtener otra RSS emitida por otro AP dado que se está en ese lugar (RP_d), ya que el primer suceso no se ve afectado por la ocurrencia del segundo [48]. De esta forma, la probabilidad total de encontrar el vector Q de valores RSS dado que se está en el lugar RP_i estaría dada por la regla de multiplicación de sucesos independientes, como se muestra en la Ecuación 5.

$$P\left(\frac{Q}{RP_i}\right) = P\left(\frac{RSS_1}{RP_i}\right) * P\left(\frac{RSS_2}{RP_i}\right) * \dots * P\left(\frac{RSS_n}{RP_i}\right)$$

Ecuación 5. Regla de multiplicación de sucesos independientes aplicada al método basado en el rastro mediante la medición de RSS

En la Figura 7 se muestran las dos fases del método de posicionamiento basado en el rastro.

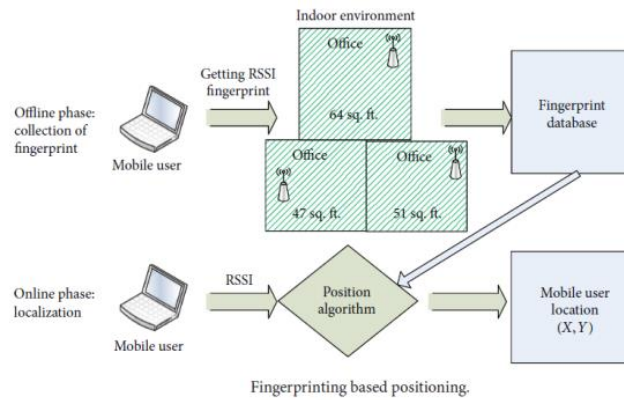


Figura 7. Esquema general del método basado en el rastro, tomado de [45]

La Tabla 2 expone la relación entre técnicas de localización y los métodos que pueden ser utilizados por ellas. La navegación inercial no utiliza ninguno de los métodos mencionados genéricamente, sino que se vale de ecuaciones diferenciales para determinar el desplazamiento y orientación de la estación móvil.

Técnica	Red inalámbrica Wifi	RFID	Código de barras	Red inalámbrica Bluetooth	Red inalámbrica de sensores	Navegación inercial	Eco-localización	Detección del campo magnético
Método								
Trilateración	X	X		X	X			
Multilateración	X	X		X	X			
Triangulación	X	X		X	X			
Vecino más cercano	X	X	X	X	X			X
Basado en el rastro	X			X	X		X	X
Detección de proximidad	X	X	X	X	X			X

Tabla 2. Relación entre las Técnicas y Métodos de localización [Elaboración propia]

Por último, en la Tabla 3 se evidencia la relación que hay entre los métodos de localización y las correspondientes variables que pueden ser usadas por ellos.

Método Variable	Trilateración	Multilateración	Triangulación	Vecino más cercano	Posicionamiento basado en el rastro	Detección de proximidad
Distancia de proximidad				X		X
TOA	X	X	X	X		
AOA			X	X		
TDOA	X	X	X	X		
TOF	X	X	X	X		
RTT	X	X	X	X		
RSSI	X	X	X	X	X	

Tabla 3. Relación entre los Métodos y Variables de localización [Elaboración propia]

IV - DESARROLLO DE LA FASE DE INVESTIGACIÓN CUALITATIVA

RECOLECCIÓN DE DATOS

Entrevistas

Se desarrollaron ocho entrevistas en profundidad [31, p. 32] a personas con diferentes grados de discapacidad visual para conocer sus verdaderas necesidades en torno al tema de localización en interiores. Se entrevistaron siete hombres y una mujer; el 75% de esta población padece ceguera, mientras que el 13% corresponde a personas con deficiencia ligera y 12% a personas con deficiencia grave. El 50% de los entrevistados se encuentran entre los 31 y 40 años, mientras que el 37% corresponde a edades entre 20 y 30 años, y finalmente el 13% de las personas están entre los 41 y 50 años de edad. Las necesidades detectadas a partir de las entrevistas se relacionan en la Tabla 4.

Necesidades del usuario
Ellos pueden utilizar puntos de referencia como las puertas, escaleras, paredes, ascensores para ubicarse.
Algunos prefieren no utilizar ascensor pues si no hay gente o el sistema braille en él, a veces pueden perderse entre pisos.
En ocasiones les resulta difícil encontrar lugares como baños, salones, entre otros.
Les sería útil poder ser guiados a un lugar específico a donde requieran llegar dentro de una edificación, pudiendo ellos especificar por voz tal lugar.
En su mayoría prefieren que se les anuncie el lugar donde están mediante voz.
Algunos de ellos quisieran que se les informara si hay algún obstáculo en el camino con el que se pudieran golpear.
Les serviría que se les comunicara en qué dirección (derecha, izquierda, al frente, detrás) están algunos puntos de referencia como las puertas, escaleras, etc.
A algunos de ellos les resultaría útil saber cerca de qué lugares están, como baños, salones, etc.
Para algunos sería importante saber si tienen cerca una persona con la que puedan tropezarse o simplemente alguien para solicitar ayuda.
Se mencionó que en ocasiones es muy difícil manejar un teléfono inteligente pues no es posible percibir fácilmente dónde están las letras, números, etc.

Tabla 4. Correspondencia entre necesidades del usuario y requerimientos

Partiendo de estas necesidades se derivan los requerimientos que se especifican en la sección de CODIFICACIÓN ABIERTA y que permitirán abordar el modelo de localización en interiores.

Estado del Arte

A continuación se presentan algunos de los trabajos más pertinentes para la presente investigación y que hacen parte del estado del arte en torno al tema de la localización en interiores. Otros trabajos que también se estudiaron se encuentran detallados en el Anexo 6. Adicionalmente, las ventajas y desventajas de cada investigación, en torno a los objetivos de la presente investigación se encuentran expuestas en el Anexo 8.

Ways4all: Indoor navigation for visually impaired and blind people (Kiers, Sovec) [17]

Kiers y Sec, en Austria, desarrollaron una aplicación llamada Ways4all para guiar a personas con discapacidad visual (incluidos los invidentes) en las plataformas de las estaciones del tren. Para lograr identificar el lugar donde transita una persona, este sistema se vale del uso de tags RFID pasivos, identificados con códigos únicos, que son ubicados en las baldosas del piso de algunos lugares estratégicos (como: entradas, plataformas e intersecciones) al interior de una terminal. Adicionalmente se vale de un lector RFID instalado en el bastón usado por las personas con discapacidad, el cual se comunica con una aplicación para teléfono inteligente que se encarga de indicarle su ubicación y darle instrucciones para llegar al lugar de destino. Si un usuario quisiera encontrar un camino, debe ingresar con anterioridad la información sobre su destino en su teléfono inteligente para que el sistema se encargue de buscar la ruta óptima de acuerdo a su posición actual.

Este sistema utiliza el método de detección de proximidad para determinar la localización del usuario, pues en el momento en que el lector RFID del bastón detecta un tag en el piso, infiere que la posición de la persona es aquella donde está ubicado el tag. Además de ello, Ways4all hace uso de un algoritmo de enrutamiento llamado método Gerwei el cual se deriva de los algoritmos estándar de enrutamiento, basándose en la localización y la dirección del desplazamiento. Para aplicar el método de Gerwei es necesario almacenar en los tags RFID la información de su posición, en términos de coordenadas espaciales. Aquellos datos describen el entorno, a través de la información que tiene la aplicación en el teléfono inteligente, por lo cual no necesita de una infraestructura de red inalámbrica que indique el lugar donde se encuentra durante el desplazamiento, ya que la localización se hace por distancia de proximidad. De este modo, para localizar a la persona e indicarle la ruta que debe tomar para llegar al punto deseado, Ways4all necesita conectarse previamente con las bases de datos de las estaciones de tren para obtener información sobre los destinos disponibles y el lugar donde se puede abordar el tren; adicionalmente necesita los datos de ubicación de cada tag pasivo en el piso de la estación de tren, a los cuales se les asocia un identificador único de acuerdo a su área. De esta forma, el lector RFID ubicado en el bastón del usuario, le transmite al teléfono inteligente mediante bluetooth, el identificador único del tag RFID detectado para que la aplicación consulte a qué lugar de la estación corresponde ese ID obtenido y proceder a la ubicación y posterior enrutamiento. En el sistema existen dos tipos de usuarios; el usuario invidente y el administrador del sistema, quien se encarga de tomar datos sobre los puntos de referencia que se usarán en las peticiones que se hagan al servidor.

An Indoor Navigation System For Smartphones (Abhijit Chandgadkar) [50]

Esta reciente investigación aborda la localización en interiores, mediante el uso de teléfonos inteligentes y navegación inercial. Además de ello, el autor propone la notificación de obstáculos en el camino y el enrutamiento de la persona para que pudiera llegar a su punto de destino. Para lograr esto, Chandgadkar estableció dos objetivos importantes:

- Bajo costo: El objetivo era la realización de una aplicación que no implicara costosos cambios de infraestructura para calcular la posición exacta de una persona.
- Eliminar el uso de mapas de interiores previamente cargados: La aplicación debía ser capaz de dirigir al usuario sin necesidad de un mapa precargado del entorno ya que sólo la posición de los puntos de interés se almacenarían como referencia de un sitio.

La aplicación fue desarrollada para el SO Android y probada en un celular Samsung S4 mediante la utilización de su acelerómetro y giroscopio. Al existir problemas de ruido o distorsión que afectan la medición de los sensores, el autor plantea realizar un procesamiento previo que permite reducir este ruido mediante unos algoritmos diseñados por él.

Para cumplir el segundo objetivo, el autor propone el uso de marcadores de posición, los cuales pueden ser escaneados por la aplicación desde cualquier ángulo utilizando la cámara del teléfono inteligente. Como se aprecia en la Figura 8, los marcadores son círculos que contienen varios colores, que permiten codificar los datos de ubicación y se usan para calibrar la posición y orientación del usuario. Por ello, debían situarse en el piso de la edificación donde quisiera ubicarse, para que sirvieran como puntos de sincronización en el momento de aplicar la navegación inercial.

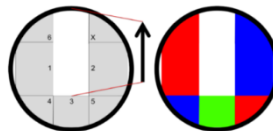


Figura 8. Ejemplo de un marcador de posición con su codificación, tomado de [50]

El sistema propuesto se organiza de la siguiente manera: para la detección de obstáculos y de los marcadores de posición se utilizó la cámara; para la estimación de la posición del usuario se utilizaron el acelerómetro y el giroscopio.

De este modo, la aplicación estima la nueva posición del usuario mediante el uso de navegación inercial y tomando como referencia el último marcador de posición escaneado por la cámara.

Utilizando un sólo marcador de posición, los resultados mostraron un margen de error que crecía proporcionalmente al recorrer mayores distancias y atravesar caminos más complejos. El análisis realizado concluyó que aún se tenían inconvenientes con movimientos que no podían ser fácilmente

interpretados por los sensores del teléfono inteligente y que por ello era necesario ubicar más marcadores de posición para disminuir la tasa de error. Así, al situar 8 marcadores, se obtuvo una precisión de aproximadamente 2 m en un área de prueba de 25m x 15m.

IndoorAtlas [51]

IndoorAtlas es una empresa finlandesa dedicada al desarrollo de la aplicación móvil que lleva el mismo nombre y que trabaja con la variación del campo magnético terrestre para la localización de personas en espacios cerrados. Para ello utiliza un sensor del teléfono inteligente: el magnetómetro, el cual puede medir la variación del campo magnético que permite tener datos únicos ya que cada coordenada de la Tierra posee un campo diferente.

Para poderse localizar, primero se debe subir el plano del lugar cerrado a los servidores de IndoorAtlas a través de la página web de la empresa [23], donde se utiliza un sistema de geo-referenciación para ubicar espacialmente el lugar y establecer la escala de la imagen para hacer posteriormente un correcto posicionamiento. Como el sistema desarrollado utiliza el método de posicionamiento basado en el rastro, también requiere una fase previa de calibración en la cual se hace un barrido de diferentes coordenadas dentro del lugar para obtener la medida del campo magnético en cada una de ellas. Esta información se almacena en los servidores de la compañía para la posterior fase de localización donde se hace la comparación con los datos tomados en tiempo real.

IndoorAtlas provee una API de desarrollo para generar nuevas aplicaciones, sin embargo, la compañía está en un proceso de evaluación de la posibilidad de ofrecer comercialmente un producto que sea pago. La aplicación está disponible actualmente para SO Android en los celulares: Google Nexus 4, Samsung Galaxy S4/S3 y Galaxy Nexus con JB 4.3 y JB 4.2.

La empresa reporta una exactitud de 3 m con un 90% de confiabilidad en la localización.

Wifi-Based Indoor Positioning for Multi-Floor Environment (Liu, Yang) [20]

Los autores propusieron un sistema de localización en interiores apoyándose en el uso de un teléfono inteligente que utiliza los datos entregados por los AP. Tratan como tema central la problemática de la localización en lugares constituidos por varias plantas, ya que en estas edificaciones se podrían encontrar las mismas RSS en diferentes pisos. En este sentido, proponen dos métodos: primero utilizan posicionamiento basado en el rastro para identificar el piso donde se encuentra el usuario y luego aplican trilateración para ubicar un punto específico dentro del piso identificado.

El sistema desarrollado dispone de tres fases: recolección de datos, calibración y posicionamiento. La primera fase incluye la construcción del mapa del área donde se desea hacer la ubicación, a través de la toma de datos: RSS, BSSID (identificador básico de una red inalámbrica) y su respectiva

coordenada. Esta última se almacena mediante un sistema de tres valores (x,y,k) donde x , y están en metros y k es el piso. La fase de calibración determina un factor que permite disminuir el grado de error del método, el cual es causado por los obstáculos que interfieren con la señal emitida por los AP. Por último, la fase de localización determina el piso y luego la posición exacta del usuario.

Durante el desarrollo de la investigación, los autores evidenciaron dos problemas: no todos los AP emiten la misma potencia y no todos los teléfonos inteligentes tienen la misma resolución para detectar las RSS. Estos dos inconvenientes junto con la presencia de obstáculos, fueron reunidos en un sólo factor de calibración, que de acuerdo a las pruebas realizadas, resultó ser de 27 dBm.

Para la fase de localización, los autores utilizaron las coordenadas almacenadas en la fase de calibración para deducir la posición de los AP (denominados AP virtuales VAP) y luego usar las coordenadas de esos VAP para calcular la ubicación del usuario. De esta forma, su sistema no necesitaba saber de antemano la posición de los AP. En la Figura 9 se expone la ubicación del AP real y la deducción de la posición del VAP.

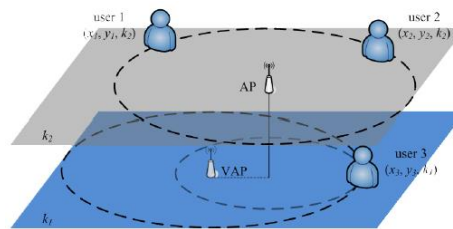


Figura 9. Representación de un AP y un VAP, tomado de [20]

Para determinar la posición específica del usuario, se aplica trilateración usando el método de intersección entre tres círculos formados por el alcance de las RSS emitidas por los tres VAP que muestran mayor intensidad. El punto de intersección es la coordenada donde está ubicada la persona.

Las pruebas del sistema propuesto se realizaron en un edificio de 8 pisos con un área de $60 \times 25 \text{ m}^2$ y con la presencia de 51 AP. Cada coordenada almacenada en la fase de calibración se tomó a una distancia de 5 metros de los demás. Se estipuló que el barrido debía realizar una medición por segundo durante 60 segundos en cada coordenada seleccionada. Según los resultados, el sistema mostró un 100% de exactitud en la determinación del piso y un margen de error de 1.6 m en la ubicación del punto exacto donde se encuentra situado el usuario.

A WLAN fingerprinting based indoor localization technique (Jiang) [5]

El autor de esta tesis de maestría utiliza el método de posicionamiento basado en el rastro, haciendo varias mediciones de la RSS emitida por los AP en cada coordenada de un espacio cerrado. Para ello, propone un marco probabilístico utilizando un algoritmo llamado KMLN (*K most likely*

neighbors) donde obtiene k coordenadas donde posiblemente está el usuario y posteriormente aplica un novedoso algoritmo que calcula el recorrido más corto desde el último paso o “zancada” dada para determinar cuál de las coordenadas es la que mayor certeza evidencia para la localización.

El algoritmo KMLN utiliza el teorema de Bayes junto a la probabilidad condicional para obtener las K coordenadas donde es más posible que la persona se encuentre situada. El segundo algoritmo toma las K coordenadas obtenidas en el anterior y encuentra aquella que está más cerca a los dos pasos dados anteriormente; ello significa que se hallan las distancias entre las K coordenadas del paso actual y las K coordenadas del último y penúltimo paso. Este segundo algoritmo se basa en la premisa de que una persona que se esté desplazando a velocidad aproximadamente constante, en cada segundo debe estar en una coordenada cercana a la anterior. Así, se descartan coordenadas distantes pertenecientes a otras áreas donde sería imposible estar por su lejanía respecto al punto anterior. En la Figura 10 se muestra la estructura del método basado en el rastro propuesto.

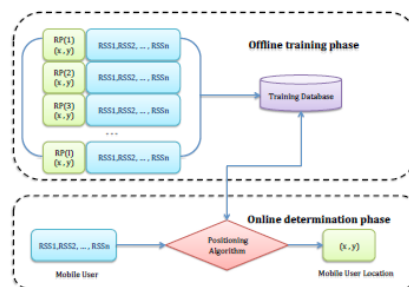


Figura 10. Estructura del método basado en el rastro (*fingerprinting*), tomado de [5]

De este modo se evidencia que el método de posicionamiento basado en el rastro requiere de dos fases: una fase offline donde se hace el barrido de las RSS medidas en diferentes coordenadas, y una fase online donde se compara la información tomada previamente (almacenada en la base de datos) con la información obtenida en el momento en que la persona se va desplazando a través de un lugar cerrado. En cada coordenada o punto de referencia (RP) se toman varias mediciones ya que, debido a la presencia de obstáculos móviles (personas) e inmóviles (objetos, paredes, vidrios, etc.), la RSS puede variar. Por ello, se hacen varias mediciones en diferentes horas del día para poder obtener una mejor huella (*fingerprint*) de cada coordenada dentro de un lugar.

Jiang realizó su prototipo funcional mediante el uso de un computador portátil para la toma de puntos y para la posterior localización; y desarrolló los algoritmos en la herramienta Matlab. Seleccionó 60 coordenadas en el primer piso de un edificio en Nebraska, y 10 recorridos en línea recta para evaluar la precisión de los algoritmos. Cada línea contenía 12 puntos (2 previos como puntos de referencia y 10 para realizar las pruebas). La distancia entre cada punto era de 1.5 m tanto horizon-

tal como verticalmente. En ese lugar, se detectaron en total 8 AP pero el autor decidió seleccionar solamente los 4 que emitían la mayor intensidad de la señal. Según sus resultados, se obtuvo un margen de error de aproximadamente 1.6 metros en la fase de localización.

BuildNGo, SAILS Technology (Taiwan) [24]

La empresa China Sails ofrece una aplicación llamada BuildNGo que permite la localización de personas al interior de espacios cerrados mediante Wifi y Bluetooth. Sails utiliza el método de posicionamiento basado en el rastro para almacenar en sus servidores las RSS emitidas por los diferentes AP que se encuentran en una edificación y así mismo almacena las señales que percibe mediante el bluetooth (en caso de estar disponible en el teléfono). La empresa comercializa unos dispositivos llamados *bacon* que toman el rol AP y emiten señales que son reconocidas por el bluetooth de los celulares. Con este conjunto de mediciones en cada coordenada puede obtenerse una huella (*fingerprint*) característica que después posibilita la determinación de la coordenada que más se asemeja a las RSS y señales emitidas por los *bacon* en el momento de la localización. La compañía expone que para una mejor precisión en la ubicación, es ideal situar los dispositivos *bacon* cada 10 m^2 .

Con el fin de proveer una mayor exactitud en la ubicación, BuildNGo utiliza la técnica de navegación inercial, interpretando los datos obtenidos mediante los sensores internos de los teléfonos inteligentes, como: el giroscopio, el magnetómetro, y el acelerómetro. De esta manera, se integra el posicionamiento basado en el rastro con la navegación inercial y es posible proveer una información más completa: coordenada de ubicación y dirección en la que se encuentra el usuario. La compañía reporta que su aplicación ofrece un margen de error entre 2 y 10 m en la localización.

Adicionalmente, Sails provee un sistema de construcción de planos vectoriales para ubicar gráficamente en un mapa, las coordenadas donde se toman las RSS; esto se hace mediante JOSM, una herramienta libre que está basada en *Open Street Map* [52]. Sails también ofrece un SDK abierto al público para poder integrar BuildNGo con nuevas aplicaciones; mediante éste es posible etiquetar áreas con un nombre representativo.

Indoor magnetic navigation for the blind (Riehle, Anderson, Lichter, Giudice, Sheikh) [53]

Esta investigación describe un sistema de navegación en interiores para personas invidentes, que infiere la localización de los usuarios a través del método de posicionamiento basado en el rastro, donde en la fase de calibración, se almacena un conjunto de valores del campo magnético terrestre que identifican un camino dentro de un lugar. Esto quiere decir que no se almacena en cada coordenada un valor del campo, sino un conjunto de valores asociados a una trayectoria (conjunto de coordenadas). Es posible obtener el valor del campo magnético en un lugar dentro de una edifica-

ción ya que su estructura metálica permite la existencia de distorsiones del campo terrestre y un sensor como un magnetómetro puede hacer la medición correspondiente.

El grupo de autores de esta investigación, utilizaron un dispositivo de medición inercial (IMU) personalizada, la cual es inalámbrica. Esta unidad contiene un magnetómetro que es ubicado en la cadera de los usuarios invidentes. La IMU se encarga de medir el campo magnético terrestre a través de su magnetómetro y le comunica esos datos, a través de bluetooth, a un teléfono inteligente que lleva consigo el invidente (las pruebas se realizaron con un celular Google Nexus One). La aplicación, se encarga de ejecutar un algoritmo que determina la localización de la persona y guiarlo a un lugar específico, a través de instrucciones por voz. El algoritmo utilizado para determinar la localización del invidente, evalúa la similitud entre cada conjunto de campos almacenados en la fase de calibración y el conjunto obtenido en tiempo real, teniendo en cuenta que el usuario puede realizar un mismo recorrido que se hizo para la fase previa o que puede sólo recorrer una parte de alguno de ellos o detenerse en cualquier momento. Este algoritmo es llamado *Dynamic time warping (DTW)*.

El prototipo realizado fue probado por personas invidentes que manifestaron su conformidad con el rendimiento del servicio de enrutamiento en tiempo real. Con esto se pudo concluir que las personas con discapacidad visual, a pesar de valerse de un bastón o de un perro lazarillo para desplazarse en edificaciones desconocidas, tienen limitaciones para leer indicaciones (letreros de emergencia), conocer el número de un salón o tener acceso a su plano, así que el sistema es de gran ayuda para ellos. El margen de error obtenido fue de aproximadamente 2.52 m.

Wifi Compass - Wifi Access Point Localization with Android Devices (Konrad, Wölfel) [21]

Wifi Compass es el nombre dado a la aplicación para teléfonos inteligentes desarrollada en Viena, Austria, durante la investigación de maestría denominada *Wifi Access Point Localization with Android Devices*. Su objetivo principal es encontrar la ubicación de los AP presentes en un lugar cerrado, sin embargo, los autores ajustan la estimación de la coordenada del AP, tomando nuevas muestras a medida que el usuario camina con su teléfono inteligente. En la primera fase se determina la ubicación de los AP a través del método de trilateración avanzada (optimizado mediante el método del centroide ponderado) y en la segunda fase se estima la ubicación del usuario usando navegación inercial, como calibración de la posición de los AP encontrada en la primera fase.

La trilateración avanzada funciona de la siguiente manera: la persona se sitúa en alguna coordenada de la edificación y tiene en cuenta alguno de los AP presentes; posteriormente, procede a calcular una distancia d aproximada desde donde está situado el teléfono inteligente hasta el AP escogido. Esa distancia se obtiene a partir de una fórmula deducida por los autores donde intervienen dos

constantes: una de ellas denota la medición de la RSS a una distancia de 1 m desde el AP escogido, y la otra representa el valor promedio de atenuación de la señal debido a la presencia de obstáculos en el ambiente. Sin embargo, como no se tiene certeza de la dirección en la que está AP entonces se traza una circunferencia con radio d . Luego, utilizando la distribución de probabilidad Gaussiana, se distribuyen los valores de probabilidad de que el AP esté en alguna coordenada dentro del círculo (siendo los puntos sobre la circunferencia aquellos que tendrán la mayor probabilidad). Posteriormente se hace exactamente lo mismo pero situándose en otras coordenadas del lugar, quedando trazados muchos círculos. Después se superpone una cuadrícula cuyos cuadrados sean de 0.5 m de lado, y en cada punto de intersección se halla la probabilidad total de que el AP se encuentre en tal coordenada; esto se hace al multiplicar cada uno de los valores de probabilidad que cada círculo haya dado (mediante la distribución de probabilidad Gaussiana) al interior de la circunferencia. Se multiplican los valores ya que pudieron quedar diversos círculos que se solapan y así, una coordenada podría tener asociadas varias probabilidades. De modo que la ubicación del AP es aquella coordenada donde la probabilidad total es mayor.

Este algoritmo se mejoró utilizando el método del centroide ponderado donde se busca tener en cuenta la RSS medida en cada punto donde se sitúe el teléfono inteligente. Así, la distribución de probabilidad Gaussiana ahora se pondera dependiendo de la intensidad de la señal. Esta mejora fue clave para el desarrollo de la investigación pues el margen de error se disminuyó gracias a la integración de la trilateración avanzada con el método del centroide ponderado. En este punto ya existe una primera aproximación que determina la posición de todos los AP presentes en el lugar cerrado, pero los autores propusieron seguir ajustando esta información mientras la persona va caminando. En la primera fase el usuario se detiene a tomar cada RSS, pero en la segunda fase camina por el lugar y el sistema, de forma transparente, vuelve a hacer ese procedimiento cada vez que el SO del teléfono inteligente detecta una nueva RSS de un AP. Decidieron implementar la localización de la persona en tiempo real, mediante navegación inercial. Utilizaron el magnetómetro que mide la dirección de la brújula y el acelerómetro del teléfono para este fin. No obstante, debido los problemas de precisión de la navegación inercial, los autores incluyeron un módulo de reconocimiento de patrones en la forma de caminar del usuario para mitigar el error. Para la ubicación de los AP se obtuvo un margen de error entre 2 y 5 m. La aplicación es de código abierto con licenciamiento GNU.

Relación entre trabajos y conceptos clave

La Tabla 5 y Tabla 6 reflejan la asociación entre cada trabajo relacionado y algunos conceptos clave que son resultado del análisis de los mismos.

Memoria de Trabajo de Grado - Investigación

N.	TRABAJOS RELACIONADOS	OBSERVACIONES	MARGEN DE ERROR
1	TraceMe - Indoor Real-Time Location System		Desconocido
2	DRec: Exploring Indoor Navigation with an Un-Augmented Smart Phone		6%
3	An Accelerometer Based Approach for Indoor Localization		10 m
4	Beep: 3D Indoor Positioning Using Audible Sound		En planos 2D: 0.91 m en el 95% de los casos
5	Integración de un sistema de posicionamiento indoor en aplicaciones SIG para dispositivo móvil	Se integran las técnicas de Navegación inercial y uso de la Red inalámbrica de WLAN-Wifi	2 m
6	Towards mobile phone localization without war-driving		11 m
7	An Indoor Positioning System for a First Responder in an Emergency Environment		3 m
8	Ways4all: Navegación en interiores para personas con discapacidad visual	El teléfono no hace parte de la técnica de posicionamiento ya que sólo comunica los datos al usuario	Desconocido
9	The Cricket Indoor Location System	Un usuario puede conocer su ubicación, utilizando una PDA, mientras que se debe utilizar un dispositivo como un computador de escritorio para que una persona ajena pueda rastrear la localización de otras personas u objetos	0.1 m y 3 grados
10	A WiFi-aided reduced inertial sensors-based navigation system with fast embedded implementation of particle filtering	Se integran las técnicas de Navegación inercial y uso de la Red inalámbrica de WLAN-Wifi	1,6 m en el 70% de los casos
11	Using smartphones for indoor navigation	Se desarrolló la Navegación inercial aparte del uso de RFID	Navegación inercial: 200% RFID: desconocido
12	An Indoor Navigation System For Smartphones		2 m
13	IndoorAtlas		3 m con un 90% de confiabilidad
14	BuildNGo, Sails	Integra las técnicas: uso de la Red inalámbrica de WLAN-Wifi y bluetooth, y navegación inercial	2 a 10 m
15	Security Visiting: RFID-Based Smartphone Indoor Guiding System	Se integran las técnicas de uso de RFID y uso de la Red inalámbrica de WLAN-Wifi	1.5 a 3 m
16	Indoor magnetic navigation for the blind	El teléfono inteligente sólo comunica la información. El sensor magnetómetro toma las muestras pero no hace parte del celular	2.53 a 5 m
17	WiFi-Based Indoor Positioning for Multi-Floor Environment		1.6 m y 0% de error en la estimación del piso
18	Accurate WLAN Indoor Localization Based on RSS Fluctuations Modeling		2 m con una probabilidad de 81.9%
19	LocateMe: Magnetic-Fields-Based Indoor Localization Using Smartphones		2 a 6 m el 80 % de las veces
20	Properties of Indoor Received Signal Strength for WLAN Location Fingerprinting		Desconocido
21	A WLAN fingerprinting based indoor localization technique		1.6 m
22	Wifi Compass - Wifi Access Point Localization with Android Devices	La técnica de navegación inercial se desarrolló aparte del uso de la red inalámbrica de WLAN-Wifi	2 a 5 m
23	Bluetooth indoor positioning		1.5 m
24	SoundLoc: Acoustic Method for indoor Localization without infrastructure		2.2%

Tabla 5. Observaciones y márgenes de error de los Trabajos relacionados

Justificación

Después de estudiar el estado del arte fue posible evidenciar que las investigaciones relacionadas con el tema de localización en interiores, suelen no tener en cuenta la población con discapacidad visual, lo cual justifica el trabajo presentado en este documento. Adicionalmente, muy pocos investigadores tienen en cuenta la ubicación entre pisos, lo cual sí fue integrado en el modelo propuesto de localización en interiores. Finalmente, en la presente investigación se introduce el concepto de áreas que conforman un piso, lo cual será clave para el desarrollo del modelo de localización. Estos puntos en particular y algunas implicaciones derivadas de ellos, se encuentran reflejados a lo largo del trabajo realizado.

CODIFICACIÓN ABIERTA

Requerimientos

Luego de aplicar las entrevistas y reconocer las necesidades de los usuarios se procedió a sintetizar la información obtenida con el fin de especificar los requerimientos que harían parte del modelo de localización en interiores. Algunos requerimientos se derivan específicamente de alguna necesidad identificada en la Tabla 4, pero otros surgen a partir de estos mismos, con el objetivo de plantear un modelo global y completo. Al analizar todos estos requerimientos y evidenciar sus características, fue posible reunirlos en grupos que se denominaron problemáticas, ya que cada conjunto tenía como objetivo abordar una situación particular. En la Tabla 7 se encuentra cada grupo de requerimientos con su respectiva problemática.

Problemática	Cód.	Especificación del Requerimiento
Localización en interiores en tiempo real	R-01	Identificar el edificio donde se encuentra el usuario
	R-02	Determinar el piso (de un edificio) donde se encuentra el usuario (vertical)
	R-03	Determinar la coordenada y correspondiente área (de un piso) donde se encuentra el usuario (horizontal)
	R-04	Determinar las áreas (salón, baño, cuarto, etc.) que son adyacentes a aquella donde se encuentra el usuario
	R-05	Determinar los lugares estructurales (escalera, rampa, ascensor, puerta, ventana, etc.) que son adyacentes al área donde se encuentra el usuario
	R-06	Determinar la dirección en que están los lugares estructurales, respecto al usuario
Base de Información	R-07	Almacenar la información de un edificio
	R-08	Almacenar la información de un piso
	R-09	Almacenar la información de un área
	R-10	Almacenar la información de una coordenada
	R-11	Almacenar la información de las áreas adyacentes
	R-12	Almacenar la información de los lugares estructurales adyacentes

	R-13	Almacenar la información de enrutamiento entre diferentes coordenadas
	R-14	Almacenar la información de cuerpos que son encontrados por el usuario al desplazarse
Comunicación con el usuario con discapacidad visual	R-15	Diseñar una interfaz gráfica que permita al usuario (persona con discapacidad visual) solicitar información de localización al teléfono inteligente
	R-16	Comunicar por voz el edificio donde se encuentra el usuario
	R-17	Comunicar por voz el piso donde se encuentra el usuario
	R-18	Comunicar por voz el área donde se encuentra el usuario
	R-19	Comunicar por voz las áreas adyacentes al área donde se encuentra el usuario
	R-20	Comunicar por voz la dirección en que están los lugares estructurales adyacentes, respecto al usuario
	R-21	Recibir instrucción por voz (del usuario) para solicitar enrutamiento
	R-22	Comunicar por voz (al usuario) las instrucciones para llegar a un lugar de destino, partiendo de un lugar de origen
	R-23	Comunicar por voz (al usuario) cuando éste se encuentre esté cerca de un obstáculo
Identificación de cuerpos	R-24	Determinar cuándo el usuario puede encontrar una silla, aviso colgante, ventana que abre sobre un corredor, etc. (cuerpos dinámicos o estáticos) mientras se está desplazando
	R-25	Determinar cuándo el usuario está cerca de otras personas (cuerpo dinámico)
Enrutamiento del usuario	R-26	Determinar todas las posibles rutas para que el usuario llegue a un lugar de destino, partiendo de un lugar de origen
	R-27	Determinar la ruta óptima para que el usuario llegue a un lugar de destino, partiendo de un lugar de origen

Tabla 7. Requerimientos obtenidos a partir de las entrevistas aplicadas

Problemáticas

Aunque no todas las problemáticas identificadas hacen parte del alcance del proyecto, es necesario reconocerlas en contexto pues de allí pueden surgir trabajos futuros y mejoras para el modelo que acá se pretende plantear. Por este motivo, a continuación se hace una breve introducción a cada problemática y posteriormente a sus interrelaciones para comprender el contexto del problema.

Problemáticas

Localización en interiores en tiempo real

La localización en interiores abarca todos los procedimientos y procesos necesarios para determinar la ubicación espacial de un usuario con discapacidad visual dentro de un espacio cerrado. Por localización se entiende estrictamente la estimación de la coordenada donde está una persona en cada momento de su desplazamiento o reposo dentro de una edificación. No obstante, para poder determinar la coordenada, también se necesita identificar el edificio y el piso donde se encuentra la persona, así podría saberse en qué área específica está en un momento dado. Por área se entiende cualquier lugar específico con nombre propio, como baño, salón, auditorio, alcoba, etc.

Como apoyo para la localización, también es útil determinar qué áreas (baño, salón, auditorio, entre otros) son adyacentes a aquella donde está el usuario o qué lugares estructurales (escaleras, paredes, columnas, rampas, puertas, entre otros) son adyacentes al lugar donde se encuentra, pues les sirve como punto de referencia para su ubicación. Dos áreas son adyacentes siempre y cuando haya un punto de acceso entre ambas, es decir, una puerta, un marco, una escalera, una rampa, un ascensor o simplemente no hay una delimitación estructural. Sin embargo, si existen dos áreas que se encuentran comunicadas por una pared o una columna, estas no se consideran adyacentes ya que no puede pasarse de la una a la otra directamente. Por su parte, un lugar estructural se considera adyacente a un área, siempre y cuando ambos estén físicamente juntos.

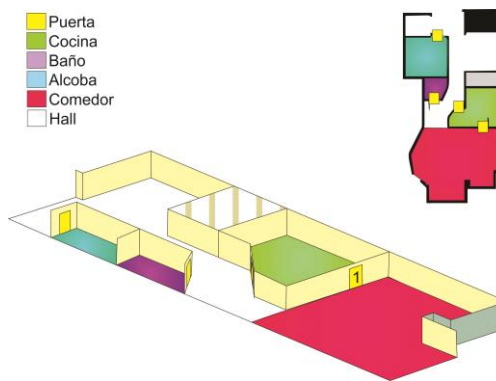


Figura 11. Concepto de áreas y lugares estructurales adyacentes [Elaboración propia]

En la Figura 11 es posible observar que el *Comedor* y la *Sala* son áreas adyacentes porque puede pasarse de una a la otra a través de la *Puerta 1*. Sin embargo, aunque la *Alcoba* y el *Baño* estén cerca, no se consideran adyacentes pues no es posible pasar de una a otra pues están separadas por una pared. De esta forma, la *Sala* y la *Cocina* son adyacentes a la *Puerta 1* (lugar estructural).

Enrutamiento del usuario

El enrutamiento comprende el proceso de determinación de una ruta que permita al usuario con discapacidad visual partir de una coordenada de origen y poder llegar a una coordenada de destino dentro de un lugar cerrado. Para determinar una ruta y las instrucciones para seguirla, es necesario determinar la dirección en que está ubicada la persona respecto al plano (horizontal) del piso de la edificación, pues a partir de ello es posible proponer la dirección de los giros que debe realizar en cada tramo durante el desplazamiento. También es necesario especificar las distancias entre tramos y la validación en tiempo real de las instrucciones dadas, ya que si no se están siguiendo adecuadamente, sería necesario hacer un re-cálculo de la ruta para llevar al usuario a su destino final. El cálculo de la ruta también tiene un proceso específico ya que varias rutas pueden conectar una coor-

denada de origen con una de destino, pero el algoritmo desarrollado debe tener en cuenta la ruta más corta respecto a distancia y/o facilidad de acceso por parte de personas con discapacidad visual. Como se mencionó en la propuesta para la Investigación, el alcance no contempla el enrutamiento de usuarios, por tanto, no hace parte del modelo planteado. No obstante, a continuación se da un breve acercamiento a cómo podría abordarse esta problemática en un trabajo futuro.

El Enrutamiento del usuario implica el manejo de una estructura de datos como un grafo que permita definir unos nodos correspondientes a las coordenadas existentes dentro de la edificación, y también definir unas aristas que describan la distancia entre ellos y sus pesos, los cuales deberían tener en cuenta la distancia y la facilidad de acceso para las personas con discapacidad visual; de este modo, si el usuario indicara que quiere ir a un lugar, podría ser guiado a través del camino más corto, utilizando un algoritmo de búsqueda de la ruta óptima, como Dijkstra o Floyd – Warshall [54].

Identificación de cuerpos

La identificación de cuerpos está directamente relacionada con la necesidad de determinar qué puede encontrarse en frente de un usuario con discapacidad visual en algún momento de su desplazamiento o reposo dentro de un espacio cerrado y que pueda ser concebido como un obstáculo en su camino. El usuario puede encontrarse con dos tipos de cuerpos: estáticos y dinámicos.

Los cuerpos estáticos son aquellos que no se espera que puedan ser fácilmente movilizables de un lugar a otro dentro de la edificación, como por ejemplo, los lugares estructurales de una edificación.

Los cuerpos dinámicos se definen como aquellos que pueden moverse dentro de un lugar cerrado sin necesidad de alterar los cimientos de la construcción. Por ejemplo, aquí se encuentran las ventanas abiertas, puertas abiertas o corridas (si son corredizas), sillas, personas, entre otros.

Aunque esta es una problemática que interesa en gran medida a la población con discapacidad visual, no tiene una relación estricta con los objetivos planteados donde el eje principal es la localización, por ende, no hace parte del modelo planteado. No obstante, a continuación se da un breve acercamiento a cómo podría abordarse esta problemática para un trabajo futuro.

La identificación de cuerpos implica un trabajo adicional bastante profundo en manejo de imágenes, que es la aproximación más recurrente para detección de objetos mediante teléfonos inteligentes [55][56][57]. La identificación de cuerpos supone un inconveniente para el caso de las personas con discapacidad visual pues ellos no podrían caminar, teniendo que estar pendientes de la cámara de su teléfono pues ella sería la encargada de estar monitoreando el espacio para identificar un obstáculo o persona en el camino. Una opción adicional para la identificación de personas cercanas podría ser mediante bluetooth [58], pero sería necesario que cada persona tenga siempre encendida esta opción

en su celular para poder ser descubierto por otros teléfonos inteligentes cercanos. Esto podría llegar a ser incómodo e invasivo para las personas, similar al problema de uso de la cámara, de modo que se necesitaría una investigación mucho más profunda para abordar la problemática reconocida por la población con discapacidad visual y por ende, también excede el alcance propuesto.

Base de Información

La base de información hace referencia al almacenamiento de los datos que son requeridos para llevar a cabo los procesos de localización, enrutamiento e identificación de cuerpos en interiores. Cada una de las problemáticas requiere de almacenamiento de datos o la recuperación de los mismos para aplicar sus algoritmos correspondientes y entregar información útil para el usuario, permitiéndole tomar decisiones acertadas durante su desplazamiento o reposo en un espacio cerrado.

Dentro de los datos que deben ser almacenados están: edificio, piso, áreas, coordenadas de las áreas, lugares estructurales, áreas que son adyacentes a otras, áreas que son adyacentes a lugares estructurales, coordenadas donde se identifique la presencia de algún cuerpo, distancias entre las coordenadas y facilidad de acceso por parte de los usuarios con discapacidad visual entre las coordenadas.

Comunicación con el usuario con discapacidad visual

La comunicación con el usuario con discapacidad visual integra ambas vías: desde el usuario hacia el teléfono inteligente y viceversa. En el primer caso el usuario tendría la facultad de solicitar información de localización, enrutamiento e identificación de cuerpos. En el segundo caso, el teléfono inteligente sería el encargado de proveer esa información como respuesta a la solicitud. Tal respuesta debe hacerse por voz debido al tipo de población al que está dirigido el modelo y de acuerdo al análisis hecho a partir de las entrevistas aplicadas (Ver Anexo 7).

Interrelación entre las problemáticas

A continuación se evidencian las relaciones entre estas problemáticas, lo cual permite saber cuáles brindan información a las demás para que puedan desarrollar sus correspondientes procesos.

La base de información contiene todos los datos que son necesarios para brindar diferentes servicios al usuario: Localización en interiores y Enrutamiento. Por su parte, la localización lleva a cabo unos procedimientos que permiten determinar la posición actual de la persona con discapacidad visual, a través de su coordenada en tiempo real. Esta información permite alimentar el servicio de enrutamiento que requiere saber en cada momento la posición del usuario para poderlo guiar a su lugar de destino. Sin embargo, una ruta podría necesitar ser modificada en caso de que se identificara en el camino la presencia de algún cuerpo (generando un obstáculo). Al encontrar un cuerpo dinámico (o un cuerpo estático que antes no existía, si una edificación hace un cambio en su estructura), es nece-

sario recalcular la ruta para que el usuario llegue a donde desea. Si se encuentra un cuerpo estático que no se tiene previsto, es necesario almacenarlo en la Base de información pues será un nuevo lugar estructural relevante para el proceso de enrutamiento e incluso de localización, pues de acuerdo a los requerimientos obtenidos, parte del posicionamiento en interiores incluye determinar qué lugares estructurales están cerca de la posición actual del usuario debido a que ellos podrían ser utilizados como puntos de referencia para el desplazamiento. Almacenar en la base de información la coordenada de un cuerpo dinámico quizás resulte ser una tarea innecesaria pues, por ejemplo, en el caso de una persona o una silla, podrían cambiar de lugar en cualquier momento.

Estos tres servicios (localización, enrutamiento e identificación de cuerpos) que son útiles para la población con discapacidad visual, no tendrían sentido si no se anunciaran, por ello, los tres procesan información que luego debe ser comunicada al usuario. Sin embargo, el usuario puede hacer la solicitud de la información de localización y de enrutamiento, así que el flujo de información se da en ambos sentidos entre localización y comunicación, y entre localización y enrutamiento.

En la Figura 12 se muestran estas relaciones de forma gráfica.

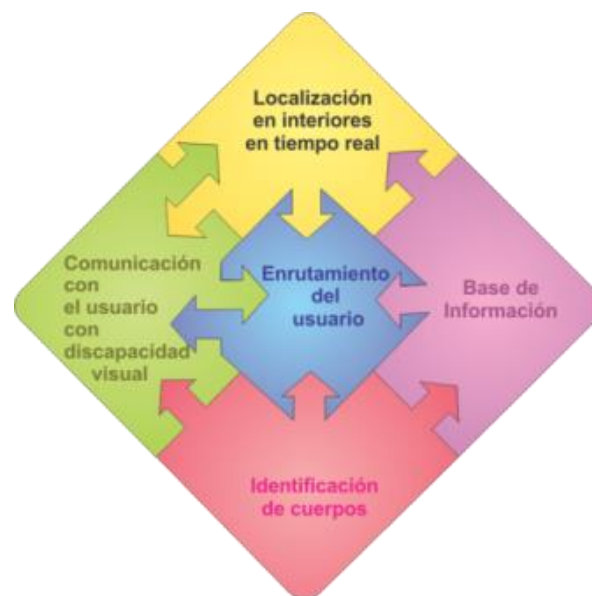


Figura 12. Interrelación entre las problemáticas asociadas a la localización en interiores para personas con discapacidad visual

CODIFICACIÓN AXIAL

Selección de problemáticas

Se concluye que las tres problemáticas que se encuentran dentro del alcance de la investigación son la Localización, la Comunicación y la Base de Información y por tanto empiezan a considerarse como módulos del modelo, como lo ilustra la Figura 13.



Figura 13. Interrelación entre las problemáticas asociadas a la localización en interiores para personas con discapacidad visual y que hacen parte del alcance la investigación

Es importante aclarar que dentro de estos tres módulos no se abordaron los requerimientos que tienen relación con las dos problemáticas que no hacen parte del alcance del proyecto: Enrutamiento del usuario e Identificación de cuerpos.

CODIFICACIÓN SELECTIVA

Modelo

Teniendo los módulos que componen el modelo de localización en interiores para personas con discapacidad visual, a continuación se expone el funcionamiento de cada uno en detalle.

Localización en interiores en tiempo real

Al analizar cada uno de los requerimientos de la localización en interiores en tiempo real, es posible evidenciar tres sub-módulos bien definidos: Identificación de la edificación (R-01), Localización vertical (R-02) y Localización horizontal (R-03 a R-06), como se muestra en la [Figura 14](#) .



Figura 14. Sub-módulos de la Localización en interiores en tiempo real

En la Figura 14 se evidencia que los tres sub-módulos tienen una relación como la que se presenta en la arquitectura en capas donde la inferior brinda servicios a la superior [59]. Esto sucede como se explicó en la sección de Localización en interiores en tiempo real del contexto del problema: la capa inferior entrega información del edificio a la capa intermedia para que allí se pueda determinar cuántos y cuáles pisos tiene la edificación identificada. De la misma forma, la capa intermedia entrega información del piso a la capa superior para que allí se pueda determinar cuántas y cuáles son las áreas y lugares estructurales que tiene el piso identificado, en el momento de la localización en tiempo real.

A continuación se detalla cada sub-módulo de la localización en interiores en tiempo real.

Identificación de la edificación

Es necesario identificar en qué edificación está el usuario pues es indispensable para determinar otros datos más específicos como el piso, el área y la coordenada de localización. Por ello, es necesario que cada edificación, ya sea de 1 ó más pisos, tenga asociado un número de identificación único que lo distinga de los demás. Esta identidad permite que en el momento de la localización (en tiempo real), pueda accederse únicamente a la información de ese edificio, descartando los otros existentes. Además del identificador, es indispensable disponer del nombre del edificio pues será necesario que sea comunicado auditivamente al usuario.

Para la implementación del modelo, la aplicación móvil debe ser capaz de hacer la identificación de la edificación en tiempo real, así que en el momento de la implementación se necesita tener una tecnología o componente que permita determinar la edificación donde está el usuario.

Localización vertical

El sub-módulo de identificación de la edificación se encarga de entregar la información del edificio donde está el usuario, a fin de continuar con el proceso de ubicación en el sub-módulo de localización vertical. Ésta se refiere a la determinación del piso donde se encuentra el usuario en tiempo real. Existen edificaciones que están compuestas por un solo piso y allí esto no sería un factor crítico en el proceso de localización, sin embargo, existen muchos edificios con dos o más pisos en su planta. Precisamente los edificios de muchos pisos son aquellos sitios desconocidos que suelen visitar las personas con discapacidad visual. De acuerdo a las entrevistas aplicadas a esta población (Ver Anexo 7), el proceso de ubicación en un lugar conocido, como la vivienda propia, es mucho más sencillo que en un centro comercial, hospital, etc. La vivienda usualmente es de un solo piso, pero si tuviese más, no sería un inconveniente para este tipo de público ya que lo reconocen casi perfectamente. No obstante, esos lugares desconocidos o que se visitan con poca frecuencia son los

que complican la situación de las personas con discapacidad visual, y normalmente son edificaciones con más de un piso. De allí, que la localización vertical tenga justificación dentro del proceso de localización en interiores para este tipo de público.

