



Tecnológico Nacional de México

Centro Nacional de Investigación
y Desarrollo Tecnológico

Tesis de Maestría

Generación automática de rutas de Navegación en interiores
utilizando la tecnología de beacons

presentada por

Ing. Luis Antonio López García

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

Director de tesis

Dra. Alicia Martínez Rebollar

Codirector de tesis

Dr. Hugo Estrada Esquivel

Cuernavaca, Morelos, México. Junio de 2019.



SEP
SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico

"2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata"

Cuernavaca, Morelos a 11 de junio del 2019
OFICIO No. DCC/038/2019

Asunto: **Aceptación de documento de tesis**

DR. GERARDO V. GUERRERO RAMÍREZ
SUBDIRECTOR ACADÉMICO
PRESENTE

Por este conducto, los integrantes de Comité Tutorial del Ing. Luis Antonio López García, con número de control M17CE033, de la Maestría en Ciencias de la Computación, le informamos que hemos revisado el trabajo de tesis profesional titulado "Generación automática de rutas de navegación en interiores utilizando la tecnología de beacons" y hemos encontrado que se han realizado todas las correcciones y observaciones que se le indicaron, por lo que hemos acordado aceptar el documento de tesis y le solicitamos la autorización de impresión definitiva.

DIRECTORA DE TESIS

Dra. Alicia Martínez Rebollar
Doctora en Informática
7399055

CO-DIRECTOR DE TESIS

Dr. Hugo Estrada Esquivel
Doctor en Informática
7399054

REVISOR 1

Dr. Noé Alejandro Castro Sánchez
Doctor en Ciencias de la
Computación
08701806

REVISOR 2

Dr. Joaquín Pérez Ortega
Doctor en Ciencias
Computacionales
4795984

C.p. M.T.I. M.E. Guadalupe Garrido Rivera - Jefa del Departamento de Servicios Escolares.
Estudiante
Expediente

NACS/Imz



SEP
SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico

"2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata"

Cuernavaca, Mor., 13 de junio de 2019
OFICIO No. SAC/218/2019

Asunto: Autorización de impresión de tesis

ING. LUIS ANTONIO LÓPEZ GARCÍA
CANDIDATO AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS
DE LA COMPUTACIÓN
PRESENTE

Por este conducto, tengo el agrado de comunicarle que el Comité Tutorial asignado a su trabajo de tesis titulado "Generación automática de rutas de navegación en interiores utilizando la tecnología de beacons", ha informado a esta Subdirección Académica, que están de acuerdo con el trabajo presentado. Por lo anterior, se le autoriza a que proceda con la impresión definitiva de su trabajo de tesis.

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

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
"Conocimiento y tecnología al servicio de México"

DR. GERARDO VICENTE GUERRERO RAMÍREZ
SUBDIRECTOR ACADÉMICO



SEP TecNM
CENTRO NACIONAL
DE INVESTIGACIÓN
Y DESARROLLO
TECNOLÓGICO
SUBDIRECCIÓN
ACADÉMICA

C.p. Mtra. Guadalupe Garrido Rivera.- Jefa del Departamento de Servicios Escolares.
Expediente

GVGR/mcr

cenidet[®]
Centro Nacional de Investigación
y Desarrollo Tecnológico

Interior Internado Palmira S/N, Col. Palmira, C. P. 62490, Cuernavaca, Morelos.
Tel. (01) 777 3 62 77 70, ext. 4106, e-mail: dir_cenidet@tecnm.mx

www.tecnm.mx | www.cenidet.edu.mx



Dedicatoria

A mis padres Luis Bernardo López Guerrero y María Elena García Costilla por confiar en mí y brindarme su apoyo incondicional.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico que me brindó para realizar mis estudios de maestría.

Al Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET) por brindarme la oportunidad de superarme académicamente en el programa de Maestría en Ciencias de la Computación.

Un especial agradecimiento a mi directora de tesis, la Dra. Alicia Martínez Rebollar y a mi codirector, el Dr. Hugo Estrada Esquivel, por sus consejos, observaciones y paciencia para atender mi trabajo de investigación, además, por su amistad, sentido humano y por haberme enseñado el valor de la humildad.