Al igual que en el sub-módulo anterior, es necesario que cada piso dentro de un edificio tenga un número de identificación único que lo distinga de los demás pisos. Esta identidad permite que en el momento de la localización (en tiempo real), pueda accederse únicamente a la información de ese piso, descartando los demás (si los hay). Además del identificador, es indispensable disponer del nombre del piso y su número pues será necesario que sea comunicado auditivamente al usuario (el piso puede ser llamado lobby, segundo sótano, primer piso, entre otros; mientras su número puede ser -1, 0, 1, 5, etc., dependiendo del edificio).

Para la implementación del modelo, la aplicación móvil debe ser capaz de hacer la identificación del piso en tiempo real, así que en el momento de la implementación es necesario tener una estrategia, una tecnología o componente que permita determinar el piso donde está el usuario; de forma tal, que si en algún momento de su desplazamiento cambia de nivel, tendrá que ser notificado.

Localización horizontal

El sub-módulo de localización vertical se encarga de entregar la información del piso donde está el usuario, a fin de continuar con el proceso de ubicación en el sub-módulo de localización horizontal. Ésta se refiere a la determinación de la coordenada dentro de un plano en dos dimensiones donde se encuentra el usuario en tiempo real. Un conjunto de coordenadas forma un área de un piso, de modo que al disponerse de los datos de asociación entre el área y sus coordenadas, es posible brindar una información útil al usuario con discapacidad visual. Para esta persona no tendría sentido conocer la coordenada (en forma numérica) donde se encuentra, sino recibir como notificación el nombre del área donde está ubicado. Al tener disponible tal información, es posible determinar otros datos útiles para las personas con discapacidad visual; luego de realizar las entrevistas (Ver Anexo 7), pudo concluirse que es útil determinar y comunicar las áreas que son adyacentes al área donde está el usuario, así como los lugares estructurales adyacentes, debido a que son puntos de referencia clave en el proceso de reconocimiento del lugar y posterior localización. Adicionalmente, resulta práctico y útil poder notificar sobre un lugar estructural adyacente, especificando su dirección respecto a la posición del usuario. Esto significa, poder decir que una rampa, escalera, entre otros, está a su derecha, etc., en algún momento de su desplazamiento o reposo dentro de un lugar cerrado.

Al igual que en el sub-módulo anterior, es necesario que cada área dentro de un piso tenga un número de identificación único que la distinga de las demás áreas, así como sucede con los lugares

adyacentes. Cada área o lugar estructural, además debe tener asociadas unas coordenadas pues ello permitirá que al identificar la coordenada de localización del usuario, pueda inferirse el área donde se encuentra, las áreas adyacentes y los lugares estructurales adyacentes. Estas coordenadas deben ser una pareja de números enteros de la forma (x,y) con lo que se asegura que cada punto sea único dentro del plano de dos dimensiones. Debido a la necesidad de este sistema de referencia de coordenadas cartesianas, es indispensable disponer del plano físico de cada nivel (piso), pues allí es donde se identificará cada una de las coordenadas que compone cada área o lugar estructural, y permitirá la parametrización de tales coordenadas como se explica a continuación.

El plano debe manejarse de forma adecuada pues independientemente del tamaño del archivo que se utilice, se debe asegurar que la escala de tal mapa represente fielmente las dimensiones reales de un lugar. Sin embargo, al hablar de coordenadas para localización, podría haber millones de ellas en cualquier lugar, así que no sería útil, fácil de mantener, ni adecuado, disponer de esa información. Por este motivo, debe manejarse una cuadrícula (acorde a la escala del mapa) sobre el plano, donde las intersecciones representen las coordenadas necesarias para la localización. Al utilizar la escala (que debe estar asociada a cada plano de un piso) es posible superponer una cuadrícula que marque una coordenada cada metro cuadrado, que deberá ser escalado al mapa. El objetivo de tener estas coordenadas es que a cada una de ellas, se asociará algún valor brindado por la(s) tecnología(s) seleccionada(s) al instanciar el modelo, lo cual permitirá hacer una estimación de la localización de un usuario que se encuentra ubicado en alguno de esos puntos. La Figura 15 muestra cómo se representaría la cuadrícula sobre el plano de un piso. Cada punto de color rojo se encuentra a un metro de sus pares horizontales y verticales y es allí donde se asociarán los datos entregados por la(s) tecnología(s) seleccionadas para la implementación del modelo.

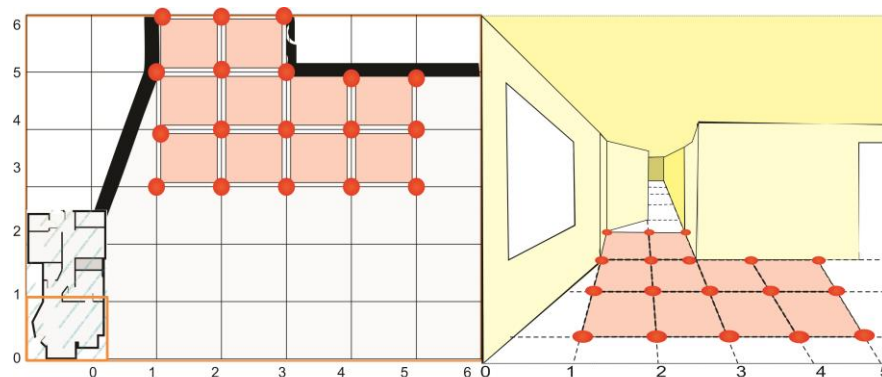


Figura 15. Cuadrícula (1m x 1m) superpuesta en el plano de un piso [Elaboración propia]

La distancia debe ser un metro porque permite que el mínimo error conseguido en la estimación de la posición del usuario sea de esa distancia; además, debe reconocerse que existen áreas relativamente pequeñas que podrían ser de muy pocos metros cuadrados, y al trazar una cuadrícula más grande, simplemente se perdería tal lugar, impidiendo un adecuado proceso de localización.

Estas coordenadas también serán un insumo necesario para determinar la dirección en la cual están los lugares estructurales respecto a la posición de la persona. Para este requerimiento específico, es necesario poder determinar en tiempo real la orientación de la persona, con lo cual, a través del sistema de referencia de coordenadas cartesianas, podrá determinarse la dirección en que están esos lugares que servirán como puntos de referencia para las personas con discapacidad visual.

Además del identificador del área y el lugar adyacente, es indispensable disponer de sus nombres pues será necesario que sea comunicado auditivamente al usuario. Cada uno de los lugares debe tener también asociadas unas coordenadas (de la forma x,y) delimitadas por la cuadrícula dispuesta sobre el plano de cada piso que debe contener su propia escala.

Para la implementación del modelo, la aplicación móvil debe ser capaz de hacer la identificación de la coordenada en tiempo real, así que en el momento de la implementación es necesario tener una tecnología o componente que permita determinar la coordenada donde el usuario se encuentra.

Base de Información

Todos los requerimientos que pertenecen a este módulo están en un mismo conjunto (R-07 a R-12). Aquí es indispensable tener alguna forma de almacenamiento donde estén disponibles todos los datos mencionados en las secciones correspondientes a los tres sub-módulos de la Localización en interiores en tiempo real. En la Figura 16 se evidencia un modelo de entidad-relación cuyo único propósito es evidenciar los datos que son necesarios para determinar la localización, además de la relación entre ellos. Aparte de los datos ya mencionados, es necesario almacenar la información brindada por las tecnologías y técnicas seleccionadas para abordar cada módulo del modelo. Por este motivo, en la Figura 16 se muestra *Localización* como la entidad o conjunto de entidades que contendrán los datos de medición correspondientes a las tecnologías que sean seleccionadas para instanciar el modelo. Esta(s) entidad(es) deben estar relacionadas directamente con la coordenada pues permitirán identificarla y dar paso al proceso de estimación de la localización. Por ejemplo, en caso de seleccionar la técnica de uso de la red inalámbrica de Bluetooth y el método basado en el rastro, se deberán almacenar las mediciones de intensidad de la señal asociadas a cada coordenada.



**Figura 16. Relación entre los datos requeridos para el modelo de localización en interiores
Comunicación con el usuario con discapacidad visual**

La comunicación con el usuario es un factor fundamental debido a la población que es objeto de estudio en la investigación. La localización en interiores para personas sin dificultades de visión requiere un análisis diferente, por tanto la comunicación con aquel que posee algún grado de discapacidad en su visión, es clave para el éxito del modelo que se propone. El único componente que obligatoriamente debe hacer parte del modelo es el teléfono inteligente, de acuerdo a la restricción impuesta en la propuesta del trabajo; por ello, la comunicación en su totalidad se analiza teniendo en cuenta este aspecto. Para la presente investigación, por teléfono inteligente se entiende cualquier teléfono móvil que posea una pantalla táctil y una NIC incorporada.

Al analizar cada requerimiento de la comunicación con el usuario con discapacidad visual, es posible evidenciar dos sub-módulos bien definidos: Recepción de instrucciones del usuario (R-15) y Comunicación por voz hacia el usuario (R-16 a R-20), como se muestra en la [Figura 17](#).



Figura 17. Sub-módulos de Comunicación con el usuario con discapacidad visual

A diferencia del módulo de Localización en interiores en tiempo real, en este módulo no se evidencia una relación en capas debido a que cada sub-módulo trabaja de manera independiente como se aprecia a continuación.

Recepción de instrucciones del usuario

Las solicitudes que podría hacer un usuario a su teléfono inteligente son las siguientes:

- Lugar: Nombre del edificio, piso y área donde está ubicado.
- Áreas cercanas: Nombre de las áreas adyacentes al área donde está ubicado.
- Lugares estructurales cercanos: Nombre y dirección de los lugares estructurales adyacentes al área donde está ubicado, respecto a su orientación.

Para hacer una adecuada recepción de instrucciones del usuario, se requiere tener especial atención en las dificultades que puedan tener las personas con discapacidad visual para interactuar con el teléfono inteligente. Es importante tener en cuenta temas clave como el diseño de la interfaz gráfica y la forma de solicitud de información a través del teléfono. Aunque ello depende estrictamente de cómo se aborde a la hora de hacer la implementación, sí es necesario tener en cuenta algunos lineamientos que permiten desarrollar un producto útil para este tipo de población con discapacidad visual [60]. Para este caso es útil manejar botones, teniendo en cuenta que su tamaño sea grande respecto a la pantalla y que sólo se dispongan los estrictamente necesarios [61]. Estos botones, y en general cualquier componente, deberían tener una etiqueta de código que pueda ser leída por alguna aplicación que cumpla la función de lector de pantalla, pues de esta manera es como los usuarios saben qué se está mostrando por pantalla en cada momento.

La recepción de instrucciones también puede hacerse por voz, sin embargo, hacer la solicitud de localización por voz no es muy útil ya que el comando siempre sería el mismo, por ejemplo, “¿Dónde estoy?”. Además de ello, a través de las entrevistas pudo evidenciarse que los usuarios no esperan emitir alguna frase cada vez que quieren conocer su ubicación; diferente a lo que sucede con la instrucción de enrutamiento: “Ir al Auditorio principal”, lo cual sí fue mencionado en las entrevistas pero no hace parte del alcance de la investigación (Ver Anexo 7).

Finalmente, la recepción de instrucciones podría desencadenarse mediante el uso de la tecnología NFC disponible en los teléfonos inteligentes. Tan solo con el contacto de una tarjeta con el teléfono, podría producirse una solicitud para que la aplicación comunique la información necesaria.

Comunicación por voz hacia el usuario

Si bien la recepción de instrucciones podría llevarse a cabo de diferentes maneras, es claro que la comunicación hacia el usuario sólo puede ser auditiva. Se descartó algún sistema de vibraciones ya que algún otro tipo de discapacidad como la auditiva, excede el alcance de esta investigación. Adicionalmente, la voz es la forma más efectiva que encuentran los usuarios para conocer la información de localización, de acuerdo a las entrevistas realizadas (Ver Anexo 7).

Notación estándar de la especificación del modelo

El modelo de localización en interiores para personas con discapacidad se especificó en las secciones anteriores y a continuación se expone una representación estándar en la [Figura 18](#), utilizando una notación UML estándar, a través de un modelo de dominio. Allí se especifican las relaciones entre los módulos y sub-módulos, sintetizando la información previamente expuesta.

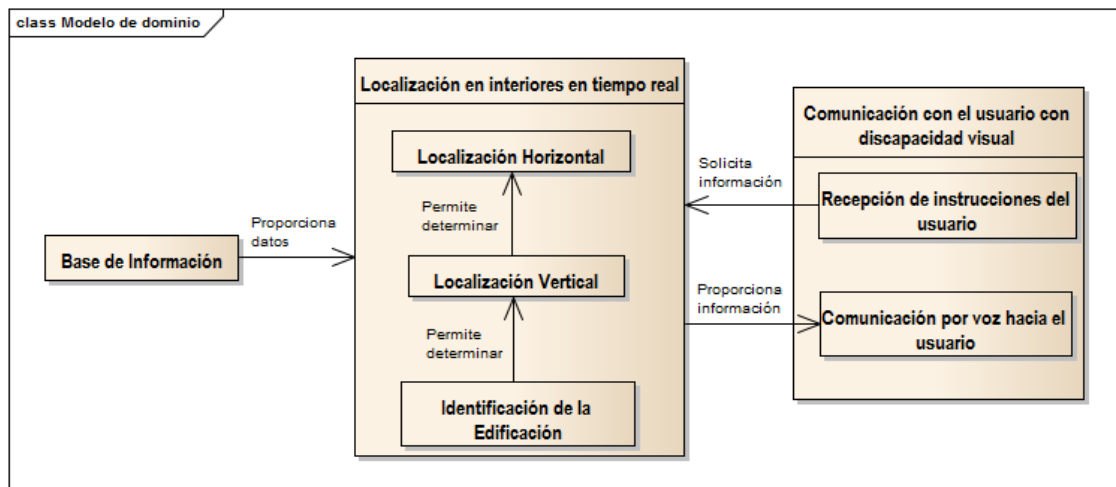


Figura 18. Modelo de localización en interiores para personas con discapacidad visual en notación UML

El modelo propuesto requiere ciertas restricciones que garanticen que el usuario con discapacidad visual pueda hacer un uso adecuado del sistema que lo implemente. En el momento de la selección de tecnologías específicas es indispensable tener en cuenta que el ideal es evitar importantes adecuaciones en la estructura de la edificación debido a la complejidad que ello supone. Adicionalmente, es imprescindible ser lo menos invasivo posible con los usuarios por su condición de discapacidad, de modo que no deban cargar nuevos dispositivos que afecten su cotidianidad. Por ello se propuso que el dispositivo principal fuera el teléfono inteligente, aprovechando las características que provee actualmente y algunas que se irán desarrollando conforme al avance de la tecnología.

V - DESARROLLO DE LA FASE DE INVESTIGACIÓN APLICADA PARA EL DESARROLLO DE SOFTWARE

FASE DE ELABORACIÓN

Selección de componentes para cada módulo del modelo

Se determinó que debían implementarse todos los requerimientos exceptuando aquellos que se relacionan con los lugares estructurales, ya que su inclusión en el modelo sólo se justifica por la importancia de comunicar de la dirección de tales lugares respecto al usuario, en el momento de su desplazamiento (al frente, derecha, etc.). Estos requerimientos de orientación necesitan un importante esfuerzo que no es clave para la validación del modelo de localización donde se persigue determinar el área donde se encuentra el usuario, de modo que dejar de implementarlos no supone su invalidez y en cambio supone un trabajo extenso que queda como trabajo futuro. De acuerdo a ello, es necesario responder a cada uno de los demás requerimientos que hacen parte del alcance de la investigación, a través de la selección de componentes que permitan abordar los objetivos propuestos. En primera instancia se seleccionó el SO Android para el desarrollo de la aplicación debido a su importante masificación en el mercado y su facilidad de acceso por ser de licencia libre [62]. Con esta primera elección, es posible continuar con la selección de tecnologías que permitan dar solución a cada módulo y sub-módulos del modelo propuesto.

Cada uno de los tres módulos pertenecientes al modelo de localización, requiere de la selección de uno o más componentes que permitan solucionar la problemática a la que hace referencia. Esta selección implicó una evaluación de técnicas y tecnologías de localización a partir de las ventajas y desventajas existentes. También fue necesario tomar decisiones de diseño que no se relacionan directamente con la localización pero permiten el desarrollo de todo el sistema. A continuación se describe cada módulo, determinando el componente que permite solucionar cada problemática.

Selección de componentes para el módulo de localización en interiores en tiempo real

Selección de componentes para la identificación de la edificación

A través del uso de un teléfono inteligente, la identificación podría hacerse, en primera instancia, a través del uso del GPS ya que antes de ingresar a la edificación, la persona aún se encuentra en un espacio abierto donde este sistema puede funcionar [37]. De esta manera, el GPS podría determinar en qué coordenada se encuentra en el momento preciso antes de ingresar al edificio; entonces, mediante información previamente registrada de esas coordenadas a través de su integración con un Sistema de Información Geográfico (GIS) [63][64], sería posible saber frente a qué edificación se encuentra el usuario y continuar con la localización en el interior. El GPS es ampliamente utilizado

para determinar la localización en exteriores, sin embargo, aunque la teoría señala que este sistema tiene una precisión para determinar la ubicación horizontal (latitudinal y longitudinal) de tan solo 50 centímetros, en la práctica el lugar señalado puede encontrarse a varios metros [10][65]. Se sabe que en el 95 % de los casos, el GPS proporciona una posición horizontal inferior a 83 m, aproximadamente, y el error máximo observado es de 261 m [66], dependiendo de las fallas que puedan presentar los satélites o el receptor, y las condiciones ambientales de la ionosfera de la tierra [65]. Adicionalmente, existen problemas de integración cuando se quiere utilizar un GIS y un GPS debido a la pérdida de datos, inexactitud en los valores dados por el GPS y mapeados en el GIS, etc. [63][64].

Conociendo estos inconvenientes, es necesario analizar otro tipo de tecnología que identifique el lugar por donde puede entrar el usuario a la edificación para asegurar que se inicie correctamente el proceso de localización, partiendo de una coordenada conocida. Esta identificación puede hacerse mediante el uso de etiquetas codificadas como un tag RFID, un código de barras unidimensional o un código de barras bidimensional (como el código QR de respuesta rápida) [67].

Tanto los tags RFID como los códigos de barra permiten la identificación de lugares específicos a través del almacenamiento de datos puntuales de un edificio al ubicarse en cada una de las posibles entradas del edificio [68][42][3]. Por su parte, los códigos de barra unidimensionales pueden identificar una coordenada en particular y se consiguen a un bajo costo, pero presentan problemas en torno al reducido volumen de información que pueden almacenar [69]; además, estos datos no son fácilmente modificables como en los tags RFID pues se requiere una alteración visual [42]. Finalmente, para cualquier código de barras, se necesita una línea directa de visión con el lector [42], lo cual empieza a ser una dificultad para las personas con discapacidad visual; además de presentar una desventaja al momento de necesitar desplegar la cámara y enfocar correctamente el código.

El código QR, es uno de los más atractivos pues es de código abierto [69]; además de ello, este código puede ser leído desde cualquier ángulo (lectura de 360°), es decir que es omnidireccional [69]. No obstante, a pesar de sus ventajas, se descarta por la poca facilidad de uso que representa el uso de la cámara para leer el código, al igual que sucede con el código de barras unidimensional.

De acuerdo a este análisis, la tecnología más adecuada para la identificación de la edificación podría ser un tag RFID; no obstante, el problema es que se requieren de instalación de hardware adicional dentro de la edificación [3][49][70][17][71], pero podría ser aceptable en el caso de la identificación pues no es necesario disponer tags por todo el edificio, sino únicamente en sus entradas.

Comparando entre los tipos de tag RFID se evidencia que los activos tienen la ventaja de poseer su propia fuente de energía, lo que permite una mayor intensidad en la señal transmitida [3][49][70]; los semipasivos cuentan con una batería destinada a la operación de los circuitos integrados y transmiten la señal con una menor intensidad [3]; y los pasivos ya no tienen esta ventaja, pues necesitan antenas más grandes para captar la energía requerida para responder las solicitudes y poseen un menor rango de alcance [3][17][71], sin embargo, son más baratos de adquirir [3]. Para el caso particular de las personas con discapacidad visual, existe una desventaja y es que deben estar cerca del tag pasivo ubicado en una pared ya que su alcance es limitado [3][17][71], sin embargo, este tag pasivo tiene una de las ventajas más importantes para este análisis pues el teléfono inteligente puede utilizarse como lector RFID a través de la tecnología NFC que está siendo ampliamente utilizada en la actualidad en estos celulares [6]. Esto no sucede con los otros dos tipos de tags que requerirían adaptar hardware adicional al teléfono para leer su información [3][6].

Aunque la tecnología NFC de los teléfonos inteligentes no reconoce el tag pasivo si está a una distancia mayor de 3cm [3][6], podría llegar a ser menos complejo de utilizar que un código de barras pues sólo se debe tener activa la opción de NFC del teléfono móvil y pasar el celular cerca del tag. Para una persona con baja visión podría ser manejable, pero seguramente para una persona invidente podría ser un gran limitante. Para abordar este inconveniente, debe reconocerse que en la entrada de una edificación, por lo general hay una persona que permite el ingreso y el invidente podría apoyarse en ella para acceder al tag (si tiene dificultad para encontrarlo). Este problema puede reducirse aún más al definir que el tag siempre debe estar a una altura en que la mayoría puede accederlo, por ejemplo, a un metro del piso sobre la puerta de entrada o en una pared contigua a ella. Si se toma como un estándar para todas las edificaciones (como un timbre en una entrada, un interruptor para encender un bombillo, etc.), el sistema podría utilizarse sin mayores contratiempos.

En el tag debe almacenarse información relevante acerca de la edificación (el identificador del edificio, del piso, de la coordenada donde está ubicado el tag y del área que abarca tal coordenada), que posteriormente será interpretada por el NFC [6]. En la actualidad, cientos de teléfonos inteligentes cuentan con esta tecnología [72] y sin lugar a dudas seguirá proliferando.

De acuerdo al análisis realizado se concluyó que el puntaje más alto la tendría entonces el tag RFID pasivo, después de sopesar las ventajas y desventajas de cada tecnología como se detalló previamente y se evidencia en el Anexo 9.

Selección de componentes para la localización Horizontal

A través de un teléfono inteligente es posible utilizar varias técnicas que permiten determinar la localización en interiores: uso de la red inalámbrica WLAN-Wifi, de la red inalámbrica de sensores (acústicos, ultrasonido, luz, movimiento, etc.) y de la red inalámbrica de Bluetooth, navegación inercial, uso de RFID, uso de código de barra unidimensional y bidimensional, detección del campo magnético terrestre, eco-localización y algunos híbridos entre ellos. Sin embargo, de acuerdo a la anterior evaluación de tecnologías para la identificación de una edificación, ya no se tiene en cuenta el uso de códigos de barra pues fueron descartados por sus desventajas particulares para la población con discapacidad visual. También se descartan todos los tipos de tag RFID debido a las desventajas presentadas en la sección de Selección de componentes para la identificación de la edificación; aunque el tag pasivo fue elegido como mejor opción dentro de las tecnologías de identificación, no es igualmente útil en la localización horizontal pues requeriría instalar grandes cantidades de tags en el espacio cerrado [3][49][70][17][71].

Recientemente han surgido múltiples sistemas que responden a la necesidad de localización en interiores y que se basan en la tecnología WLAN-Wifi. Esto se debe a que es relativamente sencillo encontrar acceso a internet en la mayoría de las edificaciones en la actualidad [13][24][20][5][45][70][73][74][21], lo cual posibilita el uso de los diferentes AP allí dispuestos, mediante sus emisiones de señal que permiten determinar la posición de una persona, ya sea mediante métodos geométricos como trilateración, triangulación, etc., o el posicionamiento basado en el rastro donde previamente se genera una huella para cada coordenada de un lugar, partiendo de la medición de la RSS percibida de los diferentes AP [75][13][20][5][45][76][70][73][24][74][21]. En este sentido, no sería muy complejo o costoso establecer una arquitectura completa que permita la localización en interiores [75][13][20][5][45][76][70][73][24][74][21]. No obstante, el posicionamiento basado en el rastro con Wifi, a pesar de medir la atenuación de la señal debido a obstáculos inmóviles dentro de la edificación (paredes), es susceptible a cambios físicos o a la presencia de objetos que se interponen y a la pérdida de la potencia del AP [74][5][45][76][70][73][24][21]. En ese caso, la intensidad que sea medida por el teléfono móvil no será siempre la misma, pudiendo generar problemas en la precisión de la localización. Algo similar sucede con la red inalámbrica de bluetooth y la red inalámbrica de sensores. Los dispositivos de bluetooth, aunque pueden ser desplegados fácilmente, a bajo costo [19][24] y tener un buen alcance (hasta de 100 m) [58][19], pueden verse afectados debido a los obstáculos y el ambiente [19] que afectan la señal, además de tener un tiempo de respuesta bastante lento para la localización en tiempo real [19]. Por su parte, los sensores (acústicos, Zigbees, 6LowPAN, etc.) también deben emitir sus respectivas ondas de radio, las

cuales pueden ser alteradas por el ruido del medio y presentar las mismas falencias [77][78][79]; sin embargo, esto puede controlarse mejor ya que tales sensores están diseñados para ubicarse a distancias más cortas que permiten una emisión y lectura más adecuada de las señales [77][80][78]. No obstante, subyace la necesidad de un nodo base o enrutador de borde que actúe como interface entre el usuario y estos dispositivos [77][78][79]. Una ventaja de 6LowPAN es que no requiere un nodo base, permitiendo la comunicación con otros dispositivos a través del estándar IPv6 donde es posible tener varios fabricantes y por tanto, una infinidad de direcciones IP [80].

De todas estas técnicas, una de las principales desventajas se evidencia en la necesidad de instalación de hardware adicional en la edificación [75][24][73][13][20][5][45][70][74][19][79][78]. Además, en caso de utilizar sensores, deben configurarse adecuadamente para su óptimo funcionamiento [77][78]. Cada sensor debe tener su propia batería, lo cual genera la necesidad de un balance entre la comunicación, el tiempo en que éste está activo y la capacidad de transmisión de datos entre ellos, con el fin de tener un mayor rendimiento de energía [77]. Además debe tenerse presente que tienen una limitada velocidad de procesamiento y de ancho de banda en la comunicación [77].

Como respuesta a la desventaja que representa la instalación de nuevo hardware, surgen las técnicas de navegación inercial, eco-localización y detección del campo magnético, que resultan ser las más transparentes y menos invasivas para la población con discapacidad visual [23][53][22][81][50][82][71][122]. Por su parte, la navegación inercial sólo requiere de un acelerómetro y un giroscopio (o magnetómetro) para estimar la posición de una persona de acuerdo a la dirección y trayectoria de su desplazamiento. Como estos sensores se encuentran ahora incorporados en los recientes teléfonos inteligentes, se facilita su utilización para la localización en interiores [81][50][83][82][13][71][24][21]. No obstante, existen algunos inconvenientes relacionados con la estimación del desplazamiento ya que estos sensores son susceptibles a captar interferencias y ruido en el ambiente [71][83][82][13][73][24][21][81]. Además de ello, los movimientos naturales en la forma en que cada persona camina y el lugar donde porten el teléfono, pueden afectar la medición de los sensores. Para solucionar este inconveniente se usan estrategias para identificar patrones en la forma de caminar [82][21][81] y se aplican filtros [71][50][73] para intentar reducir la tasa de error producida por los movimientos involuntarios de las personas que cargan el teléfono. De este modo, es necesario identificar los patrones en todos los movimientos efectuados por una persona en desplazamiento: al correr, caminar, saltar y subir escaleras, entre otros [82][21][81]. Por todo lo anterior, el margen de error en la localización al usar navegación inercial es bastante alto y suele crecer al recorrer mayores distancias [71][50][84][82][73][24][21][81].

En el caso de la eco-localización, aún se trata de una técnica incipiente que ha sido probada especialmente con computadores portátiles cuyas especificaciones en términos de micrófono y altavoces son diferentes para el caso de los actuales teléfono inteligentes y allí puede encontrarse un limitante en términos de diferencias entre fabricantes que genere errores en la localización [122]. La principal desventaja que presenta esta técnica es el adecuado manejo de la acústica de los lugares pues infinidad de ruidos pueden captarse en el proceso de calibración, correspondiente al método de posicionamiento basado en el rastro que requiere [122].

De otra parte, la técnica de detección del campo magnético terrestre ha surgido como una nueva forma de localización en interiores, a través del método de posicionamiento basado en el rastro. Tampoco requiere de infraestructura o adaptación de nuevo hardware [23][53][22], ya que sólo se utiliza un magnetómetro (presente en la mayoría de los actuales teléfonos inteligentes) para medir la variación del campo magnético en cada punto de la esfera terrestre, dado que cada pulgada cuadrada de la tierra tiene una lectura del campo magnético única [23][53]. Al haber materiales como metales que hacen cambiar el campo producido por la tierra, es posible medir su variación para obtener puntos únicos en cada lugar de la tierra [23][53][85]. Esto es posible en razón a que muchas edificaciones están construidas con estructuras metálicas [23][53][85], por ende, la desventaja estaría presente en lugares con estructuras no metálicas como madera u otros materiales [23][53][22]. Sumado a ello, para poder tener una buena localización en cualquier lugar, sería necesario barrer cada coordenada dentro de una edificación, en la fase previa de calibración, para poder brindar una estimación precisa en cualquier lugar [22]. También podría perderse precisión en caso de que algún otro material ferromagnético presente en el lugar, afecte la medición del campo magnético, haciendo que la calibración hecha previamente no vuelva a ser exactamente la misma [53][22].

Existen algunos híbridos entre las diversas técnicas mencionadas, pero dependiendo de la forma en que se integren, podría haber nuevas ventajas o desventajas para tener en consideración. Por ello, lo más oportuno sería analizar cada técnica por separado para evaluar la posibilidad de disminuir el impacto de alguna desventaja como consecuencia de integrarla con otra técnica. Habiendo realizado este análisis y teniendo en cuenta ventajas y desventajas, se determinó una puntaje para cada técnica de localización en interiores, como se aprecia en el Anexo 10. De esta manera se procedió a hacer un estudio más exhaustivo de la técnica con mayor puntaje: detección del campo magnético, junto con una prueba de concepto que permitiera determinar si tal alternativa era la más adecuada para el desarrollo del trabajo de grado. Se escogió pues es una de las técnicas menos invasivas para la población con discapacidad visual, al no requerir ningún cambio en la infraestructura o no necesitar que la persona lleve consigo algún sensor que interfiera con su cotidianidad. Aunque utiliza el mé-

todo de posicionamiento basado en el rastro, donde se necesita una fase de calibración, el balance entre ventajas y desventajas demuestra que sería una buena opción para el objetivo de la investigación.

Evaluación de la detección del Campo Magnético Terrestre

La medición del campo magnético terrestre es la combinación del campo interno y externo de la tierra. Las principales fuentes del campo magnético son las corrientes eléctricas que se generan en el núcleo y el manto, y los efectos que generan las erupciones que se dan en la superficie del Sol sobre la tierra [86]. Esto se evidencia por la existencia de un núcleo terrestre que tiene el comportamiento de un fluido y que está compuesto en su gran mayoría por hierro [86]. Esta fue una de las principales motivaciones para utilizar esta técnica, pues efectivamente, no requiere de instalación de hardware adicional en una edificación para hacer las mediciones correspondientes.

Inicialmente se conoció la aplicación para teléfonos con SO Android, IndoorAtlas, construida por una empresa Finlandesa para abordar la localización en interiores orientada a personas sin dificultades de visión [23]. Su posicionamiento se basa en encontrar puntos específicos de un lugar a partir del campo magnético del mismo, siendo imposible etiquetar una zona completa (por ejemplo el lugar cocina dentro de una casa) asociada a un conjunto de estos campos [23].

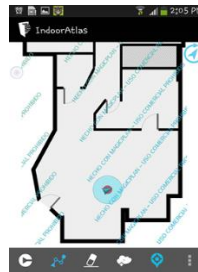


Figura 19. Pantallazo de IndoorAtlas

En la Figura 19 se observa cómo la aplicación IndoorAtlas muestra gráficamente en qué punto dentro de un mapa se encuentra la persona que carga el teléfono inteligente, pero no hay una división de áreas que permita saber un nombre representativo de cierta posición. Tal afirmación se corroboró al contactar al personal de soporte de esta empresa (vía correo electrónico) y recibir una respuesta que afirma que su producto aún no soporta el etiquetamiento de un lugar con un nombre particular.

Adicionalmente se obtuvo una aplicación de ejemplo provista por esta compañía [23] que provee una API de desarrollo para que nuevas aplicaciones puedan hacer uso de su medición del campo magnético. La API de IndoorAtlas genera algunos valores útiles para la localización, sin embargo, aún no soporta la medición del eje z, por tanto sólo pueden obtenerse las coordenadas x, y [87]. Tomando en consideración las desventajas encontradas al utilizar la API de desarrollo provista por

IndoorAtlas, se decidió realizar una aplicación propia sobre el sistema operativo Android que obtuviese todos los valores entregados por el magnetómetro (en este caso la aplicación fue probada con un teléfono Samsung S4). La aplicación desarrollada permitía obtener las tres componentes del campo magnético en los ejes x, y, z, el ángulo de inclinación magnética y el campo magnético total [86], lo cual se evidencia en las figuras que componen el Anexo 12.

Al navegar al interior de varias edificaciones se pudo observar que las componentes en los ejes x, y, z no corresponden proporcionalmente con el desplazamiento en diferentes orientaciones; es decir, no es posible atribuir el cambio del valor x a una distancia correspondiente al desplazamiento.

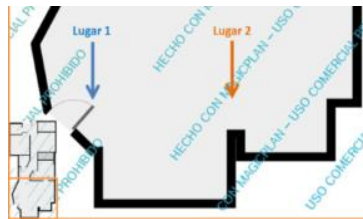


Figura 20. Lugares donde se tomaron las muestras para la prueba de concepto

En la Figura 20 se muestra que fueron tomadas dos muestras de los valores del campo magnético, realizando el mismo recorrido pero en diferentes lugares. Al graficar los valores obtenidos para cada recorrido (Ver datos completos en el Anexo 11), no se evidenció un cambio en ninguna componente que fuera proporcional al desplazamiento realizado, como se evidencia a continuación.

Lugar 1

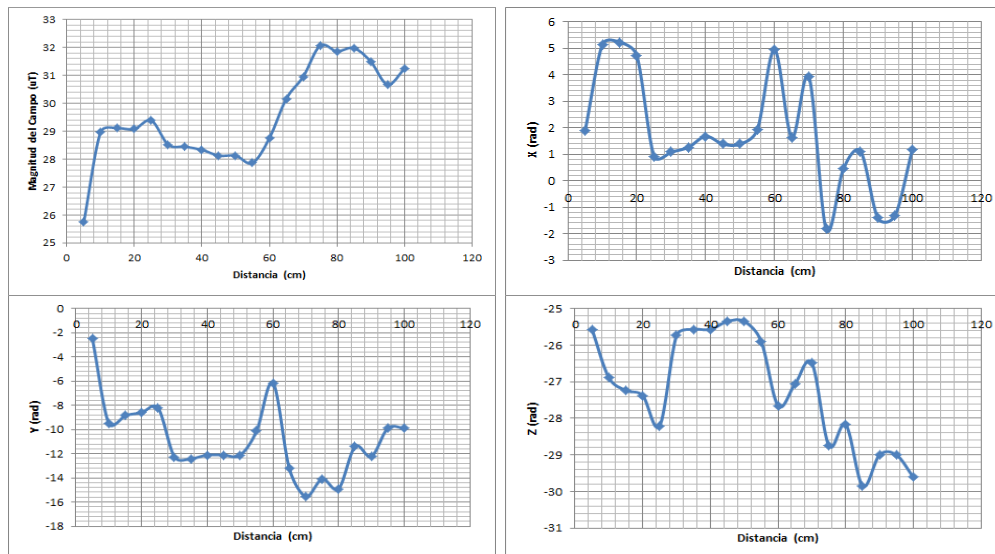


Figura 21. Magnitud del campo magnético, componentes x, y, z en el Lugar 1

Lugar 2:

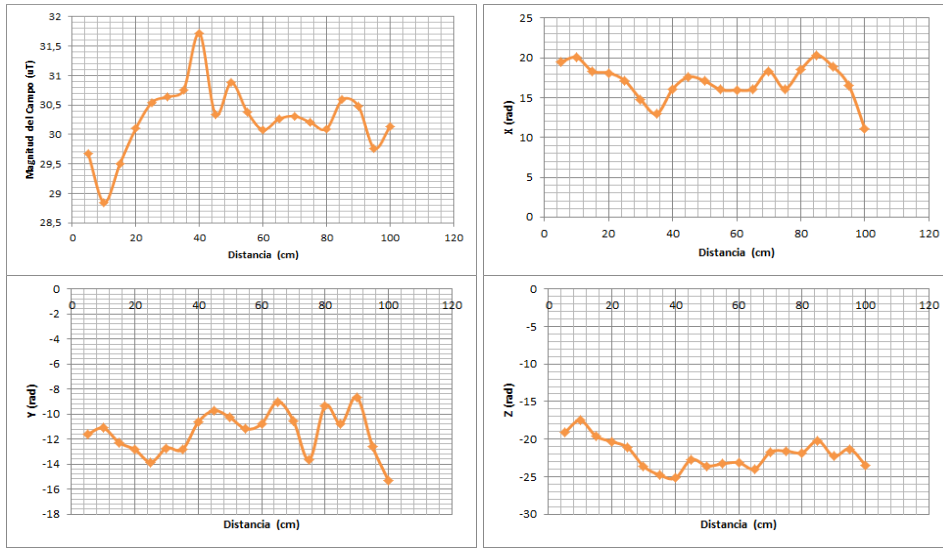


Figura 22. Magnitud del campo magnético, componentes x, y, z en el Lugar 2

En la Figura 21 y Figura 22 se evidencia que al recorrer una distancia de un metro en línea recta, no se ve en ninguna de las componentes ni en la magnitud, un cambio solamente ascendente o descendente, ya que si se trazara una recta horizontal se vería que corta varias veces la curva de la gráfica. Con las pruebas realizadas se evidenció que el campo magnético es generado por el fluido de líquidos en el núcleo magnético terrestre [86] y que por ello, la magnitud se comporta sin un aparente patrón y por ende, en diversos puntos dentro de un piso de un edificio, podrían obtenerse sus tres componentes (x, y, z) con valores muy cercanos. Esto también se constató al utilizar la aplicación IndoorAtlas pues la flecha localizadora podía saltar repentinamente de un punto a otro punto distante, sin que la persona que utiliza la aplicación se hubiese desplazado. A continuación se demuestra cómo ocurrió lo mismo al utilizar la aplicación propia.

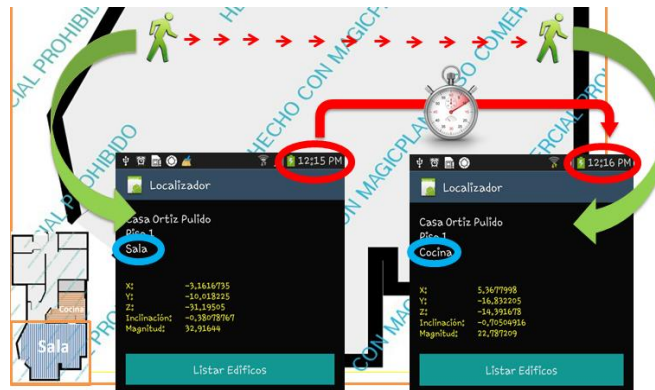


Figura 23. Representación de error de estimación en la localización utilizando la prueba de concepto de Campo Magnético

La Figura 23 revela que, a pesar de que la persona está siempre en el área *Sala*, la aplicación muestra que se encuentra en la *Cocina* al pasar por algunos puntos donde el campo magnético se aproxima al registrado en el área *Cocina*. Este fue un importante descubrimiento ya que no se pudo obtener valores únicos del campo magnético en cada punto.

Así, al hacer el barrido de un área, podrían repetirse los valores dificultando el objetivo de la localización. No obstante, se procedió a enriquecer la medición del campo, mediante la asociación de áreas adyacentes. Se quería que el algoritmo que determinaba el área donde se encontraba una persona al irse desplazando, sólo buscara en las áreas adyacentes y no las áreas de todo el piso. Con ello se logró mejorar la precisión respecto a lugares lejanos, pero entre áreas adyacentes se siguió presentando el mismo inconveniente, que por ende, desencadenó el problema que se tenía inicialmente de la repetición de valores en diferentes puntos. Al registrar este inconveniente, junto con la dificultad para obtener puntos únicos, se procedió a realizar una prueba con tres teléfonos diferentes para observar si se lograba obtener aproximadamente los mismos valores haciendo un mismo recorrido, lo cual se muestra en la Figura 24.

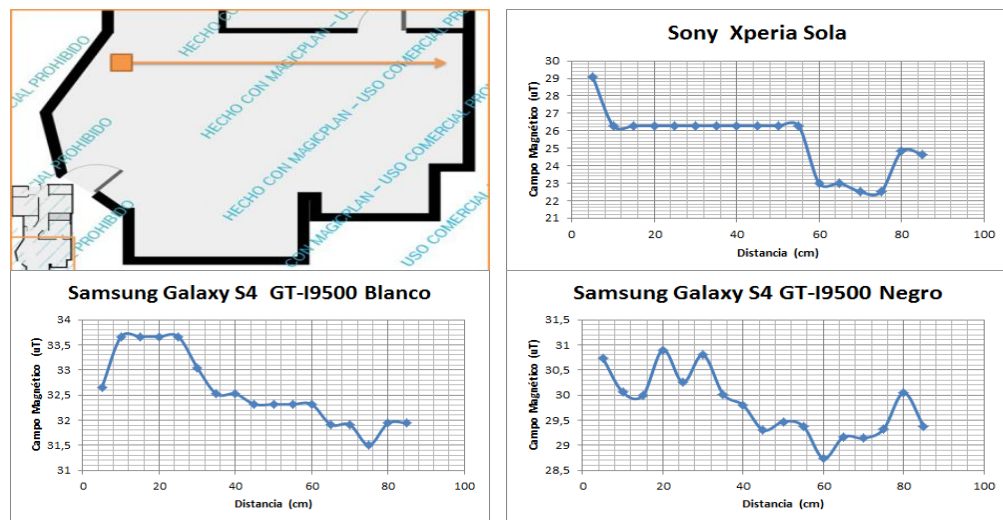


Figura 24. Medición del campo magnético al recorrer el mismo recorrido con 3 celulares distintos

La gráfica superior izquierda de la Figura 24 muestra el recorrido realizado y las otras tres evidencian la medición del campo magnético hecha con cada teléfono, las cuales demostraron que las mediciones de la magnitud del campo no fueron iguales al realizar el mismo recorrido (señalado en color naranja) con tres teléfonos diferentes. Inclusive se probó con dos celulares del mismo modelo (Samsung S4) y tampoco se presentaron los mismos valores. Se debe aclarar que no se utilizó un punto de referencia ya que, a pesar de que cada coordenada del mundo tiene un campo diferente

[86], la precisión del magnetómetro del teléfono inteligente no es la adecuada para obtener estos valores. Debido a que cada valor debería ser diferente, no es necesario partir de un punto de referencia inicial pues eso sería útil si se utilizara un generador de campo cuya coordenada podría considerarse, por ejemplo, como el punto (0,0) de referencia. Además, la presencia de materiales ferromagnéticos, hace que se altere el campo magnético en cada punto de la tierra, que por ende podría propiciar pueda medirse el mismo valor en varias coordenadas, con lo cual el punto inicial seguiría siendo poco útil pues continuaría presentando el problema de encontrar coordenadas con el mismo valor del campo.

Esta última prueba fue decisiva para descartar la detección del campo magnético como técnica útil para el posicionamiento en interiores ya que sería imposible obtener un conjunto de datos que fueran universalmente válidos al utilizarlos en cualquier teléfono inteligente (que contenga un magnetómetro). Los sensores presentes en estos teléfonos inteligentes tienen una precisión que depende de sus características. En el caso de los magnetómetros, se encuentran características particulares en cada celular, como: la sensibilidad, la frecuencia máxima que se puede medir, la densidad espectral de potencia, entre otros [88]. Al cambiar las anteriores características de un sensor a otro, el resultado es que las mediciones pueden alterarse en cierta medida y la calibración e interpretación de los datos es, de hecho, diferente [88]. Esto no significa que algunos teléfonos inteligentes tomen correctamente la medición del campo magnético mientras que otros no; lo que puede concluirse es que su manejo debe hacerse de acuerdo a las características particulares de cada modelo de celular. Basándose en este hecho, sería una ardua tarea desarrollar una aplicación que dependiendo del sensor, pudiera calibrarse autónomamente y funcionar universalmente igual para cualquier magnetómetro dentro de un teléfono inteligente. Otro factor importante que dificulta la medición del campo magnético terrestre es la presencia de materiales con fuertes propiedades magnéticas que modifican el valor del campo [86]. A este fenómeno se le conoce como Anomalía magnética y es producido por cuerpos magnetizados. El efecto más fuerte lo generan los minerales ferromagnéticos como el hierro, el magnesio, el níquel, el cobalto, etc., presentes en diversos electrodomésticos e incluso en el mismo teléfono inteligente: la batería está hecha con magnesio y los circuitos impresos se componen de níquel [86]. Este es un hecho que pone en desventaja al campo magnético, pues si en algún momento se agrega o se remueve algún elemento magnetizado que está ubicado un espacio específico, entonces la medición del campo magnético se verá afectada y por ende, la localización basada en esos valores.

Un factor adicional que no se evidencia a corto plazo pero que podría llegar a ser un inconveniente a mediano y largo plazo, es el hecho del cambio del campo magnético terrestre a través del tiempo

[86]. El campo magnético es generado por imanes, cargas en movimiento, y corrientes, ya sean estacionarias o de desplazamiento; por ello se deduce que el campo magnético es de origen dinámico y se caracteriza por su variación temporal y espacial [86]. Los cambios temporales que experimenta la intensidad y la dirección del campo magnético terrestre a través del tiempo se denominan Variaciones seculares. “En 1634 ya se tenían indicios de que fenómenos como estos podían estar ocurriendo, de hecho, estas ideas fueron expuestas por H. Gellibrand, el cual al comparar los datos obtenidos de la declinación magnética para Londres en los años 1850, 1622 y 1634, se observó una variación de 2°.” [86] Un posible factor de esta variación secular es el ajuste o acoplamiento entre el núcleo externo y el manto, ya que las fuerzas electromagnéticas obligan al núcleo a seguir el movimiento de resto de la Tierra. Uno de los efectos de la variación secular es un desplazamiento del campo de oriente a occidente (denominado Deriva continental), el cual se presenta a una velocidad de 0.2° de longitud por año, aproximadamente. Otros factores que influyen en la variación del campo magnético en el tiempo son las tormentas magnéticas que ocurren en el sol y que al llegar hasta el planeta, afectan el campo magnético terrestre [86]. Conociendo toda esta información, es factible concluir que, si se construyera una aplicación para localización en interiores utilizando la medición del campo magnético, sería necesario estar actualizando la base de datos en razón a que los valores irán cambiando paulatinamente por diversos factores externos.

Al finalizar todo este estudio se concluyó que la detección de campo magnético no es la técnica apropiada y por este motivo, se tomó la segunda técnica con mayor puntaje al realizar la evaluación correspondiente, la cual implica el uso de la red inalámbrica de WLAN-Wifi. (Ver Anexo 10). Aunque la Navegación inercial también goza de una ventaja importante y es que no requiere infraestructura adicional, cuenta con mayores problemas de precisión que hacen que los métodos y algoritmos para conseguir el posicionamiento sean muy complejos y varíen de acuerdo a la persona que cargue el celular, junto con diversas variables que pueden llegar a ser incontrolables.

Evaluación del uso de la red inalámbrica de WLAN-Wifi

La nueva técnica seleccionada para un estudio más exhaustivo es el uso de la red inalámbrica de WLAN-Wifi a través de la medición de la intensidad de la señal recibida (RSS) de los *Access Point* (AP). A pesar de requerir infraestructura previa dada la necesidad de presencia de los AP [24][75][73][13][20], en la actualidad la mayoría de las edificaciones cuentan con un conjunto de ellos [24][13][20], ya sea que todos pertenezcan a la misma red o, por ejemplo, un edificio de apartamentos donde cada residente tiene su propio *router*. Por consiguiente, si en un apartamento no se dispone de este servicio, no sería un problema significativo ya que en otros podría haberlo. Median-

te la evaluación realizada, se eligió el método de posicionamiento basado en el rastro, implementando dos algoritmos propuestos por *Landu Jiang* en la tesis que desarrolló para obtener su Master en Ciencias de la Computación [5]. A continuación se explica en detalle el estudio realizado y los resultados obtenidos al utilizar esta técnica, los cuales permiten concluir que es apropiada para continuar la investigación.

Todos los sistemas de localización basados en Wifi utilizan las propiedades de la RSS que es emitida desde un AP y percibida por una estación móvil (MS) cargada por una persona en desplazamiento. Puede existir una línea de visión entre ambos (AP y MS) sin haber interferencias, o por el contrario puede ocurrir el efecto *MultiPath* donde no existe la línea de visión al presentarse el fenómeno de refracción o de difracción provocando la atenuación de la señal por la presencia de obstáculos [75]. Ésta una de las principales limitaciones del uso del Wifi [74][75][13][20].

La principal ventaja de utilizar el Wifi como servicio basado en la localización radica en su reciente avance y proliferación, lo cual permite que los modernos dispositivos móviles cuenten con una tarjeta de red inalámbrica [75]. Además de ello, una gran variedad de dispositivos pueden integrarse con la red sin necesidad de instalar software adicional o tener que manipular hardware [20][24][75]. Por ende, en términos de costos, sería una opción viable que podría replicarse en diversos lugares del mundo sin implicar una elevada inversión [20][75][13].

Mediante la técnica de uso de la red inalámbrica de Wifi, es posible utilizar todos los métodos de localización determinados en la sección de III - MARCO TEÓRICO, sin embargo, se concluyó que el más adecuado es el basado en el rastro mediante la variable RSS pues una de sus principales ventajas es que, a diferencia de los métodos de triangulación, trilateración, multilateración, vecino más cercano y detección de proximidad, no es necesario conocer de antemano las posición de los AP [24][75][73][13]. Adicionalmente, el problema de la atenuación de la señal es mucho más aceptable en el método basado en el rastro pues allí se tiene en cuenta las variaciones que sufre la señal y por ende se toman diversas muestras de la RSS en diferentes circunstancias y horas del día, obteniendo la mayor parte del espectro de posibles intensidades correspondientes a una coordenada [5]; esto compone la firma (*fingerprint*) característica de cada coordenada [75][45][89]. Por el contrario, en los otros métodos se cuenta con una única RSS, la cual no es uniforme en todo el espacio debido a la existencia de obstáculos móviles e inmóviles.

El estudio se inició con la aplicación para teléfonos con SO Android, BuildNGO, [24] construida por la empresa China Sails para abordar la problemática de la localización en interiores para personas sin dificultades de visión. Su sistema de posicionamiento se basa en encontrar coordenadas de

un lugar, principalmente a partir de la RSS emitida por los AP y el uso de la navegación inercial, y otro método como el reconocimiento de patrones, aprovechando los sensores con los que cuenta un teléfono inteligente, como: el giroscopio, el acelerómetro y la brújula.

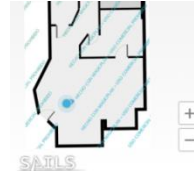


Figura 25. Pantallazo de la aplicación Sails

En la Figura 25 se ve cómo la aplicación muestra gráficamente en qué punto dentro de un mapa se encuentra la persona que se desplaza cargando el teléfono inteligente, pero no hay una división de áreas o lugares que permitan saber un nombre representativo de cierta posición. A pesar de ello, la empresa Sails provee un SDK [24] abierto al público que sí permite etiquetar un área con un nombre particular. Adicionalmente, el SDK se integra con *Open Street Map OSM* [52], un sistema de información geográfico libre, que permite crear y editar un plano sobre un lugar geo-referenciado. Con el objetivo de integrar los requerimientos que se tienen en la presente investigación con el SDK de Sails, se obtuvo una aplicación de ejemplo provista por la compañía [24]; con ella es posible crear un edificio, subir planos, editar su escala en metros o pies, almacenar la información del rastro RSS de un piso dentro de la edificación, utilizar la brújula y finalmente determinar la localización actual dentro del espacio cerrado. Desafortunadamente, si se deseaba usar el SDK integrado a OSM la aplicación de ejemplo, dejaba de funcionar en repetidas ocasiones sin haberle hecho cambios para alcanzar los objetivos propios. De la misma manera sucede con la aplicación oficial que se encuentra en las tiendas Google Play y App Store. Adicionalmente se contactó vía correo electrónico al personal de soporte de la empresa Sails para indagar sobre los términos de la licencia de la aplicación y poder decidir si se trabajaba con su SDK. La respuesta recibida declaraba que aún no se tenían claros los lineamientos. De esta manera, al encontrar varios inconvenientes, se decidió descartar la aplicación BuildNGO y continuar con la investigación.

Posteriormente se estudió una tesis de maestría del año 2012, denominada *Wifi Compass: Wifi access point localization with Android devices* [21], desarrollada en la ciudad de Viena, Austria y cuyos autores son Konrad y Wölfel. El detalle de su investigación se presentó en la sección de Estado del Arte. Su aplicación, Wifi Compass, es de código abierto y se encuentra disponible en Google Code [90], así que se descargó para probar la aplicación y corroborar que la precisión de la ubicación de los AP está entre 2 y 5 metros, como se especifica en su documento de tesis.



Figura 26. Pantallazo de la aplicación Wifi Compass

En la Figura 26 se muestra un pantallazo de la aplicación Wifi Compass donde se observa un cuerpo humano el cual se arrastra para ubicarlo donde se quiera tomar la medición de las RSS. Después de ello, aparece una huella que indica que ya se hizo un barrido en esa coordenada. Sin embargo, los resultados obtenidos a través del método de reconocimiento de patrones, la trilateración y la navegación inercial llegan a ser en gran medida imprecisos. Ello se debe a dos factores: en primera instancia estimar la posición de los AP en vez de tener la ubicación exacta es un factor de riesgo muy alto para la siguiente fase de localización, ya que al tener un desfase de algunos metros, se genera que el error de posicionamiento empiece a crecer cada vez más con cada nuevo paso que se da. En segunda instancia, de acuerdo con el estudio del estado del arte, se tiene conocimiento de los problemas de precisión que se evidencian al utilizar navegación inercial y cuyo error se va acumulando progresivamente, obteniendo resultados bastante inexactos [71][50][83]. Esto se evidencia en la Figura 27, pues el cuerpo humano que indica la actual posición, llega un punto ubicado por fuera del plano dado el error que se va acumulando (los íconos rojos muestran el lugar donde se predijo que están los AP, de acuerdo al método basado en el rastro).

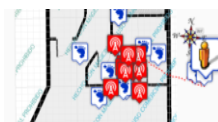


Figura 27. Pantallazo que evidencia el error acumulado en la aplicación Wifi Compass

Debido a las complicaciones presentadas, nuevamente se decidió descartar esta opción.

Finalmente se estudió la tesis de maestría presentada por *Landu Jiang* para optar por el título de Master en Ciencias de la Computación, quien presentó su trabajo en Nebraska, USA, en el año 2012. En el documento *A WLAN fingerprinting based indoor localization technique* [5], se proponen dos algoritmos para la localización en interiores a través de la medición de la RSS de los AP. *Jiang* escribe que usualmente se usa el método de la distancia euclidiana, el cual hace uso de la información almacenada en la base de datos y la información obtenida en tiempo real, con el objetivo de determinar el punto donde puede estar el usuario a través del cálculo de la menor distancia. Sin embargo, aclara que esto no es muy confiable ya que en ambientes complejos (donde se encuentran diversos obstáculos que impiden que la propagación de la señal sea completamente directa

entre el AP y la MS), se presenta una alta variación de los valores de RSS en cada coordenada y por ende de la distancia euclidiana. Como respuesta a este problema, se propone el teorema de Bayes para obtener una mejor precisión. Este teorema utiliza un método probabilístico para encontrar la localización más posible dentro del conjunto de coordenadas previamente almacenadas en una base de datos y cuyo listado de señales (tomadas en diversas condiciones y horas del día) maximiza la probabilidad condicional $P(I_i/RSS)$: probabilidad de estar en la localización I_i dado que actualmente se tiene un conjunto de RSS de diversos AP. En la Figura 28 se representan las RSS asociadas a cada coordenada (C); con ellas es posible aplicar el teorema de Bayes propuesto por *Jiang*.

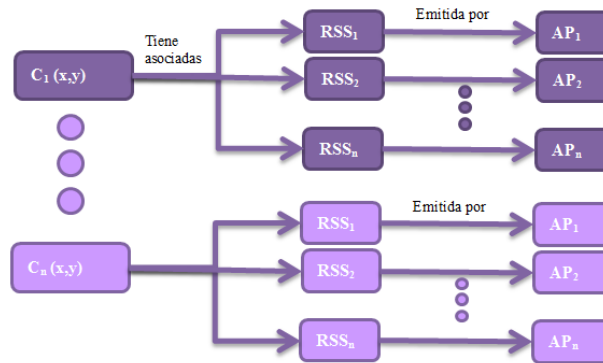


Figura 28. Esquema de datos para el método basado en el rastro [Elaboración propia]

De esta manera, *Jiang* aplica un algoritmo denominado KMLN (K vecinos más probables) propuesto por él donde interviene el teorema de Bayes y la probabilidad condicional para encontrar las K coordenadas donde la MS puede estar localizada con mayor probabilidad. Puesto que en algunas ocasiones puede suceder que dos o más coordenadas distantes obtengan una firma (conjunto de valores RSS medidos para una coordenada dentro de un lugar) parcialmente parecida, pudiendo incurrir en un error, *Jiang* propone un segundo algoritmo denominado *Shortest-Path-Based Tracking* (rastreo basado en la ruta más corta) donde se toman en cuenta los K vecinos más probables tanto del paso actual, como de los dos pasos dados anteriormente. Entre todas esas coordenadas se calcula la distancia Euclidiana, con el objetivo de obtener la menor distancia que está asociada a una de las coordenadas del conjunto de los K vecinos del paso actual, donde la MS está situada con mayor certeza. Este segundo algoritmo se basa en la premisa de que una persona que se esté desplazando a velocidad aproximadamente constante, en cada segundo debe estar en una coordenada cercana a la anterior. Así, se descartan coordenadas (distantes) pertenecientes a otras áreas donde sería imposible estar debido a su lejanía con respecto al punto anterior.

De acuerdo con el estudio presentado, los inconvenientes de precisión y manejo de herramientas encontrados en las posibles soluciones mencionadas, se decidió realizar una aplicación propia sobre

el SO Android que obtuviese los valores de RSS de todos los AP detectados en una coordenada (la aplicación fue probada con un teléfono Samsung S4), con el fin de implementar los dos algoritmos propuestos por *Landu Jiang*. Para la fase de localización es necesario comparar los datos almacenados previamente en la Base de datos con los que son obtenidos en tiempo real. El pseudocódigo de los algoritmos se presenta en el Anexo 14. Para desarrollar estos algoritmos y poder realizar las dos fases del método escogido (basado en el rastro), se implementó una aplicación como se especifica en el Anexo 13.

Para la primera prueba realizada sólo se utilizó el algoritmo, KMLN, cuyo K fue establecido en 5 (como lo definió *Jiang* en sus experimentos) para obtener un grupo de coordenadas más probables. Para ello se procedió a seleccionar el edificio y piso en que la persona se encuentra (la primera fase de pruebas contempla la necesidad de indicar estos dos valores para iniciar la localización, sin embargo, el objetivo es que esto sea más transparente gracias a las mejoras que se hagan a los algoritmos implementados). Seguidamente, al seleccionar la opción *Localizarme*, se obtuvo un conjunto de 5 coordenadas con su respectiva área. Se dieron los siguientes resultados: se realizaron 20 peticiones de localización en las áreas *Sala, Hall y Cocina*; en 16 de tales peticiones, la coordenada real resultó seleccionada dentro de las 5 (K) obtenidas por el algoritmo. Con ello se dedujo que el margen de error es aproximadamente 20% para la prueba realizada en un espacio donde sólo se detectaron 20 AP, así que es suficiente para determinar que la selección de la técnica, la tecnología, el método y el algoritmo KMLN son aceptables para continuar con el curso de la investigación. No se hicieron pruebas primarias del segundo algoritmo propuesto por *Jiang* pues el KMLN aseguró que se tendría un buen porcentaje de precisión y el segundo se deriva directamente del primero. Posteriormente en la sección de Protocolo de Validación se presentarán pruebas más rigurosas para determinar el grado de precisión del algoritmo de rastreo basado en la ruta más corta.

De este modo se concluyó que la técnica de localización de uso de la red inalámbrica de WLAN-Wifi, a través del método basado en el rastro con la variable RSS y junto al algoritmo KMLN (apoyado en el Teorema de Bayes) son los parámetros más adecuados para la localización horizontal en lugares cerrados. Así, el componente que permite dar solución a esta problemática es un AP Wifi.

Selección de componentes para la localización Vertical

La determinación del piso donde se encuentra una persona al desplazarse, hace parte intrínseca del estudio que se hizo para el anterior sub-módulo, ya que también aplican todas las técnicas, métodos y variables de localización horizontal. Por esta razón, se descartan las técnicas de navegación inercial, uso de la red inalámbrica de bluetooth, red inalámbrica de sensores, y detección del campo

magnético, por las mismas razones presentadas en la sección Selección de componentes para la localización Horizontal. De acuerdo a ello, la determinación del piso podría concebirse desde el uso de la señal emitida por los AP Wifi. No obstante, para el sub-módulo de localización horizontal, siempre se analizó un plano en dos dimensiones y se concluyó que la mejor opción para determinar la posición era el método basado en el rastro. Allí se mencionaron dos algoritmos que permitirían determinar el área donde se ubica una persona en tiempo real: KMLN y rastreo basado en la ruta más corta. Es posible manejar un plano en tres dimensiones y aplicar esos dos algoritmos. El primero arrojaría resultados válidos, sin embargo, no sería exitoso hacerlo con el segundo ya que podría determinar que la ruta más corta entre dos coordenadas hace referencia a dos áreas que están en pisos distintos. Esto sería cierto si se habla de dos áreas que están conectadas por de una escalera, rampa o ascensor, pero se tornaría en una falsedad si sucediera en otro caso pues sería necesario atravesar el piso para poder llegar de un área a la otra.

De acuerdo a este análisis, se estudió otra opción de localización que sólo aplica para niveles o pisos: el uso de un sensor de presión atmosférica o barómetro, como el que está presente en algunos de los actuales teléfonos inteligentes. Aún no ha proliferado la integración de este sensor en todas las gamas de teléfonos inteligentes, sin embargo, ya se encuentra presente en el Iphone 6 [91], Samsung Galaxy S4 [92] y S5 [93], Google Nexus 4 [94] y Nokia Lumia 1020 [95] y con seguridad seguirá siendo integrado en la mayoría de celulares actuales. No obstante, también puede utilizarse el acelerómetro del teléfono inteligente para determinar un cambio de aceleración vertical [2], sin embargo, es muy impreciso debido a la acumulación de error del sensor como se explicó en la sección de Selección de componentes para la localización Horizontal. De esta forma, se descartó el acelerómetro pues es un sensor que percibe ruido en exceso porque cada movimiento que lleva a cabo del portador del teléfono, sea voluntario o involuntario, afecta irremediamente la medición que hace este sensor para determinar la aceleración en el movimiento y su dirección [2][81][13][82][73][96][50][24][21].

El estado del arte respecto al uso del barómetro de los teléfonos inteligentes para determinar el piso donde está una persona, no ha sido ampliamente estudiado. Sólo una de las 24 investigaciones que se revisaron en la sección de Estado del Arte, tiene en cuenta la localización vertical, mientras que el resto se limita a tratar la horizontal. A pesar de ser un tema relativamente incipiente, es posible determinar el piso donde se ubica el usuario, a través del cálculo de la altura de acuerdo a la presión atmosférica, mediante la asociación de una lectura de presión del barómetro y cada piso de un edificio (método basado en el rastro); esto es posible ya que la presión disminuye con el aumento de la altura. Sin embargo, utilizar el método basado en el rastro para identificar todas las coordenadas de

un piso no es una propuesta adecuada ya que, a lo largo de un día, diversas condiciones ambientales pueden afectar el valor de la presión en un lugar: la humedad y la temperatura [2][97]. Debido a lo anterior, surge una nueva propuesta: si bien la presión absoluta no siempre es igual, la diferencia de presión entre un par de pisos sí se mantiene constante [97]. Si en algún momento del día la temperatura o humedad es lo suficientemente alta o baja para variar significativamente la presión, lo hará sobre toda la edificación, pero la diferencia de presión entre pisos seguirá teniendo el mismo valor debido a la altura. Así, se propone el uso de la diferencia de presión entre los pisos de una edificación para determinar un cambio de nivel. Aunque no es posible estimar el piso donde está el usuario, sólo con los datos brindados por el barómetro, sí puede determinarse un cambio de piso. Se realizó una prueba de concepto para corroborar este planteamiento y se calculó la diferencia entre cada par de pisos de una edificación, obteniendo que la diferencia era de 0.26 mbar. Con ello, se codificó el algoritmo y se estableció que el piso inicial era el uno. Se obtuvieron los resultados que se muestran en Figura 29 que corresponden a la tabla presentada en el Anexo 17.

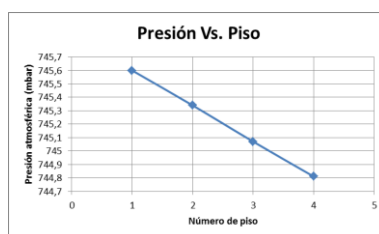


Figura 29. Relación entre presión atmosférica y número del piso (altura) en un edificio

De esta forma pudo evidenciarse que la diferencia de presión entre pisos permitió determinar cuándo había un cambio de piso hacia arriba o abajo. Se observa que al ir subiendo los pisos, se aumenta la altura y por tanto la presión empieza a disminuir.

Una situación particular es cuando se regula la temperatura en diferentes pisos o incluso en diferentes áreas de un mismo piso, pues el cambio podría hacer cambiar la presión significativamente dentro de un mismo piso, resultando en errores en la estimación de la localización vertical; sin embargo, esto se deja planteado como trabajo futuro ya que requiere un estudio exhaustivo que excede el tiempo estimado para la investigación. El estudio debería determinar si la hipótesis planteada es cierta para proponer un algoritmo robusto que asegure una alta precisión en cualquier condición.

En la identificación de la edificación se concluyó que la tecnología adecuada es el tag pasivo RFID y precisamente allí puede almacenarse la información de identificación del piso, de modo que combinando el tag con el barómetro, es posible determinar el piso en que está el usuario durante su desplazamiento, siempre y cuando se parta de alguna entrada de la edificación para tener un punto de referencia que permita seguir estimando la ubicación del usuario en su trayectoria.

Selección de componentes para el módulo de Base de Información

Para el almacenamiento de la información necesaria para el proceso de localización, se determinó que el componente adecuado para ello es una Base de Datos [98] ya que, en comparación con otros sistemas como los Directorios, una Base de Datos está diseñada para realizar operaciones de escritura intensivas [99], lo cual es indispensable para un sistema de localización donde se necesita almacenar grandes cantidades de datos (por lo menos utilizando el método basado en el rastro donde se deben tomar varias muestras de RSS emitidas por los Wifi AP por cada coordenada de un área de un piso de un edificio); por el contrario, los directorios se diseñaron para ofrecer un mejor desempeño en tareas de lectura que en inserción y actualización. En este caso es necesario almacenar grandes cantidades de datos por cada edificación para determinar la localización del usuario. Además, es posible que algunos datos deban ser actualizados ya que las edificaciones podrían cambiar debido a remodelaciones u otro tipo de cambios internos que requiera el sistema de localización, de acuerdo a las tecnologías y técnicas utilizadas para determinar la localización del usuario. Junto a esto, las características intrínsecas de las bases de datos (transaccionalidad, integridad, consistencia entre los datos, persistencia, entre otras) hacen que sea la opción más adecuada para almacenamiento y recuperación de la información.

Además de los datos señalados en la sección de Base de Información del Modelo, se requieren algunos que surgieron en la selección de componentes y se evidencian en el Anexo 16.

Un aspecto importante es la comunicación entre el módulo de localización en tiempo real y el módulo de base de información. La base de datos debe encontrarse en un servidor que requiere ser accedido desde la aplicación desarrollada; para ello, se determinó que un servicio web es la estrategia que permite hacer el manejo de la información desde la aplicación hasta la base de datos.

Selección de componentes para el módulo de comunicación con el usuario con discapacidad visual

El componente que permite dar solución a estos dos sub-módulos es precisamente el teléfono inteligente que se definió como restricción inicial en la propuesta del presente Trabajo de Grado; sin embargo, su análisis es diferente y por tanto se presenta a continuación.

En primera instancia debe tenerse en cuenta que para poder comunicar a las personas con discapacidad visual la posición en la que se encuentran, es necesario tener un dispositivo que pueda hacerlo mediante voz. Esto se debe a la imposibilidad de lectura de las instrucciones y las necesidades de la población con discapacidad visual, pues a través de las entrevistas (Ver Anexo 7) realizadas fue posible concluir que se prefiere que la comunicación sea por voz (descartando un sistema de vibra-

ciones o pitidos). Por ello, se corroboró que el dispositivo más adecuado para lograrlo es un teléfono inteligente, pues además de ser portable y ampliamente utilizado en la cotidianidad, permite emitir los sonidos necesarios para la comunicación con el usuario. Además, en la actualidad se viene presentando un crecimiento representativo en la adquisición de este tipo de celulares [100], lo cual motiva el desarrollo de un sistema que comunique auditivamente al usuario su ubicación en tiempo real.

Recepción de instrucciones del usuario

Existen aplicaciones para teléfonos inteligentes utilizadas por personas con algún grado de discapacidad visual con las cuales pueden saber qué componentes se están mostrando en la pantalla. Algunos ejemplos para los SO móviles más comunes son los siguientes:

- SO Android: *Talkback* [101]
- IOS: *VoiceOver* [102]
- SO Windows Phone: Narrador (en español) [103]

Otra opción es el uso de un tag RFID que al ser detectado por el NFC del teléfono inteligente, permite abrir la aplicación y comunicar al usuario su ubicación. Así, ya no sería necesario el manejo de botones u otros componentes, pues la aplicación sólo respondería a eventos generados por el tag.

Comunicación por voz hacia el usuario

Como se mencionó previamente, se requiere proveer una comunicación por voz hacia el usuario por su condición de discapacidad visual. Para ello es posible utilizar las API que proveen los diferentes SO para dispositivos móviles, las cuales, en vez de mostrar información por pantalla, la comunican por voz; algunos ejemplos para los SO móviles más comunes son los siguientes:

- SO Android: *TextToSpeech* [104]
- IOS: *AVSpeechSynthesize* [105]
- SO Windows Phone: *SpeechSynthesizer* [106]

FASE DE CONSTRUCCIÓN

Prototipo

El modelo de localización en interiores para personas con discapacidad visual debió ser instanciado a través de un prototipo. Este requiere principalmente una aplicación móvil que implemente los requerimientos más importantes, de forma que permita evidenciar la validez del modelo propuesto en la sección de Modelo.

Especificación del Diagrama de Componentes

En la Figura 30 se evidencia la síntesis de la selección realizada, a través del diagrama de componentes del prototipo. Cada componente permite abordar una o más problemáticas, como se explicó ampliamente en las secciones anteriores. Se escogió una base de datos Oracle 11 g, un servicio web SOAP hecho en Java, una aplicación móvil para SO Android y un tag Pasivo RFID que trabaja en la frecuencia 13.56 MHz bajo el protocolo ISO14443A. Todos estos componentes cumplen con los parámetros determinados en la sección de Selección de componentes para cada módulo del modelo.

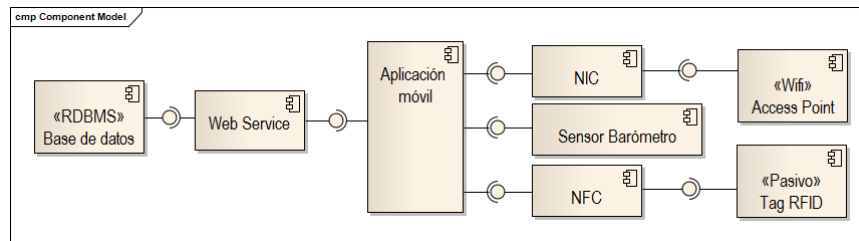


Figura 30. Diagrama de componentes del prototipo desarrollado

Especificación del Diagrama de Despliegue

Los componentes seleccionados deben situarse físicamente en diferentes servidores y dispositivos como se muestra en la Figura 31 que representa el diagrama de despliegue. La guía de instalación de los componentes del prototipo se encuentra en el Anexo 20. En particular, las aplicaciones correspondientes a los procesos de calibración y localización se ilustran en el Anexo 21.

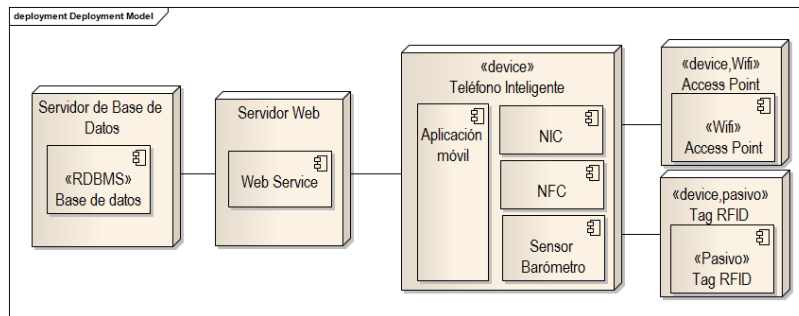


Figura 31. Diagrama de despliegue del prototipo desarrollado

FASE DE VALIDACIÓN

Protocolo de Validación

A continuación se describe el protocolo de validación, el cual se basa en el planteamiento de hipótesis, la identificación de variables independientes y dependientes y un posterior diseño de experimentos que permiten obtener datos que al ser analizados, proporcionan evidencias para resolver y comprobar la hipótesis antes planteada [107][108] respecto a la precisión de la localización en interiores. El objetivo de cada experimento es analizar el error porcentual (ϵ_p) obtenido por el algoritmo

de localización seleccionado, identificando las posibles causas que generan un alto error, con el fin de establecer estrategias que disminuyan este valor.

De esta forma, de acuerdo a la técnica y tecnología (uso de la red inalámbrica de WLAN-Wifi), la variable (RSSI), el método (basado en el rastro o *fingerprinting*) y el algoritmo de localización (KMLN y rastreo basado en la ruta más corta) en interiores seleccionados para la instanciación del modelo a través del prototipo, se procedió a evaluar su validez. La aplicación fue probada en un teléfono Samsung S4 [92] debido a que cumple con todas las características requeridas y que fueron establecidas en la sección de Selección de componentes para cada módulo del modelo.

Para determinar la edificación donde deberían hacerse las pruebas se tuvo en cuenta las necesidades identificadas en las entrevistas (Ver Anexo 7), donde los usuarios con discapacidad visual manifestaron que la aplicación de localización en interiores sería útil en lugares poco frecuentados (diferentes a su casa u otros lugares conocidos, pues allí se ubican con más facilidad), como edificaciones con una gran superficie (centros públicos, centros comerciales, bibliotecas, edificios universitarios, etc.). Por este motivo, se seleccionó en primera instancia la Facultad de Ingeniería de la Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá para realizar los experimentos, la cual consta de 6 pisos. Se llevó a cabo la fase de calibración tomando las mediciones de RSS de todos los AP descubiertos sobre el ala oriental (mitad de la edificación), en cada coordenada dispuesta a 1 metro de distancia, como se especificó en la sección de Modelo. Se tomaron 10 muestras en cada coordenada, teniendo en cuenta todos los AP descubiertos en la edificación.

Para llevar a cabo los experimentos se tuvieron en consideración únicamente variables (no ambientales o intervinientes) que afectarían el prototipo en su esencia (en cuanto a código), con el objetivo de determinar el algoritmo y los valores que arrojarían el mayor porcentaje de acierto en la estimación de la localización. Sin embargo, también existen variables de entorno (intervinientes) que podrían afectar la estimación de la localización y que han sido analizadas por otros investigadores [45][5][20][74], pero que se plantean como trabajo futuro por la extensión que requieren. Tales variables intervinientes se dejan explícitas en la Tabla 8.

Independientes	Dependientes	Interviniente
<i>Desplazamiento horizontal</i>	Área calculada	Distribución de los AP en la edificación
<i>Desplazamiento horizontal</i>	Área calculada	Presencia de dispositivos que trabajen en la misma frecuencia que los Wifi AP
<i>Desplazamiento horizontal</i>	Área calculada	Presencia de enseres y/o muebles
<i>Desplazamiento horizontal</i>	Área calculada	Velocidad con la que se desplaza el usuario
<i>Desplazamiento horizontal</i>	Área calculada	Número de muestras de RSS tomadas en cada coordenada

<i>Desplazamiento horizontal</i>	Área calculada	Tamaño de la cuadrícula utilizada para hacer la medición de RSS en cada coordenada
<i>Desplazamiento horizontal</i>	Área calculada	Número de personas presentes en el lugar donde se está desplazando el usuario
<i>Desplazamiento horizontal</i>	Área calculada	Lugar del cuerpo donde el usuario cargue el teléfono inteligente
<i>Desplazamiento vertical</i>	Piso calculado	Lugar del cuerpo donde el usuario cargue el teléfono inteligente
<i>Desplazamiento vertical</i>	Piso calculado	Temperatura del área actual
<i>Desplazamiento vertical</i>	Piso calculado	Humedad del área actual

Tabla 8. Variables intervinientes identificadas para el prototipo propuesto

Validación del algoritmo

Esta fase se divide en tres etapas que evalúan el error porcentual de los algoritmos seleccionados para la localización en interiores mediante Wifi, a través de la variación de las variables independientes en varios experimentos: la primera evalúa la localización horizontal; la segunda, la vertical; y la última, la integración de las dos localizaciones junto a la identificación de la edificación.

Etapa de validación de la localización horizontal

Los experimentos presentados a continuación fueron planteados considerando el desplazamiento del usuario a través de algunas áreas que conforman el cuarto piso de la Facultad de Ingeniería, por medio de la definición de una ruta conformada por 26 puntos consecutivos, separados por 2 metros de distancia. De este modo se estipuló el orden en que debía pasar el usuario por cada uno de los puntos identificados con un número, como se muestra en la Figura 32.

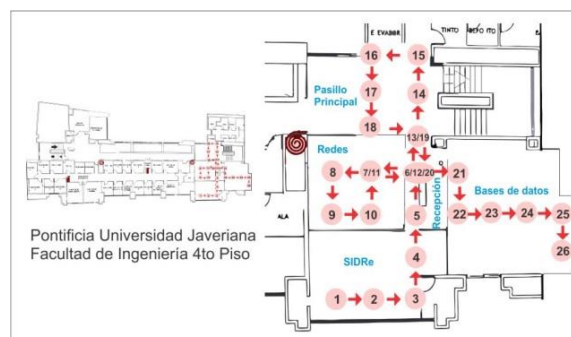


Figura 32. Ruta de validación de la Localización horizontal

Por cada punto se solicitó a la aplicación comunicar el lugar donde se encontraba el usuario, y de acuerdo a su número de desaciertos, se determinó el error porcentual de cada algoritmo evaluado.

Algoritmo KMLN [5]

En la sección de Evaluación del uso de la red inalámbrica de WLAN-Wifi se determinó que el algoritmo KMLN arrojaba resultados satisfactorios y que por ende se corroboraba que la tecnología

Wifi era apropiada para cumplir los objetivos de la investigación. Sin embargo, la prueba se realizó en un lugar poco frecuentado por una persona con discapacidad visual (un apartamento propio), por ello, se volvió a aplicar la prueba sobre este algoritmo pero desarrollando el experimento en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Javeriana, como se describió anteriormente. Este experimento tiene como hipótesis que *La selección de las coordenadas más probables es más precisa en la medida en que se aumenta el número K*. Las variables del experimento se muestran en la Tabla 9.

Independientes	Dependientes
Número K de coordenadas donde el usuario está con mayor probabilidad	Área calculada

Tabla 9. Variables del experimento que prueba el algoritmo KMLN

De esta forma se procedió a analizar la precisión de KMLN variando el número K de 2 a 8. Al finalizar cada recorrido se verificó que por cada punto de la ruta se encontrara al menos una vez el área a la que pertenecía coordenada. Los resultados obtenidos por cada recorrido se encuentran en el Anexo 18 y se muestran resumidos en la Figura 33.

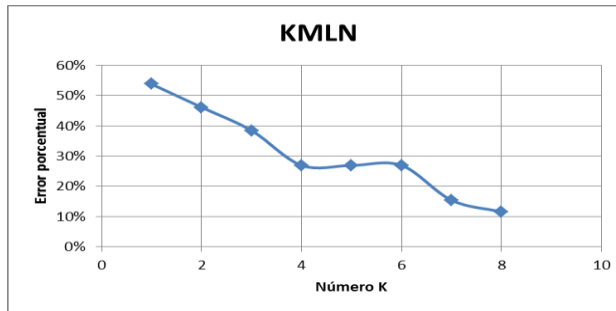


Figura 33. Error porcentual obtenido al probar el algoritmo KMLN aumentando el K

Como se puede observar, en el mejor de los casos se obtuvo un error porcentual ϵ_p de 11.5% con $K=8$ y en el peor de los casos se obtuvo ϵ_p de 53.8% con $K=2$ y en promedio se obtuvo que el $\epsilon_p=31.3\%$ de este modo se puede demostrar que entre menor sea el conjunto K de coordenadas probables, menor será el acierto en la escogencia del área donde está el usuario. Efectivamente como se planteó en la hipótesis, en la medida que aumenta el conjunto K coordenadas, mayor es el acierto dado que se incrementa la probabilidad de encontrar al menos una vez alguna coordenada que corresponda al área donde se encuentra el usuario. Sin embargo, la determinación del K más depende aún del segundo algoritmo propuesto por *Jiang*.

Algoritmo de rastreo basado en la ruta más corta

Se continuó con el análisis del segundo algoritmo de *Jiang*, el cual determina una única coordenada en donde probablemente se encuentra el usuario valiéndose de las K coordenadas entregadas por el

anterior algoritmo, KMLN, como se expuso en la sección de Evaluación del uso de la red inalámbrica de WLAN-Wifi. El experimento tiene como hipótesis que *La selección de la coordenada donde está el usuario es menos precisa en la medida en que se aumenta el número K*.

El experimento diseñado en esta ocasión tiene en cuenta las mismas variables del algoritmo KMLN. Así, se procedió a analizar la precisión de este algoritmo variando el número K de 2 a 5. Al finalizar cada recorrido se verificó que el área calculada fuera la real. Los resultados obtenidos por cada recorrido se encuentran en el Anexo 18 y se muestran resumidos en la Figura 34.

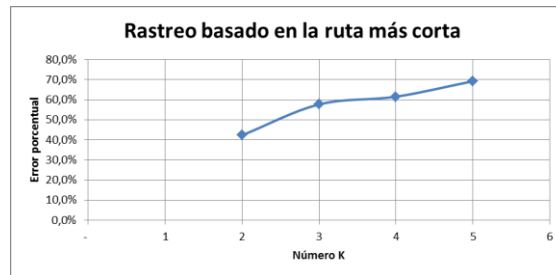


Figura 34. Error del algoritmo: rastreo basado en la ruta más corta aumentando el K

Se comprobó la hipótesis propuesta pues los resultados están ligados a la forma en que se desarrolló el segundo algoritmo de *Jiang*, pues él tiene en cuenta los dos pasos dados anteriormente para determinar la localización y empieza a haber mayor error en la medida en que más coordenadas hacen parte del conjunto de las más probables, ya que algunas coordenadas que sean erradas podrán coincidir más fácilmente con otras erradas de otro paso. También se evidenció que los errores porcentuales son bastante altos, lo cual puede deberse a que *Jiang* basó sus pruebas en trayectoria rectas y no en rutas compuestas como la que se definió en la validación propuesta para la Localización Horizontal. Como no fue posible observar la precisión prometida por el autor, se propusieron nuevos algoritmos que buscaban disminuir el error obtenido y cuyos pseudocódigos se encuentran en el Anexo 15. Al analizar los resultados obtenidos, pudo evidenciarse que el área con mayor porcentaje de error fue *Recepción Laboratorios* con 92%, como se muestra en la Figura 35.

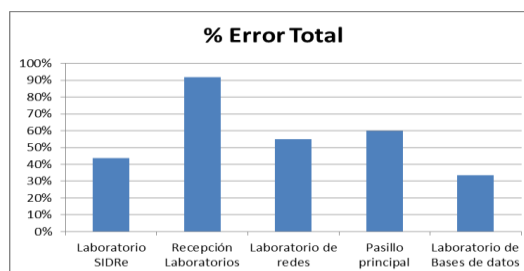


Figura 35. Porcentaje de error total de estimación del área de localización

Los errores porcentuales se obtuvieron a partir de los desaciertos en la estimación del área de localización en las 4 iteraciones realizadas (por cada K entre 2 y 5). Esta situación puede deberse a que el área de *Recepción de Laboratorios*, es la más pequeña en extensión, como se apreció en la Figura 32. Adicionalmente, esta área es adyacente a todas las demás que fueron incluidas en la fase de calibración, así que se concluye que puede ser un lugar crítico para el algoritmo por su ubicación y su extensión. La cantidad de coordenadas que se escanearon allí fue menor que en otros lugares y ello puede restarle probabilidad al área *Recepción de Laboratorios*, de ser seleccionada como lugar actual donde se encuentra el usuario. Al ser cercana a muchas otras áreas genera que el error aumente debido a la similitud entre huellas de coordenadas próximas.

De acuerdo al anterior análisis, se plantea que se aceptará un error porcentual máximo de $\epsilon_p = 23\%$ correspondiente a la solicitud de localización en 6 puntos (5, 6, 12, 13, 19, 20) del área de *Recepción de Laboratorios*. Ello no implica que se acepte que nunca sea correcta la localización en este pequeña área, pero sí da un margen para aceptar errores relacionados con un área crítica o quizás algunas coordenadas de otras áreas que son muy cercanas (por distancia) a las coordenadas pertenecientes a la *Recepción de Laboratorios*.

Algoritmo basado en el rango

Como alternativa al segundo algoritmo de *Jiang*, se propuso el algoritmo basado en el rango donde no se tienen en cuenta los dos pasos dados previamente, sino un único paso anterior correspondiente a la coordenada seleccionada previamente. En el paso actual, se hace una comparación de las k coordenadas escogidas, obteniendo la distancia Euclidiana respecto a la coordenada del paso anterior. Luego se descartan aquellas coordenadas del paso actual cuya distancia respecto a la coordenada del paso anterior exceda el rango permitido. Dentro de las coordenadas que sí cumplen con el rango, se selecciona aquella (del paso actual) cuyo valor de probabilidad sea mayor. Esto obliga a que, si todas las coordenadas se encuentran a una distancia mayor del rango respecto a la coordenada del paso anterior, entonces no se registra un cambio de posición del usuario dado pues se concluye que sigue estando en la misma coordenada del paso anterior.

El experimento tiene como hipótesis que *La selección de la coordenada donde está el usuario es más precisa en la medida en que el número K es menor y la distancia del rango es menor.*

El experimento diseñado cuenta con las variables expuestas en la Tabla 10.

Independientes	Dependientes
<i>Número K de coordenadas donde el usuario está con mayor probabilidad</i>	Área calculada
<i>Distancia del rango máximo permitido entre la coordenada anterior</i>	Área calculada

donde estuvo el usuario y la actual

Tabla 10. Variables del experimento que prueba el algoritmo basado en el rango

Se realizaron dos experimentos: en el primero se varió el número K entre 2 y 5, mientras la distancia del rango se mantuvo constante; en el segundo algoritmo, se varió la distancia del rango entre 1 y 4 metros, y se mantuvo constante el número K. Al finalizar cada recorrido se verificó que el área calculada fuera la real. Los resultados obtenidos en el primer experimento, por cada recorrido, se encuentran en el Anexo 18 y se muestran resumidos en la Figura 36.

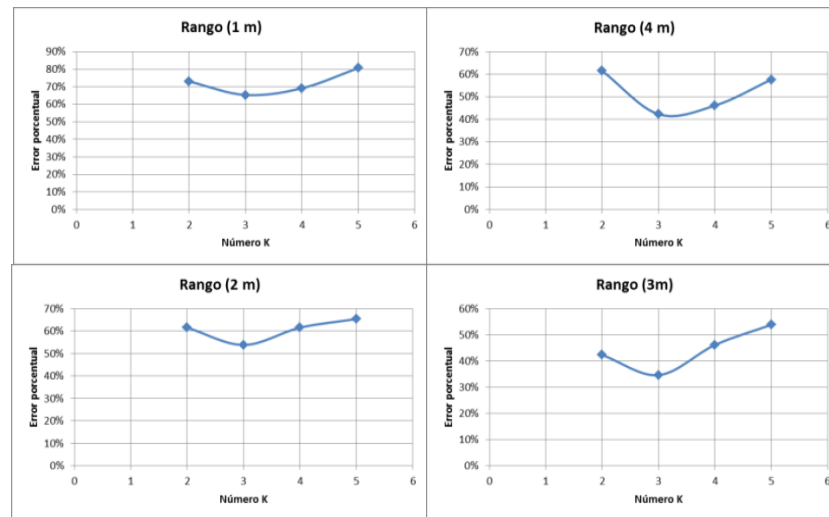


Figura 36. Resultados del error porcentual del algoritmo basado en el Rango manteniendo constante la distancia del rango mientras varía el K

Al hacer la variación de K pudo comprobarse en cada uno de los 4 casos que **3** es el valor más apropiado para el algoritmo basado en el rastro. Es claro que el error aumenta a medida que aumenta el K pues existe un conjunto más grande para cometer errores de estimación, así que se pensaría que el K más pequeño es el que maximiza el número de aciertos al solicitar a la aplicación la localización en tiempo real; sin embargo, se evidencia en las figuras que $K = 2$ no presenta los mejores resultados debido a que esa cantidad de coordenadas es muy reducido y, en muchas ocasiones, no permite a la coordenada real entrar en el conjunto de las más probables debido a la fluctuación de la señal Wifi. Existen diversas coordenadas cuya firma puede ser muy parecida, y eso depende de muchos factores como se ha mencionado en toda la investigación, por ello es necesario que el K sea 3 pues minimiza el error porcentual en la localización. En la Figura 37 se evidencian los resultados del segundo experimento donde se varió el rango en metros, dejando constante el K. Los datos completos se encuentran en el Anexo 18.

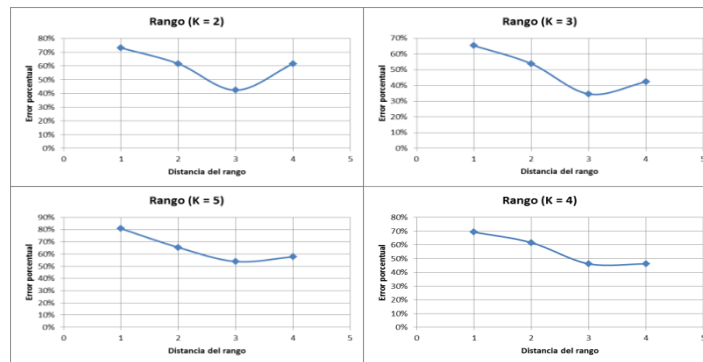


Figura 37. Resultados del error porcentual del algoritmo basado en el Rango manteniendo constante el K mientras varía la distancia del rango

Al hacer la variación de la distancia que representa el rango máximo permitido para determinar que una coordenada es cercana a la coordenada seleccionada en el paso anterior (donde se localizaba el usuario), pudo observarse que la cantidad de metros que minimiza el error porcentual es 3. Evidentemente, al aumentar esa distancia se va a permitir que coordenadas más lejanas puedan seleccionarse como lugar de localización actual incurriendo en errores. No obstante, al analizar distancias de 1 y 2 metros, lo que sucede es que estos valores obligan a que la selección sea demasiado precisa, lo cual es ciertamente difícil de obtener al utilizar como insumo principal, la intensidad de la señal Wifi pues puede ser afectada por diversos factores como se mencionó anteriormente, y motivo por el cual, se utiliza la probabilidad condicional para intentar obtener la huella más parecida a la que se tenía previamente almacenada en la base de datos. De esta forma, una distancia de 3 metros, permite que la localización sea mucho más efectiva, teniendo en cuenta que así, la precisión que se conseguirá no será menor de 3 metros. De acuerdo al anterior análisis pudo concluirse que la hipótesis no era totalmente acertada pues existen factores que hacen que un rango y un número K muy pequeños no sean la combinación adecuada para obtener un error aceptable. No obstante, el error obtenido es de 35%, y aún se presentan falencias, y por ello no se puede aceptar como válido. Por este motivo, a continuación se expone una variación que pretendía mejorar la precisión.

Algoritmo basado en el rango extendido

En particular se observó en el algoritmo basado en el rango que no sólo una coordenada del conjunto K actual cumplía con la condición de estar dentro del rango de 3 metros respecto al anterior paso, así que basándose en la idea expuesta por Jiang [51], se propuso una nueva variación del algoritmo basado en el rango utilizando el concepto del conjunto K de coordenadas del paso anterior; la cual contempla que inicialmente se aplique el mismo algoritmo anterior, pero si ninguna coordenada actual está dentro del rango de la anterior escogida, entonces antes de determinar que no hubo des-

plazamiento se hace lo siguiente: se revisa dentro del paso anterior cuáles coordenadas están dentro del rango de 3 metros respecto a la seleccionada en ese mismo paso. Sobre ellas, se revisa nuevamente que alguna coordenada del paso actual cumpla con esta dentro del rango de alguna de las que acabaron de escogerse del paso anterior y si existe más de una que cumpla, se selecciona la coordenada del paso actual cuya distancia sea la menor respecto a la coordenada seleccionada del paso anterior. Finalmente, si ninguna coordenada del paso actual cumple con lo anterior, se realiza un “salto” a un área diferente revisando que dentro de las 3 coordenada del paso actual haya una repetición de coordenada que estén en la misma área (puede ser que se repita 2 ó máximo 3 veces). En este caso, si aparece alguna área por la anterior repetición, se escoge la coordenada de ese grupo que posea la mayor probabilidad. Sin embargo, si tampoco existen repeticiones entonces se decide que el usuario no ha cambiado de posición y sigue en la misma coordenada seleccionada en el paso anterior. El experimento tiene como hipótesis que *La selección de la coordenada calculada ahora depende tanto del conjunto $Kn-1$ de coordenadas del paso anterior como de las coordenadas del conjunto Kn actual.* El experimento diseñado cuenta con las variables expuestas en la Tabla 11.

Independientes	Dependientes
Algoritmo utilizado para determinar el área donde se encuentra ubicado el usuario	Área calculada

Tabla 11. Variables identificadas en la prueba del algoritmo basado en el rango extendido

Al finalizar cada recorrido se verificó que el área calculada fuera la real. Los resultados obtenidos por cada recorrido se encuentran en el Anexo 18 y se muestran resumidos en la Tabla 12.

Rango	Rango extendido
35%	27%

Tabla 12. Comparación de error obtenido con el algoritmo Rango y Rango extendido

Efectivamente con el resultado obtenido pudo evidenciarse que la variación propuesta permite que se disminuya el error producido por los problemas que afectan a la señal emitida por los AP. Sin embargo, se planteó una última variación que tenía como objetivo aplicar el concepto que se propuso en este trabajo en torno al manejo de adyacencia entre áreas.

Algoritmo basado en el rango extendido utilizando áreas adyacentes

En el anterior algoritmo se observó que el algoritmo puede arrojar que el usuario está en un área y pasar a una que no es adyacente pues no se hace una revisión antes de la selección. Por lo tanto, la variación propuesta para este algoritmo consiste en realizar el mismo procedimiento anterior pero sólo tener en cuenta en cada selección, las áreas que son adyacentes a aquella cuya coordenada se seleccionó en el paso anterior. Esto se realizó mediante el manejo de áreas a través de la implemen-

tación de un grafo no dirigido, donde cada arista representa un punto de comunicación (lugar estructural) entre dos áreas adyacentes. El experimento tiene como hipótesis que *La selección de la coordenada donde se encuentra el usuario depende del conjunto de coordenadas del paso actual y del anterior pero también de que la selección evalúe la adyacencia entre las áreas en cuestión.*

El experimento diseñado en esta ocasión tiene en cuenta las mismas variables que el anterior. Al finalizar cada recorrido se verificó que el área calculada fuera la real. Los resultados obtenidos por cada recorrido se encuentran en el Anexo 18 y se muestran resumidos en la Tabla 13.

Rango extendido	Rango extendido utilizando áreas adyacentes
27%	23%

Tabla 13. Comparación de error porcentual obtenido con el algoritmo Rango extendido y Rango extendido utilizando áreas adyacentes

Efectivamente con el resultado obtenido pudo evidenciarse que la variación propuesta permite que se disminuya el error producido por los problemas que afectan a la señal emitida por los AP; con esto pudo obtenerse el error porcentual esperado para determinar la validez del módulo de localización horizontal.

Debido al alcance de la investigación, en términos de tiempo, sólo se determinó la confiabilidad del error porcentual arrojado por este último algoritmo obteniendo un nivel de confianza del 70.1%. Al analizar los casos en que el error porcentual fue mayor, pudo evidenciarse que la precisión se ve afectada por la rigurosidad en el proceso de calibración. Para probar el prototipo se tomaron muestras por cada coordenada durante un mismo día y un corto período de tiempo, con el fin de alcanzar a abordar por completo el tema de estudio, y por ello, existen algunos casos en que la RSS encontrada en tiempo real no coincide con ninguno de los valores almacenados en la base de datos luego de la fase de calibración. Se evidenció que la cantidad de personas presentes en el lugar afecta las mediciones pues pueden comportarse como nuevos obstáculos durante el viaje de la señal de radio y por ello es una variable interviniente que debe tratarse con mayor profundidad en un trabajo futuro.