A mis revisores, el Dr. Noé Alejandro Castro Sánchez y el Dr. Joaquín Pérez Ortega que fortalecieron el trabajo con sus aportaciones.

A mis amigos de la maestría que me apoyaron y fortalecieron mis conocimientos.

Resumen

El Internet de las cosas está impulsando la creación de edificios inteligentes que se adapten a las prioridades de los propietarios y los administradores, permitiendo a los sistemas operativos proporcionar información precisa y útil a los propietarios (administradores) para mejorar las operaciones y ofrecer mejores experiencias a los visitantes.

La mayoría de los edificios tienen un nivel de inteligencia incorporado, ya sea en los sistemas de climatización e iluminación o en los sistemas de protección contra incendios. Sin embargo, hoy en día se puede aprovechar de una manera más eficiente la información generada por los edificios para tener una mejor toma de decisiones en su gestión. Una de las necesidades atractivas y a la vez desafiantes de los edificios inteligentes es la navegación en sus interiores. Para satisfacer esta demanda es necesario hacer uso de alguna tecnología. Existe una variedad de tecnologías para la navegación, entre las cuales destacan las siguientes: beacons, Wifi, campos magnéticos, LIFI, RFID y GPS. A pesar de que la tecnología GPS ha sido comprobada en diversas aplicaciones para la navegación en ambientes exteriores, esta requiere una línea de visión sin obstrucciones entre el receptor del GPS y los múltiples satélites, por lo tanto, su correcto funcionamiento en ambientes interiores se ve afectada.

En esta tesis se presenta un sistema de navegación en interiores, el cual hace uso del algoritmo Dijkstra y la tecnología beacon para llevar a cabo la navegación en lugares como en edificios de educación, gobierno, etc. sugiriendo la ruta óptima para llegar a un destino específico.

El sistema se compone de 2 aplicaciones móviles: navIndoor para administradores y navIndoor. La primera aplicación se compone de 3 módulos, en los cuales el administrador de la organización define la información estructural de los edificios, las zonas, se configura los beacons y finalmente se hace la calibración de los mismos. La segunda aplicación consiste en que un usuario puede navegar dentro de los edificios de alguna organización que este dada de alta.

El sistema hace uso de dos dispositivos, el primero son los teléfonos inteligentes de los usuarios como unidades de localización haciendo uso del bluetooth. El segundo dispositivo trata de los beacons, los cuales son dispositivos que constantemente emiten señales de bluetooth con las cuales interactúa con los teléfonos inteligentes.

Abstract

The internet of things is driving the creation of intelligent buildings that adapt to the priorities of owners and administrators, allowing operating systems to provide accurate and useful information to owners (managers) to improve operations and offer better experiences to the visitors.

Most buildings have a built-in intelligence level, whether in air conditioning and lighting systems or in fire protection systems. However, nowadays the information generated by the buildings can be used in a more efficient way to have a better decision making in their management. One of the attractive and challenging needs of intelligent buildings is navigation in their interiors. To satisfy this demand it is necessary to make use of some technology. There is a variety of technologies for navigation, among which the following stand out: beacons, Wi-Fi, magnetic fields, LIFI, RFID and GPS. Although GPS technology has been proven in various applications for outdoor navigation, it requires an unobstructed line of sight between the GPS receiver and the multiple satellites; therefore, its proper functioning in indoor environments is seen affected.

In this research work an indoor navigation system is presented, which extends the Dijkstra algorithm to carry out navigation in places such as educational buildings, government, etc. suggesting the optimal route to reach a specific destination. The second application is that a user can navigate within the buildings of an organization that is registered.

The system consists of 2 mobile applications: navIndoor for administrators and navIndoor. The first application consists of 3 modules, in which the administrator of the organization defines the structural information of the buildings, the zones, configures the beacons and finally calibrates them.

The system makes use of two devices, the first being the users' smartphones as location units making use of bluetooth. The second device deals with beacons, which are devices that constantly emit bluetooth signals with which it interacts with smartphones.