Etapas de validación de la localización vertical

Esta fase analiza y evalúa el uso del barómetro como el componente más adecuado para determinar el cambio entre pisos a través de la variación de la presión atmosférica (de acuerdo al rango calculado como la diferencia de presión entre pisos, definido en la sección de Selección de componentes para la localización Vertical). De este modo, las variables contempladas se presentan en la Tabla 14.

Independientes	Dependientes
Presión atmosférica	Piso calculado

Tabla 14. Variables identificadas para el experimento que pueba la Localización Vertical

Para el análisis de la variación de la variable independiente de la presión atmosférica basta con cambiar de piso dentro de un edificio, pero como se mencionó anteriormente, la información entregada por el barómetro no permite saber con exactitud el número del piso; por ello, para estas pruebas se estableció el piso donde empieza el recorrido como el inicial para poder calcular los demás a partir del cambio en la presión atmosférica. Se determinaron 5 recorridos para los experimentos dentro de los primeros cuatro pisos de la Facultad de Ingeniería, como se muestra en la Tabla 15.

	Recorrido 1	Recorrido 2	Recorrido 3	Recorrido 4	Recorrido 5
Número del piso	1	4	2	3	4
	2	2	4	1	1
	1	3	1	4	3
	2	1	3	2	2
	3	4	2	3	1
	1	1	4	1	4
	4	2	3	2	2

Tabla 15. Recorridos realizados en el experimento que prueba la Localización Vertical

Para el primer experimento se determinó que el desplazamiento se haría utilizando las escaleras, mientras que para el segundo se estipuló que se haría utilizando en ascensor de la Facultad de Ingeniería, de acuerdo a las necesidades de los usuarios identificadas en las entrevistas (Ver Anexo 7), la aplicación debía permitir identificar el cambio entre pisos en la medida que se desplaza entre un piso y otro. En el Anexo 18 se evidencian las tablas con los resultados obtenidos al solicitar el número del piso a la aplicación haciendo cada recorrido. Se obtuvo un 0% de error en cada una de las pruebas hechas, tanto utilizando las escaleras como tomando el ascensor, con lo cual se concluyó que la selección del Barómetro presente en los actuales teléfonos inteligentes es el adecuado para determinar un cambio de localización vertical. Estos resultados pueden obtenerse debido a la relación que existe entre la presión atmosférica y la altura sobre el nivel del mar, corroborando lo que explica la teoría en torno a este tema.

Etapas de validación del modelo completo

Para esta etapa fue necesario realizar la fase de calibración en los pisos 3 y 4 de la Facultad de Ingeniería en el costado oriental del edificio y se calculó la diferencia de presión atmosférica entre los pisos del edificio. En este experimento se incluyó el uso de un tag RFID estático que simula la entrada del edificio en el piso cuatro (antes de empezar a descender la escalera que comunica al piso 4 con el 3. También se utilizó un tag móvil (tarjeta RFID) que lleva el usuario para activar la notificación auditiva sobre el área actual donde se encuentra. Se determinó que el cambio de piso se anunciara automáticamente de acuerdo al nivel al que ascienda o descienda el usuario.

El objetivo del experimento era analizar el acierto del prototipo final a través de la variación de la RSS y la presión atmosférica en la medida que se desplazaba el usuario por el edificio. De esta forma, se solicitó a 4 personas aleatorias que hicieran el recorrido que prefirieran entre los costados orientales de los pisos 3 y 4 de la Facultad y que solicitaran al teléfono su ubicación en cualquier momento que lo desearan. La petición debía hacerse mediante el acercamiento de la tarjeta RFID (entregada al usuario) al teléfono (entregado al usuario pues debía cumplir con las especificaciones determinadas en la sección de Selección de componentes para cada módulo del modelo).

Como se extrae del entorno la variable interviniente de número de personas presente, las pruebas realizadas se hacen controladamente mientras el volumen de personas presentes en la Facultad de Ingeniería no impida la correcta aplicación de las pruebas.

Además de visualizar las pruebas para determinar el porcentaje de error en la estimación de la localización (los resultados obtenidos se encuentran en el Anexo 18), se aplicó una encuesta de satisfacción del prototipo percibida por los usuarios participantes. El detalle de las respuestas a las encuestas se encuentra en el Anexo 19. Los resultados de cada prueba y de la encuesta se muestran condensados en la Tabla 16.

Usuario	Error Vertical	Error Horizontal	Usabilidad	Precisión percibida
Usuario 1	0%	29%	Alto	Aceptable
Usuario 2	0%	30%	Muy Alto	Aceptable
Usuario 3	0%	25%	Alto	Preciso
Usuario 4	0%	29%	Muy Alto	Aceptable

Tabla 16. Resultados obtenidos en la prueba de validación del modelo completo

A través de estas pruebas finales fue posible concluir que el modelo propuesto es aceptable de acuerdo a los resultados obtenidos en términos del porcentaje de error presentado y la precisión percibida por el usuario. El porcentaje de error obtenido por cada persona que probó el prototipo no superó el 30%, considerando entonces que la precisión es aceptable pues en esta oportunidad no habían rutas predefinidas sino que cada usuario determinaba su propio trayecto, y se comprende que en estas circunstancias hay una mayor probabilidad de existencia de error debido a complejos recorridos determinados por cada persona durante la prueba. En cuanto a la usabilidad, se recibieron respuestas favorables ya que la interacción con la aplicación móvil es sencilla y bastante útil, teniendo en cuenta el tipo de población a quien se ha dirigido el estudio.

Aunque los resultados fueron aceptables es necesario reconocer que aún existen falencias en el prototipo que deben ser abordadas con mayor profundidad para proponer un sistema confiable que pueda ser desplegado y utilizado por un usuario final.

VI - CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Conclusiones

Respecto al trabajo realizado entorno a la localización en interiores orientada a personas con discapacidad visual pudieron extraerse las siguientes conclusiones.

- Una aplicación que permita a personas con discapacidad visual conocer su ubicación dentro de un lugar cerrado es un aporte útil si se utiliza en espacios desconocidos y amplios que no suelen ser frecuentados por los usuarios. No es útil utilizarlo en la casa propia debido a que este es un lugar plenamente reconocido por esta población.
- La forma en que los usuarios con discapacidad visual acceden a la información de localización a través de la aplicación móvil, es un aspecto crucial al momento de realizar la implementación. La alternativa seleccionada para el prototipo desarrollado fue el uso de un tag RFID que al ser acercado al teléfono inteligente, desencadena el evento de comunicación de la ubicación por voz. Sin embargo, es posible utilizar diversas aproximaciones, siempre y cuando se tenga claro que se debe realizar un diseño especial para la población con discapacidad visual.
- Las personas con discapacidad visual afirman que prefieren que su localización sea comunicada mediante voz, en vez de utilizar sistemas de vibraciones o pitidos; esto se debe a que se considera que la alternativa más eficiente es la comunicación auditiva.
- Las actuales herramientas de hardware y software poseen un gran avance tecnológico que permite utilizarlas para proponer soluciones de localización en interiores orientada a personas con discapacidad visual. Una aplicación móvil es una aproximación viable por la proliferación de los teléfonos inteligentes en todo tipo de población y porque no implica invasión del espacio personal del usuario. Con el avance vertiginoso de los teléfonos inteligentes, seguirán apareciendo nuevos sensores y tecnologías que permitirán enriquecer la implementación del modelo propuesto. Además diferentes tecnologías como las estudiadas en este documento permitirían proponer variadas y adecuadas implementaciones del modelo propuesto debido a sus características apropiadas para el tema de la localización en interiores.
- El uso del barómetro presente en los actuales teléfonos inteligentes permitió hacer una excelente estimación del piso (nivel) de localización de un usuario, al aplicar la teoría que soporta la relación existente entre la presión atmosférica y la altura sobre el nivel del mar.
- El uso de la red inalámbrica de WLAN-Wifi mediante el método basado en el rastro componen un prototipo (implementación del modelo propuesto) que satisfizo la mayor parte de los requerimientos obtenidos de las personas con discapacidad visual en torno a su ubicación en interior-

res (horizontalmente). Los resultados obtenidos demuestran que el uso de los Wifi AP no requiere de adaptación en la infraestructura del lugar y permite tener una estimación aceptable de la localización del usuario. Adicionalmente se observa que la inclusión del concepto de área adyacente (no encontrado en el estado del arte) es un factor clave que permitió mejorar la precisión del algoritmo propuesto (cuyo desarrollo fue propio pero tomó algunos conceptos clave de la tesis de Maestría de *Landu Jiang*), denominado algoritmo basado en el rango extendido utilizando áreas adyacentes.

- Se evidenció que un riguroso proceso de calibración para la localización horizontal determina en gran medida el éxito en la posterior estimación de la localización en un espacio cerrado. Para el caso de la señal de radio emitida por los Wifi AP, se presenta una alta fluctuación debido a los problemas que sufre la señal en su viaje desde el AP hasta el teléfono inteligente; por ello es necesario tomar mediciones de las RSS en cada coordenada en diferentes horas del día, en diferentes días, y en diversas condiciones para poder asegurar que se tenga el mayor espectro de posibles RSS emitidas por cada AP y percibidas por el teléfono en cada coordenada del espacio cerrado donde se desee ubicar.
- La presente investigación propone un modelo de localización en interiores que no se limita a la localización horizontal, como en la mayor parte de los trabajos estudiados en el estado del arte, sino que especifica en detalle la problemática de localización vertical y la identificación de la edificación.

Recomendaciones

Para próximas personas que quisieran seguir esta línea de investigación, la recomendación es continuar haciendo un reconocimiento del estado del arte para conocer nuevas propuestas y alternativas que pueden ir permitiendo que el trabajo propio se enriquezca. El avance de la tecnología es muy rápido y seguramente muchos de los componentes aquí seleccionados podrían ser reemplazados por nuevos que provean mejores características para la localización en interiores sin que el modelo propuesto pierda vigencia.

Al departamento de Ingeniería de Sistemas se recomienda que se amplíe la posibilidad de utilización de servidores que permitan trabajar con todas las herramientas aprendidas durante la carrera ya que se desarrolló un Servicio Web en Java Empresarial pero no pudo conseguirse un servidor para montarlo y por ese motivo se debió utilizar una máquina de la sala SIDRe para simularlo, sin embargo, no se puede acceder a este servicio desde una red externa como Internet, limitando así las pruebas que se pueden realizar.

Trabajos Futuros

En el presente documento se han expuesto algunos trabajos futuros pertinentes respecto al tema central de la investigación. En primera instancia sería interesante experimentar con las variables intervinientes que se propusieron en el protocolo de validación pues quizás algunas representen factores que deben tenerse en cuenta en el momento de la localización.

Un sistema más completo también podría integrar los resultados de la presente investigación con el desarrollo del modelo detallado para cada uno de los módulos que se excluyeron por no hacer parte del alcance inicialmente propuesto: la Identificación de objetos y el Enrutamiento del usuario. Adicionalmente el sistema podría incluir la implementación de los requerimientos que fueron excluidos por no tener una relación totalmente estrecha con el objetivo de la investigación: los lugares estructurales adyacentes y la determinación de su orientación con respecto al usuario.

Otro aporte puede ser la integración del acelerómetro incorporado en el teléfono inteligente para poder determinar cuándo el usuario está en movimiento y cuándo está en reposo, intentando disminuir errores de localización por la constante fluctuación de la RSS emitida por los Wifi AP. De la misma manera, podría integrarse el magnetómetro y/o el giroscopio para determinar la dirección en que se está desplazando el usuario para seguir refinando el algoritmo de localización en interiores.

Otro aspecto útil para un trabajo futuro sería poder manejar las áreas adyacentes mediante proximidad de coordenadas con el fin de obtener una mayor precisión del algoritmo de localización y de comunicación de las áreas y lugares estructurales adyacentes.

Finalmente sería un avance importante unificar todos los resultados obtenidos en la identificación de objetos, localización en interiores y enrutamiento del usuario para integrarlos con la localización en exteriores, obteniendo un sistema más completo para la población con discapacidad visual.

VII - REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. S. Tanenbaum, *Redes de computadoras*. Pearson Educación, 2003.
- [2] K. Muralidharan, A. J. Khan, A. Misra, R. K. Balan, y S. Agarwal, «Barometric Phone Sensors: More Hype Than Hope!», en *Proceedings of the 15th Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, New York, NY, USA, 2014, pp. 12:1–12:6.
- [3] S. A. Ahson y M. Ilyas, *RFID Handbook: Applications, Technology, Security, and Privacy*. CRC Press, 2010.
- [4] A. Malik, *RTLS For Dummies*. John Wiley & Sons, 2009.
- [5] L. Jiang, «A WLAN Fingerprinting Based Indoor Localization Technique», *Comput. Sci. Eng. Theses Diss. Stud. Res.*, jul. 2012.
- [6] V. Coskun, K. Ok, y B. Ozdenizci, *Near Field Communication (NFC): From Theory to Practice*. John Wiley & Sons, 2011.
- [7] DANE, «Estudios del Censo DANE 2005 - Estudios del Censo DANE 2005». [En línea]. Disponible en: <http://www.inci.gov.co/observatorio-social/informes-estadisticos/otros-estudios-e-investigaciones>. [Accedido: 18-sep-2013].
- [8] DANE, «Información estadística de discapacidad, Julio del 2004, DANE». .
- [9] UNCU, «Unión Nacional de Ciegos de Uruguay; Información sobre el Centro Tiburcio Cachón: UNCU». [En línea]. Disponible en: <http://www.uncu.org.uy/cachon.htm>. [Accedido: 19-sep-2013].
- [10] G. Aguilera, «Ubícate: el poder de los dispositivos GPS. (Spanish)», *Contenido*, n.º 563, pp. 36-37, may 2010.
- [11] Antonio Ramón Jiménez Ruiz, Fernando Seco Granja, José Carlos Prieto Honorato, and Jorge I. Guevara Rosas, «Accurate Pedestrian Indoor Navigation by Tightly Coupling Foot-Mounted IMU and RFID Measurements». *IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT*, VOL. 61, NO. 1, ene-2012.
- [12] Ubejd Shala y Angel Rodriguez, «Indoor Positioning using Sensor-fusion in Android Devices». School of Health and Society, 2011.
- [13] Laia Descamps-Vila, A. Pérez-Navarro , Jordi Conesa, «Integración de un sistema de posicionamiento indoor en aplicaciones SIG para dispositivo móvil». VII JORNADAS DE SIG LIBRE.

-
- [14] Madoka Nakajima* and Shinichiro Haruyama, «New indoor navigation system for visually impaired people using visible light communication». *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking* 2013, 2013:37, 18-ene-2013.
- [15] Mohammad Shaifur Rahman · Youngil Park · Ki-Doo Kim, «RSS-Based Indoor Localization Algorithm for Wireless Sensor Network Using Generalized Regression Neural Network». King Fahd University of Petroleum and Minerals 2012, 07-oct-2010.
- [16] L., H. (1982). Johns Hopkins, APL Technical Digest, «Telecommunications devices for the deaf». .
- [17] Martijn Kiers, Tina Sovec, «Ways4all: Indoor navigation for visually impaired and blind people». *REAL CORP 2010: CITIES FOR EVERYONE. Liveable, Healthy, Prosperous*, 18-may-2010.
- [18] Electrical and Computer Engineering Department, «Wireless Guide for Assisting Blind and Visually Impaired People». Volgenau School of Engineering George Mason University.
- [19] Anja Bekkelien, «Bluetooth Indoor Positioning», mar-2012. [En línea]. Disponible en: http://cui.unige.ch/~deriazm/masters/bekkelien/Bekkelien_Master_Thesis.pdf. [Accedido: 02-ago-2014].
- [20] H.-H. Liu y Y.-N. Yang, «WiFi-based indoor positioning for multi-floor Environment», en *TENCON 2011 - 2011 IEEE Region 10 Conference*, 2011, pp. 597-601.
- [21] W. Konrad, «Wifi Compass: Wifi access point localization with Android devices», Tesis de Maestría, St. Pölten University of Applied Sciences, Viena, 2012.
- [22] K. P. Subbu, B. Gozick, y R. Dantu, «LocateMe: Magnetic-fields-based Indoor Localization Using Smartphones», *ACM Trans Intell Syst Technol*, vol. 4, n.º 4, pp. 73:1–73:27, oct. 2013.
- [23] IndoorAtlas Ltd, *Indoor Atlas*. Oulu, Finland: © 2013 IndoorAtlas Ltd., 2013.
- [24] Sails Technology, *Sails BuildNGO*. CINGHAI RD, TAICHUNG 407 TAIWAN: Sails Technology, 2013.
- [25] Gerard Lanchapelle, «GNSS Indoor Location Technologies». .
- [26] G. R., Noemi Flores Valentín, Merarí y Álvarez Gómez, Miguel, «El desarrollo de materiales educativos para invidentes a través de tecnología». [En línea]. Disponible en: http://www.nosolousabilidad.com/articulos/educacion_invidentes.htm. [Accedido: 19-sep-2013].
- [27] Gómez, Julio César, «Diagnóstico “Discapacidad en Colombia: Retos para la inclusión en Capital Humano” Tomo 2». [En línea]. Disponible en:
-

- <http://www.discapacidadcolombia.com/modules.php?name=Content&pa=showpage&pid=210>. [Accedido: 18-sep-2013].
- [28] Banco de la República de Colombia, «Población colombiana | Banco de la República de Colombia». [En línea]. Disponible en: <http://www.banrep.gov.co/es/poblacion>. [Accedido: 18-sep-2013].
- [29] I. Universidad Nacional, «Realidad y contexto situacional de la poblacional de la población con discapacidad visual en Colombia». [En línea]. Disponible en: <http://www.inci.gov.co/observatorio-social/informes-estadisticos/otros-estudios-e-investigaciones?download=53:censo-discapacidad-visual>. [Accedido: 18-sep-2013].
- [30] R. H. Sampieri, C. F. Collado, y P. B. Lucio, *Metodología de la investigación*. MacGraw-Hill/Interamericana, 2006.
- [31] Miguel S. Valles, «Cuadernos Metodológicos: Numero 32, Entrevistas cualitativas». [En línea]. Disponible en: <http://books.google.com.co/books?id=6xkfw-n9n8EC&printsec=frontcover&dq=metodolog%C3%ADa+de+la+investigacion+entrevista+cualitativa&hl=es-419&sa=X&ei=ZaRWUquJNYP49QT8jIHIAG&ved=0CDgQ6AEwAg#v=onepage&q=metodolog%C3%ADa%20de%20la%20investigacion%20entrevista%20cualitativa&f=false>. [Accedido: 10-oct-2013].
- [32] José Ignacio Ruiz Olabuénaga, «Metodología de la investigación cualitativa». [En línea]. Disponible en: <http://books.google.com.co/books?id=WdaAt6ogAykC&printsec=frontcover&dq=investigaci%C3%B3n+cualitativa&hl=es-419&sa=X&ei=rYNWUp64KpCy9gTxzYC4CQ&ved=0CDEQ6AEwAQ#v=onepage&q=investigaci%C3%B3n%20cualitativa&f=false>. [Accedido: 10-oct-2013].
- [33] Scott W. Ambler, «The Agile Unified Process (AUP)», *Ambysoft - Effective Practices for Software Solution Delivery*. [En línea]. Disponible en: <http://www.ambysoft.com/unifiedprocess/agileUP.html>. [Accedido: 10-oct-2013].
- [34] Thomas Stober, Uwe Hansmann, «Agile Software Development: Best Practices for Large Software Development Projects». [En línea]. Disponible en: <http://books.google.com.co/books?id=DX9v4pqTDwkC&pg=PA56&dq=Agile+unified+process+scott&hl=es->

- 419&sa=X&ei=fqpWUsWgBpSI9QT244CgAw&redir_esc=y#v=onepage&q=Agile%20unified%20process%20&f=false. [Accedido: 10-oct-2013].
- [35] J. L. N. M. Castejón Costa y Leandro, *Unas bases psicológicas de la educación especial*, 3a. ed., 1 vols. España, 2013.
- [36] C. C. Serna, *Nuevas tecnologías en la industria del ocio y el entretenimiento en España*. EOI Esc.Organiz.Industrial, 2008.
- [37] L. Letham, *GPS fácil. Uso del sistema de posicionamiento global*. Editorial Paidotribo, 2001.
- [38] H. Chaouchi, *The Internet of Things: Connecting Objects*. John Wiley & Sons, 2013.
- [39] Barrie Sosinsky, «Networking Bible». [En línea]. Disponible en: <http://books.google.com.co/books?id=3DOREqRZejcC&pg=PA722&dq=diferencia+entre+access+point+router+firewall&hl=es-419&sa=X&ei=VfbnU82yD-rmsATf74K4Dg&ved=0CDsQ6AEwBA#v=onepage&q&f=false>. [Accedido: 10-ago-2014].
- [40] M. Gast, *802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide*. O'Reilly Media, Inc., 2005.
- [41] J. W. N. Com, *Network Dictionary*. Javvin Technologies Inc., 2007.
- [42] H. Kato, K. T. Tan, y D. Chai, *Barcodes for Mobile Devices*. Cambridge University Press, 2010.
- [43] Eva M. García Polo, «Técnicas de Localización en Redes Inalambricas de Sensores». Instituto de Investigación en Informática de Albacete Departamento de Sistemas Informáticos Universidad de Castilla-La Mancha.
- [44] Graham Prophet, «Location system find their way in the world», *May 2008*, p. 12.
- [45] K. Kaemarungsi y P. Krishnamurthy, «Properties of indoor received signal strength for WLAN location fingerprinting», en *The First Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services, 2004. MOBIQUITOUS 2004*, 2004, pp. 14-23.
- [46] J. J. O. Araujo, *Elementos de teoría de probabilidad para ingenieros*. Pontificia Universidad Javeriana, 2003.
- [47] A. L. Vázquez y F. J. G. Ortiz, *Métodos estadísticos para medir, describir y controlar la variabilidad*. Ed. Universidad de Cantabria, 2004.
- [48] D. S. Moore, *Estadística aplicada básica*. Antoni Bosch editor, 2005.
- [49] C. Abhijit, «An Indoor Navigation System For Smartphones», pp. 1-80, jun. 2013.
- [50] IndoorAtlas, «Indoor Navigation System by Indoor Atlas Company», 2012.
- [51] Open Street Map community, *Java Open Street Map*. 2014.

- [52] T. H. Riehle, S. M. Anderson, P. A. Lichter, N. A. Giudice, S. I. Sheikh, R. J. Knuesel, D. T. Kollmann, y D. S. Hedin, «Indoor magnetic navigation for the blind», en *2012 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, 2012, pp. 1972-1975.
- [53] H. A. Taha, *Investigación de operaciones*. Pearson Educación, 2004.
- [54] M. Werner, M. Kessel, y C. Marouane, «Indoor positioning using smartphone camera», en *2011 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN)*, 2011, pp. 1-6.
- [55] L. Ruotsalainen, H. Kuusniemi, y R. Chen, «Heading change detection for indoor navigation with a Smartphone camera», en *2011 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN)*, 2011, pp. 1-7.
- [56] María del Carmen Belizón Fernáandez, «Aplicación Android para la Identificación y Llegada a un Objetivo.», sep-2013. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/3421/1/pfc5355.pdf>. [Accedido: 23-ago-2014].
- [57] Francisco Martín Archundia Papacetzzi, «WPAN and home networking, chapter 3: El estándar Bluetooth IEEE 802.15.1». [En línea]. Disponible en: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/archundia_p_fm/. [Accedido: 02-ago-2014].
- [58] I. Sommerville, *Ingeniería del software*. Pearson Educación, 2005.
- [59] Apple Inc., «iOS Human Interface Guidelines». 2014.
- [60] J. S. R. de T. Javier Sánchez Sierra, «Designing Mobile Apps for Visually Impaired and Blind Users: Using touch screen based mobile devices: iPhone/iPad».
- [61] Google Inc., *Legal Notice | Android Developers*. Google Inc.
- [62] *Collecting, Processing, and Integrating GPS Data Into GIS*. Transportation Research Board, 2002.
- [63] S. Shekhar y H. Xiong, *Encyclopedia of GIS*. Springer, 2008.
- [64] B. W. Parkinson y J. J. Spilker, *Progress In Astronautics and Aeronautics: Global Positioning System: Theory and Applications*. AIAA, 1996.
- [65] P. Correia, *Guía práctica del GPS*. Marcombo, 2002.
- [66] Vv.aa, *PCPI - Mantenimiento de Sistemas Microinformaticos*. Editex.

- [67] V. D. Hunt, A. Puglia, y M. Puglia, *RFID: A Guide to Radio Frequency Identification*. John Wiley & Sons, 2007.
- [68] S. G. Martín, «QR, el código que llega a las bibliotecas en la era digital», 2012.
- [69] P. M. M. A. Silva, M. Paralta, R. Caldeirinha, J. Rodrigues, y C. M. J. A. Serodio, «Traceme; indoor real-time location system», en *35th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics, 2009. IECON '09*, 2009, pp. 2721-2725.
- [70] H. Zeng, J. Zhang, G. Dai, Z. Gao, y H. Hu, «Security Visiting: RFID-Based Smartphone Indoor Guiding System», *Int. J. Distrib. Sens. Netw.*, vol. 2014, ene. 2014.
- [71] B. Loulier, «Using smartphones for indoor navigation», *Coll. Technol. Masters Theses*, ene. 2011.
- [72] «List of NFC phones», *NFC World+*. .
- [73] M. M. Atia,¹ M. J. Korenberg,¹ and A. Noureldin², «Particle-Filter-Based WiFi-Aided Reduced Inertial Sensors Navigation System for Indoor and GPS-Denied Environments», Research Article, ²Royal Military College of Canada Kingston and Queen's University Kingston, Canada, 2012.
- [74] S.-H. Fang y T.-N. Lin, «Accurate WLAN indoor localization based on RSS, fluctuations modeling», en *IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing, 2009. WISP 2009*, 2009, pp. 27-30.
- [75] Z. Farid, R. Nordin, y M. Ismail, «Recent Advances in Wireless Indoor Localization Techniques and System», *J. Comput. Netw. Commun.*, vol. 2013, sep. 2013.
- [76] G. B. Moon, M. B. Hur, y G.-I. Jee, «An indoor positioning system for a first responder in an emergency environment», en *2012 12th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS)*, 2012, pp. 1368-1372.
- [77] Mohammad A. Matin, *Wireless Sensor Networks - Technology and Protocols*. InTech, 2012.
- [78] Nissanka Bodhi Priyantha, «The Cricket Indoor Localization System». jun-2005.
- [79] A. Mandal, C. V. Lopes, T. Givargis, A. Haghighat, R. Jurdak, y P. Baldi, «Beep: 3D indoor positioning using audible sound», en *2005 Second IEEE Consumer Communications and Networking Conference, 2005. CCNC*, 2005, pp. 348-353.
- [80] Z. Shelby, C. Bormann, y Wiley InterScience (Online service), *6LoWPAN the wireless embedded internet*. Chichester, U.K.: J. Wiley, 2009.

-
- [81] A. Dekel y E. Schiller, «DRec: Exploring Indoor Navigation with an Un-augmented Smart Phone», en *Proceedings of the 12th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, New York, NY, USA, 2010, pp. 393–394.
- [82] I. Constandache, R. R. Choudhury, y I. Rhee, «Towards Mobile Phone Localization without War-Driving», en *2010 Proceedings IEEE INFOCOM*, 2010, pp. 1-9.
- [83] M. Hynes, H. Wang, y L. Kilmartin, «Off-the-shelf mobile handset environments for deploying accelerometer based gait and activity analysis algorithms», en *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 2009. EMBC 2009*, 2009, pp. 5187-5190.
- [84] C.-H. Hsu y C.-H. Yu, «An Accelerometer Based Approach for Indoor Localization», en *Symposia and Workshops on Ubiquitous, Autonomic and Trusted Computing, 2009. UIC-ATC '09*, 2009, pp. 223-227.
- [85] C. E. Galván-Tejada, J. P. García-Vázquez, y J. I. Galván-Tejada, «Uso del campo magnético de la tierra para localizar a las personas en interiores», *DIFU100ci@*, vol. 7, n.º 1, pp. 32-36, ago. 2013.
- [86] Ospina Olga Lucía, «Modelo de distribución espacio - temporal del campo magnético terrestre. Módulo didáctico», Trabajo de grado de Licenciatura en Física, Pontificia Universidad Javeriana Bogotá, Bogotá, D.C., Colombia, 1998.
- [87] IndoorAtlas, «FAQ - Frequently Asked Question», *IndoorAtlas account - General questions - IndoorAtlas tools and app*. .
- [88] Sensor platforms, «Understanding Smart Phone Sensor Performance: Magnetometer», 29-jul-2011. .
- [89] Z. Qian, L. Cao, y W. Su, *Recent Advances in Computer Science and Information Engineering: Volume 4*. Springer, 2012.
- [90] Thomas Konrad, BSc & Paul Wölfel, BSc, *Wifi Compass: Android WiFi access point localization and user location Application*. .
- [91] Apple Inc., «Apple - iPhone - Especificaciones técnicas». [En línea]. Disponible en: <http://www.apple.com/la/iphone-6/specs/>. [Accedido: 10-sep-2014].
- [92] Samsung Electronics, «Samsung GALAXY S4 - Life companion». [En línea]. Disponible en: <http://www.samsung.com/global/microsite/galaxys4/>. [Accedido: 10-sep-2014].
- [93] Samsung Electronics, «Samsung GALAXY S5». [En línea]. Disponible en: <http://www.samsung.com/global/microsite/galaxys5/specs.html>. [Accedido: 10-sep-2014].
-

- [94] Google Inc., «Nexus 4 Tech Specs - Google». [En línea]. Disponible en: <http://www.google.es/nexus/4/specs/>. [Accedido: 10-sep-2014].
- [95] Nokia, «Nokia Lumia 1020 - Specifications - Nokia - USA». [En línea]. Disponible en: <http://www.nokia.com/us-en/phones/phone/lumia1020/specifications/>. [Accedido: 10-sep-2014].
- [96] B. Loulier, «Using smartphones for indoor navigation», *Coll. Technol. Masters Theses*, ene. 2011.
- [97] R. Myers, *The Basics of Chemistry*. Greenwood Publishing Group, 2003.
- [98] P. Rob y C. Coronel, *Database Systems: Design, Implementation, and Management*. Cengage Learning, 2007.
- [99] Vikas Mahajan, «Should I Use a Directory, a Database, or Both?». [En línea]. Disponible en: <http://support.novell.com/techcenter/articles/ana20011101.html>. [Accedido: 08-sep-2014].
- [100] «Colombia, número uno en crecimiento de “smartphones”», *Portafolio.com.co*. [En línea]. Disponible en: <http://www.portafolio.co/portafolio-plus/cifras-ventas-telefonos-inteligentes-colombia>. [Accedido: 02-mar-2014].
- [101] ©2014 Google, *Google Talkback - Aplicaciones Android en Google Play*. Google Inc., 2014.
- [102] Apple Inc., *Apple - Accesibilidad - iOS - VoiceOver*. .
- [103] Microsoft Inc., *Usar Narrador en mi Windows Phone | Instrucciones de Windows Phone (Colombia)*. .
- [104] G. I. Android y Open Handset Alliance, *TextToSpeech | Android Developers*. .
- [105] Apple Inc., *AVSpeechSynthesizer Class Reference*. .
- [106] Windows, *Text-to-speech (TTS) for Windows Phone 8*. .
- [107] C. A. B. Torres, *Metodología de la investigación: para administración, economía, humanidades y ciencias sociales*. Pearson Educación, 2006.
- [108] H. G. Pulido y Román de la Vara Salazar, *Análisis y diseño de experimentos*, Segunda edición. México: MC Graw Hill, 2008.
- [109] H. Henderson, *Encyclopedia of Computer Science and Technology*. Infobase Publishing, 2009.
- [110] *Fundamentos y electrónica de las comunicaciones*. Universidad de Valencia, 2004.
- [111] U. D. Black, *Redes de transmisión de datos y proceso distribuido*. Ediciones Díaz de Santos, 1987.

- [112] J. M. H. Moya y J. M. Huidobro, *Redes y servicios de telecomunicaciones*. Editorial Paraninfo, 2006.
- [113] G. M. Santiago, *Gestión del montaje y mantenimiento de instalaciones*. Editorial Paraninfo, 2013.
- [114] J. N. Camazón, *Sistemas operativos monopuesto*. Editex, 2011.
- [115] ©2014 Google, *Android versions*. Google Inc., 2014.
- [116] M. Fowler y K. Scott, *UML gota a gota*. Pearson Educación, 1999.
- [117] IEEE Standards Association, «IEEE 802.15TM: WIRELESS PERSONAL AREA NETWORKS (PANs)», 2013. .
- [118] Real Academia Española, «Real Academia Española». [En línea]. Disponible en: <http://www.rae.es/rae.html>. [Accedido: 21-feb-2013].
- [119] J. Marniemi y M. G. Parkki, «Radiochemical assay of glutathione S-epoxide transferase and its enhancement by phenobarbital in rat liver in vivo», *Biochem. Pharmacol.*, vol. 24, n.º 17, pp. 1569-1572, sep. 1975.
- [120] J. Snell, D. Tidwell, y P. Kulchenko, *Programming Web Services with SOAP*. O'Reilly Media, Inc., 2001.
- [121] «El sentido de la vista y las partes del ojo», *ElPopular.pe*. [En línea]. Disponible en: <http://www.elpopular.pe/series/escolar/2013-05-23-el-sentido-de-la-vista-y-las-partes-del-ojo>. [Accedido: 17-ago-2014].
- [122] R. Jia, M. Jin, y C. J. Spanos, «SoundLoc: Acoustic Method for Indoor Localization without Infrastructure», *ArXiv14074409 Cs*, jul. 2014.

VIII - ANEXOS

Anexo 1. Glosario

ACK: Es el acuse de recibo o mensaje que se envía al emisor para confirmar la recepción de un mensaje en un protocolo de comunicación [1].

AP: Abreviatura de Access Point (punto de acceso inalámbrico) que es un dispositivo que interconecta dispositivos de comunicación de forma inalámbrica [1].

API: Significa interfaz de programación de aplicaciones, por sus siglas en inglés, y es el conjunto de atributos y métodos ofrecidos por una biblioteca para ser utilizados por una aplicación [109].

Convolución: Es una operación matemática fundamental en teoría de la señal por su estrecha relación con procesos de transmisión de señales cuando se trabaja en el dominio temporal. En esta operación se busca obtener una tercer señal resultante que representaría la magnitud de la superposición de las dos primeras [110].

dBm: Acrónimo de decibelio. Es la unidad de medida de la potencia (de salida o de entrada, según corresponda para un circuito amplificador o un atenuador). En comunicaciones se emplea para expresar la relación entre dos valores, como: sonido, potencia, voltaje o corriente, teniendo en cuenta que esta unidad es una relación y no un valor absoluto. De esta forma son empleados con frecuencia para medir la ganancia o pérdida de una señal para determinar la calidad de las líneas, las pérdidas de la señal y el ruido [111].

Error porcentual: Para la presente investigación fue definido como la cantidad de desaciertos sobre el total de mediciones.

GHz: *Gigahertz*, es la unidad de medida de la velocidad de señalización de una señal digital, equivalente al número de estados o eventos [112].

GPS: Siglas de sistema de posicionamiento global (por sus siglas en inglés) es un sistema de navegación y posicionamiento basado en 24 satélites alrededor del mundo que transmiten señales con cierta información de posicionamiento a estaciones en tierra para calcular la localización geográfica [10] [64].

IEEE: Es el instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos, por sus siglas en inglés, es una asociación profesional mundial formada en 1957 por la fusión entre AIEE (Instituto Americano de Ingenieros Eléctricos) y la IRE (Instituto de Ingenieros de Radio) [113].

IOS: Antes llamado iPhone OS, es un sistema operativo móvil de Apple desarrollado originalmente para el iPhone y ahora es usado por iPod Touch y tablets [114] [109].

IP: Acrónimo de protocolo de internet, por sus siglas en inglés. Es el protocolo de comunicación de datos que de acuerdo al modelo OSI está en la capa de red [112].

IPS: Es el sistema de posicionamiento en interiores, por sus siglas en inglés[64].

IPv6: Significa protocolo de internet versión 6, por sus siglas en inglés. Es una versión del protocolo de internet IP que en particular proporciona mayor espacio de direcciones, seguridad integrada y mejora la infraestructura de direcciones y enrutamiento [112].

Java: Es un lenguaje de programación de propósito general orientado a objetos, desarrollado en 1991, usado para el desarrollo de aplicaciones bajo la licencia GNU GPL [109].

JB: Significa Jelly Bean, por sus siglas en inglés y es nombre de la versión del sistema operativo Android presentada el 24 de Julio del 2013 [114][115].

MS: Abreviatura de estación móvil, por sus siglas en inglés, es el dispositivo móvil que está habilitado con la tecnología de localización. Puede estar ligado a un objeto o puede ser cargado por una persona [4].

Modelo de dominio: Es la representación visual de las clases conceptuales u objetos del mundo real en un dominio de interés, para ello valiéndose de UML es posible representar el modelo de dominio a través de un diagrama de clases, donde no se define ninguna operación [116].

NIC: Significa tarjeta de interfaz de red, por sus siglas en inglés. Es capaz de establecer una conexión física o inalámbrica de red [1].

Paso: Cada vez que se habla de paso respecto a un algoritmo de localización, se está refiriendo a cada vez que la aplicación calcula la posición actual del usuario que carga su teléfono móvil y lo determina en términos de una coordenada espacial de la forma (x,y). Cada nueva estimación de la localización se considera como un nuevo paso.

Presión atmosférica: Presión que ejerce la atmosfera sobre la superficie de la tierra [97].

RFID: Acrónimo de identificador por radio frecuencia, por sus siglas en inglés [3].

Router: Es un dispositivo que proporciona conectividad a nivel de red al enrutar paquetes de datos entre dos subredes [117].

SDK: Significa kit de desarrollo de software, por sus siglas en inglés, y es el conjunto de herramientas y programas de desarrollo que permiten crear aplicaciones [109].

Senderismo: “Actividad deportiva que consiste en recorrer senderos campestres” [118].

Señales de radio: Tipo de radiación electromagnética que oscila entre las frecuencias de 3 Hz – 300 GHz [119].

SO: Abreviatura de Sistema Operativo. Software de una maquina digital que administra y controla las actividades y recursos [109].

SOAP: Protocolo estándar de acceso a objetos, por sus siglas en inglés, éste define el estándar y la forma en que deben intercambiarse los mensajes utilizando XML [120].

SO Android: Es un sistema operativo diseñado en primera instancia para dispositivos móviles basado en el núcleo de Linux bajo la licencia GNU GPL [62].

SO Windows Phone: Sistema operativo móvil desarrollado por Microsoft como sucesor de Windows Mobile [114].

Servicio web: Es un sistema de software identificado por una URL, cuyas interfaces públicas y enlaces son definidos y descritos usando XML. Esta puede ser descubierta por otros sistemas de software e interactuar de una manera prescrita por su definición, usando mensajes basados en XML transportados por los protocolos de internet [120].

WPAN: Significa red inalámbrica de área personal, por sus siglas en inglés, la cual incluye las redes inalámbricas de corto alcance que por lo general son usadas para conectar dispositivos periféricos de forma inalámbrica [1].

WSN: Significa redes de sensores, por sus siglas en inglés, estas redes están formadas por un grupo de sensores con ciertas capacidades de medición o monitoreo y de comunicación [1].

Anexo 2. Clasificación de la discapacidad visual según el nivel de pérdida

Discapacidad visual según el nivel de pérdida

La clasificación más usual consiste en distinguir entre deficiencias parciales y totales, como:

Ametropía: inadecuada refracción de la luz en el ojo, lo que supone, a su vez, que la imagen visual no se produce en la membrana de la retina y produce visión borrosa. Dentro de esta categoría se encuentran las siguientes patologías: estrabismo, miopía, astigmatismo, hipermetropía y anisotropía.

Ambliopía: visión disminuida originada por una imperfecta sensibilidad de la retina que no se puede corregir ni quirúrgica ni ópticamente. Aun así, estas personas poseen una agudeza visual y un campo visual que se puede utilizar y aprovechar en situaciones de aprendizaje. Existen dos tipos:

1. **Ambliopía Bilateral:** cuando la deficiencia ocurre en ambos ojos.
2. **Ambliopía Monocular:** cuando sólo está afectado uno de los ojos.

En caso de poseer una deficiencia visual total, se suele diferenciar:

1. **Ceguera:** ausencia total de percepción visual y luminosa.
2. **Ceguera funcional:** disminución extrema en la capacidad visual.

Discapacidad visual en función del órgano afectado en oculares y corticales

La pérdida de visión puede tener origen en alteración de alguno de los elementos del globo ocular, llamándose ceguera ocular. Puede originarse también por lesiones occipitales bilaterales, en las que se conserva la integridad de los globos oculares y se le llama ceguera cortical.

Aparte de los defectos de refracción (ametropía), se pueden producir alteraciones en la córnea (leucomas corneales), el cristalino (cataratas), en la retina (desprendimiento, maculopatía, fibroplasia retrolental, retinopatía hipertensiva, etc.) en el cuerpo vítreo, en la úvea y en el nervio óptico (atrofia, hipoplasia, neuritis, etc.). En la Figura 38 se pueden apreciar las partes del ojo.

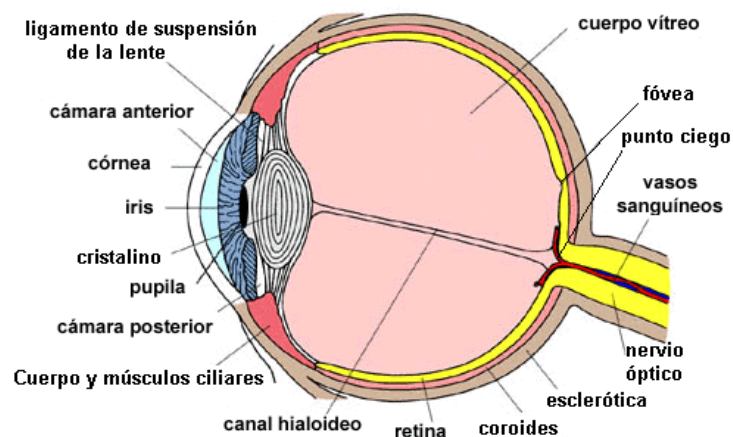


Figura 38. Partes del ojo humano, tomado de [121]

Por otra parte estas alteraciones pueden ser congénitas (anoftalmia, microftalmia, aniridia, glaucoma, cataratas congénitas) por deformación del ojo o adquiridas por alguna enfermedad, traumatismo o envejecimiento.

Anexo 3. Otras tecnologías de localización para navegación en interiores

Estándar IEEE 802.15 [41]

Es el grupo de estándares de comunicación inalámbrica definida por el Instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos (IEEE), para redes personales inalámbricas (WPAN). Los dispositivos y tecnologías que cumplan con este estándar poseen bajo consumo de energía, corto alcance, bajo poder, bajo costo y está presente en redes pequeñas. Hacen parte de este estándar la tecnología de Identificación por radio frecuencia (RFID), la Red inalámbrica de Bluetooth y la Red inalámbrica de Sensores (WSN).

Identificador por radio frecuencia (RFID)

Las tecnologías bajo el estándar IEEE 802.15.4f que contempla a los identificadores de radiofrecuencia RFID por sus siglas en inglés (*Radio Frequency Identification*), se utilizan para rastrear objetivos a través de la radiación de campos electromagnéticos cuyas frecuencias se encuentran entre los 3KHz y 300 GHz [68]. La señal es emitida por un tag RFID y recibida por un lector RFID. Existen tres tipos de tags [4][68]:

Tags activos: Contienen un radio (transmisor o transmisor-receptor) y son típicamente alimentados por una batería interna, lo cual permite un mayor alcance y evita la necesidad de ser advertido o avisado por el lector. La duración de la batería depende exclusivamente de su uso y aplicación.

Tags semipasivos: Son muy similares a los tags pasivos pues funcionan de la misma manera, sin embargo, tienen una pequeña batería cuyo propósito es monitorear las condiciones ambientales u ofrecer un rango mayor para dar más confiabilidad que los tags pasivos. La batería no se utiliza para generar energía de radio frecuencia.

Tags pasivos: El lector RFID envía una señal de radio que es recibida por los tags pasivos presentes en el campo de radio frecuencia del lector. Los tags reciben la señal a través de sus antenas y luego responden transmitiendo la información que tienen almacenada. No poseen batería, así que obtienen la energía para transmitir los datos del campo de radio frecuencia emitido por el lector correspondiente. El tamaño del campo depende de la antena del lector, pero usualmente es de aproximadamente 10 metros. Los lectores RFID pueden estar integrados a dispositivos móviles como teléfonos inteligentes o PDA.

En la Figura 39 se aprecia cómo funcionan todos los tipos de tags RFID.

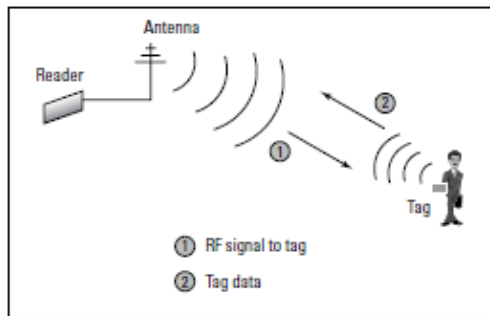


Figura 39. Funcionamiento de tag RFID, tomado de [4]

En caso de querer utilizar un teléfono inteligente como lector de un tag RFID, existen dos opciones: conectar algún dispositivo al celular para que funcione como lector RFID de cualquier tipo de tag o trabajar con el NFC (*Near Field Communication*) integrado en los teléfonos recientes. El estándar NFC utiliza un rango de corto alcance RFID (3 a 4 cm máximo), trabajando sobre la banda de los 13.56 MHz, la cual es denominada de alta frecuencia (HF) [3][6]. Sólo los tags pasivos trabajan sobre esta banda, por ende la tecnología NFC sólo puede trabajar con tags pasivos que operen sobre la banda HF [6].

Red inalámbrica de Bluetooth [58]

El estándar IEEE 802.15.1 presenta una WPAN que utiliza la tecnología inalámbrica denominada Bluetooth. Esta tecnología utiliza un radio de corto alcance que fue optimizado para brindar un ahorro de energía, una operación más adecuada de la batería, un tamaño más pequeño, con el objetivo de ser utilizada en dispositivos personales de bajo peso. La tecnología bluetooth opera en la banda libre de los 2.4GHz mediante comunicación por radio frecuencia.

Los equipos bluetooth se dividen en tres clases de grupos dependiendo de su nivel de potencia:

Clase 1: Su potencia máxima permitida de 20 dBm y un alcance aproximado de 30 metros.

Clase 2: Su potencia máxima permitida de 4 dBm y un alcance aproximado de 5 a 10 metros.

Clase 1: Tiene una potencia máxima permitida de 0dBm y un alcance aproximado de 1 metro.

Red inalámbrica de Sensores (WSN) [43][4]

El estándar IEEE 802.15.4 define el conjunto de redes inalámbricas de bajo poder, y por lo tanto bajos costos en ambientes industriales y caseros. Su objetivo son las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y bajo consumo de energía. Dispositivos como sensores para domótica, *gateways* inalámbricos, *routers*, cargadores inalámbricos, memorias inalámbricas, entre otros, hacen parte de los dispositivos en que se utiliza este estándar. Cada sensor

es un nodo de la red; en algunos casos existe un nodo coordinador que maneja la comunicación entre el resto de nodos.

ZigBee es una tecnología basada en el estándar IEEE 802.15.4, creada por la “ZigBee Alliance for Control and Sensor Networks”. Es un protocolo simple pero flexible que permite alto rendimiento y baja latencia para aplicaciones de pocos ciclos de trabajo. La tecnología ZigBee utiliza la banda de 2.4 GHz y es utilizada en aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías.

La tecnología 6LoWPAN (red de área personal inalámbrica de bajo poder mediante el protocolo IPv6) también está basada en el estándar IEEE 802.15.4, donde una de las principales características es que permite que las redes inalámbricas tengan un bajo consumo y baja velocidad, pudiéndose conectar a través de IPv6 [80].

Código de barras [42]

Así como existe la tecnología RFID, como se mencionó en la sección de Estándar IEEE 802.15 [41], hay otros tipos de tecnología que también cumplen la función de identificación: los códigos de barra. Los códigos de barra unidimensionales y los códigos bidimensionales son representaciones de información que pueden ser leídas por dispositivos especializados y actualmente por teléfonos inteligentes. Originalmente, los datos eran codificados en un arreglo de barras adyacentes y espacios de diferentes anchuras, lo cual se denomina código de barras lineales unidimensionales (1D) y puede ser leído por un lector que requiere una línea de visión directa. Posteriormente, al reemplazar las barras por puntos ahora en una matriz, es posible incrementar la capacidad de almacenamiento de datos, lo cual es denominado código de barras bidimensional (2D). También existen códigos de barras tridimensionales pero no pueden ser utilizados mediante teléfonos inteligentes, así que no se contemplan aquí por no cumplir con la restricción impuesta en la propuesta del Trabajo de Grado.

Los códigos QR y los BIDI hacen parte de los bidimensionales, pero se han diferenciado comercialmente ya que los segundos no son de código libre, mientras que los QR sí [69].

Anexo 4. Otras variables de localización para navegación en interiores

Variables de localización [4][43][44]

Dependiendo de cada técnica de localización y las respectivas tecnologías utilizadas, existen diversos métodos o algoritmos que permiten administrar la información proporcionada por tales dispositivos para estimar la localización de una persona u objeto. Cada uno de esos métodos hace uso de una o varias variables que permiten hacer mediciones y posteriormente aplicar los cálculos correspondientes. A continuación se exponen algunas otras variables que son utilizadas con el propósito de determinar la localización de una persona en interiores:

- 1. Distancia de Proximidad:** Mide la cercanía a un conjunto conocido de puntos. La variable física exacta usada para la proximidad es diferente para cada tecnología, y la distancia estimada depende de ello. Entre más cerca esté la tecnología utilizada al dispositivo cargado por la persona u objeto, se puede deducir que su posición es la misma que aquella donde está ubicada esa tecnología.
- 2. Tiempo de llegada (TOA):** Hace uso del tiempo que le toma a una señal viajar desde la tecnología que la emite hasta el dispositivo cargado por la persona u objeto, o viceversa. Este tiempo puede ser convertido en distancia al multiplicarlo por la velocidad de propagación de la señal en el espacio.
- 3. Ángulo de llegada (AOA):** Es el ángulo entre la dirección de propagación de la señal y alguna dirección de referencia, que es conocida como orientación. AOA utiliza antenas sensibles a la dirección (hacen parte de las tecnologías) para determinar la dirección (y el ángulo) de la señal emitida. La posición del dispositivo que carga la persona u objeto es estimada al encontrar la intersección entre diferentes trayectorias de propagación de la señal.
- 4. Diferencia en el tiempo de llegada (TDOA):** Es muy similar a TOA, pero en vez de las mediciones exactas que requieren relojes sincronizados de alta resolución tanto en la tecnología como en el dispositivo cargado por la persona u objeto, mide la diferencia en los tiempos de transmisión entre las señales recibidas. TDOA es usada para estimar la distancia entre la tecnología y el dispositivo.
- 5. Tiempo de vuelo (TOF):** Mide el tiempo transcurrido en una transmisión entre el dispositivo cargado por la persona u objeto y la tecnología, basado en la velocidad estimada de propagación de una señal típica. Las señales son enviadas con tiempos de partida conocidos, así que el dispositivo conoce el TOF.

- 6. Tiempo de ida y regreso (RTT):** Utiliza el tiempo total entre la emisión de una señal desde la tecnología hasta que ella misma recibe el ACK.

Anexo 5. Otros métodos de localización para navegación en interiores

Cada método de localización utiliza una o más variables para determinar la localización. Adicionalmente, estos métodos se asocian a diversos algoritmos que están directamente relacionados con la implementación que se haga. A continuación se exponen otros métodos utilizados para localización en interiores.

Trilateración

Puede estimar la posición de una persona u objeto si se conoce la distancia a tres ubicaciones diferentes, como se muestra en la Figura 40.

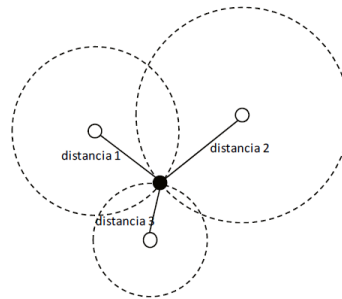


Figura 40. Representación gráfica de la trilateración, tomado de [43]

La Multilateración es similar a la triangulación pero se utilizan más de tres ubicaciones.

Triangulación

Puede estimar la posición de una persona u objeto si se conoce la distancia entre dos ubicaciones y los ángulos que se forman entre ellas, y una tercera ubicación. También puede estimarse la posición si se conocen los tres ángulos que son formados por tres posiciones dadas, como lo ilustra la Figura 41.

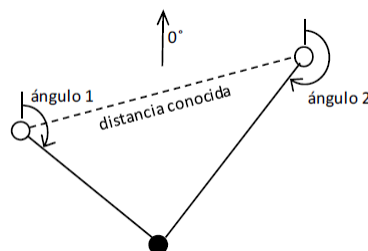


Figura 41. Representación gráfica de la triangulación, tomado de [43]

Detección de proximidad

A través de la medición de la distancia de proximidad entre cada sensor y la estación móvil, es posible determinar la localización de la segunda a partir de la distancia más corta.

Vecino más cercano

Se utilizan las relaciones con los vecinos para estimar una posición. Se puede utilizar cualquier variable de localización pues se desea conocer algún dato que permita deducir la cercanía de la estación móvil cargada por una persona u objeto, a un sensor ubicado en algún lugar de la edificación.

Anexo 6. Otros trabajos relacionados en torno al tema de Localización en interiores***DRec: Exploring Indoor Navigation with an Un-Augmented Smart Phone (Dekel, Schiller) [81]***

La investigación realizada en Jerusalén encaminó sus esfuerzos a generar un sistema de posicionamiento en interiores que sólo utilizara una aplicación para teléfono inteligente Iphone 3GS, programada en Objective C mediante el SDK iPhone 3.1.2. La aplicación utiliza la técnica de navegación inercial para el posicionamiento, así que inicialmente se vale del acelerómetro para almacenar los datos entregados por los tres ejes mientras el usuario camina, con el objetivo de identificar el patrón en la forma de caminar de esa persona. Esta fase posibilita la calibración de los pasos de la persona que permitirá saber cuánto mide aproximadamente una “zancada” o paso; esto se usa después para determinar la distancia recorrida por una persona. Para esto, establecieron que la persona debía llevar el teléfono inteligente en su mano y no en el bolsillo u otro lugar, pues ello afectaría la medición incurriendo en errores de precisión. Posteriormente para realizar la localización, entra en funcionamiento el magnetómetro que mide la dirección de la brújula del teléfono inteligente con el fin de conocer la orientación del usuario en un momento dado. De esta manera, conociendo previamente la medida de los pasos dados por la persona, sería posible contabilizar la cantidad de “zancadas” hechas en un recorrido y por ende estimar la nueva posición y orientación del usuario.

Para evaluar la precisión del sistema propuesto, los autores realizaron dos tipos de pruebas: una para medir la distancia recorrida y otra para rastrear el camino seguido por la persona y verificar en qué grado concordaba ello con la realidad. Con la primera prueba se obtuvo un 90% de precisión, mientras que con la segunda se reportó una exactitud de aproximadamente el 94%.

An accelerometer based approach for indoor localization (Ching-Hsien Hsu, Chia-Hao Yu) [84]

Los autores presentan un esquema de posicionamiento basado en la utilización de un acelerómetro, cuyo objetivo es estimar el desplazamiento de un objeto. Se asegura que dadas unas coordenadas iniciales de un objeto, es posible estimar su posición final de acuerdo a la dirección y magnitud del desplazamiento (información entregada por el acelerómetro). El algoritmo utilizado para el cálculo de la posición se basa en la teoría de Newton.

Para la implementación hecha se utilizó el acelerómetro Hitachi H48C de 3 ejes, mediante el cual se convierten las señales análogas en digitales para poder obtener el valor de la aceleración. Este acelerómetro se ubicó en un robot construido por los investigadores para probar la precisión de su sistema.

Los resultados arrojados por las pruebas realizadas con el acelerómetro demostraron que el margen de error de la coordenada calculada era de aproximadamente 10 metros. También concluyeron que

no se requirió un gran costo y que la rapidez de obtención de la coordenada en tiempo real era de aproximadamente 0.002 segundos.

Towards mobile phone localization without war-driving (Lonut Constandache, Romit Roy Choudhury, Injong Rhee) [82]

Esta investigación se centra en formular una alternativa para los practicantes del senderismo que necesitan un sistema de localización que tenga un bajo consumo de energía, ya que en los lugares apartados donde se practica este deporte, no es efectivo utilizar el GPS por un tiempo prolongado por su alto consumo de energía y tampoco es posible acceder a una red Wifi, que podría permitir desarrollar un sistema de localización a partir de la medición de las RSS. Para solucionar este inconveniente, los autores proponen usar un sistema de navegación inercial que se sincroniza periódicamente con el GPS y de esta forma, limitar el consumo de energía eléctrica desde la batería, disminuyendo el uso de Wifi y el GPS. Se valen del acelerómetro del teléfono móvil y el magnetómetro para medir la velocidad y la orientación del usuario móvil. Los datos tomados en tiempo real con estos sensores son comparados con segmentos de rutas del mapa del lugar que se almacenaron con anterioridad con el objetivo de identificar los patrones que caracterizan la forma de caminar de una persona. Este mapa es descargado de un servidor en el momento de la localización, y de acuerdo a los datos obtenidos se hace una aproximación del lugar o coordenada donde se encuentra el usuario. Sin embargo, estas estimaciones se van corrigiendo periódicamente con el uso del GPS pues buscan obtener puntos de referencia y calibrar el algoritmo debido a que los sensores de los teléfonos inteligentes pueden llegar a ser poco confiables por los ruidos que provocan interferencias, lo cual hace que se acumulen los errores de estimación. Adicionalmente, para la estimación del desplazamiento de una persona se utiliza la fórmula de Haversine ya que, con las fórmulas convencionales dentro de un plano cartesiano, no es posible determinar la ubicación por la curvatura que presenta la tierra.

Como producto de esta investigación se desarrolló un prototipo al que llamaron “CompAcc”, el cual reportó un margen de error de menos de 11m. En éste se destaca la identificación de patrones en la forma de caminar del usuario ya que permitió disminuir los errores presentados cuando la persona cambia su dirección en la trayectoria. No obstante, el sistema propuesto no soluciona problemas como el desvío de una persona del sendero, la necesidad de hacer saltos y subir o bajar escaleras.

Using smartphones for indoor navigation (Marshall, Dietz) [71]

Brandeis Marshall y James Dietz realizaron un trabajo referente a la navegación en espacios cerrados a través del uso de teléfonos inteligentes. En primera instancia, diseñaron una aplicación móvil para un iPhone 4 que utilizaba únicamente navegación inercial para la localización. Para tal propó-

sito utilizaron los sensores presentes en este celular: acelerómetro digital de tres ejes y giroscopio de tres ejes. Debieron crear y modificar un filtro que dependía directamente de las características de los sensores de ese teléfono inteligente, con el fin de minimizar la tasa de error obtenida en el momento de tomar las mediciones. Para evaluar la aplicación trabajaron con varias personas, observando el desfase entre la información entregada al usuario y su posición real. Los resultados obtenidos no fueron buenos ya que la precisión en la localización arrojó un error de aproximadamente 200%. Según sus análisis, esto podría deberse a la baja calidad de los sensores, por ejemplo el acelerómetro en el iPhone, el cual no es muy preciso para detectar aceleraciones pequeñas.

La segunda parte del trabajo se centró en la utilización de tags RFID para proveer también una localización en espacios cerrados, mediante el lector RFID que contiene el celular inteligente Samsung Nexus-S. En este caso, se localizaba a la persona en un mapa generado a partir de los planos de la edificación, de acuerdo a la información entregada por los tags RFID dispuestos estratégicamente en las intersecciones de la edificación y en las puertas. Los tags guardaban información de su ubicación: latitud, longitud, número del piso, entre otros. Estos tags debían ser escaneados por el celular inteligente que lleva consigo la persona, permitiendo la aplicación del método de detección de proximidad. Este método deduce que la persona está ubicada en aquella coordenada donde está ubicado el tag ya que se acercó lo suficiente para que fuera detectado por el lector. Según los resultados expuestos en este trabajo, se pudo localizar a las personas satisfactoriamente.

An Indoor Positioning System for a First Responder in an Emergency Environment (Gong Bo Moon, Moon Beom Hur, Gyu-In Jee) [76]

Cuando ocurre un incendio dentro de una edificación, los bomberos deben atender la emergencia y conducir rápidamente a las personas hacia un lugar seguro o simplemente a la salida. Sin embargo, estos lugares son desconocidos por los bomberos y adicionalmente, la presencia de humo dificulta la ubicación de salidas y rutas de evacuación del sitio. Por tal motivo esta investigación tiene como objetivo proponer un sistema de localización en interiores que permita a los bomberos encontrar rápidamente rutas de salida. Para ello se valen de Access Points Portables (PAP) basados en el estándar IEEE 820.15.4a y que cargan los bomberos.

La arquitectura del sistema se describe a continuación: Al exterior de la edificación se dispone una unidad de control que se encarga de recolectar información, calcular la posición de los bomberos y monitorear sus recorridos. Esta estación de monitoreo se vale de un sistema externo de posicionamiento como el GPS para determinar su latitud y longitud, que será el punto de referencia para todo el sistema. Luego, algún bombero coloca dos AP en la entrada del lugar. Finalmente, cada bombero

que va a entrar a la edificación, lleva consigo un conjunto de PAP que dejará ubicados en algún punto del suelo a lo largo de su recorrido. Por su parte, los PAP están constituidos por dos interfaces: una llamada anchor que emite RSS que serán recibidas por los demás PAP, y otra interface que recibe las RSS de los demás PAP, llamada tag.

El sistema utiliza un método de mapeo y localización simultánea llamado SLAM, el cual abarca todo el proceso y funciona de la siguiente manera: La estación base posee una latitud y longitud que le provee el GPS, lo cual es posible puesto que está afuera de la edificación. Esta estación se encarga de calcular la distancia a la que están los PAP a través del filtro extendido de Kalman (EKF) que traduce los datos enviados por los PAP a medidas de latitud y longitud; además, el EKF también calcula un margen de error de la estimación de las coordenadas. Pero los PAP no son ubicados por los bomberos en cualquier lugar, ya que la estación base le comunica a esta persona que ubique uno en el piso cuando los que lleva consigo poseen un margen de error de ubicación que sobrepasa un umbral. De esta forma, se coloca un nuevo PAP cuando el sistema lo requiere para no perder comunicación dentro de su red. Este requerimiento puede tomar lugar ya que los PAP se están comunicando entre sí gracias a sus dos interfaces, como se muestra en la Figura 42.

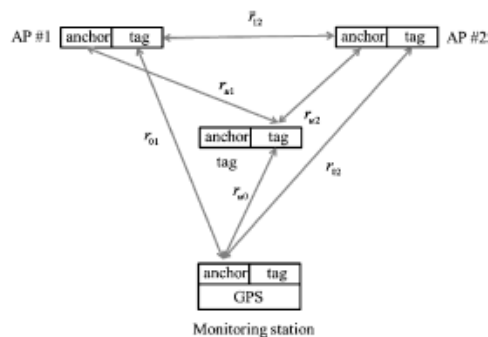


Figura 42. Componentes del sistema, tomado de [76]

De este modo, los PAP envían señales a los demás cercanos, obteniendo sus direcciones MAC y sus señales RSS, además del valor de la variable TDOA que se enviará a la estación de monitoreo para que sea ella la que calcule la posición aproximada de cada PAP. Dado lo anterior, se deduce que no sería posible saber la posición de un bombero si durante todo el recorrido no lleva consigo un PAP, por eso es necesario que por lo menos se quede con uno de ellos y los demás los distribuya en el suelo del lugar.

La forma en que el bombero puede entonces dirigir a las personas a la salida es a través de un mapa que la estación central le envía. Este mapa es construido a partir de la información que tiene la esta-

ción acerca de las coordenadas de cada AP, así que traza los caminos entre cada uno de ellos; sin embargo, los autores no hacen énfasis respecto a la parte de la generación del mapa.

La investigación reporta finalmente un rango de error aproximado de 3 m.

Security Visiting_RFID-Based Smartphone Indoor Guiding System (Hong Zeng, Jianhui Zhang, Guojun Dai, Zhigang Gao, Haiyang Hu) [70]

El objetivo de esta investigación es proponer un sistema de seguridad orientado a los visitantes (SVG) de laboratorios o edificaciones que son muy transcurridas por personas ajenas, el cual permite guiarlos a través de su teléfono inteligente y así poder encontrar fácilmente su lugar de destino (lugar donde se encuentra la persona con la cual se reunirá). Este sistema es seguro en la medida en que sólo provee la información relevante para el visitante sin permitirle conocer otras rutas; así mismo, protege la privacidad de los datos del lugar y provee determinados permisos de acceso a sitios específicos. El sistema también hace seguimiento a objetos en caso de pérdida, dando aviso a las personas de seguridad sobre aquellos que salen de la edificación sin previo consentimiento. Para el rastreo de los objetos, se requiere que estos contengan un tag activo RFID.

SVG cuenta con un servidor que previamente almacena información de la edificación, como el plano digital y los datos de los residentes. Además, allí se guardan los datos del visitante en el momento de su ingreso a la edificación, a través del sistema.

El proceso se lleva a cabo de la siguiente manera: en el momento en que un visitante llega y solicita entrar a la edificación, el sistema solicita sus datos y envía una petición de confirmación al residente con el cual se quiere reunir. Cuando éste acepta, inmediatamente se le genera el código QR que tiene la información de cómo llegar hasta el lugar donde se encuentra el residente. Para enviar la petición, el sistema debe primero ubicar al residente dentro del lugar.

Cuando el visitante ya posee su código en su teléfono inteligente, una aplicación procesa ese código y descarga del servidor sólo la información necesaria para comenzar el proceso de ubicación y enrutamiento hacia el lugar de destino donde se encuentra el residente. El enrutamiento busca el camino más óptimo para conducir al usuario.

Para la ubicación, dentro del edificio se disponen unos lectores RFID a lo largo de los pasillos cada 3 m. Estos lectores pueden recibir las señales emitidas por los tags activos RFID. Estos tags están presentes en dos situaciones: por una parte están en los objetos que se pretenden rastrear (como se mencionaba anteriormente), y por otra parte hay un tag que lleva consigo el visitante, y que se supone debe recibir en el momento del ingreso (esto no se especifica en la investigación). De este modo, la localización se hace mediante el tag activo que lleva el visitante y el lector que reporta al

sistema la información del usuario, mediante su identificación a través del uso del método de detección de proximidad. Cuando el usuario con el tag está cerca de un lector ubicado en la edificación, éste recibe los datos de identificación y los envía al servidor que está haciendo el rastreo.

Cada lector contiene la información de dónde se encuentra ubicado, es decir, tiene el nombre del área donde éste está situado pues esa información se le enviará al servidor que monitorea el camino recorrido por el visitante. Después el servidor le comunica al teléfono inteligente la posición del visitante, para que la aplicación le siga mostrando el camino. Sin embargo, no todo el tiempo la localización se hace de esa manera; sólo cuando la distancia entre el visitante y el residente es menor que un umbral propuesto por los autores, el sistema pone en funcionamiento la localización mediante el uso de RFID, ya que antes de ello (desde el ingreso del visitante y la ubicación del residente) se utiliza el método de posicionamiento basado en el rastro y la trilateración, aprovechando la existencia de las redes inalámbricas presentes en la mayoría de las edificaciones donde se toman las RSS emitidas por los AP.

Mediante el sistema SVG se logra un margen de error entre 0.5 y 3 m en la ubicación.

A WiFi-aided reduced inertial sensors-based navigation system with fast embedded implementation of particle filtering (M. M. Atai, M. J. Korenberg, A. Noureldim) [73]

Los autores proponen el uso conjunto del Wifi y un sistema inercial de sensores reducidos (RISS) para determinar la localización de un robot en interiores. Para ello utilizan dos técnicas: el uso de la red inalámbrica de WLAN-Wifi, a través del método de posicionamiento basado en el rastro y la navegación inercial. La primera técnica hace uso del método del vecino más cercano (K-NN), mientras que la segunda requiere un algoritmo basado en los filtros de Kalman (FK), al que se le denomina filtro de partículas mezcladas (FP) y utiliza la información provista por un dispositivo que cuenta con 3 sensores: acelerómetro, giroscopio y odómetro.

Por su parte, el método de posicionamiento basado en el rastro toma previamente las RSS emitidas por los AP presentes en un lugar cerrado y las guarda en una base de datos. La medición en cada coordenada se hace una única vez durante la fase de calibración o recolección de datos. Luego, en la fase de localización, se utiliza el método K-NN, el cual determina las k coordenadas que está más cerca al punto actual donde se encuentra el robot, después de hacer la comparación de RSS medidas en tiempo real con las RSS tomadas en la fase de calibración.

La navegación inercial toma las k coordenadas resultantes del método de posicionamiento basado en el rastro mediante el uso de Wifi, y asocia un peso a cada una de ellas, de acuerdo a la aplicación del FP el cual utiliza la información de los sensores del dispositivo. Como resultado, se obtiene la

coordinada donde es más posible que el robot se encuentre en la fase de localización (en tiempo real). De esta manera se integran las dos técnicas y se busca disminuir los problemas de precisión derivados del giroscopio y el odómetro, filtrar los valores atípicos y dispersos proporcionados por el ruido del Wifi, y por último, aplicar esta solución de navegación a un sistema CPU con recursos limitados.

Para probar su propuesta, los autores dan órdenes al robot para que se mueva cierta cantidad de metros en diferentes direcciones, pero el sistema no tiene conocimiento de ello, pues se utiliza para rastrear al robot y evaluar la precisión obtenida. De esta manera, se logró obtener un margen de error de 1.6 m el 70% de las veces. En el peor caso el margen de error fue de 2.97 m.

Bluetooth indoor positioning (Anja Bekkelien) [19]

Esta investigación de maestría aborda la problemática de la localización de personas en interiores a través del uso de la red inalámbrica Bluetooth, mediante el método basado en el rastro. Para ello fue necesario ubicar dispositivos que emiten señal a máximo 10 m, categorizados en la clase 2. Se utilizaron dispositivos Bluetooth Nokia BH-105.

Durante la fase de calibración, es necesario tomar y almacenar en una base de datos los valores de la huella de cada coordenada en diferentes momentos y en diferentes direcciones, ya que el autor asegura que esto puede afectar considerablemente las mediciones. En este sentido, entonces adopta el método de posicionamiento basado en el rastro, aplicando el teorema de Bayes y la regresión del método del vecino más cercano (K-NN). A partir de estos dos métodos, en la fase de localización en tiempo real, el sistema propuesto determina la coordenada donde es más probable que se encuentre la persona. Para poder evidenciar esto, el autor utilizó una API de mapas que fue desarrollada por otro grupo de investigación de su Universidad (Geneva en Suiza).

A través de una aplicación desarrollada para teléfono inteligente con SO Android, se administra la primera fase de toma de señal emitida por los dispositivos Bluetooth, y se visualiza gracias al manejo de la API de mapas. Posteriormente para la localización, también la aplicación es la responsable de evidenciar gráficamente la posición del usuario en tiempo real.

El autor realizó las pruebas correspondientes en diferentes entornos como hospitales y museos, tomando 8 veces las mediciones en las coordenadas que se definieron cada 2 m en una cuadrícula ubicada sobre el mapa del lugar. El margen de error obtenido fue de 1.5 m.

LocateMe: Magnetic-Fields-Based Indoor Localization Using Smartphones (Kalyan Pathapati Subbu, Brandon Gozick, Ram Dantu) [22]

Los autores de esta investigación utilizan la variación del campo magnético terrestre al interior de las edificaciones con el fin de identificar el lugar donde pueda encontrarse una persona que cuenta con el magnetómetro de un celular inteligente. Para este fin, descubren que la presencia de materiales ferromagnéticos como el acero y el hierro, al interior de las edificaciones, permite la existencia de un comportamiento único, el cual es almacenado en una base de datos. De esta forma, al pasar enfrente de una viga, una puerta, un ascensor, una baranda u otros objetos estáticos que posean materiales ferromagnéticos, es posible encontrar un conjunto de valores del campo magnético que identifican el lugar donde está ese objeto. Esto implica que la huella (*fingerprint*) asociada a un lugar no es un sólo valor sino un conjunto de campos magnéticos.

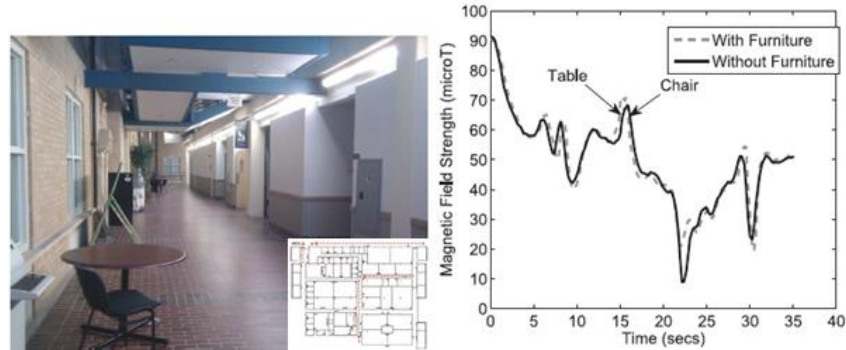


Figura 43. Comportamiento del campo magnético, tomado de [22]

En la Figura 43 es posible observar que las sillas y mesas no producen anomalías significativas en el campo magnético pues podrían no estar constituidas por materiales ferromagnéticos o tener una proporción muy pequeña de estos. Adicionalmente, en la parte derecha se observa la figura del conjunto de valores del campo asociados al pasillo mostrado en la parte izquierda.

La toma de huellas en los diferentes lugares, sin embargo, supone un difícil reto ya que el sensor del teléfono inteligente puede tomar secuencias diferentes de valores del campo magnético en una misma trayectoria dependiendo de la velocidad con que se camine. El magnetómetro podría perder la medición de algunos valores por el hecho de hacer muy rápidamente una trayectoria; así, podría pasar que no siempre se obtenga exactamente la misma huella o secuencia de puntos al pasar enfrente de un mismo objeto. Para minimizar la tasa de error que esta situación genera, los autores utilizaron el algoritmo de clasificación dinámico basado en la distorsión del campo magnético en el tiempo (DTW Dynamic time warping) que busca determinar si una secuencia de campos obtenidos

en tiempo real tiene una gran similitud con una secuencia almacenada en la base de datos en la fase previa de calibración, así no sea exactamente igual.

Los autores contemplaron las anomalías del campo magnético por causas naturales y determinaron que la variación del campo magnético no se ve afectada considerablemente en un período de un año. Por este motivo sugieren calibrar el rastro del campo magnético cada año.

De esta forma lograron determinar la localización correcta de una persona en el 80% de las veces, y manejando firmas de objetos que miden entre 2 y 6 m. De este modo concluyen que esto es suficiente determinar lugares específicos dentro de un pasillo.

Para determinar la localización de una persona se necesita de la previa asociación de las firmas a los objetos de la edificación y posteriormente necesitan que una persona se desplace en la edificación con su teléfono inteligente durante unos segundos para que el programa logre determinar su ubicación inicial buscando la firma correspondiente al lugar y obtener como resultado la posición en metros de la persona.

Beep: 3D Indoor Positioning Using Audible Sound (Atri Mandal, Cristina V. Lopes, Tony Givargis, Amir Haghighat, Raja Jurdak, Pierre Baldi) [79]

Esta investigación centra su atención en un sistema, llamado Beep, el cual es poco costoso y sencillo de desplegar para proveer localización en interiores. Se asegura que la mayoría de sistemas conocidos son poco útiles para la mayoría de las personas en razón a que utilizan hardware especializado que no es fácilmente accesible. Por ello, el sistema de esta investigación se basa en ondas sonoras disponibles en todos los dispositivos y para ello utiliza métodos estándar de multilateración 3D.

El sistema utiliza una palm para la localización, que mediante las ondas sonoras, elimina la necesidad de infraestructura adicional para los usuarios finales; además, sólo funciona bajo el método de demanda, es decir que sólo realiza el cálculo de la posición cuando el usuario lo solicita.

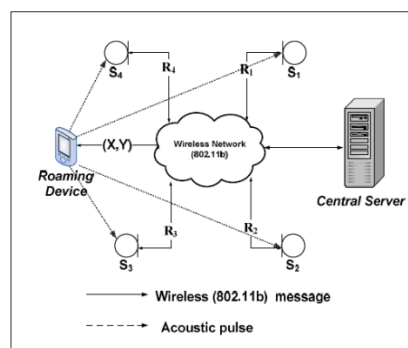


Figura 44. Componentes de Beep, tomado de [79]

Como se aprecia en la Figura 44, Beep posee una arquitectura en la cual la palm, HP iPAQ (HP 5550), se comunica con micrófonos Labtec Verse 333 conectados a computadores de escritorio que sirven como sensores acústicos (s_i) (mediante una red inalámbrica) los cuales se conectan a un servidor central Pentium que recibe la información necesaria para realizar los cálculos a través de los métodos de multilateración. Cada uno de estos sensores acústicos tiene una unidad de procesamiento, una tarjeta de red y el micrófono mediante el cual se detectan las señales acústicas. Cada dispositivo se identifica dentro de la red gracias a su dirección IP. El modo en que se calcula la localización es el siguiente: cuando un usuario solicita su localización, su Palm se sincroniza con los sensores acústicos mediante la red inalámbrica y transmite una señal acústica predefinida. Así, los sensores detectan esa señal utilizando filtros digitales especializados y hacen un estimado del tiempo de llegada de la señal (time-of-flight). Ese tiempo es traducido a una distancia al multiplicarlo por la velocidad del sonido. Las distancias calculadas por cada sensor son reportadas al servidor central, quien sabiendo las coordenadas de ubicación de cada sensor, aplica el método de multilateración 3D para determinar las coordenadas del usuario y reportarlas a su Palm. La multilateración realiza los mismos procedimientos que la trilateración, pero no se basa en medidas absolutas sino en diferencias de distancia entre nodos que están en posiciones conocidas y que emiten señales en instantes de tiempo que también son conocidos.

Los resultados arrojados por las pruebas demostraron que Beep reportó una precisión de aproximadamente 91 cm en más del 95% de los casos en planos 3D, mientras que la precisión en planos 2D fue de 61 cm en más del 97% de los casos.

The Cricket Indoor Location System (Priyantha) [78]

Un ejemplo del uso de sensores inalámbricos para desarrollar soluciones que permitan localizar y rastrear tanto objetos como personas es Cricket, propuesto por Priyantha y otros estudiantes del MIT quienes desarrollaron un elemento de hardware que permite ubicar elementos móviles o estáticos, así como personas. Cada uno de esos elementos es denominado unidad o nodo, el cual está equipado con sensores y puede comunicarse inalámbricamente con otros nodos distribuidos en una edificación. Dentro del lugar se disponen algunos nodos fijos (baliza) que tienen previo conocimiento de sus coordenadas; en caso de requerir extender la cobertura, sólo se necesita añadir un nuevo nodo, haciéndolo parte de la red de sensores. El nuevo nodo baliza no sabría de antemano su posición, pero, podría calcularla a través del intercambio de mensajes con otros nodos baliza.

En este sistema cada nodo está atento a la aparición de un nodo móvil (denominado cricket) para notificarlo a los otros nodos de la red de sensores. Para tal trabajo, cada nodo cuenta con un mi-

cro controlador o procesador Atmega128L que hace posible la ejecución de los distintos algoritmos utilizados para determinar la localización. Adicionalmente, el nodo cuenta con un puerto serial RS232 mediante el cual es posible conectarlo con computadores. El cricket envía mensajes de ultrasonido a los nodos baliza cercanos, solicitando conocer su posición. Con las respuestas obtenidas, éste puede inferir su posición utilizando triangulación y la el valor de la variable TDOA de la notificación, la cual le da un valor aproximado de la distancia entre él y los nodos baliza. Luego, cada nodo baliza que intercambié mensajes con el cricket, también comunica a todos los nodos baliza de la red sobre la posición de ese nodo móvil.

Los nodos se sitúan en lugares estratégicos de la edificación en las paredes y el techo. Sin embargo, si una persona desea rastrear objetos o personas, debe conectar uno de los nodos a un computador para poder visualizar la información que está siendo transmitida en la red de sensores. Adicionalmente, una persona que quiere saber su propia localización, debe llevar consigo un cricket conectado a algún dispositivo móvil como una PDA, para conocer la información de la red de sensores.

Después de probar el sistema, se reportó un margen de error de 10 cm de distancia y 3 grados de orientación en la localización.

Properties of Indoor Received Signal Strength for WLAN Location Fingerprinting (Kamol Kae-marungsi, Prashant Krishnamurthy) [45]

Los autores de la investigación hacen énfasis en los sistemas de localización basados en el rastreo que usan Wifi bajo el estándar IEEE 802.11b, ya que resulta ser uno de los métodos más fácil de implementar en comparación con métodos que usan variables como AOA y TDOA. No obstante, pese a ser uno de los métodos menos complejos, muchos investigadores que lo implementan sufren los mismos tropiezos y por este motivo en esta investigación se hace énfasis en los errores más comunes a la hora de usar el método de posicionamiento basado en el rastreo mediante Wifi. Para este caso la toma de señales se hizo a través de la tarjeta de red (NIC) de un computador portátil.

Adicionalmente, los autores de esta investigación, quisieron evaluar varias situaciones que pueden afectar las mediciones de RSS. Primero se enfocan en averiguar el efecto que puede tener la medición de las RSS en presencia del usuario, luego investigan el efecto de la orientación del usuario en las mediciones y por último estudian las propiedades de las mediciones de RSS emitidas desde múltiples AP.

Respecto a la primera parte compararon la señal dejando el portátil solo tomando las medidas en un lapso de dos horas, y posteriormente en presencia del usuario. Se obtuvo que la desviación estándar de las medidas creció de 0.68 dBm a 3 dBm, pudiendo concluir que sí existe un efecto que debe

tenerse en cuenta y por tanto el usuario siempre debe estar presente cuando se hagan las mediciones durante la fase de calibración.

Luego se analizó el efecto que produce tomar los valores de RSS en un punto, pero en diferentes orientaciones o direcciones respecto a un AP. Esto se estudió ya que se afirma que la señal emitida por el AP es absorbida por el cuerpo humano (dado que se compone en un 70% por agua), lo cual genera una atenuación extra. Los resultados arrojaron que en el peor de los casos puede dejarse de recibir la señal por la obstrucción del cuerpo, o podría llegar a atenuarse hasta en 9.32 dBm, dependiendo de si existe o no línea de visión (LOS) entre el usuario y el AP. Por este motivo, concluyeron que la orientación de la persona al tomar los valores de RSS también debe ser tomada en cuenta en la fase de calibración.

Finalmente, respecto a las propiedades de la RSS, afirmaron que la señal no tiene propiedades estacionarias, es decir que la señal no es siempre igual en el mismo punto durante largos períodos de tiempo. Se concluyó que era necesario tomar varias medidas en un punto en distintas horas del día.

Como es necesario tomar varias veces las muestras de RSS en cada posición debido a los problemas de fluctuación de la señal, los autores escogieron el método del valor promedio dada su menor complejidad respecto a métodos probabilísticos. Así, se obtienen dos vectores, uno que es almacenado en la fase de calibración con los valores promedio de la RSS emitida por cada AP en cada posición, y el vector que contiene las mediciones en tiempo real. Para determinar la localización del usuario, los autores utilizan el método de la distancia euclidiana, arrojando que la localización estimada será aquella cuya distancia es menor. En este caso es un error recurrente cuando se almacenan unos únicos valores de cada punto en el mapa del radio mas no el promedio de ellos, ya que la señal recibida en cada punto puede variar en cierta medida por factores externos.

Con esta información clara, se procedió a realizar la prueba de concepto donde se contempló lo siguiente: el número de pisos dentro de la edificación, el área de cada uno de los pisos, el número de canales sin solapamiento (*non-overlapping*) de los AP de acuerdo a su tecnología IEEE 802.11b, el uso del mismo modelo de AP en toda la edificación, la sensibilidad de la señal recibida por la tarjeta de red WLAN (que limita el rango RSS). Se tomaron muestras en 4 lugares (**L1,L2,L3,L4**) cada hora, durante 4 horas, contando con 3 AP (4 lugares x 4 horas x 3 AP = 48) para un total de 48 muestras de RSS.

Integración de un sistema de posicionamiento indoor en aplicaciones SIG para dispositivo móvil (Laia Descamps-Vila, A. Pérez-Navarro , Jordi Conesa) [13]

Este trabajo hace un minucioso estudio sobre las actuales técnicas de localización en interiores y llega a la conclusión de que la mejor opción es utilizar redes inalámbricas WIFI para poder ubicar a una persona a través de un teléfono inteligente. Los autores desarrollaron una aplicación para SO Android llamada Visit@ que integra el uso del GPS para localizar en exteriores (mediante el sistema Itiner@), y el sistema Wifislam que a través de una API, permite su integración con otras aplicaciones con el objetivo de realizar la ubicación en interiores. Wifislam utiliza el método de posicionamiento basado en el rastro para estimar la localización del usuario a través de la medición de las RSS emitidas por los AP ubicados en un lugar. Además utiliza una aproximación a la navegación inercial pues usa el acelerómetro y giroscopio para mejorar la precisión de la aplicación; el acelerómetro se usa para determinar el momento en que el usuario se empieza a mover y el giroscopio para corregir la orientación de la persona. En la Figura 45 se evidencia la arquitectura del sistema.

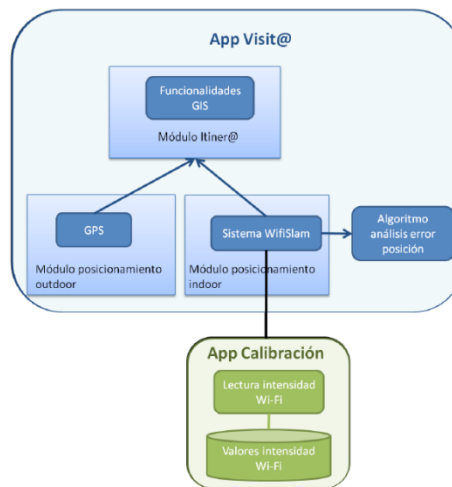


Figura 45. Arquitectura de Vist@, tomado de [13]

El propósito de esta investigación era brindar una aplicación que pudiera localizar de forma transparente a un usuario estando en un exterior o en un interior. Para ello, se basaron en proveedores de mapas como Google Maps y *Open Street Maps* para los exteriores; sin embargo, para los interiores se hizo necesario tener acceso a los planos de la edificación.

Los resultados de la prueba piloto realizada con la aplicación Vist@ arrojaron márgenes de error de más de 2 m en interiores.

Accurate WLAN Indoor Localization Based on RSS Fluctuations Modeling (Shih-Hau Fang, Tsung-Nan Lin) [74]

Este trabajo se centra en determinar la localización de personas en espacios cerrados a partir de la RSS emitida por un AP, mediante el método de posicionamiento basado en el rastro. Para alcanzar este objetivo, consideran los siguientes factores: el ruido y “*multipath effect*” o efecto de las trayectorias múltiples. Este efecto explica que existen múltiples caminos que puede tomar la señal emitida por un AP al encontrarse con un sin número de obstáculos estáticos y dinámicos (no previstos).

De este modo se propone un algoritmo que procesa las RSS para determinar la localización de la siguiente manera: Primero se provee un modelo de convolución para caracterizar o describir el efecto de las trayectorias múltiples, bajo el supuesto de que la RSS medida es la superposición de la línea de visión (LOS) y copias de la misma señal con retrasos en el tiempo debido a la presencia de los obstáculos que hacen que su trayectoria pueda cambiar parcialmente. La secuencia de RSS temporales es transformada en un dominio de espectro logarítmico donde las múltiples trayectorias puedan ser vistas como variables aditivas aleatorias. Luego de ello, los autores obtienen el promedio resultante de ese dominio para dar un valor al efecto “*multipath*”. En el segundo paso, se aplica la transformada discreta de Karhunen-Loeve (KL) para minimizar el ruido provocado por la interferencia de otras señales con las RSS que son medidas por el teléfono inteligente.

Se aplica entonces el posicionamiento basado en el rastro tradicional, y se toman varias muestras en un mismo punto debido a la fluctuación de la señal; sin embargo, antes de almacenar los valores de RSS en cada posición, se aplican los dos pasos mencionados previamente para reducir el efecto de múltiples trayectorias y el ruido.

Para la prueba de concepto se tomaron en cuenta los 8 AP cuya potencia era más fuerte, dentro de un área de 30 m x 23 m, y recolectaron 50 muestras de RSS en cada una de las 86 posiciones separadas por 1 m de distancia. Se logró determinar con una probabilidad de 81.9% la posición donde se encontraba el usuario, con un margen de error de 2 m.

TraceMe: Indoor Real-Time Location System (Silva, Paralta, Caldeirinha, Rodrigues) [49]

Esta investigación dilucida el problema que presentan las técnicas de posicionamiento en exteriores como el uso del GPS y de las redes de telefonía móvil. Por ello, los autores utilizan la tecnología RFID para solventar el problema en interiores y poder localizar tanto personas como objetos. Se realizó un prototipo cuyo propósito, era implementar el sistema propuesto y lograr la mínima intervención del usuario en su operación, a través de las siguientes características:

1. Precisión adecuada para localizar una persona o un objeto en un área.

2. Localización y visualización de objetos y personas en tiempo real.
3. Generación de un sistema de alarma en tiempo real.

La arquitectura del sistema propuesto se muestra a continuación y evidencia que la localización es monitoreada por una persona que utiliza un computador de escritorio a través de un sitio web, mediante la cual puede rastrear la posición de la persona que debe llevar consigo un tag RFID (esta persona no conoce su localización, sino aquella que accede al sistema por la página web). Ese tag es identificado por alguno de los lectores que está ubicado en la edificación, el cual le envía la información al Servidor TraceMe (vía Ethernet) para que lo muestre gráficamente a la persona que está monitoreando desde su computador, como lo demuestra la Figura 46.

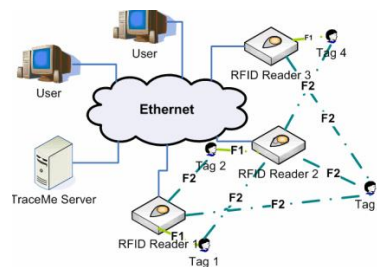


Figura 46. Componentes de TraceMe, tomado de [49]

Para la construcción del sistema se usaron dos tecnologías: lectores RFID y Tags activos RFID, cuya información se introduciría a los algoritmos diseñados por los autores utilizando triangulación. Como resultado, los autores afirman que las pruebas que evaluaban el funcionamiento del sistema fueron exitosas y que se cumplieron las expectativas de localización y visualización en tiempo real.

SoundLoc: Acoustic Method for indoor Localization without infrastructure (Jia, Jin, Spanos) [122]

Los autores construyeron un sistema de localización a nivel de cuartos o salones que explota las características intrínsecas de los cuartos individuales y obvia la necesidad de infraestructura adicional para la edificación. No obstante, se plantea que tanto áreas cerradas (cuartos) como abiertas (corredores, entre otros) pueden ser igualmente caracterizadas aunque haya una mayor presencia de ruido. De acuerdo a su planteamiento, las propiedades acústicas de los cuartos pueden ser caracterizadas por el RIR (Respuesta del cuarto al impulso); sin embargo, al obtener la acústica necesaria para generar la huella de un lugar, es posible captar ruido que afectaría el proceso, por tanto, los investigadores proponen un algoritmo de extracción adaptativa del ruido sobre la reverberación (NAER) para reducir el impacto de tal ruido. Esta investigación propone el uso de los micrófonos y altavoces de los computadores portátiles para hacer el proceso de calibración y localización, propios del método de posicionamiento basado en el rastro.

El objetivo de la investigación es proponer un método de localización a nivel de cuartos o áreas que permita hacer un adecuado manejo de energía en las edificaciones. Se afirma que los actuales sistemas que buscan saber si hay presencia en algún lugar para determinar la iluminación, son muy costosos. Con ellos se pretende saber cuándo hay personas en las diferentes áreas de una edificación para controlar eficientemente la energía, resultando en un importante ahorro.

Se obtuvo un porcentaje de precisión del 97.8% haciendo la prueba en 10 áreas o cuartos diferentes y haciendo el proceso de calibración, tomando más de 1000 muestras en esos lugares, en diferentes horas del día y diferentes condiciones.

Anexo 7. Entrevistas aplicadas a personas con diferentes grados de discapacidad visual

En la Tabla 17, Tabla 18, Tabla 19, Tabla 20, Tabla 21, Tabla 22, Tabla 23 y Tabla 24 se encuentran los datos de cada persona entrevistada y posteriormente las respuestas a cada una de las preguntas formuladas.

Persona 1

Fecha	Junio 13 de 2014
Género	Masculino
Edad	39
Grado de discapacidad visual	Invidente

Tabla 17. Información de la persona 1

Preguntas

- ¿Cuántas horas al día (entre 7 AM y 7 PM) se encuentra por fuera de su vivienda?
Eso depende de la época del año, pues soy profesor, así que si estoy trabajando, es un promedio de 8 horas por fuera.
- ¿Con qué frecuencia a la semana, va usted a lugares desconocidos como: Teatros, Centros Comerciales, Centros públicos, etc.?
Rutinariamente me desplazo en lugares que conozco bien. No voy regularmente solo a lugares que no conozco.
- ¿Suele visitar estos lugares en compañía de una persona? ¿Por qué?
Sí. Quizás no me siento muy seguro yendo solo. Por ejemplo si tengo que ir a un banco que no conozco y voy sin compañía, y no encuentro cerca a alguien que me ayude, me puedo perder fácilmente.
- Cuando se siente desorientado en un lugar, estando solo ¿Qué suele hacer usted? ¿Llama en busca de alguien que le colabore?
Lo que uno hace es pararse a tratar de ubicarse por donde venía o esperar a que pase alguien para pedir el favor de que lo ayude a uno. El oído a uno le funciona casi como un radar, así que fácilmente se percibe si hay alguien cerca. Sin embargo, si no pasara alguien, hay técnicas de movilidad para los ciegos: busca uno una pared y con el bastón la va rastreando a ver si de pronto da con la puerta o da con una escalera. Uno se desubica pero no se pierde para siempre en un lugar. Y eso ocurre también con frecuencia en exteriores.
- ¿Qué puntos de referencia suele encontrar en lugares cerrados?

Las puertas es lo primero que uno busca. También los tapetes en las entradas de los edificios son un punto de referencia. Los ascensores, las escaleras, las texturas de los pisos: si es un poquito rugoso, si tiene granito.

6. ¿Se siente seguro y tranquilo al desplazarse en lugares cerrados desconocidos? ¿Por qué?
Cuando tenía 20 años, era mucho más hábil y me ubicaba muy bien; sin embargo me he vuelto un poco inseguro y creo que eso tiene que ver con el paso del tiempo. Así que me serviría mucho la aplicación.
7. Según su experiencia, cuando usted está en el proceso de reconocer un nuevo lugar ¿Cuántas veces necesita recorrerlo para sentirse seguro?
Eso depende del lugar ya que hay sitios que se conocen muy fácilmente. Hay lugares donde funciona bien el eco y eso me ayuda a ubicarme más fácilmente. Por ejemplo en la Javeriana, mi novia me acompaña máximo 2 veces a un lugar nuevo y ya después yo voy solo.
8. ¿Siente usted alguna diferencia cuando se desplaza en lugares cerrados o abiertos? ¿Cuál?
Claro. El lugar abierto tiene sus dificultades también para transitar pero el oído te funciona mejor, pero cuando el lugar es muy cerrado, es complicado pero si lo conoces no hay problema.
 - a. ¿Cuántas horas al día (entre 7 AM y 7 PM) se encuentra dentro de lugares cerrados diferentes a su vivienda?
Podrían ser 6 ó 7 horas, mientras no me esté desplazando entre estos lugares donde trabajo, en varias universidades.
 - b. ¿Siente usted autonomía al desplazarse dentro de lugares cerrados? ¿Por qué?
Desde que lo conozca, no tendría ningún problema para desplazarme.
 - c. ¿Qué problemas presenta al caminar en lugares cerrados?
Para uno de ciego es más complicado cuando los corredores son anchos. También en lugares donde no hay rampa es más complicado. Igualmente encontrar las escaleras, los ascensores, la puerta de salida, los baños, en una universidad los salones. Prefiero utilizar escaleras en vez de los ascensores, pero si uso un ascensor donde no se sube gente (para poder preguntar en qué piso voy) y los números no están en sistema Braille, la situación se complica.
9. ¿Requiere usted de herramientas que le ayuden a moverse en lugares cerrados? ¿Cuáles? (Bastón o perro guía).
Siempre utilizo bastón para desplazarme, es fundamental, en lugares abiertos y cerrados.

- a. ¿De acuerdo a la herramienta utilizada, qué problemas presenta cuando se desplaza en espacios cerrados?

Si el ciego es diestro en manejar su bastón, va a salir adelante. El problema es si no sabe cómo se utiliza. Eso tiene un entrenamiento.

10. ¿Presenta dificultad para encontrar lugares específicos dentro de una edificación? ¿Cuáles?

Baños, escaleras.

- a. ¿Suele pedir ayuda a una persona para encontrar un lugar dentro de una edificación?