Tabla de contenido

Lista de Figuras	vii
Lista de Tablas	viii
Capítulo 1 Introducción	1
1.1 Introducción.....	2
1.2 Planteamiento del problema	3
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivos específicos.....	4
1.4 Estructura del documento	4
Capítulo 2 Marco teórico.....	6
2.1 Internet de las cosas	7
2.1.1 Ciudad inteligente	7
2.1.2 Edificios inteligente	8
2.1.3 Navegación en interiores.....	8
2.1.4 Navegación en exteriores	8
2.1.5 Ambiente para navegación en interiores	9
2.1.6 Teléfonos inteligentes	9
2.1.7 Sistema de posicionamiento global	10
2.1.8 Cómputo en la nube	10
2.1.9 Beacons.....	11
2.1.10 Eddystone	11
2.1.11 iBeacon	11
Capítulo 3 Estado del arte	13
3.1 Localización en interiores.....	14
3.1.1 Ubicación de beacons para la localización en interiores usando bluetooth.....	15
3.1.2 Detección de ocupación a través de iBeacon en dispositivos Android para la gestión de edificios inteligentes.....	16
3.1.3 Mejora de la localización en interiores utilizando beacons de baja energía Bluetooth.....	18
3.1.4 Localización en interiores usando sensores de teléfono inteligente y iBeacons	20

3.1.5	Servicios basados en la ubicación con tecnología iBeacon.....	22
3.1.6	Mejora de la estimación de distancia en la localización de objetos con Bluetooth de baja energía.....	25
3.2	Localización en interiores.....	26
3.2.1	Un enfoque para la navegación híbrida en interiores / exteriores	26
3.2.2	Desarrollo de un Sistema de Navegación en Interiores Usando la Tecnología NFC.	28
3.2.3	Aplicación de módulos UWB en sistema de navegación interior	29
3.3	Comparativa de trabajo relacionados.	30
Capítulo 4 Navegación con tecnología de proximidad en interiores		33
4.1	Descripción general de la metodología de solución	34
4.2	Análisis y diseño de la tecnología.....	36
4.3	Algoritmos de navegación	38
4.4	Implementación	41
4.4.1	Arquitectura del sistema navIndoor	42
4.4.2	Aplicación navIndoor para administradores	42
4.4.3	Modelo relacional de la base de datos	50
4.5	Pruebas	51
Capítulo 5 Pruebas y resultados		53
5.1	Descripción de las pruebas	54
5.2	Pruebas fase 1: Algoritmo Dijkstra	54
5.2.1	Prueba 1: Algoritmo Dijkstra con un grafo de 15 nodos	55
5.2.2	Prueba 2: Algoritmo Dijkstra con un grafo de 20 nodos	56
5.2.3	Prueba 3: Algoritmo Dijkstra con un grafo de 30 nodos	58
5.3	Prueba 4: Pruebas fase 2: Aplicación de navegación en interiores	63
5.3.1	Prueba 4: Prueba de aplicación con beacons y el algoritmo Dijkstra	64
5.4	Resumen de resultados y conclusiones	72
5.4.1	Los resultados de las pruebas fase 1	72
5.4.2	Los resultados de las pruebas fase 2	73
Capítulo 6 Conclusiones y trabajos futuros		74
6.1	Conclusiones	75
6.2	Trabajos futuros.....	76

Lista de Figuras

Figura 1 Aspectos principales de la solución propuesta 17

Figura 2 Evaluación de la señal con un periodo de monitoreo de cinco segundos..... 17