Si me siento desubicado, lo primero que hago es pedir ayuda.

11. ¿Tiene dificultades para encontrar elementos dentro de un lugar cerrado? ¿Cuáles?

Claro, pero si es tu casa eso depende de con quién vives y qué tan organizado seas.

- a. ¿Qué tipo de elementos busca dentro de un lugar cerrado?

En mi casa busco muchas cosas pero siempre sé dónde están. En lugares ajenos busco sillas, mesas para escribir. Así que si la aplicación te dice que hay una silla a la izquierda, eso sería una maravilla. O por ejemplo en oficinas, busco el mostrador donde esté la secretaria.

12. ¿Cuenta usted con un celular de gama alta?

No. Me gusta ser muy ambientalista así que tengo un celular de los antiguos, además me preocupa comprar un teléfono de esos y que me lo roben, lo cual sería ponerme en riesgo. Pero sé que muchos ciegos los tienen.

- a. En caso afirmativo, ¿Qué usos le da al celular aparte de hacer llamadas?

No aplica.

- b. En caso negativo, ¿Tiene usted la posibilidad de adquirir un celular de gama alta?

Sí.

- i. ¿Adquiriría usted un celular de gama alta?

Sí, por ejemplo para desplazarme en interiores lo adquiriría.

13. Suponiendo que se encuentra en un lugar cerrado y desconocido ¿Cómo cree que un teléfono inteligente podría ayudarle a ubicarse? Ejemplo: enterarse acerca de las salidas, baños, cuartos, salas, ascensores, escaleras, número del piso, etc.

Digamos me gustaría poder saber dónde está el baño en cualquier lugar porque a veces no hay personas disponibles para colaborar con eso. También sería muy útil si me pudiera

decir el piso en que está el baño. O llegar perfectamente a un mostrador para solicitar algo.

14. ¿A qué distancia le parecería prudente que se le avisara cuando está cerca de un lugar?

Eso depende del lugar pero podría ser un metro.

15. ¿Cómo quisiera que el teléfono le comunicara el lugar donde se encuentra ubicado?

Por voz, o podría ser un sistema de vibraciones donde yo sepa que una vibración es baño, dos significa escalera, etc. También por pitidos o podría decirme ¡peligro! si me encuentro cerca por ejemplo a una escalera. Hay unos lectores de pantalla como JAWS, y en la página www.convertic.com

16. ¿Qué otra funcionalidad de una aplicación móvil esperarías y cree que le podría ayudar a usted respecto al tema de localización en interiores?

Lo que comenté anteriormente de poder llegar a un lugar, sería muy interesante.

También si la aplicación me puede avisar cuando hay un obstáculo con el que me puedo golpear.

Persona 2

Fecha	Junio 21 de 2014
Género	Masculino
Edad	21
Grado de discapacidad visual	Invidente

Tabla 18. Información de la persona 2

Preguntas

1. ¿Cuántas horas al día (entre 7 AM y 7 PM) se encuentra por fuera de su vivienda?

Todo el día.

2. ¿Con qué frecuencia a la semana, va usted a lugares desconocidos como: Teatros, Centros Comerciales, Centros públicos, etc.?

Una vez a la semana.

3. ¿Suele visitar estos lugares en compañía de una persona? ¿Por qué?

Depende porque hay lugares que son de difícil acceso. Entonces prefiero ir con alguien. Son de difícil acceso porque hay obstáculos en el piso: bolardos, árboles, postes. Además en algunos de esos lugares casi no hay personas entonces si uno se desubica, no puede pedir ayuda.

4. Cuando se siente desorientado en un lugar, estando solo ¿Qué suele hacer usted? ¿Llama en busca de alguien que le colabore?

Sí claro. Uno llama a alguien cercano y le pregunta.

5. ¿Qué puntos de referencia suele encontrar en lugares cerrados?

Puertas, baños.

6. ¿Se siente seguro y tranquilo al desplazarse en lugares cerrados desconocidos? ¿Por qué?

En los que son de difícil acceso sí me da miedo por un golpe con los obstáculos que puedan existir.

7. Según su experiencia, cuando usted está en el proceso de reconocer un nuevo lugar ¿Cuántas veces necesita recorrerlo para sentirse seguro?

Una sola vez es necesaria y luego ya uno puede llegar solo y encontrar el camino para volver.

8. ¿Siente usted alguna diferencia cuando se desplaza en lugares cerrados o abiertos? ¿Cuál?

Sí es muy clara la diferencia porque en los lugares cerrados se escucha mucho el eco y se sienten muchas cosas a tu alrededor.

- a. ¿Cuántas horas al día (entre 7 AM y 7 PM) se encuentra dentro de lugares cerrados diferentes a su vivienda?

Pues la verdad no paso mucho tiempo en lugares cerrados.

- b. ¿Siente usted autonomía al desplazarse dentro de lugares cerrados? ¿Por qué?

Sí claro. Desde que sea conocido.

- c. ¿Qué problemas presenta al caminar en lugares cerrados?

Los obstáculos y el eco. Por ejemplo en un centro comercial que hay mucha gente pues se siente demasiado ruido y colocan música y hay mucha bulla. Entonces se encierra el eco y tú no te puedes desplazar bien porque el ciego se desplaza mediante el oído.

9. ¿Requiere usted de herramientas que le ayuden a movilizarse en lugares cerrados? ¿Cuáles? (Bastón o perro guía).

Sí, uso bastón desde los 16 años que empecé a salir solo.

- a. ¿De acuerdo a la herramienta utilizada, qué problemas presenta cuando se desplaza en espacios cerrados?

No, ninguna.

10. ¿Presenta dificultad para encontrar lugares específicos dentro de una edificación? ¿Cuáles?

Sí, cuando no hay cerca alguna persona que conozca la edificación. Eso pasa con los baños que es lo que uno más necesita.

- a. ¿Suele pedir ayuda a una persona para encontrar un lugar dentro de una edificación?

Cuando uno no conoce el lugar, sí, lo primero que se hace es pedir ayuda a alguna persona.

11. ¿Tiene dificultades para encontrar elementos dentro de un lugar cerrado? ¿Cuáles?

No. Suelo ser muy organizado, entonces yo sé dónde dejo mis cosas.

- a. ¿Qué tipo de elementos busca dentro de un lugar cerrado?

No aplica.

12. ¿Cuenta usted con un celular de gama alta?

No. Uno normal.

- a. En caso afirmativo, ¿Qué usos le da al celular aparte de hacer llamadas?

No aplica.

- b. En caso negativo, ¿Tiene usted la posibilidad de adquirir un celular de gama alta?

Sí pero no tan inteligente, que tenga un lector de pantalla.

- i. ¿Adquiriría usted un celular de gama alta?

Sí, pero uno no tan avanzado.

13. Suponiendo que se encuentra en un lugar cerrado y desconocido ¿Cómo cree que un teléfono inteligente podría ayudarle a ubicarse? Ejemplo: enterarse acerca de las salidas, baños, cuartos, salas, ascensores, escaleras, número del piso, etc.

Me ayudaría si yo le pudiera decir quiero ir al baño y el teléfono lo guiara para llegar. También sería útil que le dijera a uno donde está.

14. ¿A qué distancia le parecería prudente que se le avisara cuando está cerca de un lugar?

Dependería del lugar, pero yo pienso que dos metros, por ejemplo.

15. ¿Cómo quisiera que el teléfono le comunicara el lugar donde se encuentra ubicado?

Sería útil por voz.

16. ¿Qué otra funcionalidad de una aplicación móvil esperaría y cree que le podría ayudar a usted respecto al tema de localización en interiores?

Lo que les comentaba antes de dirigirme a un lugar.

Persona 3

Fecha	Junio 21 de 2014
Género	Femenino
Edad	40

Tabla 19. Información de la persona 3

Preguntas

1. ¿Cuántas horas al día (entre 7 AM y 7 PM) se encuentra por fuera de su vivienda?
Todo el día porque yo estudio y trabajo.
2. ¿Con qué frecuencia a la semana, va usted a lugares desconocidos como: Teatros, Centros Comerciales, Centros públicos, etc.?
Frecuentemente porque tengo que ir a tiendas a comprar cosas.
3. ¿Suele visitar estos lugares en compañía de una persona? ¿Por qué?
A veces. Mi esposo me acompaña a lugares que usualmente no conozco.
4. Cuando se siente desorientado en un lugar, estando solo ¿Qué suele hacer usted? ¿Llama en busca de alguien que le colabore?
Sí. Uno coloca a funcionar bien el oído para esperar a que pase una persona a la que se le pueda preguntar.
5. ¿Qué puntos de referencia suele encontrar en lugares cerrados?
Por ejemplo yo empiezo a memorizar cada lugar por donde paso para saber por dónde debo salir. Tengo en cuenta a cuántos metros de la puerta paso, si volteo a la derecha o a la izquierda.
6. ¿Se siente seguro y tranquilo al desplazarse en lugares cerrados desconocidos? ¿Por qué?
Pues a veces me crea cierta ansiedad porque mi esposo me genera inseguridad y me dice que no debo ir a ciertos lugares sola, así que no siempre me siento totalmente tranquila.
7. Según su experiencia, cuando usted está en el proceso de reconocer un nuevo lugar ¿Cuántas veces necesita recorrerlo para sentirse seguro?
Tres veces creo que son suficientes para poder ubicarme. Hay compañeros ciegos que no tienen muy buena retentiva entonces les debe costar un poco más.
8. ¿Siente usted alguna diferencia cuando se desplaza en lugares cerrados o abiertos? ¿Cuál?
Sí claro. En un lugar cerrado sé que me puedo golpear pero estoy protegida. En cambio, en lugares abiertos estoy expuesta a todo.
 - a. ¿Cuántas horas al día (entre 7 AM y 7 PM) se encuentra dentro de lugares cerrados diferentes a su vivienda?
Como medio día por lo que estudio.
 - b. ¿Siente usted autonomía al desplazarse dentro de lugares cerrados? ¿Por qué?

Si lo conozco bien pues me siento más segura, sin embargo siento esa ansiedad que les comentaba cuando no conozco bien.

- c. ¿Qué problemas presenta al caminar en lugares cerrados?

Si el lugar es desconocido la primera barrera es la necesidad de preguntar a alguien para pedir ayuda. Quisiera uno ver para no tener que pedir el favor porque si bien hay personas que quisieran hasta llevarte cargado a donde necesitas, hay otros que ni siquiera responden.

Cuando tú te presentas con un bastón a veces piensan que vas a mendigar y no a pedir el favor de que te ubiquen o te lleven a algún lugar.

9. ¿Requiere usted de herramientas que le ayuden a movilizarse en lugares cerrados? ¿Cuáles? (Bastón o perro guía).

Yo siempre utilizo bastón.

- a. ¿De acuerdo a la herramienta utilizada, qué problemas presenta cuando se desplaza en espacios cerrados?

Cuando uno utiliza el bastón que no tiene rueda es más difícil para detectar los huecos porque lo que hace el bastón es introducirse y enredarse, y luego te hace alzar cuando se enreda con el pecho.

El otro problema es que el bastón no te protege la cara de las señales de tránsito, los teléfonos, el templete (ese cable que colocan formando un triángulo con el poste y el piso)... ese obstáculo es mortal.

10. ¿Presenta dificultad para encontrar lugares específicos dentro de una edificación? ¿Cuáles?

Sí. El baño es un lugar muy importante y uno a veces se impacienta mucho cuando las personas no colaboran.

- a. ¿Suele pedir ayuda a una persona para encontrar un lugar dentro de una edificación?

Sí. Eso es lo primero que toca hacer para poder llegar a un lugar particular.

11. ¿Tiene dificultades para encontrar elementos dentro de un lugar cerrado? ¿Cuáles?

Sí, a veces en mi casa mi esposo me cambia las cosas de lugar, pero es cuestión de que a uno le avisen en dónde le dejan las cosas para que uno no tenga problemas con eso.

- a. ¿Qué tipo de elementos busca dentro de un lugar cerrado?

En mi casa pues busco de todo, en la cocina para barrer, planchar, cocinar... yo hago de todo.

12. ¿Cuenta usted con un celular de gama alta?

No.

a. En caso afirmativo, ¿Qué usos le da al celular aparte de hacer llamadas?

No aplica.

b. En caso negativo, ¿Tiene usted la posibilidad de adquirir un celular de gama alta?

Sí.

i. ¿Adquiriría usted un celular de gama alta?

Sí, quisiera tenerlo en un futuro.

13. Suponiendo que se encuentra en un lugar cerrado y desconocido ¿Cómo cree que un teléfono inteligente podría ayudarle a ubicarse? Ejemplo: enterarse acerca de las salidas, baños, cuartos, salas, ascensores, escaleras, número del piso, etc.

Me serviría si fuera como una brújula que yo la activara desde que llego a un lugar para que me dijera norte, sur, oriente, occidente. Y pues claro que me serviría que me diera puntos de referencia... si por ejemplo tengo a la derecha un baño y con eso ya sabría que al salir está a mi izquierda.

14. ¿A qué distancia le parecería prudente que se le avisara cuando está cerca de un lugar?

Quizás podría ser a dos metros.

15. ¿Cómo quisiera que el teléfono le comunicara el lugar donde se encuentra ubicado?

Sería útil si me pudiera decir por voz las indicaciones.

16. ¿Qué otra funcionalidad de una aplicación móvil esperarías y cree que le podría ayudar a usted respecto al tema de localización en interiores?

Sería muy bueno si sirviera como un perro guía.

Persona 4

Fecha	Junio 24 de 2014
Género	Masculino
Edad	40
Grado de discapacidad visual	Invidente

Tabla 20. Información de la persona 4

Preguntas

1. ¿Cuántas horas al día (entre 7 AM y 7 PM) se encuentra por fuera de su vivienda?

Básicamente todo el día por fuera porque trabajo en varias partes.

2. ¿Con qué frecuencia a la semana, va usted a lugares desconocidos como: Teatros, Centros Comerciales, Centros públicos, etc.?

Cada ocho días.

3. ¿Suele visitar estos lugares en compañía de una persona? ¿Por qué?
Si no lo conozco, sí prefiero ir con alguien para que me ayude a ubicar las cosas y mientras uno hace el recorrido virtual y hace el mapa del sitio.
4. Cuando se siente desorientado en un lugar, estando solo ¿Qué suele hacer usted? ¿Llama en busca de alguien que le colabore?
En ese caso uno pregunta a alguna persona la dirección exacta, pero casi no me pasa porque tengo buena movilidad. Uno se orienta por los puntos cardinales, entonces pregunta para poder volver a retomar la ubicación.
5. ¿Qué puntos de referencia suele encontrar en lugares cerrados?
Sí, cuando frecuento algún sitio bastante, lo referencio por lugares cercanos que tenga. También rampas, postes, bajadas, escaleras, o incluso uno usa como referencia la textura de las paredes. En caso de que no haya nada, pues uno pregunta.
6. ¿Se siente seguro y tranquilo al desplazarse en lugares cerrados desconocidos? ¿Por qué?
Para sentir seguridad, prefiero ir acompañado a esos lugares desconocidos para que me ayuden a ubicar por primera vez. Entonces uno suele ir más precavido, midiendo todos los espacios y no se siente totalmente la seguridad, sino hasta que uno se va acostumbrando al sitio.
7. Según su experiencia, cuando usted está en el proceso de reconocer un nuevo lugar ¿Cuántas veces necesita recorrerlo para sentirse seguro?
De 2 a 3 veces yo lo asimilo y lo memorizo. Entonces es un proceso rápido.
8. ¿Siente usted alguna diferencia cuando se desplaza en lugares cerrados o abiertos? ¿Cuál?
Sí, el espacio cerrado se siente porque el sonido choca con algún obstáculo y esa onda sonora se devuelve, en cambio en lugares abiertos esa onda se desplaza más y quizás no vuelve. Así uno también identifica los corredores, las esquinas. Igualmente el bastón sirve para identificar cuándo está uno en un lugar cerrado o abierto, porque cuando el bastón sigue derecho y no toca la pared, ahí uno sabe que ha llegado a un espacio abierto. También por el aire, pues si uno no siente que le choca de frente, sabe que entonces hay pared y está en un lugar cerrado.
 - a. ¿Cuántas horas al día (entre 7 AM y 7 PM) se encuentra dentro de lugares cerrados diferentes a su vivienda?
Como más de medio día mientras estoy en la universidad y otros lugares

- b. ¿Siente usted autonomía al desplazarse dentro de lugares cerrados? ¿Por qué?
Sí, yo pienso que tengo buena movilidad. Tuve la posibilidad de aprender las técnicas de movilidad y ponerlas en práctica en un instituto entonces aprendí muy bien cómo desplazarme. Ahí la cuestión es de práctica y experimentar para aprender a defenderse.
- c. ¿Qué problemas presenta al caminar en lugares cerrados?
De pronto cuando le cambian a uno las cosas de lugar, por ejemplo una silla, y en general algún obstáculo que uno no tenía previsto y luego se presenta entonces eso es una complicación.
9. ¿Requiere usted de herramientas que le ayuden a movilizarse en lugares cerrados? ¿Cuáles? (Bastón o perro guía).
Sí, yo uso bastón.
- a. ¿De acuerdo a la herramienta utilizada, qué problemas presenta cuando se desplaza en espacios cerrados?
No, pues accidentes normales, cuando uno va con su bastón, digamos alguien se enreda o se lo pisa, y lo terminan partiendo. Por eso es mejor tenerlo siempre paralelo al cuerpo y cerca de uno para evitar esos problemas.
10. ¿Presenta dificultad para encontrar lugares específicos dentro de una edificación? ¿Cuáles?
No. Desde que sepa dónde está ubicado el lugar, pues no hay problema y se defiende. Pero uno usualmente busca el ascensor pero si no lo conozco, pues pregunto, pero si ya lo conozco, ya sé cómo llegar.
- a. ¿Suele pedir ayuda a una persona para encontrar un lugar dentro de una edificación?
No aplica.
11. ¿Tiene dificultades para encontrar elementos dentro de un lugar cerrado? ¿Cuáles?
No, desde que no le cambien a uno los elementos de lugar o que le indiquen si hacen algún cambio, no tengo problemas con eso.
- a. ¿Qué tipo de elementos busca dentro de un lugar cerrado?
No aplica.
12. ¿Cuenta usted con un celular de gama alta?

No, yo tengo un celular con el programa que se llama Talk que se instala a algunos teléfonos Nokia. Ese programa que a usted lo habla todo, le lee mensajes, las opciones, etc. Pero esos teléfonos ya no salen al mercado.

- a. En caso afirmativo, ¿Qué usos le da al celular aparte de hacer llamadas?

No aplica.

- b. En caso negativo, ¿Tiene usted la posibilidad de adquirir un celular de gama alta?

Pues sí, dependería del costo del teléfono pero uno analizaría ese tema.

- i. ¿Adquiriría usted un celular de gama alta?

Si tuviera disponible la parte económica y ya fuera necesario cambiar el que tengo, sí sería bueno empezar a conocer uno de esos celulares.

13. Suponiendo que se encuentra en un lugar cerrado y desconocido ¿Cómo cree que un teléfono inteligente podría ayudarle a ubicarse? Ejemplo: enterarse acerca de las salidas, baños, cuartos, salas, ascensores, escaleras, número del piso, etc.

Yo me imagino que sería interesante tener un teléfono que le indique a uno cómo llegar a los sitios fácilmente.

14. ¿A qué distancia le parecería prudente que se le avisara cuando está cerca de un lugar?

Digamos 2 ó 3 pasos para uno poder rápidamente saber hacia dónde dirigirse.

15. ¿Cómo quisiera que el teléfono le comunicara el lugar donde se encuentra ubicado?

Tendría que ser auditivamente o por vibraciones.

16. ¿Qué otra funcionalidad de una aplicación móvil esperarías y cree que le podría ayudar a usted respecto al tema de localización en interiores?

Por ejemplo que no sea necesario usar el bastón sino que el teléfono le indicara a uno el lugar a donde llega o que le dijera la ruta para llegar a otro lado.

Persona 5

Fecha	Julio 29 de 2014
Género	Masculino
Edad	30 ~ 40
Grado de discapacidad visual	Visión baja (sombras)

Tabla 21. Información de la persona 5

Preguntas

1. ¿Cuántas horas al día (entre 7 AM y 7 PM) se encuentra por fuera de su vivienda?

La mayor parte del día, ya que tengo clases en el CRAC desde las 7 AM hasta las 6 PM.

2. ¿Con qué frecuencia a la semana, va usted a lugares desconocidos como: Teatros, Centros Comerciales, Centros públicos, etc.?
Casi todos los días y siempre procuro ir acompañado.
3. ¿Suele visitar estos lugares en compañía de una persona? ¿Por qué?
Sí, pues aún no domino el bastón y estoy aprendiendo en las clases de movilidad.
4. Cuando se siente desorientado en un lugar, estando solo ¿Qué suele hacer usted? ¿Llama en busca de alguien que le colabore?
Sí, suelo acudir a alguien que me indique el lugar donde estoy o hacia dónde debo ir de acuerdo al lugar que esté buscando.
5. ¿Qué puntos de referencia suele encontrar en lugares cerrados?
Por supuesto, con frecuencia suelo recordar las cosas que hayan y los obstáculos con los que me tropecé en ocasiones anteriores, como bolaridos, jardines, andenes, etc.
6. ¿Se siente seguro y tranquilo al desplazarse en lugares cerrados desconocidos? ¿Por qué?
No, ya que es necesario contar con la previa guía de alguien para no tropezarse con las cosas ni sufrir algún percance.
7. Según su experiencia, cuando usted está en el proceso de reconocer un nuevo lugar ¿Cuántas veces necesita recorrerlo para sentirse seguro?
El reconocimiento suelo hacerlo en compañía de alguien que me indique cómo es el camino y me advierta sobre qué cosas puedo encontrar como la posición de una escalera, una bicicleta o un jarrón.
8. ¿Siente usted alguna diferencia cuando se desplaza en lugares cerrados o abiertos? ¿Cuál?
Sí, la luz, el viento.
 - a. ¿Cuántas horas al día (entre 7 AM y 7 PM) se encuentra dentro de lugares cerrados diferentes a su vivienda?
Dado el horario de la institución, suelo estar la gran mayoría del tiempo en el CRAC.
 - b. ¿Siente usted autonomía al desplazarse dentro de lugares cerrados? ¿Por qué?
Sí, tengo algunas dificultades.
 - c. ¿Qué problemas presenta al caminar en lugares cerrados?
En este momento estoy asistiendo al CRAC para aprender a desplazarme con el bastón dado que no soy muy diestro.

9. ¿Requiere usted de herramientas que le ayuden a movilizarse en lugares cerrados? ¿Cuáles? (Bastón o perro guía).

Sí, estoy aprendiendo a usar el bastón.

- a. ¿De acuerdo a la herramienta utilizada, qué problemas presenta cuando se desplaza en espacios cerrados?

A veces me tropiezo con los bolardos y las canales en el piso, que son cosas difíciles de identificar.

10. ¿Presenta dificultad para encontrar lugares específicos dentro de una edificación? ¿Cuáles?

Por supuesto, me suele pasar con cualquier punto de interés como un baño, la biblioteca, un departamento, etc.

11. ¿Suele pedir ayuda a una persona para encontrar un lugar dentro de una edificación?

Sí. Siempre le pregunto a alguien para que me oriente.

12. ¿Cuenta usted con un celular de gama alta?

No, tengo un nokia C2.

- a. En caso afirmativo, ¿Qué usos le da al celular aparte de hacer llamadas?

No aplica.

- b. En caso negativo, ¿Tiene usted la posibilidad de adquirir un celular de gama alta?

Sí, dependiendo de su costo y utilidad.

- i. ¿Adquiriría usted un celular de gama alta?

Sí.

13. Suponiendo que se encuentra en un lugar cerrado y desconocido ¿Cómo cree que un teléfono inteligente podría ayudarle a ubicarse? Ejemplo: enterarse acerca de las salidas, baños, cuartos, salas, ascensores, escaleras, número del piso, etc.

Me gustaría que me avisara sobre el lugar donde se encuentra el baño, si fuera un baño público pues me gustaría saber con anterioridad el lugar de la tasa y el orinal.

14. ¿A qué distancia le parecería prudente que se le avisara cuando está cerca de un lugar?

Podría ser a 10 ó 15 metros.

15. ¿Cómo quisiera que el teléfono le comunicara el lugar donde se encuentra ubicado?

Sería muy bueno si fuera por voz.

16. ¿Qué otra funcionalidad de una aplicación móvil esperarías y crees que le podría ayudar a usted respecto al tema de localización en interiores?

Me gustaría algo que me permita saber qué personas están cerca, por ejemplo si la persona con la que estoy hablando está acompañada o si estoy con alguien en un paradero.

Persona 6

Fecha	Julio 29 de 2014
Género	Masculino
Edad	25 ~ 35
Grado de discapacidad visual	Invidente

Tabla 22. Información de la persona 6

Preguntas

1. ¿Cuántas horas al día (entre 7 AM y 7 PM) se encuentra por fuera de su vivienda?

Paso todo el día fuera de mi casa, por ejemplo estoy en el CRAC desde las 7 AM y estoy llegando a mi casa a las 10PM.
2. ¿Con qué frecuencia a la semana, va usted a lugares desconocidos como: Teatros, Centros Comerciales, Centros públicos, etc.?

Frecuentemente porque tengo que tomar el bus en los paraderos y no los conozco.
3. ¿Suele visitar estos lugares en compañía de una persona? ¿Por qué?

No, siempre voy solo, me siento seguro.
4. Cuando se siente desorientado en un lugar, estando solo ¿Qué suele hacer usted? ¿Llama en busca de alguien que le colabore?

Sí, uno le pide la colaboración a alguien que le ayude a guiarse.
5. ¿Qué puntos de referencia suele encontrar en lugares cerrados?

Yo suelo aprenderme la dirección hacia la cual debo dirigirme, y si no, le pregunto a alguien.
6. ¿Se siente seguro y tranquilo al desplazarse en lugares cerrados desconocidos? ¿Por qué?

Me siento tranquilo, no tengo ningún problema.
7. Según su experiencia, cuando usted está en el proceso de reconocer un nuevo lugar ¿Cuántas veces necesita recorrerlo para sentirse seguro?

Con cuatro veces es suficiente.
8. ¿Siente usted alguna diferencia cuando se desplaza en lugares cerrados o abiertos? ¿Cuál?

Los huecos. En un lugar abierto es común encontrar huecos mientras que en un lugar cerrado no. Por ejemplo el día de ayer tuve un accidente saliendo del CRAC frente al paradero y es extraño porque siempre paso por ahí.

- a. ¿Cuántas horas al día (entre 7 AM y 7 PM) se encuentra dentro de lugares cerrados diferentes a su vivienda?

Por ahora, paso gran parte del día en el CRAC.

- b. ¿Siente usted autonomía al desplazarse dentro de lugares cerrados? ¿Por qué?

Sí, me siento tranquilo y no me tomo las cosas con afán.

- c. ¿Qué problemas presenta al caminar en lugares cerrados?

No, no tengo problemas si conozco el lugar, de lo contrario me pasarían los problemas comunes. Por ejemplo, si voy pasando por un pasillo y hay una ventana abierta, es difícil enterarme de su presencia.

9. ¿Requiere usted de herramientas que le ayuden a movilizarse en lugares cerrados? ¿Cuáles? (Bastón o perro guía).

Sí, yo uso mi bastón.

- a. ¿De acuerdo a la herramienta utilizada, qué problemas presenta cuando se desplaza en espacios cerrados?

No, no tengo ningún problema, ya estoy acostumbrado.

10. ¿Presenta dificultad para encontrar lugares específicos dentro de una edificación? ¿Cuáles?

No, cuando conozco el lugar no tengo ningún problema.

- a. ¿Suele pedir ayuda a una persona para encontrar un lugar dentro de una edificación?

Sí, cuando no conozco el lugar necesito que alguien me indique dónde es.

11. ¿Tiene dificultades para encontrar elementos dentro de un lugar cerrado? ¿Cuáles?

Sí, a veces es necesario ubicar una silla en un salón.

- a. ¿Qué tipo de elementos busca dentro de un lugar cerrado?

Cuando hay una ventana abierta, dado los accidentes que he tenido.

12. ¿Cuenta usted con un celular de gama alta?

No.

- a. En caso afirmativo, ¿Qué usos le da al celular aparte de hacer llamadas?

No aplica.

- b. En caso negativo, ¿Tiene usted la posibilidad de adquirir un celular de gama alta?

No.

- i. ¿Adquiriría usted un celular de gama alta?

Sí.

13. Suponiendo que se encuentra en un lugar cerrado y desconocido ¿Cómo cree que un teléfono inteligente podría ayudarle a ubicarse? Ejemplo: enterarse acerca de las salidas, baños, cuartos, salas, ascensores, escaleras, número del piso, etc.

Me gustaría que me avisara cuando estoy cerca de un obstáculo, ya que pueden suceder accidentes, por ejemplo, una escalera o un hueco.

14. ¿A qué distancia le parecería prudente que se le avisara cuando está cerca de un lugar?

Que me avise a una distancia prudente que me encuentre en peligro ya sea que me diga cuando estoy cerca de una escalera.

15. ¿Cómo quisiera que el teléfono le comunicara el lugar donde se encuentra ubicado?

Me gustaría que fuera por voz.

16. ¿Qué otra funcionalidad de una aplicación móvil esperarías y cree que le podría ayudar a usted respecto al tema de localización en interiores?

Lo que mencioné anteriormente de los obstáculos como ventanas abiertas.

Persona 7

Fecha	Julio 29 de 2014
Género	Masculino
Edad	50 ~ 60
Grado de discapacidad visual	Invidente

Tabla 23. Información de la persona 7

Preguntas

1. ¿Cuántas horas al día (entre 7 AM y 7 PM) se encuentra por fuera de su vivienda?

Me encuentro 8 horas del día fuera de mi casa.

2. ¿Con qué frecuencia a la semana, va usted a lugares desconocidos como: Teatros, Centros Comerciales, Centros públicos, etc.?

Salgo a lugares desconocidos de dos a cuatro veces al mes.

3. ¿Suele visitar estos lugares en compañía de una persona? ¿Por qué?

Sí, cuando no conozco el lugar debo estar acompañado, de lo contrario no es necesario.

4. Cuando se siente desorientado en un lugar, estando solo ¿Qué suele hacer usted? ¿Llama en busca de alguien que le colabore?

Sí, es grave estar desorientado y es necesario recurrir a alguien.

5. ¿Qué puntos de referencia suele encontrar en lugares cerrados?

Por ejemplo si me encuentro en el CRAC me ubico en la portería y busco la pared que está a mano derecha y sigo la pared hasta llegar al comedor y me desplazo a mano izquierda para encontrar la silla. Si no conozco el lugar le pido al celador que me indique cómo llegar.

6. ¿Se siente seguro y tranquilo al desplazarse en lugares cerrados desconocidos? ¿Por qué?
No, en ningún lugar de Colombia me siento tranquilo, incluso ni en mi casa me siento tranquilo por la inseguridad del país.
7. Según su experiencia, cuando usted está en el proceso de reconocer un nuevo lugar ¿Cuántas veces necesita recorrerlo para sentirse seguro?
Si el lugar es pequeño y lo suelo transitar, es suficiente con 2 ó 3 veces.
8. ¿Siente usted alguna diferencia cuando se desplaza en lugares cerrados o abiertos? ¿Cuál?
Sí, la circulación del aire.
 - a. ¿Cuántas horas al día (entre 7 AM y 7 PM) se encuentra dentro de lugares cerrados diferentes a su vivienda?
Como unas 8 horas.
 - b. ¿Siente usted autonomía al desplazarse dentro de lugares cerrados? ¿Por qué?
No, pues tengo problemas al desplazarme en lugares cerrados.
 - c. ¿Qué problemas presenta al caminar en lugares cerrados?
Principalmente los obstáculos y el hecho de desubicarme.
9. ¿Requiere usted de herramientas que le ayuden a movilizarse en lugares cerrados? ¿Cuáles? (Bastón o perro guía).
Evito el uso de herramientas, pero para poder transitar mejor debo usar bastón.
 - a. ¿De acuerdo a la herramienta utilizada, qué problemas presenta cuando se desplaza en espacios cerrados?
El bastón puede enredarse y puede dañarse.
10. ¿Presenta dificultad para encontrar lugares específicos dentro de una edificación? ¿Cuáles?
Sí, como el baño o mi lugar de trabajo. En el caso del CRAC, estaría interesado en saber las oficinas y la mesa adecuada del comedor ya que soy diabético y me corresponde una mesa específica.
 - a. ¿Suele pedir ayuda a una persona para encontrar un lugar dentro de una edificación?
Solo si es necesario.

11. ¿Tiene dificultades para encontrar elementos dentro de un lugar cerrado? ¿Cuáles?

Sí, cualquier tipo de elemento.

a. ¿Qué tipo de elementos busca dentro de un lugar cerrado?

En el trabajo busco el computador y los implementos de trabajo. Y en la casa busco los utensilios de la cocina y todo tipo de elementos personales.

12. ¿Cuenta usted con un celular de gama alta?

No

a. En caso afirmativo, ¿Qué usos le da al celular aparte de hacer llamadas?

No aplica.

b. En caso negativo, ¿Tiene usted la posibilidad de adquirir un celular de gama alta?

No, sin la ayuda del gobierno no es posible.

i. ¿Adquiriría usted un celular de gama alta?

No, la inseguridad del país pondría en riesgo mi vida.

13. Suponiendo que se encuentra en un lugar cerrado y desconocido ¿Cómo cree que un teléfono inteligente podría ayudarle a ubicarse? Ejemplo: enterarse acerca de las salidas, baños, cuartos, salas, ascensores, escaleras, número del piso, etc.

No es posible tener ayuda alguna de un teléfono inteligente táctil dado que no puedo percibir las teclas y es difícil adivinar el lugar donde están los números.

14. ¿A qué distancia le parecería prudente que se le avisara cuando está cerca de un lugar?

No aplica.

15. ¿Cómo quisiera que el teléfono le comunicara el lugar donde se encuentra ubicado?

Ningún celular táctil funciona en mi condición de invidente y prefiero celulares con teclado grande, no como un blackberry. Antes de hacer una aplicación deberían pensar en desarrollar un dispositivo que sea de fácil acceso y manejo. Si lo consiguen pueden contactarme.

16. ¿Qué otra funcionalidad de una aplicación móvil esperarías y cree que le podría ayudar a usted respecto al tema de localización en interiores?

No aplica.

Persona 8

Fecha	9 de Septiembre de 2014
Género	Masculino
Edad	25

Grado de discapacidad visual	Baja visión, nistagmus congénito: ojo derecho 20-200 y ojo izquierdo 20-100. La baja visión de esta persona se debe a un problema de enfoque, por tanto los ojos no fijan la imagen y se mantienen en constante movimiento, por tanto para lograr enfocar textos debe acercarse.
-------------------------------------	---

Tabla 24. Información de la persona 8

Preguntas

1. ¿Cuántas horas al día (entre 7 AM y 7 PM) se encuentra por fuera de su vivienda?
Por lo general me encuentro entre 10 y 12 horas fuera de mi casa, aunque estoy trabajando en una ONG y llevo más de medio año viajando a diferentes partes del país visitando diferentes comunidades, de este modo me atrevería a decir que en este momento estoy las 24 horas del día fuera de mi casa.
2. ¿Con qué frecuencia a la semana, va usted a lugares desconocidos como: Teatros, Centros Comerciales, Centros públicos, etc.?
Por el trabajo que tengo puedo estar visitando lugares desconocidos dos veces a la semana y de acuerdo a la frecuencia con que los visite se vuelven de la cotidianidad.
3. ¿Suele visitar estos lugares en compañía de una persona? ¿Por qué?
Por mi trabajo es necesario estar acompañado por razones de seguridad o de logística, de otro modo no necesito de la compañía de otra persona para poder desplazarme.
4. Cuando se siente desorientado en un lugar, estando solo ¿Qué suele hacer usted? ¿Llama en busca de alguien que le colabore?
Si es un lugar que visito por primera vez, la ubicación es un asunto cognitivo y lógico no basado en la percepción visual de avisos, dada mi condición necesito acercarme mucho para lograr leer los avisos, pero para ubicarme no necesito saber qué dice un letrero con una flecha de color verde o rojo si sé que se trata de una ruta de evacuación y seguramente me va a llevar a una salida. De otro modo, si se trata de cosas que necesitan obligatoriamente interpretar o leer algo específico como la valla de precios de un restaurante de auto-servicio de comidas rápidas, me veo obligado a solicitar a alguna persona que lo lea.
5. ¿Qué puntos de referencia suele encontrar en lugares cerrados
No requiero información adicional para lograr ubicarme, basta con una sencilla orientación basada en pasillos, puertas y la dirección a la cual debo ir.
6. ¿Se siente seguro y tranquilo al desplazarse en lugares cerrados desconocidos? ¿Por qué
Sí, mi condición permite distinguir obstáculos tanto estáticos y dinámicos.

7. Según su experiencia, cuando usted está en el proceso de reconocer un nuevo lugar ¿Cuántas veces necesita recorrerlo para sentirse seguro

Es suficiente con que logre llegar al lugar una vez y ya recordaré dónde se encuentra el lugar. Dada mi condición, mi ubicación es más cognitiva y lógica que visual, por tanto en caso de acordar un punto de encuentro, yo suelo acotar el área donde debo buscar a la persona. Por ejemplo, una persona con la visión normal puede decir “nos vemos en el restaurante” y en cambio diría “nos vemos en el restaurante al fondo a mano izquierda” con eso reduzco el área donde debo buscar a la persona.

8. ¿Siente usted alguna diferencia cuando se desplaza en lugares cerrados o abiertos? ¿Cuál
- Sí, la luz del lugar.*

- a. ¿Cuántas horas al día (entre 7 AM y 7 PM) se encuentra dentro de lugares cerrados diferentes a su vivienda?

Dado a mi trabajo estoy fuera de mi ciudad y duro 24 horas del día fuera de mi casa.

- b. ¿Siente usted autonomía al desplazarse dentro de lugares cerrados? ¿Por qué?

Sí, mi condición me permite desplazarme sin mayores contratiempos.

- c. ¿Qué problemas presenta al caminar en lugares cerrados?

Ninguno.

9. ¿Requiere usted de herramientas que le ayuden a movilizarse en lugares cerrados? ¿Cuáles? (Bastón o perro guía).

No.

- a. ¿De acuerdo a la herramienta utilizada, qué problemas presenta cuando se desplaza en espacios cerrados?

No aplica.

10. ¿Presenta dificultad para encontrar lugares específicos dentro de una edificación? ¿Cuáles?

Mi localización en espacios cerrados es cognitiva y por tanto es suficiente con recibir una indicación de dónde puedo encontrar un lugar si no lo conozco; ahora, estas indicaciones son ajenas a mi baja visión y no necesito de la compañía de una persona para desplazarme.

- a. ¿Suele pedir ayuda a una persona para encontrar un lugar dentro de una edificación?

En caso de ser un lugar nuevo me sucede lo mismo que cualquier persona cuando se encuentra en un lugar desconocido y necesita pedir ayuda donde puede encontrar un lugar en específico.

11. ¿Tiene dificultades para encontrar elementos dentro de un lugar cerrado? ¿Cuáles?

Suele ser algo particular en mí, ya que por mi condición se ve determinado por la distancia y el contraste, por ejemplo no es lo mismo buscar un botón café en un piso de madera que un botón rojo en un piso blanco.

- a. ¿Qué tipo de elementos busca dentro de un lugar cerrado?

Cuestión del contexto y el entorno donde me encuentre y cuál es la dimensión del objeto, algo difícil de buscar para mí puede ser encontrar un lente de contacto.

12. ¿Cuenta usted con un celular de gama alta?

Sí, Samsung Galaxy neo.

- a. En caso afirmativo, ¿Qué usos le da al celular aparte de hacer llamadas?

No, no uso ningún tipo de ayuda, como la lupa o cosas por el estilo dado que busco que no se pierda la visibilidad del entorno del lugar donde estoy leyendo. Además por mi edad aún puedo distinguir y leer las cosas en la medida que pueda acercarme a la pantalla.

- b. En caso negativo, ¿Tiene usted la posibilidad de adquirir un celular de gama alta?

No aplica.

- i. ¿Adquiriría usted un celular de gama alta?

No aplica.

13. Suponiendo que se encuentra en un lugar cerrado y desconocido ¿Cómo cree que un teléfono inteligente podría ayudarle a ubicarse? Ejemplo: enterarse acerca de las salidas, baños, cuartos, salas, ascensores, escaleras, número del piso, etc.

En mi caso no lo veo necesario el uso de la aplicación en la medida que siga siendo una persona vidente, pero me sería útil si me permitiera ver un mapa más amplio del lugar y así suplir mi necesidad en caso de buscar algún lugar.

14. ¿A qué distancia le parecería prudente que se le avisara cuando está cerca de un lugar?

En la medida de la velocidad de desplazamiento de la persona invidente y además es necesario usar un lenguaje adecuado, es decir si avanzo 1 metro por segundo y me dice lugares muy extensos, va a ser imposible entender la aplicación.

15. ¿Cómo quisiera que el teléfono le comunicara el lugar donde se encuentra ubicado?

Por voz, usando un lenguaje no extenso en el momento oportuno.

16. ¿Qué otra funcionalidad de una aplicación móvil esperaría y cree que le podría ayudar a usted respecto al tema de localización en interiores?

En el caso de las fichas usadas en los museos sería muy bueno que existiera alguna aplicación que las leyera dado que necesitaría leer de cerca la ficha y en algunos museos existe cierta restricción que no permite acercarse tanto a una obra.

Anexo 8. Ventajas y desventajas presentadas en cada uno de los trabajos estudiados para el Estado del Arte

A continuación se presentan las ventajas y desventajas encontradas después de hacer el análisis sobre cada uno de los trabajos estudiados para el Estado del arte.

Ways4all: Indoor navigation for visually impaired and blind people (Martijn Kiers, Tina Sovec) [17]

Ventajas:

Es un sistema integrado con distintas bases de datos para proveer toda la información que pueda ayudar a una persona con discapacidad visual a encontrar el tren que debe tomar, dándole además avisos sobre el camino que debe tomar y obstáculos en la ruta.

Desventajas:

A pesar de ser una solución innovadora y de gran ayuda para las personas con discapacidad visual, resulta ser invasiva, ya que requiere de la instalación de un lector RFID en el bastón del usuario.

También requiere de infraestructura adicional pues es necesaria la instalación de tags RFID en todo el piso de la edificación, por lo cual se restringe el alcance del sistema.

The Cricket Indoor Location System (Nissanka Bodhi Priyantha) [78]

Ventajas:

El sistema Cricket tiene una ventaja al permitir integrar nuevas balizas en caso de querer extender la cobertura, dado que es un sistema descentralizado y provee cierta escalabilidad, a través del intercambio de mensajes con otros nodos baliza para inferir la localización del nuevo nodo. Además de ello, presenta una precisión bastante alta que sería muy útil para la localización de personas con discapacidad visual.

Desventajas:

El uso de estos dispositivos resulta invasivo en la medida en que requiere instalar los nodos baliza previamente en la edificación y conectar el nodo cricket, a través del puerto serial, con el PDA del usuario.

Using smartphones for indoor navigation (Brandeis Marshall, James E. Dietz) [71]

Ventajas:

Logran determinar los pros y contras de la navegación inercial, concluyendo que no resulta muy precisa esa técnica de localización y proponiendo una nueva alternativa mediante el uso de RFID.

Desventajas:

A pesar de que se pudo localizar a las personas satisfactoriamente no se expone el grado de precisión alcanzado al utilizar RFID y sólo enuncian los inconvenientes que obtuvieron analizando el experimento con la navegación inercial a través de un iPhone 4.

El hecho de necesitar hacer un filtro que depende de cada teléfono inteligente para el mejor funcionamiento de la navegación inercial, demuestra lo poco replicable que podría ser la solución impidiendo que sea genérica y útil para cualquier usuario.

No tenían dentro de su alcance, la integración de ambas alternativas expuestas para determinar si la precisión en la localización podía mejorar.

TraceMe - Indoor Real-Time Location System (Pedro M. Mestre A. Silva, Maximino Paralta, Rafael Caldeirinha, Jorge Rodrigues, Carlos M.J.A. Serôdio) [49]

Ventajas:

La utilización de tags activos supuso una ventaja ya que al poseer su propia batería, permiten mayor alcance al emitir ellos mismos la frecuencia. Esto podría ser útil para el caso particular de las personas con discapacidad visual dado que no necesitarían acercarse completamente al lector RFID para el funcionamiento del sistema de localización.

Desventajas:

No se enuncia con claridad el desarrollo de las pruebas o de procedimientos más detallados que permitirían conocer la precisión alcanzada con su sistema.

Requiere de instalación previa de infraestructura pues es necesario ubicar los lectores RFID. Adicionalmente resulta ser invasivo para los usuarios que ahora deben llevar consigo un tag para poder utilizar el sistema de localización.

DRec: Exploring Indoor Navigation with an Un-Augmented Smart Phone (Amnon Dekel, Elad Schiller) [81]

Ventajas:

La utilización de algunos sensores de los teléfonos inteligentes (magnetómetro y acelerómetro) es una ventaja pues no implica un alto grado de invasión para las personas y en especial para aquellos que padecen de discapacidad visual.

Desventajas:

La necesidad de calibrar el modo de caminar de cada persona, genera una dificultad pues no se puede asegurar que ella caminará con exactamente el mismo paso en todas sus trayectorias y así, al aumentar la cantidad de distancia recorrida, podría incrementarse el margen de error en la localización.

An accelerometer based approach for indoor localization (Ching-Hsien Hsu, Chia-Hao Yu) [84]

Ventajas:

La rapidez de obtención de la información es muy buena y los algoritmos necesarios para computar tales datos no son complejos.

Desventajas:

La localización sólo puede realizarse en dos ejes y no se contemplan giros en las trayectorias del objeto.

Según sus resultados puede concluirse que ofrece una precisión muy baja en la localización. Este sistema no sería adecuado para el caso de personas con discapacidad visual pues se incurriría en errores que podrían poner en peligro sus vidas.

Beep: 3D Indoor Positioning Using Audible Sound (Atri Mandal, Cristina V. Lopes, Tony Givargis, Amir Haghghat, Raja Jurdak, Pierre Baldi) [79]

Ventajas:

La precisión reportada por este sistema es muy buena y adecuada para el caso de ubicación de personas con discapacidad visual, donde se necesita gran exactitud.

Desventajas:

Las ondas sonoras acá utilizadas sufren, al igual que las redes inalámbricas, interferencias que pueden hacer que la precisión se deteriore.

La utilización de ondas sonoras supone un manejo particular del cual no se tiene un amplio conocimiento.

Se requiere de infraestructura adicional pues deben ubicarse los sensores acústicos dentro de la edificación.

Integración de un sistema de posicionamiento indoor en aplicaciones SIG para dispositivo móvil (Laia Descamps-Vila, A. Pérez-Navarro, Jordi Conesa) [13]

Ventajas:

La posibilidad de integrar una aplicación para teléfono inteligente con sistemas abiertos como Wifislam es una ventaja pues permite no volver a desarrollar componentes que ya se encuentran hechos.

Realizar una ubicación tanto en lugares exteriores como en cerrados supone una ventaja pues de forma transparente un usuario podría utilizar la aplicación en cualquier lugar obteniendo los datos que necesita para moverse.

El sistema Wifislam posee una ventaja adicional pues utiliza el acelerómetro y giroscopio para mejorar la precisión en la localización.

Desventajas:

Se requiere infraestructura adicional por la necesidad de los AP. La necesidad de una previa calibración del espacio cerrado para reconocer los AP, podría llegar a ser una complicación para el acceso a cualquier entorno cerrado por parte de las personas con discapacidad visual.

Según los autores, se necesita de una gran cantidad de AP para obtener una alta precisión.

An Indoor Navigation System For Smartphones (Abhijit Chandgadkar) [50]**Ventajas:**

Se logró obtener una precisión muy buena de 2 metros, utilizando una nueva forma de sincronización de datos mediante los marcadores de precisión.

Desventajas:

A pesar de que la navegación inercial no requiere infraestructura adicional, el autor propuso el uso de marcadores de posición los cuales sí necesitarían un proceso previo ubicación en el lugar, con el objetivo de poder estimar la localización.

Hay una gran dificultad con la precisión de la navegación inercial por sí sola y por eso se requirió de la disposición de varios marcadores de posición para lograr una exactitud mayor. Existen muchos factores en la forma de caminar que generan distorsión en las medidas realizadas por los sensores de los teléfonos inteligentes, por lo cual la exactitud se ve afectada en gran medida.

Towards mobile phone localization without war-driving (Lonut Constandache, Romit Roy Choudhury, Injong Rhee) [82]**Ventajas:**

La determinación de patrones sobre la forma de caminar de las personas ayudó a disminuir el margen de error y estimar con mayor precisión la ubicación del usuario.

El uso de puntos de sincronización con el GPS ayudó a reducir el margen de error de la navegación inercial.

Desventajas:

Necesita de un previo almacén de datos para lograr determinar la ubicación de las personas y está restringido para un único camino.

El ruido captado por acelerómetro, debido a movimientos naturales, distorsionan en gran medida el resultado de la navegación inercial.

La ubicación o el lugar donde se lleve el teléfono inteligente, agrega mayor distorsión en cuanto más cerca esté a las extremidades de una persona en desplazamiento, ya que el movimiento de las piernas al caminar interfiere con la medición hecha por los sensores, si la persona lleva el teléfono inteligente en el bolsillo del pantalón.

Todas las interferencias antes mencionadas, incrementan el margen de error en la localización a medida que pasa el tiempo y por tal motivo se ven obligados a reiniciar el cálculo luego de hacer una sincronización con el GPS, que tiene un menor margen de error.

IndoorAtlas [51]

Ventajas:

No se requiere de infraestructura adicional que obligue hacer una ubicación de hardware previamente dentro del lugar.

Indooratlas utiliza la medición del campo magnético terrestre, que al ser diferente en cada punto de la tierra, permite dar valores únicos que posibilitan la identificación de cada lugar y por ende una estimación de la localización.

Posee una API para poder interactuar con nuevas aplicaciones (actualmente).

Desventajas:

Para obtener una buena precisión en todos los puntos o coordenadas de un área, sería necesario recorrer todo el espacio cuadrado, ya que al probar la aplicación en una coordenada donde no se tomó previamente la medición, la localización empieza a variar significativamente y muestra el último lugar correctamente ubicado, generando inexactitudes en la ubicación.

No se dispone del código fuente. Además, existe la posibilidad de que la aplicación sea comercializada en el futuro, con lo cual se puede incurrir en problemas de licenciamiento y manipulación de los datos.

La aplicación no está disponible para cualquier tipo de teléfono inteligente.

WiFi-Based Indoor Positioning for Multi-Floor Environment (Hung-Huan Liu, Yu-Non Yang) [20]

Ventajas:

No se requiere conocer previamente la ubicación de los AP gracias a la estimación de los VAP.

El sistema tiene en cuenta el problema de localización en edificaciones con más de un piso, lo cual suele obviarse en este tipo de investigaciones.

Desventajas:

Requiere de infraestructura previa en el lugar pues debe haber AP en la edificación.

Los autores no hacen explícita la forma en que hallaron el valor correspondiente al factor de calibración.

No hay una explicación detallada que permita replicar la forma en que se deduce inversamente la ubicación de los VAP.

Dado que la posición de los AP es estimada, si hay algún grado de error en ello, generaría que la ubicación de la persona también esté desfasada.

A WLAN fingerprinting based indoor localization technique (Landu Jiang) [5]

Ventajas:

Se tiene claridad en los algoritmos para poder implementarlos y probar su efectividad. El autor obtuvo un margen de error bastante aceptable para el objetivo de localizar personas con incapacidad visual, donde se requiere un alto grado de exactitud.

Desventajas:

Requiere de infraestructura previa en el lugar pues debe haber algún AP. Es necesario estar actualizando periódicamente los datos de las RSS en cada lugar, ya que al haber nuevos AP o al existir cambios en su posición, el modelo empieza a descuadrarse.

An Indoor Positioning System for a First Responder in an Emergency Environment (Gong Bo Moon, Moon Beom Hur, Gyu-In Jee) [76]

Ventajas:

Es un sistema adaptativo al ambiente, pues no requiere de instalaciones previas a la conflagración. Posee un margen de error bajo que sería muy útil para la localización de personas con discapacidad visual.

Desventajas:

Los autores no aclaran cómo es la realización del mapa que hace la estación central para que sea realmente útil para el bombero, ya que se sabe que no se dispone previamente del plano del sitio. Además tampoco es explícita la forma en que se le envía al bombero el mapa, no se sabe si es por medio de un teléfono inteligente o por otro medio. Esto mismo sucede con la notificación que se hace al bombero en el momento en el que debe dejar un PAP en el suelo, ya que no se aclara el medio por el cual se le comunica del requerimiento.

BuildNGo, SAILS Technology (Taiwan), Tingyueh Chin [24]

Ventajas:

Proveen un conjunto de herramientas que facilitan el desarrollo, como el SDK que incluye su integración con JOSM a través de Map Render Editor MRE, el cual es utilizado para hacer los mapas

vectorizados que utiliza la aplicación BuildNGo para ubicar gráficamente la coordenada donde se toma el rastro o la huella (conjunto de mediciones de RSS y señales emitidas por los *bacon*).

Las herramientas de desarrollo permiten configurar la escala del mapa, la frecuencia para tomar los puntos, el uso de giroscopio y el magnetómetro.

Ha sido implementado en algunos templos budistas de Taiwan, aeropuertos y centros comerciales.

Es posible etiquetar un conjunto de coordenadas con un nombre particular.

Desventajas:

No existe una clara descripción de la licencia ni su tipo (no han definido su licencia).

Es totalmente dependiente de la infraestructura ya que se basa de las RSS de los AP y las señales emitidas por los *bacons*. De este modo se necesita que los AP y los *bacons* tengan una ubicación fija. Por ende se requiere de infraestructura adicional.

Experimentalmente, en situaciones en que el usuario no está en movimiento, la aplicación señala que se está desplazando, evidenciando problemas relacionados con la exposición al ruido del giroscopio y del acelerómetro.

Security Visiting_RFID-Based Smartphone Indoor Guiding System (Hong Zeng, Jianhui Zhang, Guojun Dai, Zhigang Gao, Haiyang Hu) [70]

Ventajas:

Se determinó un margen de error muy bueno para la localización.

Permite tanto ubicación, como enrutamiento del usuario y búsqueda de la ruta óptima, así que conjuga varios servicios.

Su modelo de seguridad permite que las personas visitantes sólo conozcan el trayecto que deben tomar para llegar a su destino. Además, mediante el servidor que procesa toda la información, se rastrea su trayectoria para descartar cualquier comportamiento sospechoso.

Desventajas:

Es un sistema que requiere la instalación previa de una infraestructura de red entre dispositivos Wifi (Access Point), Lectores RFID y tags RFID.

La investigación no detalla cómo se hace la localización mediante el uso de Wifi.

Indoor magnetic navigation for the blind (Timothy Riehle, Shane Anderson, Patrick Lichter, Nicholas Giudice, Suneel Sheikh, Robert Knuesel, Daniel Kollmann, Daniel Hedin) [53]

Ventajas:

La arquitectura del sistema planteado no requiere de una previa instalación de equipos en las edificaciones, lo cual lo hace parcialmente transparente para el invidente.

Guía a las personas invidentes mediante instrucciones por voz.

Desventajas:

Al usar un método de posicionamiento basado en el rastro para proveer el servicio de localización, necesita un proceso previo de calibración.

Es necesario que el invidente utilice la IMU en su cadera, lo cual hace que este sistema sea invasivo para él.

LocateMe: Magnetic-Fields-Based Indoor Localization Using Smartphones (Kalyan Pathapati Subbu, Brandon Gozick, Ram Dantu) [22]

Ventajas:

Se logró determinar la localización de las personas sin la necesidad de infraestructura adicional en la edificación.

Es la técnica menos invasivo de localización en interiores ya que sólo depende del magnetómetro que contiene el teléfono inteligente.

Desventajas:

Se ve afectado por la variación natural del campo magnético en la tierra a través del tiempo y la presencia de objetos móviles que contengan materiales ferromagnéticos que podría alterar la firma encontrada en un lugar.

Podría llegar a encontrarse una secuencia de campos muy similar para diferentes objetos y eso podría resultar en fallas del algoritmo utilizado.

Requiere de una fase previa de calibración que podría suponer una limitación.

Wifi Compass - Wifi Access Point Localization with Android Devices (Thomas Konrad, Paul Wölfel) [21]

Ventajas:

Es un trabajo muy completo que integra ubicación de AP, junto con ubicación de personas a través de navegación inercial y reconocimiento de patrones en la forma de caminar.

Se obtuvo un buen margen de error para la ubicación de los AP.

Se tiene el código fuente disponible para hacer modificaciones y mejoras.

Desventajas:

Aunque la localización de personas no era un objetivo de la investigación, no se alcanzó una buena precisión. Esto se evidenció al probar la aplicación desarrollada, observando que el margen de error empezaba a crecer exponencialmente en por la navegación inercial, a pesar de intentar mitigarlo con el reconocimiento de patrones en la forma de caminar.

La localización de los AP podría haber sido un primer paso para luego aplicar trilateración o triangulación en la ubicación de personas, sin embargo, ambas fases nunca se ligaron.

A WiFi-aided reduced inertial sensors-based navigation system with fast embedded implementation of particle filtering (M. M. Atai, M. J. Korenberg, A. Noureldim) [73]

Ventajas:

Los autores pudieron integrar dos técnicas de localización en interiores de forma satisfactoria, obteniendo una buena precisión.

Desventajas:

Pese a la aproximación proporcionada por el método K-NN para determinar la ubicación de una persona a través de Wifi, deben enfrentarse a problemas de refracción, atenuación, absorción y reflexión de las ondas de radio frecuencia Wifi al estar en un espacio cerrado.

La toma de RSS durante la fase de calibración se hace una sola vez en cada coordenada, lo cual puede desencadenar errores pues la señal fluctúa debido a diversos factores del ambiente.

También enfrentan problemas a la hora de identificar los patrones de caminar dado que otros movimientos pueden distorsionar el resultado esperado, provocando que los errores se acumulen.

Se requiere infraestructura adicional pues se necesita la presencia de AP en el lugar.

Accurate WLAN Indoor Localization Based on RSS Fluctuations Modeling (Shih-Hau Fang, Tsung-Nan Lin) [74]

Ventajas:

Se obtiene un margen de error aceptable para la localización en interiores.

Es una técnica que no es realmente invasiva para los usuarios, y para el caso particular de las personas con discapacidad visual, pues ellos pueden utilizar su propio teléfono inteligente.

Desventajas:

Se requiere la presencia de AP en el lugar.

No se profundiza en el algoritmo que determina el lugar donde se encuentra la persona, pues se centran más en los métodos usados para minimizar el ruido y el efecto de las trayectorias múltiples.

Properties of Indoor Received Signal Strength for WLAN Location Fingerprinting (Kamol Kaemarungsi, Prashant Krishnamurthy) [45]

Ventajas:

Enuncian las propiedades de la RSS a través del experimento realizado en un lugar y exponen varias conclusiones muy interesantes para el uso del método de posicionamiento basado en el rastro mediante Wifi.

Advierten sobre errores comunes a la hora de escoger e implementar un método de localización en espacios cerrados.

Desventajas:

Los autores no definen la precisión alcanzada con la técnica propuesta.

Deciden escoger el método del valor promedio debido a su menor complejidad, pero sin tener una justificación certera de su mayor precisión en la localización en interiores.

Se requiere de infraestructura adicional, debido a la presencia de AP.

Si se quisiera hacer un sistema útil, no es práctico hacer la localización mediante un computador portátil que dificulta la movilización en cualquier entorno cerrado.

Bluetooth indoor positioning (Anja Bekkelien) [19]**Ventajas:**

Se obtuvo un muy buen margen de error en la localización.

El alcance de los dispositivos es apropiado para no tener que caminar muy cerca de ellos para que el teléfono inteligente pueda reconocerlo.

Desventajas:

Es necesario tener una infraestructura adicional con los dispositivos bluetooth.

El tiempo de respuesta de los dispositivos bluetooth es alto (aproximadamente 5 segundos para la investigación realizada), pudiendo incurrirse en retrasos y errores en la ubicación del usuario.

Se tienen también problemas con la atenuación de la señal debido a los obstáculos presentes en la edificación.

SoundLoc: Acoustic Method for indoor Localization without infrastructure (Jia, Jin, Spanos) [122]**Ventajas:**

Se obtuvo un muy buen margen de error en la localización.

No se requiere adaptación de nuevo hardware dentro de la edificación.

Desventajas:

Al ser utilizando mediante un computador portátil, no es sencillo el proceso de localización para una persona que quiera ubicarse pues está orientado al manejo de energía principalmente. En este sentido, no será necesariamente igual de preciso el proceso de localización al intentar hacerlo con un teléfono inteligente por las características propias de los micrófonos y altavoces requeridos.

Se tiene presente también un problema de ruido generado por la acústica del lugar.

Anexo 9. Evaluación de tecnologías utilizadas para la identificación de una edificación

En la Tabla 25 se exponen las ventajas y desventajas de las tecnologías utilizadas para la identificación de una edificación.

Puntaje	Tecnología	Ventajas	Desventajas
6	Tag pasivo RFID	<ul style="list-style-type: none"> - El teléfono inteligente utiliza la tecnología NFC como lector del tag permitiendo que no se necesite conectar hardware adicional al celular [3]. - No necesita una línea de visión directa [42]. - Se consigue a un bajo costo, permitiendo un mayor despliegue [17][71][3] - Es usado para identificar objetos, ya que pueden almacenar información [3][17][71] - Puede almacenar información sin la necesidad de una fuente de poder presente [3][17][71] - La señal captada es mínima, suficiente para operar el circuito del tag para generar una señal (respuesta) [3][17][71] 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere de mayor procesamiento que un código de barras [42]. - La tecnología NFC de los teléfonos inteligentes no reconoce el tag pasivo si está a una distancia mayor de 3 cm [3]. - No tiene fuente de energía propia [3][17][71] - Requiere captar energía a partir del lector para su funcionamiento [3] - Requiere instalar hardware adicional en la edificación [17][3][71] - Tiene menor capacidad que un tag activo [3] - La distancia de operación no suele ser mayor a 10 cm [3][17][71] - Para el caso específico de las personas con discapacidad visual sería complicada la ubicación de los lectores pues no deberían obligar al usuario a estar siempre ubicado cerca de una pared, el piso o el techo, para que los tags puedan enviar la información necesaria [71] - Depende de un radar o lector para ser detectado [3][17][71]
5	Tag activo RFID	<ul style="list-style-type: none"> - Cada tag tiene su propia fuente de energía, a través de una batería y por tanto emite con mayor intensidad su señal [3][49][70] - Gracias a que tiene una propia fuente de energía, no necesita captarla a partir de la señal del lector [3][49] - Tiene un alcance menor a 100 m [3] 	<ul style="list-style-type: none"> - Dependiendo de la intensidad de la señal del radar, el tag activo suelen tener un mayor costo que el pasivo [3] - Requiere de instalación de hardware adicional en la edificación [3][49][70] - El consumo de energía resulta crítico ya que depende de una batería [3] - Depende de un radar o lector

		<ul style="list-style-type: none"> - Generalmente es incorporado en sensores (ejemplo: ZigBee, 6LowPAN, etc.) [3] - Es usado para identificar objetos, ya que pueden almacenar información [3][49][70] - La comunicación entre tags activos no tiene falencias en presencia de metales porque cada uno posee una fuente de energía propia [3] - Usualmente incorpora una mayor capacidad de memoria que los tags semipasivos [3] - Emite señales claras frente a recepciones débiles de señal [3] 	<ul style="list-style-type: none"> para ser detectado [49][3][70] - Su vida útil es mucho más corta que la de otros tipos de tag [3] - No puede ser leído por un teléfono inteligente así que requeriría adaptar hardware adicional al celular [3]
4	Tag RFID semipasivo	<ul style="list-style-type: none"> - No necesita de una gran antena para captar potencia de una señal entrante [3] - Responde más rápido que los tags pasivos [3] - Es usado para identificar objetos, ya que pueden almacenar información [3] 	<ul style="list-style-type: none"> - La batería está destinada a alimentar constantemente el circuito integrado con el fin de aumentar su tiempo de respuesta [3] - Requiere de instalación de hardware adicional en la edificación [3] - Depende de un radar o lector para ser detectado [3] - Cuenta con una fuente de poder que sólo alimenta su microchip y no es usada para transmitir la señal [3] - No puede ser leído por un teléfono inteligente así que requeriría adaptar hardware adicional al celular [3]
3	Código de barras bidimensional	<ul style="list-style-type: none"> - El código QR es de código libre y por tanto pueden generarse sin ningún costo [69]. - Los códigos bidimensionales pueden guardar mayor cantidad de información que los unidimensionales [42][69]. - Permiten una alta velocidad de lectura [69]. 	<ul style="list-style-type: none"> - El teléfono inteligente utiliza la cámara como lector del código QR, sin embargo la necesidad de enfocar adecuadamente el código es una restricción para la población con discapacidad visual. - Una vez se ha codificado la información en el código de barras, no es posible modificarla sin usar alteración visual

		<ul style="list-style-type: none"> - El código QR puede ser leído desde cualquier ángulo (lectura de 360°), es decir que es omnidireccional debido a los patrones de detección o cuadrados de alineación fijados en las esquinas del código [69]. 	<ul style="list-style-type: none"> [42]. - Requiere una línea de visión directa [42].
2	Código de barras unidimensional	<ul style="list-style-type: none"> - Se consiguen a un bajo costo [69]. 	<ul style="list-style-type: none"> - El teléfono inteligente utiliza la cámara como lector del código de barras, sin embargo la necesidad de enfocar adecuadamente el código es una restricción para la población con discapacidad visual. - No almacena gran cantidad de información [69]. - Requiere una línea de visión directa [42]. - Una vez se ha codificado la información en el código de barras, no es posible modificarla sin usar alteración visual [42].
1	GPS	<ul style="list-style-type: none"> - Es un sistema robusto basado en la información de satélites artificiales que proveen una gran base de información a nivel mundial [37]. - La información brindada por el GPS (altitud, latitud, longitud), permite que sea integrado con sistemas de localización geográfica SIG, que conteniendo datos de coordenadas en el exterior y mayor integración de datos, permitiría definir el lugar donde se encuentra una persona antes de entrar a una edificación [63][64] 	<ul style="list-style-type: none"> - En la práctica el lugar señalado por el GPS puede encontrarse a varios metros [10][65]. - En el 95 % de los casos, el GPS proporciona una posición horizontal inferior a 83 m, aproximadamente y el error máximo observado es de 261 m [66]. - El GPS podría verse alterado dependiendo de las fallas que puedan presentar los satélites o el receptor, y las condiciones ambientales de la ionosfera de la tierra [65]. - El GPS puede utilizarse con un GIS, sin embargo también se presentan problemas de integración de herramientas que pueden desencadenar errores de precisión en la localización [63][64].

Tabla 25. Ventajas y desventajas de las Tecnologías utilizadas para la identificación de la edificación [Elaboración propia]

Anexo 10. Evaluación de Técnicas y tecnologías utilizadas para la localización horizontal

En la Tabla 26 se exponen las ventajas y desventajas de las técnicas y tecnologías utilizadas para la localización horizontal.

Puntaje	Técnicas y Tecnologías	Ventajas	Desventajas
8	Detección de campo magnético	<ul style="list-style-type: none"> - No requiere infraestructura o adaptación de nuevo hardware [23][53][22] - Cada punto sobre la tierra tiene un campo magnético diferente. Al haber materiales como metales que lo hacen cambiar, es posible medir la variación de ese campo para obtener puntos únicos en cada lugar de la tierra [23][53] - Puede medirse la variación de campo magnético en edificaciones con estructuras metálicas [23][53][22] - Cada pulgada cuadrada de la tierra tiene una lectura del campo magnético única [85] - El campo magnético varía poco en el tiempo [85] 	<ul style="list-style-type: none"> - El campo magnético puede ser afectado por materiales ferromagnéticos [53][22] - Es necesario barrer cada lugar de un área, obteniendo su correspondiente variación del campo magnético, para tener una localización precisa en todos los lugares [22] - No puede medirse con claridad la variación del campo magnético en edificaciones con estructuras de madera o materiales no conductores [23][53][22]
7	Uso de la red inalámbrica de WLAN-Wifi	<ul style="list-style-type: none"> - En la actualidad puede encontrarse en la mayoría de las edificaciones ya que cuentan con acceso a internet [13][24][20][5][45][70][73][74][21] - Se pueden aplicar muchos de los métodos y métodos que existen para la localización en interiores: el método de detección de proximidad, triangulación o trilateración (basada en la dirección, en el tiempo de llegada de la señal o en la intensidad de la señal) y el método basado en el rastro [75][13][20][5][45][76][70][73][24][74][21] - Suele ser compatible con la 	<ul style="list-style-type: none"> - Necesita de una infraestructura previa [75][24][73][13][20][5][45][70][74][21] - Necesita tener conocimiento de la ubicación de los AP dentro de la estructura [75][24][73][13][45] - Algunas de las aplicaciones que están basadas en el rastro de la intensidad de la señal deben enfrentarse a problemas de atenuación de la señal (por objetos inmóviles en el entorno como las paredes). Como consecuencia, la señal varía frente al cambio de posición de los objetos en el entorno

		<p>gran mayoría de dispositivos Wifi sin la necesidad de instalar software adicional o manipular el hardware (cualquier dispositivo que tenga una tarjeta de red Wifi puede aplicar esta técnica) [75][13][20][5][45][76][70][73][24][74][21]</p> <p>- No necesita una línea de visión, lo cual significa que las señales logran superar obstáculos [75][24][5][45][21][76][70][73][74]</p> <p>- En términos de costos, la infraestructura necesaria no requiere de ningún hardware adicional aparte de las tarjetas de interfaz de red NIC, lo cual resulta útil en la computación ubicua ya que la mayoría de los hogares cuentan con estos dispositivos [75][13][20][5][45][76][70][73][24][74][21]</p> <p>- En términos de escalabilidad, en la medida que aumenta el número de usuarios resulta sencillo agregar un nuevo AP [75][24][76]</p> <p>- De acuerdo al método implementado para determinar la localización, resulta cada vez más preciso al aumentar el número de AP distribuidos en un lugar [45][76][24]</p>	<p>[75][13][20][74][5][45][21][70][73][24]</p> <p>- Pese a no necesitar una línea de visión, la señal se atenúa a medida que atraviesa los obstáculos y puede producir errores de precisión en la localización [74][5][45][76][70][73][24][21]</p> <p>- Para los sistemas de localización basados en el rastro:</p> <p>- No es posible determinar la localización basándose en un único valor de RSS, ya que es variable en el tiempo por diversas situaciones [45][73][13][70][24][20][74][5]</p> <p>- Es necesario contar como mínimo de 2 AP para determinar la localización [45][73][13][70][24][20][74][5][45]</p>
<p>6</p>	<p>Uso de la red inalámbrica de WLAN-Wifi y Uso de RFID - tag activo</p>	<p>- Mejora la estimación de la posición de una persona a partir del rastro de la señal [70]</p>	<p>- Requiere de instalación previa de AP, y lectores y/o tags RFID [70]</p>

5	Uso de la red inalámbrica de Bluetooth	<ul style="list-style-type: none"> - Los dispositivos construidos para prestar el servicio de bluetooth se consiguen a un bajo costo y poseen una alta disponibilidad [19][24] - Los dispositivos son generalmente fáciles de desplegar [19][24] - Fue diseñado para un bajo consumo de energía [58][19][24] - Tiene un alcance entre 5 y 100 m dependiendo de la clase (1, 2 ó 3) [58][19] 	<ul style="list-style-type: none"> - El rango de potencia de la señal emitida puede ser afectada por obstáculos en el ambiente que generan interferencias [19] - El tiempo de respuesta de un dispositivo que es descubierto por otro, es de aproximadamente 10.5 segundos [19] - Requiere de instalación de hardware adicional en la edificación [19][24]
4	Eco-localización	<ul style="list-style-type: none"> - No requiere infraestructura o adaptación de nuevo hardware [122] 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere la utilización de un método como el de posicionamiento basado en el rastro que implica una fase previa de calibración para obtener la huella acústica de cada lugar [122]. - Pueden captarse fácilmente ruidos del entorno [122]
3	Navegación inercial	<ul style="list-style-type: none"> - No requiere infraestructura o adaptación de nuevo hardware [81][50][82][71] - Los sensores útiles para esta técnica (acelerómetro, giroscopio, magnetómetro) se encuentran integrados a los dispositivos más recientes (telefonía móvil, consola de video juego y laptops) [81][50][83][82][13][71][24][21] 	<ul style="list-style-type: none"> - Se utiliza para predecir los movimientos de las personas durante períodos cortos de tiempo pues el margen de error en la localización va aumentando a medida que la persona se va desplazando [71][50][84][82][73][24][21][81] - Los sensores pueden captar muchos ruidos e interferencias en sus mediciones, dependiendo de su calidad de construcción dentro del teléfono inteligente, lo que hace crecer la tasa de error [71][83][82][13][73][24][21][81] - Es necesario aplicar filtros (por ejemplo el de Kalman) para intentar reducir la tasa de error que producen movimientos involuntarios de las personas que cargan el teléfono inteligente, y que al caminar,

			<p>pueden producir errores de medición [71][50][73]</p> <ul style="list-style-type: none"> - Es necesario identificar patrones en los movimientos efectuados por una persona cuando se desplaza: correr, caminar, saltar y subir escaleras, con el objetivo de disminuir el margen de error. Para ello es necesario aplicar algunas técnicas como clasificación Bayesiana, modelo mixto de gauss, entre otros [82][21][81]
2	Navegación inercial y Uso de la red inalámbrica de WLAN-Wifi	<ul style="list-style-type: none"> - Mejora la estimación de la posición de una persona a partir del rastro de la señal y la estimación del desplazamiento [24][73][13] 	<ul style="list-style-type: none"> - Hereda las desventajas de la navegación inercial y el uso de la red inalámbrica WLAN-Wifi [73][24][13]
1	Uso de la red inalámbrica de sensores	<ul style="list-style-type: none"> - Permiten monitorear tanto condiciones físicas como del ambiente: temperatura, el sonido, las vibraciones, presión, el movimiento o condiciones del entorno [77][78] - Cada nodo puede ser configurado y equipado para actuar frente a alguna situación [77][79][78] - Entre nodos pueden comunicarse a través de radio frecuencia [77][79][78] - Cada nodo está equipado con un sensor y una unidad de procesamiento [77][79][78] - Una red de sensores puede responder a requerimientos de almacenamiento de información conforme a instrucciones específicas o eventos [77][79][78] - El modo de trabajo de los sensores es continuo y orientado a eventos [77][79][78] 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere de instalación de hardware adicional en la edificación [79][78] - Requiere de un nodo base que actúe como interface entre el usuario y la red de sensores [77][78][79] - Los nodos tienen una velocidad de procesamiento y una comunicación de ancho de banda limitados [77] - Antes de desplegar los nodos es necesario configurarlos en una topología de red adecuada y a menudo con múltiples hubs [77][78] - Es necesario obtener un balance entre la comunicación y la capacidad de procesamiento de datos entre los nodos, para obtener un mayor rendimiento de energía [77] - Por lo general deben considerarse nodos homogéneos en las redes de sensores (deben ser hechos por el mismo fabricante) [77][78] - Puede presentar problemas

			de atenuación de la señal debido al ambiente y los obstáculos presentes en él [77][78][79]
--	--	--	--

Tabla 26. Ventajas y desventajas de las técnicas de Localización Horizontal en interiores
[Elaboración propia]

Anexo 11. Datos tomados en la prueba de concepto de detección del campo magnético

En la Tabla 27 y Tabla 28 se muestran los valores del campo magnético asociados a los lugares 1 y 2 que se obtuvieron durante la prueba de concepto de la detección del campo magnético.

1. Tabla de valores de campo magnético para el Lugar 1:

Distancia (cm)	T(s)	Z (rad)	x (rad)	Y (rad)	Inclinación (rad)	Magnitud (μT)
5	1	-25,56027794	1,90120124	-2,46876192	-0,03848617	25,74950409
10	2	-26,88827324	5,15129089	-9,50320434	-0,37644496	28,97974968
15	3	-27,23452377	5,23420715	-8,84314060	-0,40642443	29,10871506
20	4	-27,37893486	4,7173237	-8,60003280	-0,39901611	29,08298111
25	5	-28,20637131	0,91565829	-8,2027330	-0,34114679	29,38915825
30	6	-25,72686005	1,08809304	-12,2676124	-0,31473571	28,52279091
35	7	-25,56494331	1,26642596	-12,410324	-0,31999763	28,44620323
40	8	-25,56570244	1,68131923	-12,1074781	-0,33514076	28,33765602
45	9	-25,34770203	1,38551688	-12,1131467	-0,32296016	28,1274662
50	10	-25,34770203	1,38551688	-12,1131467	-0,32296016	28,1274662
55	11	-25,88885117	1,92792332	-10,1285963	-0,36734682	27,86642838
60	12	-27,65672684	4,94692945	-6,14596509	-0,51817500	28,76003265
65	13	-27,06040001	1,63658475	-13,2330942	-0,45792964	30,1671772
70	14	-26,4864502	3,91827201	-15,5356321	-0,39337429	30,95546341
75	15	-28,74914742	-1,82577276	-14,0902872	-0,4319006	32,06841278
80	16	-28,1684227	0,45921632	-14,8979978	-0,3984179	31,86881828
85	17	-29,85482979	1,11178660	-11,4145603	-0,45611280	31,98185349
90	18	-28,99846268	-1,40378379	-12,2285623	-0,39006593	31,50268555
95	19	-29,00274086	-1,31365013	-9,8951473	-0,37792149	30,67243767
100	20	-29,61267281	1,16341924	-9,89031887	-0,39447605	31,2423172

Tabla 27. Datos del campo magnético en el Lugar 1

2. Tabla de valores de campo magnético para el Lugar 2:

Distancia (cm)	T(s)	Z (rad)	x (rad)	Y (rad)	Inclinación (rad)	Magnitud (μT)
5	1	-19,140766	19,4677925	-11,616855	-0,3761890	29,6701107
10	2	-17,507757	20,0530262	-11,111517	-0,3850293	28,8463364
15	3	-19,619279	18,305542	-12,27443	-0,3881995	29,5071297
20	4	-20,330638	18,1148796	-12,838919	-0,3916084	30,105175
25	5	-21,137296	17,1573277	-13,841468	-0,4294861	30,5408821
30	6	-23,637924	14,7815199	-12,712870	-0,4128505	30,6408482
35	7	-24,759664	12,9538794	-12,835644	-0,3802701	30,750576
40	8	-25,191534	16,0805283	-10,627750	-0,3740471	31,719801
45	9	-22,719408	17,6137734	-9,7127437	-0,3063487	30,3439293
50	10	-23,572757	17,0924149	-10,284156	-0,3758494	30,8802452
55	11	-23,281852	16,0049934	-11,186500	-0,339728	30,386549

60	12	-23,125734	15,9399395	-10,767999	-0,3170834	30,08041
65	13	-23,987602	16,1049042	-9,0057163	-0,3584868	30,263443
70	14	-21,725124	18,3280811	-10,524556	-0,3214896	30,3094997
75	15	-21,588941	16,1067238	-13,663108	-0,2524600	30,2024746
80	16	-21,811281	18,5178356	-9,3313751	-0,3187155	30,0951271
85	17	-20,206560	20,2814007	-10,787847	-0,3519233	30,5944119
90	18	-22,286247	18,9218597	-8,6336536	-0,3534001	30,4836578
95	19	-21,306787	16,5337925	-12,59665	-0,3699103	29,7661057
100	20	-23,447303	11,1330299	-15,309923	-0,3534942	30,1349278

Tabla 28. Datos del campo magnético en el Lugar 2

Anexo 12. Pantallazos de prueba de concepto de detección del campo magnético

La Figura 47 y Figura 48 muestran la aplicación desarrollada para la prueba de concepto de la detección del campo magnético. Se presenta la fase de calibración y localización.

Fase de calibración

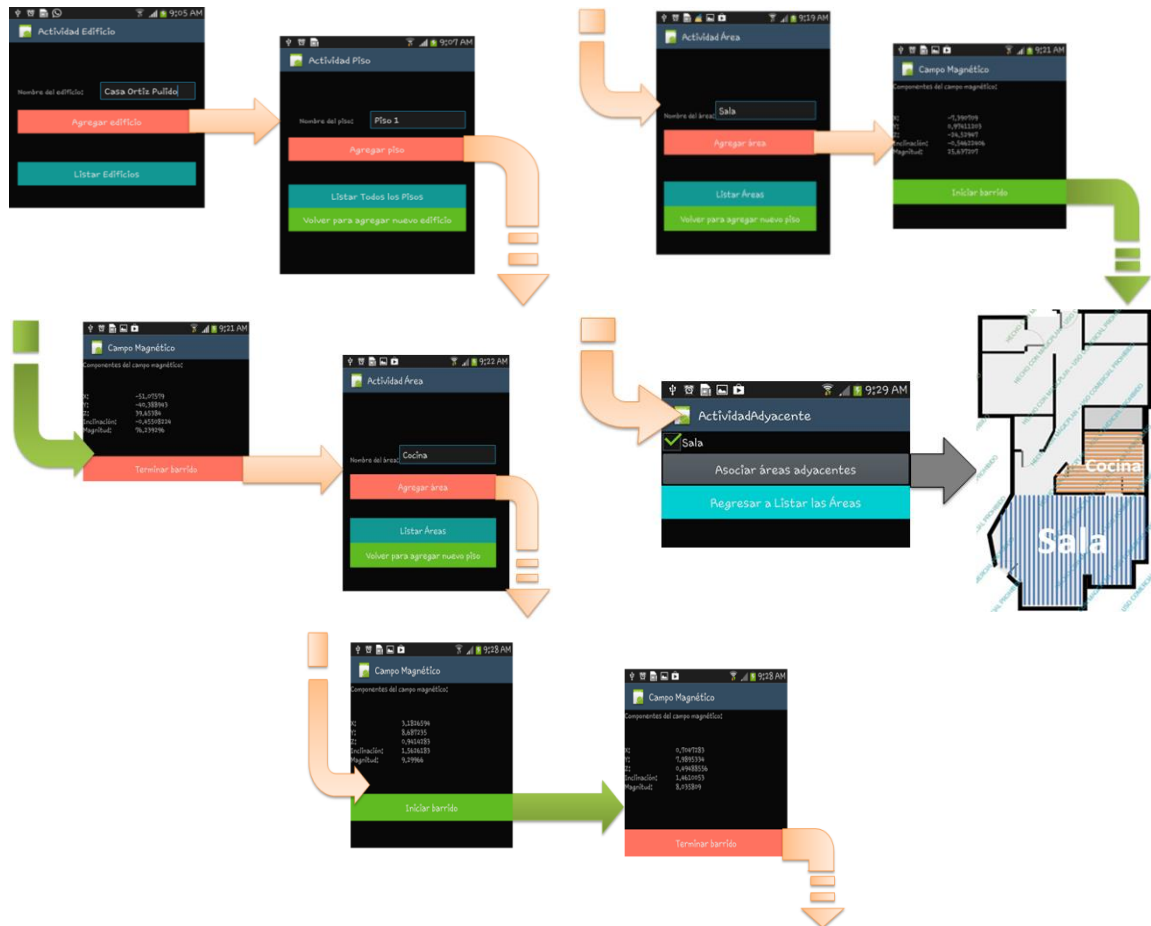


Figura 47. Proceso de calibración de la prueba de concepto de detección de campo magnético

Fase de localización

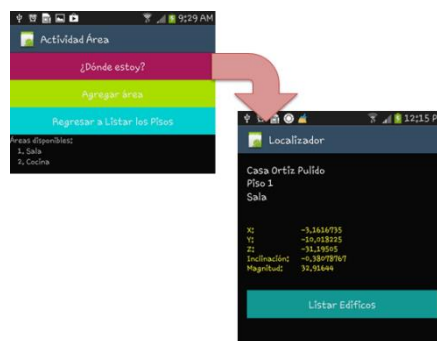


Figura 48. Proceso de localización de la prueba de concepto de detección de campo magnético

Anexo 13. Pantallazos de prueba de concepto del uso de la red inalámbrica de WLAN-Wifi

Para desarrollar los dos algoritmos expuestos por Landu Jiang [5] en su investigación, y poder realizar las dos fases del método escogido (basado en el rastro), se implementó una aplicación como se muestra en la Figura 49 y Figura 50. Se presenta la fase de calibración y localización.

Fase de calibración

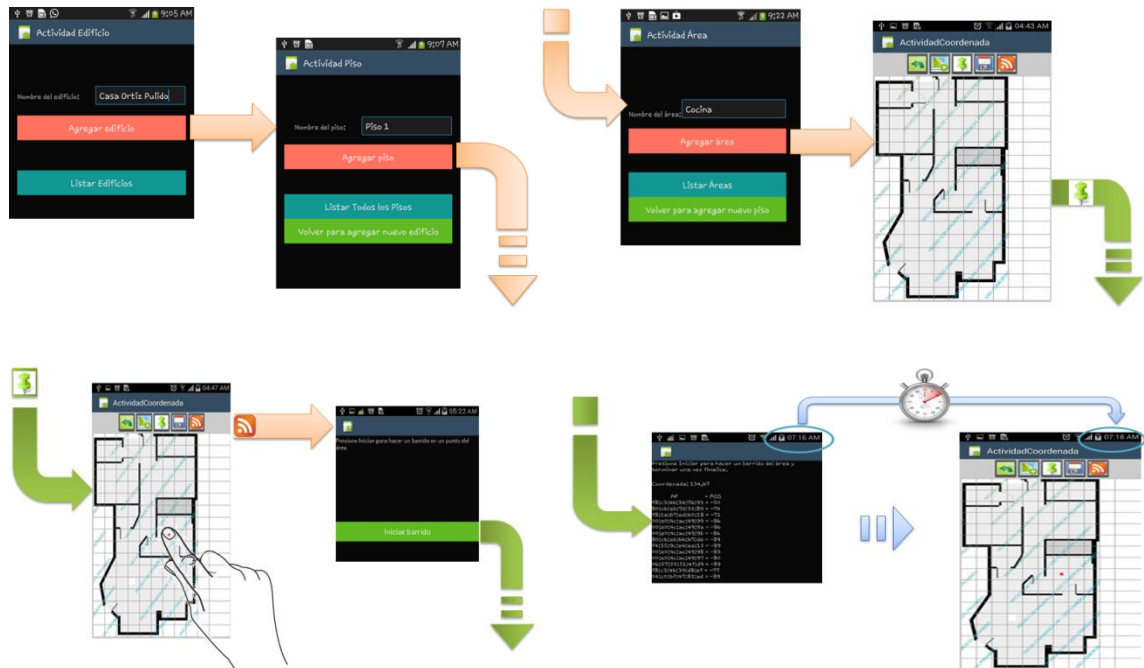


Figura 49. Proceso de calibración de la prueba de concepto de uso de la red inalámbrica de WLAN – Wifi

Fase de localización



Figura 50. Proceso de localización de la prueba de concepto de uso de la red inalámbrica de WLAN - Wifi

Anexo 14. Pseudocódigo de los algoritmos propuestos por Landu Jiang [5]

Algoritmo KMLN (*K vecinos más probables*)

L = lugar donde se quiere localizar a una persona

AP = Access Point

Fase1 = fase de calibración

Fase2 = fase de localización

C = coordenada dentro de **L**

RSS_F1 = Intensidad de la señal emitida por un **AP** en la **Fase1**

RSS_F2 = Intensidad de la señal emitida por un **AP** en la **Fase2**

P = probabilidad

Algoritmo ObtenerKCoordenadasPosibles

cantAP = número de **AP** detectado en **L** en la **Fase1**

Para cada **C_z**

```

{
  Para cada APx detectado en L en la Fase1 en Cz
  {
    SI existe el valor RSS_F2x medido con el APx
    {
      Pxz de obtener RSS_F2x medida con el APx dado que se está en Cz =
      cantidad de RSS_F1 medidas con el APx (donde RSS_F1 = RSS_F2x)
      

---


      cantidad total de RSS_F1 medidas con el APx
    }
    SI NO
    {
      Pxz de obtener RSS_F2x medida con el APx dado que se está en Cz = 1
      cantAP = cantAP - 1
    }
  }
}
Para cada Cz
{
  P_Totalz de estar en Cz = (P1z de obtener RSS_F21 medida con el AP1 dado que se está en Cz)
  * (P2z de obtener RSS_F22 medida con el AP2 dado que se está en Cz) * (Pnz de obtener
  RSS_F2n medida con el APn dado que se está en Cz) ^ (1/cantAPs)
}
P_KMLN = Ordenar descendientemente P_Total
Retornar las primeras K coordenadas de P_KMLN

```

Algoritmo de rastreo basado en la ruta más corta

C_Actual = coordenada dentro de **P_KMLN** del paso actual

C_Último = coordenada dentro de **P_KMLN** del último paso (anterior al actual)

C_Penúltimo = coordenada dentro de **P_KMLN** del penúltimo paso (anterior al **C_Último**)

Algoritmo obtenerCoordenadaActual

Para cada **C_Actual_z**

{

 Para cada **C_Último_z**

 {

RastreoÚltimo_z = Distancia entre **C_Actual_z** y **C_Último_z**

 }

 Para cada **C_Penúltimo_z**

 {

RastreoPenúltimo_z = Distancia entre **C_Actual_z** y **C_Penúltimo_z**

 }

}

RastreoÚltimoMínimo = mínimo valor en **RastreoÚltimo**

RastreoPenúltimoMínimo = mínimo valor en **RastreoPenúltimo**

CoordenadaÚltimo = **C_Actual** correspondiente al **RastreoÚltimoMínimo**

CoordenadaPenúltimo = **C_Actual** correspondiente al **RastreoPenúltimoMínimo**

Coordenada_Actual = **CoordenadaÚltimo** U **CoordenadaPenúltimo**

Retornar la coordenada promedio dentro de la pareja **Coordenada_Actual**

Anexo 15. Pseudocódigo de los algoritmos propuestos en esta investigación

L = lugar donde se quiere localizar a una persona

C = coordenada dentro de **L**

P = probabilidad

C_Actual = coordenada dentro de **P_KMLN** del paso actual

C_Anterior = coordenada dentro de **P_KMLN** del paso anterior al actual

C_{k-1} = última coordenada seleccionada

R = rango

LstCoordenadasDentroDelRango_n = lista de coordenadas dentro del rango n

Algoritmo Basado en el Rango

Algoritmo Rango

Para cada **C_Actual**

```
{
  SI Distancia entre C_Actuali y Ck-1 <= R
  {
    Almacenar la coordenada C_Actuali en LstCoordenadasDentroDelRango1
  }
}
Si Existen LstCoordenadasDentroDelRango1
{
  Seleccionar la coordenada más probable de LstCoordenadasDentroDelRango1
}
SI NO
{
  Seleccionar la Ck-1
}
}
```

Algoritmo Basado en el Rango Extendido

Algoritmo RangoExtendido

Para cada **C_Actual**

```
{
  SI Distancia entre C_Actuali y Ck-1 <= R
  {
    Almacenar la coordenada C_Actuali en LstCoordenadasDentroDelRango1
  }
}
SI Existen LstCoordenadasDentroDelRango1
{
  Seleccionar la coordenada más probable de LstCoordenadasDentroDelRango1
}
SI NO
```

```

{
  Para cada C_Anterior
  {
    SI Distancia entre C_Anteriori y Ck-1 <= R
    {
      Almacenar la coordenada C_Anteriori en LstCoordenadasDentroDelRango2
    }
  }
}
SI Existen LstCoordenadasDentroDelRango2
{
  Para cada LstCoordenadasDentroDelRango2
  {
    Si Distancia entre cada C_Actual y LstCoordenadasDentroDelRango2i <= R
    {
      Almacenar la coordenada C_Actual en LstPosiblesCoordenadas
    }
  }
  Seleccionar la coordenada más cercana a Ck-1 en LstPosiblesCoordenadas
}
SI NO
{
  Para cada C_Actual
  {
    Almacenar el conjunto de coordenadas más ocurrentes que pertenecen a una misma área en
    LstCoordenadasRepetidas
  }
  SI Existen LstCoordenadasRepetidas
  {
    Seleccionar la coordenada con mayor probabilidad en LstCoordenadasRepetidas
  }
  SI NO
  {
    Seleccionar la Ck-1
  }
}
}

```

Algoritmo Basado en el Rango Extendido con Áreas Adyacentes

```

Para cada C_Actual
{
  Si Distancia entre C_Actuali y Ck-1 <= R Y (son coordenadas de áreas adyacentes O son coordenadas de la misma área de Ck-1)
  {
    Almacenar la coordenada C_Actuali en LstCoordenadasDentroDelRango1
  }
  SI Existen LstCoordenadasDentroDelRango1
  {
    Seleccionar la coordenada más probable de LstCoordenadasDentroDelRango1
  }
}

```

```

SI NO
{
  Para cada C_Anterior
  {
    Si Distancia entre C_Anterior y Ck-1 <= R Y (son coordenadas de áreas adyacentes O son
    coordenadas de la misma área de Ck-1)
    {
      Almacenar la coordenada C_Anteriori en LstCoordenadasDentroDelRango2
    }
  }
}
SI Existen LstCoordenadasDentroDelRango2
{
  SI Existen LstCoordenadasDentroDelRango2
  {
    Para cada LstCoordenadasDentroDelRango2
    {
      SI Distancia entre C_Actual y LstCoordenadasDentroDelRango2i <= R
      {
        Almacenar la coordenada C_Actual en LstPosiblesCoordenadas
      }
    }
    Seleccionar la coordenada más cercana a Ck-1 en LstPosiblesCoordenadas
  }
}
SI NO
{
  Para cada C_Actual
  {
    Almacenar el conjunto de coordenadas más ocurrentes que pertenecen a una misma área en
    LstCoordenadasRepetidas
  }
  SI Existen LstCoordenadasRepetidas
  {
    Seleccionar la coordenada con mayor probabilidad en LstCoordenadasRepetidas
  }
  SI NO
  {
    Seleccionar la Ck-1
  }
}
}

```

Anexo 16. Modelo entidad relación de la base de datos utilizada en el prototipo desarrollado

En la Figura 51 se ilustra el modelo entidad-relación de la base de datos utilizada para el almacenamiento de información del prototipo desarrollado.

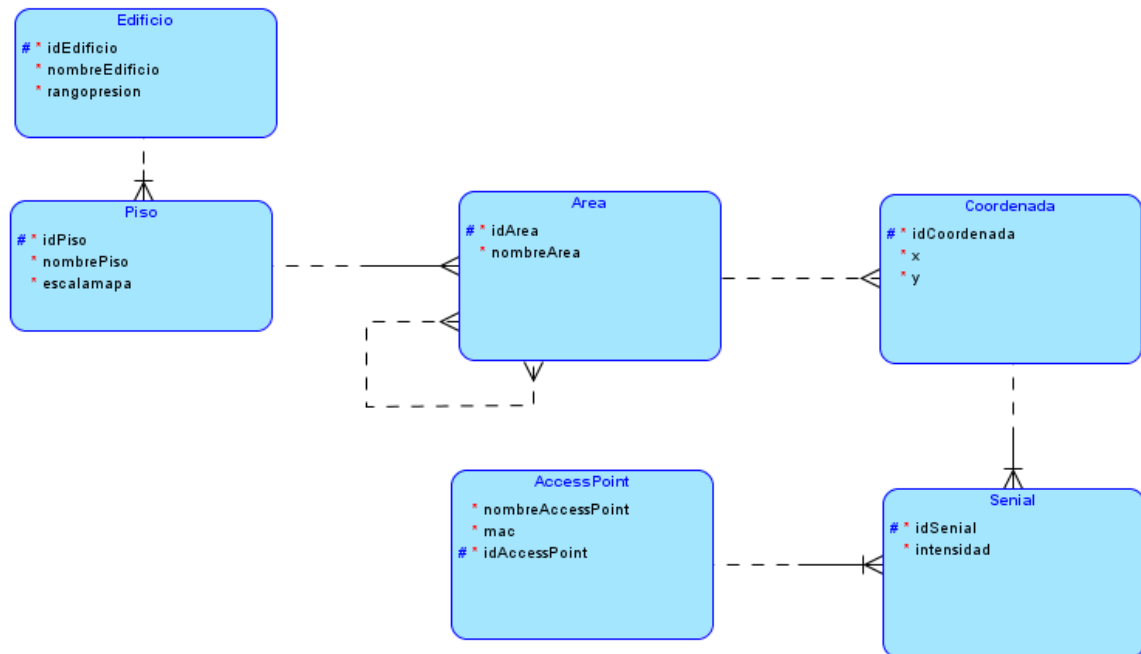


Figura 51. Modelo entidad relación del prototipo desarrollado

Anexo 17. Datos tomados para la prueba de concepto de localización vertical mediante el uso del barómetro del teléfono inteligente

La Tabla 29 muestra los valores obtenidos en la prueba de concepto de la localización vertical.

Número de piso	Presión atmosférica (mbar)
1	745,6
2	745,34
3	745,07
4	744,81

Tabla 29. Presión atmosférica registrada en la prueba de concepto de Localización Vertical

Anexo 18. Resultados obtenidos al aplicar el protocolo de validación

Para la Tabla 30, Tabla 31, Tabla 32, Tabla 33, Tabla 34, Tabla 35, Tabla 36, Tabla 37, Tabla 38, Tabla 39, Tabla 40, Tabla 41, Tabla 42 el número 1 indica que la estimación de la localización fue correcta y el número 0 indica que la estimación fue errada. Para cada prueba se muestra el error porcentual que se obtuvo al aplicar la prueba.