Figura 3. Arquitectura del sistema. 24

Figura 4 Metodología de solución de aplicación móvil. 36

Figura 5 Funcionamiento de algoritmo de posicionamiento..... 40

Figura 6 Funcionamiento de algoritmo de posicionamiento..... 41

Figura 7 Aplicación Móvil de IoT: navIndoor. 42

Figura 8 Aplicación Móvil de IoT: navIndoor. 43

Figura 9 Vista de interfaz del módulo de la organización. 43

Figura 10 Vista de interfaz general y registro de edificios..... 44

Figura 11 Vista de interfaz de actualización y menú de edificios. 44

Figura 12 Vista de interfaz general y registro de beacons. 45

Figura 13 Vista de interfaz de menú y registro de credenciales..... 45

Figura 14 Vista principal de módulo de rutas..... 46

Figura 15 Vista de registro y actualización de rutas. 46

Figura 16 Vista de inicio de sesión. 48

Figura 17 Vista de saludo e identificación de organización..... 48

Figura 18 Vista de ubicación en detalle. 49

Figura 19 Vista de búsqueda de destino. 49

Figura 20 Vistas de seguimiento de instrucciones y llegada al destino. 50

Figura 21 Modelo entidad relación de la base de datos..... 51

Figura 22 Grafo de 15 nodos. 55

Figura 23 Grafo de 20 nodos. 57

Figura 24 Grafo de 30 nodos. 59

Figura 25 Recorrido del nodo 15 al 11..... 62

Figura 26 Ruta óptima del nodo 15 al 11. 63

Figura 27 Planos de planta baja edificio de computación en Cenidet..... 64

Figura 28 Planos de planta alta edificio de computación en Cenidet..... 64

Figura 29 Ubicación de beacon en planta baja..... 66

Figura 30 Detección automática del lugar. 68

Figura 31 Selección del destino y primera instrucción. 68

Figura 32 Seguimiento de instrucciones y llegada a destino. 69

Figura 33 Ubicación de beacon en planta alta 69

Figura 34 Detección automática del lugar y primera instrucción..... 70
 Figura 35 selección y llegada del destino. 71
 Figura 36 identificación de lugar 71
 Figura 37 selección del destino y seguimiento de instrucciones. 72
 Figura 38 seguimiento de instrucciones y llegada al destino..... 72

Lista de Tablas

Tabla 1 Asignación para tres familias..... 23
 Tabla 2 Estado del arte 32
 Tabla 3 Recorridos con grafo de 15 nodos..... 56
 Tabla 4 Recorridos con grafo de 20 nodos..... 58
 Tabla 5 Recorridos con grafo de 30 nodos..... 60
 Tabla 6 Recorridos con grafo de 20 nodos..... 65
 Tabla 7 Recorridos de planta baja. 68
 Tabla 8 Recorridos de planta alta. 70
 Tabla 9 Recorridos de planta baja y alta. 71

Capítulo 1

Introducción



En este capítulo se muestra una descripción general del proyecto de investigación desarrollado en esta tesis.

1.1 Introducción

Vivimos en la convergencia de dos fenómenos importantes en la historia de la humanidad: la aceleración de la urbanización a nivel mundial y la revolución digital. Un estudio de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) señala que, por primera vez en la historia, más de la mitad de la población del planeta (54,6% o 3.600 millones de personas) vive en ciudades. Además, según este estudio, para el año 2050 el 70% de la población mundial (más de 6.000 millones) vivirá en ciudades: 64,1% de las personas en los países en desarrollo y 85,9% de los habitantes en los países desarrollados.

Para administrar y mejorar las ciudades, es necesario transformar las “*ciudades tradicionales*” en ciudades inteligentes. Este tipo de ciudades son una necesidad cada vez es más importante, como también una oportunidad para gobiernos y ciudadanos. Con el surgimiento de la tecnología digital, de internet y de las tecnologías móviles, esa transformación es cada vez más viable.

Una ciudad sostenible e inteligente es una ciudad innovadora que utiliza las tecnologías de la información y comunicación con otros medios para mejorar la toma de decisiones, la eficiencia de las operaciones, la prestación de los servicios urbanos y su competitividad. Asimismo, resulta atractiva para los ciudadanos, empresarios y trabajadores, pues se genera un espacio más seguro, con mejores servicios y con un ambiente de innovación que incentiva soluciones creativas, genera empleos y reduce las desigualdades.

La contribución de una ciudad inteligente ofrece diferentes tipos de servicios a sus habitantes, por ejemplo: mandar alertas de ofertas de interés, brindar información acerca de las diversas áreas del edificio, la ubicación de alguna persona en el edificio, brindar soporte en la navegación dentro del edificio [1].