Etapas de validación de la localización horizontal

Algoritmo KMLN

53.8%	K=2	46.2%	K=3	38.5%	K=4	26.9%	K=5
Área real aparece dentro de las K áreas calculadas		Área real aparece dentro de las K áreas calculadas		Área real aparece dentro de las K áreas calculadas		Área real aparece dentro de las K áreas calculadas	
Sí	1	Sí	1	No	0	Sí	1
Sí	1	Sí	1	Sí	1	Sí	1
Sí	1	Sí	1	Sí	1	Sí	1
Sí	1	Sí	1	Sí	1	Sí	1
No	0	No	0	No	0	No	0
No	0	No	0	No	0	No	0
No	0	Sí	1	Sí	1	Sí	1
No	0	Sí	1	Sí	1	Sí	1
No	0	Sí	1	Sí	1	Sí	1
No	0	No	0	No	0	Sí	1
Sí	1	Sí	1	Sí	1	No	0
No	0	No	0	No	0	No	0
No	0	No	0	Sí	1	Sí	1
No	0	No	0	Sí	1	No	0
No	0	Sí	1	Sí	1	Sí	1
Sí	1	No	0	Sí	1	Sí	1
No	0	No	0	No	0	Sí	1
No	0	No	0	Sí	1	Sí	1
No	0	No	0	No	0	Sí	1
Sí	1	No	0	No	0	No	0
No	0	Sí	1	No	0	No	0
Sí	1	No	0	Sí	1	Sí	1
Sí	1	Sí	1	Sí	1	Sí	1
Sí	1	Sí	1	Sí	1	Sí	1

Algoritmo de rastreo basado en la ruta más corta

	K=2		K=3
Área calculada	42%	Área calculada	58%
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio de Bases de datos	0
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio de Bases de datos	0	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio de Bases de datos	0	Laboratorio de Bases de datos	0
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio de redes	1	Laboratorio de Bases de datos	0
Laboratorio de redes	1	Laboratorio de redes	1
Laboratorio de redes	1	Laboratorio de Bases de datos	0
Laboratorio de redes	1	Laboratorio de Bases de datos	0
Pasillo principal	0	Recepción Laboratorios	0
Laboratorio SIDRe	0	Recepción Laboratorios	1
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio de redes	0	Laboratorio de redes	0
Laboratorio de redes	0	Pasillo principal	1
Pasillo principal	1	Pasillo principal	1
Pasillo principal	1	Pasillo principal	1
Laboratorio de redes	0	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio de redes	0	Laboratorio de redes	0
Recepción Laboratorios	1	Laboratorio de Bases de datos	0
Recepción Laboratorios	0	Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio de Bases de datos	1

	K=4		K=5
Área calculada	62%	Área calculada	69%
Laboratorio de Bases de datos	0	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio de redes	0
Laboratorio de Bases de datos	0	Laboratorio de redes	0
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio de Bases de datos	0
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio de Bases de datos	0
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio de Bases de datos	0

Laboratorio de redes	1	Laboratorio de Bases de datos	0
Laboratorio de redes	1	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio de Bases de datos	0	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio de Bases de datos	0	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio de redes	1	Laboratorio de redes	1
Laboratorio de redes	0	Laboratorio de redes	0
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio de redes	0
Laboratorio de redes	0	Pasillo principal	1
Laboratorio SIDRe	0	Pasillo principal	1
Laboratorio de redes	0	Laboratorio de redes	0
Pasillo principal	1	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio de redes	0	Laboratorio de redes	0
Laboratorio de redes	0	Laboratorio de redes	0
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio de redes	0	Laboratorio de redes	0
Recepción Laboratorios	0	Laboratorio de redes	0
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio de Bases de datos	1

Tabla 31. Resultados de las pruebas del algoritmo de rastreo basado en la ruta más corta variando el K

Algoritmo basado en el rango

Metros = 1

	K=2		K=3
Área calculada	73%	Área calculada	65%
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio de redes	0
Laboratorio de redes	0	Laboratorio de redes	0
Laboratorio de redes	0	Laboratorio de redes	0
Laboratorio de redes	1	Laboratorio de redes	1
Laboratorio de redes	1	Laboratorio de redes	1
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio de redes	1
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio SIDRe	0

Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio de Bases de datos	0	Pasillo principal	1
Laboratorio de Bases de datos	0	Pasillo principal	1
Pasillo principal	1	Pasillo principal	1
Pasillo principal	0	Pasillo principal	0
Pasillo principal	0	Pasillo principal	0
Pasillo principal	0	Pasillo principal	0
Pasillo principal	0	Pasillo principal	0
Pasillo principal	0	Pasillo principal	0
Pasillo principal	0	Pasillo principal	0
Pasillo principal	0	Pasillo principal	0
Pasillo principal	0	Pasillo principal	0
Pasillo principal	0	Pasillo principal	0

	K=4		K=5
Área calculada	69%	Área calculada	81%
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio de redes	0
Laboratorio de redes	0	Laboratorio de redes	0
Laboratorio de redes	0	Laboratorio de redes	0
Laboratorio de redes	0	Laboratorio de redes	0
Laboratorio de redes	0	Laboratorio de redes	0
Laboratorio de redes	1	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio de redes	1	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio de redes	1	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio de redes	1	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio de redes	1
Laboratorio SIDRe	0	Recepción Laboratorios	1
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio SIDRe	0
Recepción Laboratorios	0	Recepción Laboratorios	0

Recepción Laboratorios	0	Recepción Laboratorios	0
Recepción Laboratorios	0	Recepción Laboratorios	0
Recepción Laboratorios	0	Recepción Laboratorios	0
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio de Bases de datos	1

Tabla 32. Resultados de las pruebas del algoritmo basado en el rango (1 metro) variando el K
Metros = 2

	K=2		K=3
Área calculada	62%	Área calculada	54%
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio de Bases de datos	0
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio de Bases de datos	0
Recepción Laboratorios	0	Laboratorio de Bases de datos	0
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio de redes	1
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio de redes	1
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio de redes	1
Laboratorio de redes	1	Laboratorio de redes	1
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio de Bases de datos	0
Recepción Laboratorios	1	Laboratorio de redes	0
Recepción Laboratorios	0	Laboratorio de redes	0
Laboratorio de redes	0	Laboratorio de redes	0
Pasillo principal	1	Pasillo principal	1
Pasillo principal	1	Pasillo principal	1
Pasillo principal	1	Laboratorio de Bases de datos	0
Pasillo principal	0	Laboratorio de Bases de datos	0
Recepción Laboratorios	1	Laboratorio de Bases de datos	0
Laboratorio de redes	0	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio de redes	0	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio de redes	0	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio de redes	0	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio de redes	0	Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio de redes	0	Laboratorio de Bases de datos	1

	K=4		K=5
--	------------	--	------------

Área calculada	62%	Área calculada	65%
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio SIDRe	0
Recepción Laboratorios	1	Laboratorio SIDRe	0
Recepción Laboratorios	0	Recepción Laboratorios	0
Laboratorio de Bases de datos	0	Recepción Laboratorios	0
Laboratorio de Bases de datos	0	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio de Bases de datos	0	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio de Bases de datos	0	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio de Bases de datos	0	Laboratorio de redes	0
Laboratorio de redes	0	Laboratorio de redes	0
Laboratorio de redes	0	Laboratorio de redes	0
Laboratorio de redes	0	Laboratorio de redes	0
Laboratorio de redes	0	Laboratorio de redes	0
Laboratorio de redes	0	Pasillo principal	1
Laboratorio de redes	0	Pasillo principal	1
Laboratorio de redes	0	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio de redes	0	Pasillo principal	0
Laboratorio de redes	0	Pasillo principal	0
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio de redes	0
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio de redes	0
Laboratorio de Bases de datos	1	Recepción Laboratorios	0
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio de Bases de datos	1

**Tabla 33. Resultados de las pruebas del algoritmo basado en el rango (2 metros) variando el K
Metros = 3**

	K=2		K=3
Área calculada	42%	Área calculada	35%
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio SIDRe	0
Recepción Laboratorios	1	Recepción Laboratorios	1
Recepción Laboratorios	0	Laboratorio SIDRe	0

Laboratorio de redes	1	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio de redes	1	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio de redes	1	Laboratorio de redes	1
Laboratorio de redes	1	Laboratorio de redes	1
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio de redes	0
Recepción Laboratorios	1	Laboratorio de redes	0
Recepción Laboratorios	0	Laboratorio de redes	0
Laboratorio de redes	0	Pasillo principal	1
Laboratorio de redes	0	Pasillo principal	1
Laboratorio de redes	0	Pasillo principal	1
Laboratorio de redes	0	Pasillo principal	1
Laboratorio de redes	0	Recepción Laboratorios	1
Laboratorio de redes	0	Laboratorio de redes	0
Laboratorio de redes	0	Recepción Laboratorios	0
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio de Bases de datos	1

	K=4		K=5
Área calculada	46%	Área calculada	54%
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio de redes	0
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio de redes	0
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio de redes	1
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio de redes	1
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio de redes	1
Laboratorio de redes	1	Laboratorio de redes	1
Laboratorio de redes	1	Laboratorio de redes	1
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio de redes	0
Laboratorio de redes	0	Laboratorio de redes	0
Laboratorio de redes	0	Laboratorio de redes	0
Laboratorio de redes	0	Laboratorio SIDRe	0
Pasillo principal	1	Laboratorio SIDRe	0

Pasillo principal	1	Laboratorio SIDRe	0
Pasillo principal	1	Laboratorio SIDRe	0
Pasillo principal	0	Laboratorio de redes	0
Pasillo principal	0	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio de redes	0
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio de Bases de datos	1	Recepción Laboratorios	0
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio de Bases de datos	1

**Tabla 34. Resultados de las pruebas del algoritmo basado en el rango (3 metros) variando el K
Metros = 4**

	K=2		K=3
Área calculada	62%	Área calculada	42%
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio de redes	0	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio de redes	0	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio de redes	0	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio de Bases de datos	0	Laboratorio de Bases de datos	0
Laboratorio de Bases de datos	0	Laboratorio de Bases de datos	0
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio de redes	1
Laboratorio de redes	1	Laboratorio de redes	1
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio de redes	1
Laboratorio de Bases de datos	0	Laboratorio de Bases de datos	0
Laboratorio de Bases de datos	0	Laboratorio de Bases de datos	0
Laboratorio de Bases de datos	0	Laboratorio de Bases de datos	0
Pasillo principal	1	Pasillo principal	1
Pasillo principal	1	Pasillo principal	1
Pasillo principal	1	Pasillo principal	1
Pasillo principal	1	Pasillo principal	1
Laboratorio de redes	0	Laboratorio de redes	0
Pasillo principal	0	Pasillo principal	0
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio de Bases de datos	1

Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio de Bases de datos	1

	K=4		K=5
Área calculada	46%	Área calculada	58%
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio de Bases de datos	0	Laboratorio de Bases de datos	0
Laboratorio de Bases de datos	0	Laboratorio de Bases de datos	0
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio de Bases de datos	0
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio de Bases de datos	0
Laboratorio de redes	1	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio de redes	1	Laboratorio de redes	1
Laboratorio de redes	1	Laboratorio de redes	1
Laboratorio de Bases de datos	0	Recepción Laboratorios	1
Laboratorio de Bases de datos	0	Recepción Laboratorios	1
Laboratorio de Bases de datos	0	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio de Bases de datos	0	Recepción Laboratorios	0
Laboratorio de Bases de datos	0	Recepción Laboratorios	0
Pasillo principal	1	Laboratorio de redes	0
Pasillo principal	1	Laboratorio de redes	0
Laboratorio de redes	0	Laboratorio de redes	0
Pasillo principal	0	Pasillo principal	0
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio de Bases de datos	1

Tabla 35. Resultados de las pruebas del algoritmo basado en el rango (4 metros) variando el K
Algoritmo basado en el rango extendido

K = 3 y Metros = 3

Área calculada	27%
Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	1

Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	1
Recepción Laboratorios	1
Recepción Laboratorios	1
Recepción Laboratorios	0
Laboratorio de redes	1
Laboratorio de redes	1
Laboratorio SIDRe	0
Recepción Laboratorios	0
Recepción Laboratorios	1
Recepción Laboratorios	1
Recepción Laboratorios	0
Recepción Laboratorios	0
Pasillo principal	1
Pasillo principal	1
Pasillo principal	1
Laboratorio de Bases de datos	0
Laboratorio de Bases de datos	0
Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio de Bases de datos	1

**Tabla 36. Resultados de las pruebas del algoritmo basado en el rango extendido con 3 metros
K = 3**

Algoritmo basado en el rango extendido utilizando áreas adyacentes

K = 3 y Metros = 3

Área calculada	42%	Área calculada	73%
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio de redes	0	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio de redes	0	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio de redes	1	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio de redes	1	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio de redes	1	Laboratorio de redes	1

Laboratorio de redes	1	Recepción Laboratorios	0
Laboratorio de redes	1	Laboratorio de redes	1
Laboratorio de redes	0	Laboratorio de redes	0
Laboratorio de redes	0	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio de redes	0	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio de redes	0	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio de redes	0	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio de redes	0	Recepción Laboratorios	0
Laboratorio de redes	0	Pasillo principal	1
Pasillo principal	0	Pasillo principal	0
Recepción Laboratorios	1	Laboratorio de Bases de datos	0
Laboratorio de redes	0	Pasillo principal	0
Laboratorio de Bases de datos	1	Pasillo principal	0
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio de Bases de datos	1	Pasillo principal	0
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio de redes	0

Área calculada	65%	Área calculada	23%
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	0	Recepción Laboratorios	1
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio de redes	0
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio de redes	1
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio de redes	1
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio de redes	1
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio de redes	1
Laboratorio SIDRe	0	Pasillo principal	0
Recepción Laboratorios	1	Laboratorio de Bases de datos	0
Pasillo principal	0	Laboratorio de Bases de datos	0
Laboratorio de Bases de datos	0	Pasillo principal	1
Pasillo principal	1	Pasillo principal	1
Laboratorio de Bases de datos	0	Pasillo principal	1
Laboratorio de Bases de datos	0	Pasillo principal	1
Pasillo principal	1	Pasillo principal	1
Recepción Laboratorios	1	Pasillo principal	0

Laboratorio de Bases de datos	0	Laboratorio de redes	0
Pasillo principal	0	Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio de redes	0	Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio de Bases de datos	1

Área calculada	23%	Área calculada	23%
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio SIDRe	0
Recepción Laboratorios	1	Laboratorio de redes	0
Laboratorio de redes	1	Laboratorio de redes	1
Laboratorio de redes	1	Laboratorio de redes	1
Laboratorio de redes	1	Laboratorio de redes	1
Laboratorio de redes	1	Laboratorio de redes	1
Laboratorio de redes	1	Laboratorio de redes	1
Laboratorio de redes	0	Laboratorio de redes	0
Recepción Laboratorios	1	Laboratorio de Bases de datos	0
Pasillo principal	1	Pasillo principal	1
Pasillo principal	1	Pasillo principal	1
Laboratorio de Bases de datos	0	Pasillo principal	1
Laboratorio de Bases de datos	0	Pasillo principal	1
Pasillo principal	1	Pasillo principal	1
Pasillo principal	0	Laboratorio de redes	0
Pasillo principal	0	Recepción Laboratorios	1
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio de redes	0
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio de Bases de datos	1

Área calculada	23%	Área calculada	23%
-----------------------	------------	-----------------------	------------

Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio de Bases de datos	0	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio de Bases de datos	0	Recepción Laboratorios	1
Laboratorio de redes	1	Pasillo principal	0
Laboratorio de redes	1	Laboratorio de redes	1
Laboratorio de redes	1	Laboratorio de redes	1
Laboratorio de redes	1	Laboratorio de redes	1
Laboratorio de redes	1	Laboratorio de redes	1
Laboratorio de redes	0	Laboratorio de redes	0
Laboratorio de redes	0	Laboratorio de redes	0
Pasillo principal	1	Pasillo principal	1
Pasillo principal	1	Pasillo principal	1
Pasillo principal	1	Pasillo principal	1
Pasillo principal	1	Pasillo principal	1
Pasillo principal	1	Pasillo principal	1
Pasillo principal	0	Laboratorio de redes	0
Pasillo principal	0	Laboratorio de redes	0
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio de Bases de datos	1

Área calculada	23%	Área calculada	23%
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio de Bases de datos	0
Recepción Laboratorios	1	Recepción Laboratorios	1
Recepción Laboratorios	0	Recepción Laboratorios	0
Laboratorio de redes	1	Laboratorio de redes	1
Laboratorio de redes	1	Laboratorio de redes	1
Laboratorio de redes	1	Laboratorio de redes	1

Laboratorio de redes	1	Laboratorio de redes	1
Laboratorio de redes	0	Recepción Laboratorios	1
Laboratorio de redes	0	Pasillo principal	0
Pasillo principal	1	Pasillo principal	1
Pasillo principal	1	Laboratorio de redes	0
Pasillo principal	1	Pasillo principal	1
Pasillo principal	1	Pasillo principal	1
Pasillo principal	1	Pasillo principal	1
Pasillo principal	0	Pasillo principal	0
Laboratorio de redes	0	Recepción Laboratorios	1
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio de Bases de datos	1

Área calculada	23%	Área calculada	58%
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio SIDRe	0
Recepción Laboratorios	1	Laboratorio SIDRe	0
Recepción Laboratorios	0	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio de redes	1	Laboratorio de redes	1
Laboratorio de redes	1	Laboratorio de redes	1
Laboratorio de redes	1	Laboratorio de redes	1
Laboratorio de Bases de datos	0	Recepción Laboratorios	0
Laboratorio de redes	0	Laboratorio de redes	0
Laboratorio de redes	0	Laboratorio de redes	0
Pasillo principal	1	Laboratorio de redes	0
Pasillo principal	1	Laboratorio de redes	0
Pasillo principal	1	Laboratorio SIDRe	0
Pasillo principal	1	Laboratorio SIDRe	0
Pasillo principal	1	Laboratorio SIDRe	0
Recepción Laboratorios	1	Recepción Laboratorios	1
Laboratorio de Bases de datos	0	Recepción Laboratorios	1

Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio de Bases de datos	1	Pasillo principal	0

Área calculada	23%	Área calculada	23%
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio de redes	0	Laboratorio de redes	0
Laboratorio de redes	1	Laboratorio de redes	1
Laboratorio de redes	1	Laboratorio de redes	1
Laboratorio de redes	1	Laboratorio de redes	1
Laboratorio de redes	1	Laboratorio de redes	1
Recepción Laboratorios	0	Recepción Laboratorios	0
Laboratorio de redes	0	Laboratorio de redes	0
Recepción Laboratorios	1	Recepción Laboratorios	1
Pasillo principal	1	Recepción Laboratorios	0
Pasillo principal	1	Pasillo principal	1
Pasillo principal	1	Pasillo principal	1
Pasillo principal	1	Pasillo principal	1
Pasillo principal	1	Pasillo principal	1
Laboratorio de redes	0	Pasillo principal	0
Recepción Laboratorios	1	Recepción Laboratorios	1
Laboratorio de redes	0	Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio de Bases de datos	1

Área calculada	23%	Área calculada	46%
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1

Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	1	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	0	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio de redes	0	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio de redes	1	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio de redes	1	Laboratorio de redes	1
Laboratorio de redes	1	Laboratorio de redes	1
Laboratorio de redes	1	Laboratorio de redes	1
Laboratorio de redes	1	Recepción Laboratorios	0
Laboratorio de redes	0	Laboratorio de redes	0
Laboratorio de Bases de datos	0	Laboratorio de redes	0
Pasillo principal	1	Laboratorio de redes	0
Pasillo principal	1	Laboratorio de redes	0
Pasillo principal	1	Laboratorio SIDRe	0
Pasillo principal	1	Laboratorio SIDRe	0
Pasillo principal	1	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio de redes	0	Recepción Laboratorios	1
Recepción Laboratorios	1	Recepción Laboratorios	1
Laboratorio de redes	0	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio SIDRe	0
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio de Bases de datos	1	Laboratorio de Bases de datos	1

Área calculada	23%
Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio de redes	0
Recepción Laboratorios	1
Laboratorio de redes	1
Laboratorio de redes	1
Laboratorio de redes	1
Laboratorio de redes	1
Laboratorio de redes	1

Laboratorio de redes	0
Recepción Laboratorios	1
Pasillo principal	1
Pasillo principal	1
Pasillo principal	1
Pasillo principal	1
Pasillo principal	1
Pasillo principal	0
Laboratorio de redes	0
Recepción Laboratorios	0
Recepción Laboratorios	0
Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio de Bases de datos	1

Tabla 37. Resultados de las pruebas del algoritmo basado en el rango extendido utilizando áreas adyacentes, con 3 metros $K = 3$

Etapa de validación de la localización vertical

Los siguientes resultados corresponden tanto a las pruebas hechas mediante el ascensor y las escaleras.

Recorrido	1		Recorrido	2		Recorrido	3
Piso calculado	0%		Piso calculado	0%		Piso calculado	0%
1	1		4	1		2	1
2	1		2	1		4	1
1	1		3	1		1	1
2	1		1	1		3	1
3	1		4	1		2	1
1	1		1	1		4	1
4	1		2	1		3	1

Recorrido	4		Recorrido	5
Piso calculado	0%		Piso calculado	0%
3	1		4	1
1	1		1	1
4	1		3	1
2	1		2	1
3	1		1	1

1	1		4	1
2	1		2	1

Tabla 38. Resultados de los 5 recorridos de la prueba de localización vertical utilizando las escaleras y el ascensor

Etapa de validación del modelo completo

Usuario 1

Área Real	Área calculada	29%
Pasillo principal	Pasillo principal	1
Pasillo principal	Pasillo principal	1
Pasillo principal	Pasillo principal	1
Pasillo principal	Pasillo principal	1
Pasillo principal	Pasillo principal	1
Pasillo principal	Pasillo principal	1
Pasillo principal	Pasillo principal	1
Pasillo principal	Pasillo principal	1
Recepción Laboratorios	Pasillo principal	0
Laboratorio de redes	Recepción Laboratorios	0
Laboratorio de redes	Recepción Laboratorios	0
Laboratorio de redes	Recepción Laboratorios	0
Laboratorio de redes	Laboratorio de redes	1
Laboratorio de redes	Laboratorio de redes	1
Laboratorio de redes	Laboratorio de redes	1
Recepción Laboratorios	Pasillo principal	0
Laboratorio SIDRe	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	Laboratorio SIDRe	1
Recepción Laboratorios	Pasillo principal	0
Recepción Laboratorios	Pasillo principal	0
Laboratorio de Bases de datos	Recepción Laboratorios	0
Laboratorio de Bases de datos	Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio de Bases de datos	Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio de Bases de datos	Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio de Bases de datos	Laboratorio de Bases de datos	1
Laboratorio de Bases de datos	Laboratorio de Bases de datos	1

datos		
-------	--	--

Piso Real	Piso calculado	0%
4	4	1
3	3	1
4	4	1

Tabla 39. Resultados obtenidos en la prueba de validación del modelo completo (Usuario 1)
Usuario 2

Área Real	Área calculada	30%
Pasillo principal	Pasillo principal	1
Pasillo principal	Laboratorio SIDRe	0
Pasillo principal	Pasillo principal	1
Recepción Laboratorios	Pasillo principal	0
Recepción Laboratorios	Pasillo principal	0
Laboratorio de redes	Laboratorio de redes	1
Laboratorio de redes	Laboratorio de redes	1
Laboratorio de redes	Laboratorio de redes	1
Laboratorio de redes	Laboratorio de redes	1
Laboratorio de redes	Recepción Laboratorios	0
Laboratorio de redes	Laboratorio de redes	1
Laboratorio de redes	Laboratorio de redes	1
Laboratorio de redes	Laboratorio de redes	1
Laboratorio de redes	Laboratorio de redes	1
Recepción Laboratorios	Laboratorio de redes	0
Recepción Laboratorios	Laboratorio de redes	0
Recepción Laboratorios	Laboratorio de redes	0
Laboratorio SIDRe	Laboratorio de redes	0
Laboratorio SIDRe	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	Laboratorio SIDRe	1
Recepción Laboratorios	Laboratorio SIDRe	0
Recepción Laboratorios	Laboratorio SIDRe	0
Pasillo principal	Laboratorio de redes	0
Pasillo principal	Pasillo principal	1

Pasillo principal	Pasillo principal	1
Pasillo principal	Pasillo principal	1
Pasillo principal	Pasillo principal	1
Pasillo principal	Pasillo principal	1
Pasillo principal	Pasillo principal	1
Pasillo principal	Pasillo principal	1
Pasillo principal	Pasillo principal	1
Pasillo principal	Pasillo principal	1
Pasillo principal	Pasillo principal	1

Piso Real	Piso calculado	0%
4	4	1
3	3	1

Tabla 40. Resultados obtenidos en la prueba de validación del modelo completo (Usuario 2)
Usuario 3

Área Real	Área calculada	25%
Pasillo principal	Pasillo principal	1
Recepción Laboratorios	Pasillo principal	0
Laboratorio de redes	Laboratorio de redes	1
Laboratorio SIDRe	Laboratorio SIDRe	1
Pasillo principal	Laboratorio de redes	0
Pasillo principal	Pasillo principal	1
Pasillo principal	Pasillo principal	1
Pasillo principal	Pasillo principal	1
Laboratorio de redes	Laboratorio de redes	1
Laboratorio SIDRe	Laboratorio de redes	0
Laboratorio SIDRe	Laboratorio SIDRe	1
Pasillo principal	Pasillo principal	1

Piso Real	Piso calculado	0%
4	4	1
3	3	1
4	4	1

Tabla 41. Resultados obtenidos en la prueba de validación del modelo completo (Usuario 3)
Usuario 4

Área Real	Área calculada	29%
------------------	----------------	------------

Recepción Laboratorios	Laboratorio de redes	0
Laboratorio de redes	Laboratorio de redes	1
Laboratorio de redes	Laboratorio de redes	1
Recepción Laboratorios	Recepción Laboratorios	1
Recepción Laboratorios	Laboratorio de redes	0
Laboratorio SIDRe	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	Laboratorio SIDRe	1
Laboratorio SIDRe	Laboratorio SIDRe	1
Recepción Laboratorios	Laboratorio SIDRe	0
Recepción Laboratorios	Laboratorio SIDRe	0
Pasillo principal	Laboratorio de redes	0
Pasillo principal	Pasillo principal	1
Pasillo principal	Pasillo principal	1
Pasillo principal	Pasillo principal	1
Pasillo principal	Pasillo principal	1

Piso Real	Piso calculado	0%
4	4	1
3	3	1

Tabla 42. Resultados obtenidos en la prueba de validación del modelo completo (Usuario 4)

Anexo 19. Encuestas de satisfacción aplicadas a los usuarios sin discapacidad visual durante la prueba del modelo completo

Usuario 1

Encuesta

- ¿Qué nivel de usabilidad ¹encontró en la aplicación móvil? ¿Por qué?
 - Muy alto
 - *Alto*
 - Medio
 - Bajo
 - Muy bajo

Porque la aplicación es sencilla y fácil de usar debido a que solo es necesario abrir la aplicación y pasar las tarjetas cerca al celular y las demás tareas las hace la aplicación. En algunos casos puede llegar a ser confusa la aplicación en cuanto a si está sirviendo o dejo de funcionar, debido a que los tiempos de espera en iniciación (cargando datos por piso) en ocasiones es demorada.

- ¿Qué nivel de precisión percibió en la localización comunicada por la aplicación móvil? ¿Por qué?
 - Preciso
 - *Aceptable*
 - Poco preciso
 - Nada preciso

Porque es una buena precisión. En ocasiones cuando se encuentra en lugares críticos (fronteras) la aplicación comienza a fallar no siendo tan precisa en tiempo real, pero en el momento en que se estabiliza la localización y comunicación, la aplicación vuelve a tomar una buena precisión y otorga información correcta de la ubicación. Lo anterior también es por el alto tráfico en la red que retrasa el tiempo de respuesta de la aplicación afectándola en tiempo real.

- ¿Qué recomendaciones podría hacer usted para mejorar la aplicación? ¿Qué más podría ofrecerle una aplicación de este tipo a una persona con discapacidad visual?

¹ Usabilidad se refiere a la facilidad de uso que usted percibe del manejo de la aplicación.

Trabajar con una red a la internet con mayor cobertura y velocidad para hacer más eficiente la ubicación en el momento preciso en que se requiere la información de ubicación. A futuro, podría ofrecer también la opción de control por voz, en donde para preguntar la ubicación actual no sea indispensable una tarjeta sino con un simple comando reconocimiento de voz como: “¿Dónde estoy?” o “¿A cuántos metros me encuentro de X lugar?”

Usuario 2

Encuesta

- ¿Qué nivel de usabilidad ²encontró en la aplicación móvil? ¿Por qué?
 - *Muy alto*
 - Alto
 - Medio
 - Bajo
 - Muy bajo

Porque una persona que tenga una discapacidad visual requiere herramientas que no le bloqueen sus extremidades de uso frecuente, por ejemplo en este caso, las manos son esenciales para ubicarse con límites del espacio, la interacción con la aplicación se limita a momentos en los que desea ubicarse y con un proceso que no quita más de un par de segundos al acercar la tarjeta al dispositivo, no es comprometedor ni limitador en este aspecto.

- ¿Qué nivel de precisión percibió en la localización comunicada por la aplicación móvil? ¿Por qué?
 - Preciso
 - *Aceptable*
 - Poco preciso
 - Nada preciso

Porque en las diferentes pruebas que hice, generalmente era ubicado en el lugar correcto, sin embargo en algunos momentos me ubicaba en un sitio diferente al esperado, aun así, es un sitio cercano al que debía indicarme.

- ¿Qué recomendaciones podría hacer usted para mejorar la aplicación? ¿Qué más podría ofrecerle una aplicación de este tipo a una persona con discapacidad visual?

² Usabilidad se refiere a la facilidad de uso que usted percibe del manejo de la aplicación.

Considero que mantener una aplicación para personas con discapacidades simple y de fácil manejo es un factor esencial para que sean usadas a gran escala, esta aplicación cumple con ese principio, razón por la que no considero pertinentes realizar cambios significativos en la aplicación. Quizás un cambio de utilidad podría ser que después de un tiempo determinado el dispositivo le indique al usuario donde se encuentra así este no lo haya solicitado.

Usuario 3

Encuesta

- ¿Qué nivel de usabilidad³ encontró en la aplicación móvil? ¿Por qué?
 - Muy alto
 - *Alto*
 - Medio
 - Bajo
 - Muy bajo

Porque tanto como el arranque como la ejecución es muy sencillo para el usuario.

- ¿Qué nivel de precisión percibió en la localización comunicada por la aplicación móvil? ¿Por qué?
 - *Preciso*
 - Aceptable
 - Poco preciso
 - Nada preciso

Porque genera ubicación exacta ya sea cambiando de una oficina a otra determinando de quién o qué sala es.

- ¿Qué recomendaciones podría hacer usted para mejorar la aplicación? ¿Qué más podría ofrecerle una aplicación de este tipo a una persona con discapacidad visual?

Para una persona con discapacidad visual podría colocarse a la aplicación un botón específico del celular en vez de una tarjeta externa para evitar la complicación de buscar dicha tarjeta

Usuario 4

Encuesta

³ Usabilidad se refiere a la facilidad de uso que usted percibe del manejo de la aplicación.

- ¿Qué nivel de usabilidad ⁴ encontró en la aplicación móvil? ¿Por qué?
 - *Muy alto*
 - Alto
 - Medio
 - Bajo
 - Muy bajo

Porque es una aplicación que no requiere interacción con el usuario y el celular de manera directa, permite que su manejo sea a través de tarjetas, que al acercarlas al dispositivo este indica la ubicación de la persona. Por lo tanto al tener esta interacción, la aplicación es sencilla y responde al tacto de la persona.

- ¿Qué nivel de precisión percibió en la localización comunicada por la aplicación móvil? ¿Por qué?
 - Preciso
 - *Aceptable*
 - Poco preciso
 - Nada preciso

Porque en algunos momentos la aplicación nombraba puntos que no correspondían al sitio donde uno se encontraba, pero considero que se debía a la cercanía de las zonas. Por ejemplo cuando uno estaba entrando a la sala de SIDRE, la aplicación a veces mencionaba la sala de redes, a mi parecer eran los límites de las salas, por lo tanto considero que es aceptable la precisión en cuanto a localización.

- ¿Qué recomendaciones podría hacer usted para mejorar la aplicación? ¿Qué más podría ofrecerle una aplicación de este tipo a una persona con discapacidad visual?

La aplicación me pareció muy buena y con una connotación social muy grande e importante, mi recomendación es ampliar las áreas de localización para evidenciar mejor la precisión, con el fin de llevar a una escala más grande el proyecto.

El día que conocí la aplicación, comencé a imaginarme donde más aplicarla y que más ofrecer con este tipo de aplicaciones, aquí unas ideas:

1. *Lo primero es aplicarla a nivel institucional, en el área de la Universidad Javeriana e ir ampliando las zonas. Seguramente se podría ampliar la descripción de*

⁴ Usabilidad se refiere a la facilidad de uso que usted percibe del manejo de la aplicación.

las áreas por ejemplo no solo decir el nombre de la sala si no la descripción. Por ejemplo si una persona llega al edificio de ingeniería se le informe: Nombre del edificio, las carreras que se encuentran en el edificio, cafetería más cercana. Descripciones que permitan conocer que se encuentra en el lugar identificado.

- 2. En el sistema para el transporte, por ejemplo Transmilenio donde en cada estación y vagón existan tarjetas que al acercar el dispositivo móvil indique en donde se encuentra o que buses paran.*
- 3. En los centros comerciales, donde se indiquen la información de los pisos y los almacenes cercanos.*

Los felicito por la aplicación realizada como trabajo de grado y los animo a que continúen trabajando para conseguir grandes logros, estos granos de arena en la sociedad son los que van construyendo país, son los que buscan eliminar las barreras que nos separan de los demás.

Anexo 20. Guía de Instalación de componentes del prototipo

El prototipo cuenta con tres componentes principales. El primero está constituido por la base de información, el segundo comprende el proveedor de servicios y el tercer componente está conformado por dos aplicaciones móviles que consumen los servicios.

Instalación de la base de información

La base de información del prototipo está constituida por una base de datos PL-SQL Oracle 11g y los archivos correspondientes para la creación de tablas, procedimientos, secuencias y lanzadores se encuentran en la carpeta “*Prototipo/Codigo Fuente/Bases de Datos - Queries*”. Para la creación de las tablas se necesita abrir el archivo “*Create_Tables.sql*”. Una vez ejecutado el anterior archivo en *oracle developer*, se puede proceder a crear los lanzadores y secuencias correspondientes que se encuentran en el archivo “*Sequences_Triggers.sql*”. Por último, se debe ejecutar cada uno de los procedimientos almacenados por separado que se encuentran en el archivo “*Store_Procedures.sql*”.

Configuración

Para obtener un correcto funcionamiento de la base de datos es necesario configurar el número de sesiones y procesos que puede ejecutar el manejador de la base de datos a través de la ejecución de la siguiente sentencia (debe tener permisos de administrador para poder ejecutarlas):

```
alter system set sessions=1024 scope=spfile;  
alter system set processes=1024 scope=spfile;  
commit;
```

Instalación del proveedor de servicios

El proveedor de servicios fue desarrollado en Java EE 6 y está basado en un servicio web SOAP. Para ello se desplegó la aplicación en un servidor de aplicaciones GlassFish 3.1 y en la carpeta “*Prototipo/Codigo Fuente/Aplicacion – Servicio Web*” se encuentra un proyecto de NetBeans 7.3.1 con el código fuente. No es obligatorio usar NetBeans, sin embargo, a continuación se da una breve explicación de cómo debería desplegarse la aplicación si se usara este IDE. Antes de ejecutar la aplicación es necesario configurar la conexión entre la base de datos y la aplicación, para ello es necesario agregar una nueva conexión al IDE, seleccionado el driver Oracle thin 11g e importando la librería “*ojdbc6.jar*”, que se encuentra en la carpeta “*Prototipo/Librerias*”. Luego debe ingresarse la dirección del lugar donde se encuentra la base de datos y colocar las credenciales. Una vez agregada la nueva conexión, es necesario agregar ésta al archivo “*persistence.xml*” desde el IDE, cambiando el campo *Data Source* seleccionado por defecto por la nueva conexión.

Luego, para desplegar el Servicio Web es necesario generar el WSDL dentro de la carpeta del proyecto, para ello debe ubicarse la carpeta Web Services (en el IDE) y sobre WifiWebService dar click derecho y seleccionar “generar y copiar el WSDL”, como se muestra en la Figura 52.

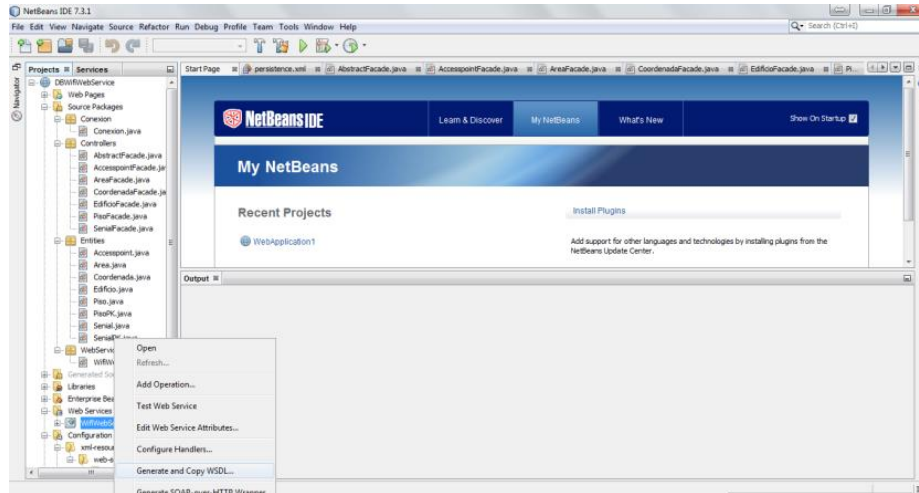


Figura 52. Generación del WSDL del Servicio Web en NetBeans

Configuración

Para obtener el mejor desempeño del servidor de aplicaciones es necesario configurar el pool de conexiones y el *timeout* de las conexiones inactivas. Para ello es necesario ingresar al *Domain Server Console* y dentro de la opción Recursos/JDBC, seleccionar la conexión que corresponde con la base de datos. Posteriormente se hace doble *click* en el pool de conexiones de la Base de datos correspondiente, como se evidencia en la Figura 53.

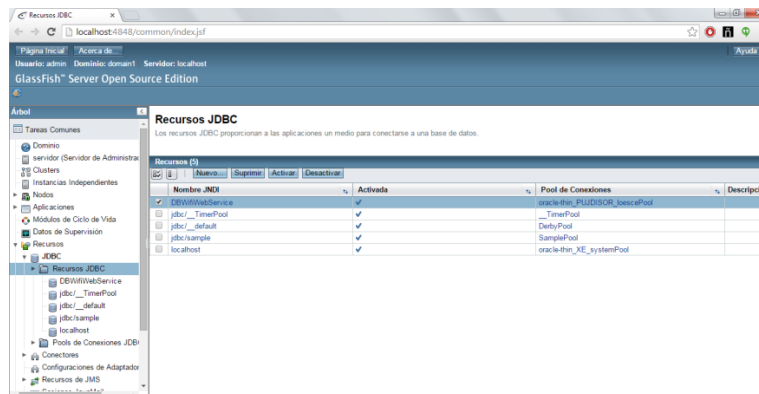


Figura 53. Consola de GlassFish para edición del pool de conexiones

Luego se deben editar los siguientes campos como se muestra en la Figura 54.

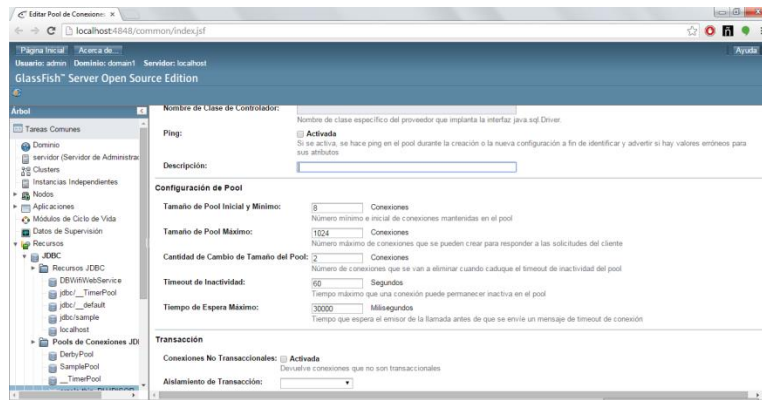


Figura 54. Configuración del pool de conexiones de GlassFish

Instalación del consumidor de servicios

Para el prototipo se elaboraron dos tipos de aplicaciones móviles Android: “Localizarme.Wifi” orientada a usuarios con discapacidad visual, que se encuentra en la carpeta “*Prototipo/Codigo Fuente/Aplicacion – Movil - Localizador*” y “Calibrador.Wifi” orientada a usuarios sin discapacidad visual y se encuentra en la carpeta “*Prototipo/Codigo Fuente/Aplicacion – Movil - Calibrador*”. Si se desea editar estos proyectos es necesario hacerlo con el IDE que se prefiera e implementar las librerías KSOAP y TTS que se encuentran en la carpeta “*Prototipo/Librerias*”, sin embargo a continuación se muestra como se haría con el IDE Eclipse ADT.

Para que cada una de estas aplicaciones logre consumir el Servicio Web es necesario configurar la dirección IP del proveedor ubicada en el archivo “SoapManager.java” que se encuentra en el paquete “utils”. Este cambio se ve reflejado en la línea 60 de código como se muestra en la Figura 55.

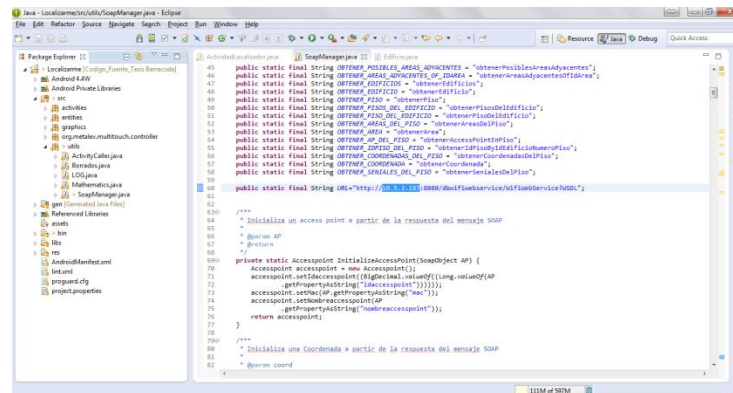


Figura 55. Configuración de la IP del Servicio Web desde la aplicación móvil en Eclipse ADT

Configuración del tag RFID

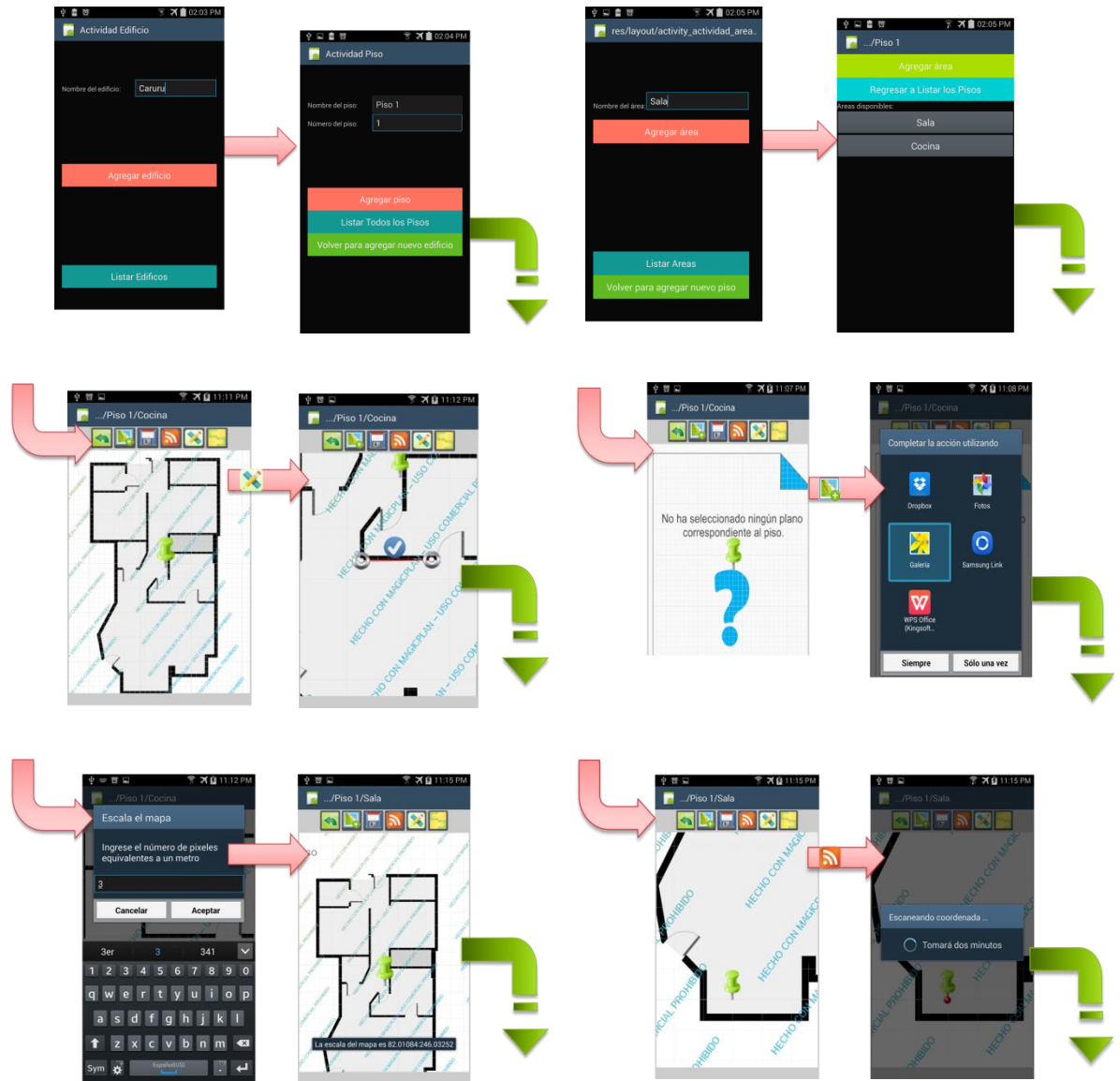
Para poder utilizar un tag RFID, deben escribirse los datos correspondientes con la siguiente estructura: *IdEdificio-NumeroPiso-IdArea-IdCoordenada*. Un ejemplo sería: 101-1-200-530.

Los cuatro datos anteriores corresponden a la información registrada en la fase de calibración en la Base de Datos.

Anexo 21. Pantallazos de la aplicación realizada para el prototipo desarrollado en la presente investigación

Para desarrollar los dos algoritmos seleccionados para el prototipo, y poder realizar las dos fases del método escogido (basado en el rastro), se implementó una aplicación como se muestra en la Figura 56 y Figura 57. Se presenta la fase de calibración y localización.

Fase de calibración



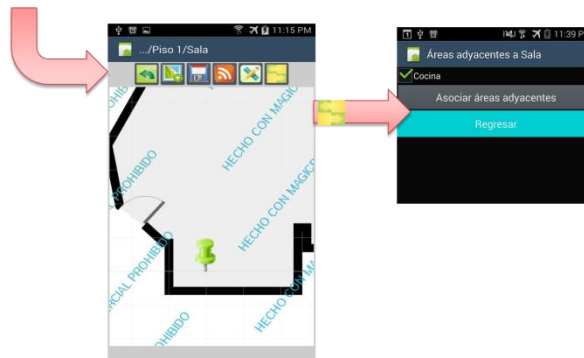


Figura 56. Proceso de calibración del prototipo desarrollado

Fase de localización

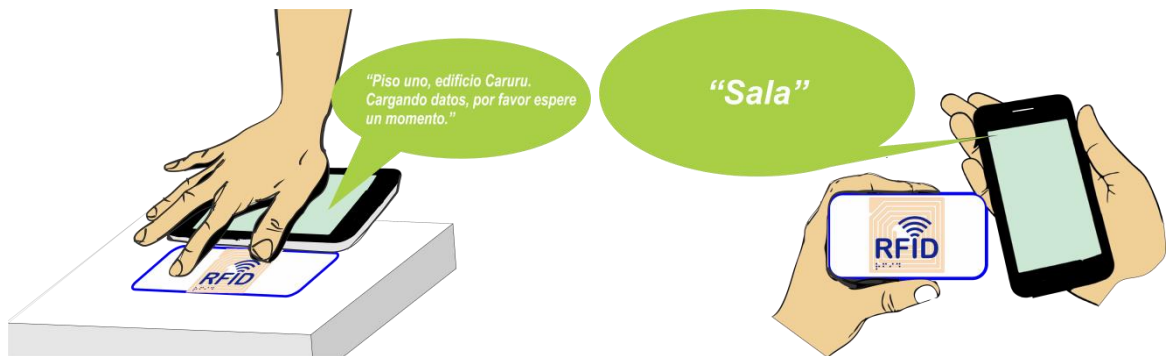


Figura 57. Proceso de localización del prototipo desarrollado