Un edificio inteligente es aquel que tiene todas las tecnologías para que trabaje de una manera autónoma e independiente y le llaman “*inteligente*” porque prácticamente trabaja de manera automática. Por ejemplo, los equipos contra incendio están automatizados e inclusive hay estacionamientos en donde los robots colocan los vehículos en sus respectivos lugares, como en la Torre reforma, que es el edificio más alto de la ciudad de México, un edificio de este tipo debe albergar tecnología en seguridad, comunicaciones, apoyo logístico y automatización de procesos [2].

Con está tesis se pretende desarrollar una aplicación móvil para la generación de rutas en ambientes interiores utilizando la tecnología beacon, teniendo como propósito

brindar información a los usuarios de cómo llegar desde su punto de origen a un punto destino.

1.2 Planteamiento del problema

El internet de las cosas está impulsando la creación de edificios inteligentes que se adapten a las prioridades de los administradores (propietarios), permitiendo a los sistemas operativos proporcionar información precisa y útil que ayude a los administradores en mejorar las operaciones y ofrecer mejores experiencias a los visitantes. Para acelerar esta transformación, diferentes compañías, por ejemplo: Intel [3] ofrece módulos de IoT (por sus siglas en inglés *Internet of Things*) que simplifican la comunicación entre los sistemas de los edificios y la nube. Los datos generados por los edificios son analizados minuciosamente para obtener una nueva perspectiva empresarial que ofrecerá un valor real y un mayor desempeño.

Actualmente, existen varios edificios que ya cuentan con un cierto nivel de inteligencia incorporado, ya sea en los sistemas de climatización, iluminación o en los sistemas contra incendios. Sin embargo, en la actualidad la información generada por los edificios se puede aprovechar de una manera más eficiente, lo cual ayuda a tomar mejores decisiones en la gestión en este tipo de edificio.

Una de las necesidades atractivas y a la vez desafiantes de los edificios inteligentes es la navegación en sus interiores. Para satisfacer esta demanda es necesario hacer uso de alguna tecnología. Existe una variedad de tecnologías para la navegación, entre las cuales destacan las siguientes: Beacons [4], Wifi[5], Campos magnéticos[6], LIFI[7] (por sus siglas en inglés *Light Fidelity*), RFID[8] (por sus siglas en inglés *Radio Frequency Identification*), GPS[9] (por sus siglas en inglés *Global Positioning System*), NFC[10] (por sus siglas en inglés *Near Field Communication*) entre otras, cabe mencionar que estas tecnologías tienen un funcionamiento eficiente solo en alguno de los dos ambientes: interiores o exteriores.

La tecnología GPS ha impulsado a la creación de un sinnúmero de aplicaciones móviles para navegación [11] [12] [13] [14] [15], especialmente enfocadas a ambientes al aire libre (exteriores) esto es debido a que el GPS requiere una línea de visión sin obstrucciones entre el receptor del GPS y los múltiples satélites, por lo tanto, su correcto funcionamiento en ambientes interiores se ve afectado.

La generación de aplicaciones enfocadas a la navegación de interiores puede resultar de gran utilidad para una ciudad inteligente. Esto traería como resultado un gran conjunto de posibilidades para los servicios móviles. Por ejemplo: los propietarios de los edificios estarán motivados a ofrecer una mejor experiencia de usuario a sus visitantes, los clientes proporcionarían información contextual a las aplicaciones de navegación,

mayores niveles de análisis disponibles a partir de estos servicios para posteriormente aplicar minería de datos, seguimiento de productos, navegación en hospitales, rescate de emergencias contra incendios y otros campos.

En esta tesis trata la problemática de desarrollar una aplicación móvil para la navegación en interiores sugiriendo la ruta óptima con el uso de la tecnología de beacon.

1.3 Objetivos

El objetivo de esta tesis es desarrollar una aplicación móvil para la navegación en interiores sugiriendo la ruta óptima con el uso de la tecnología de beacon.

1.3.1 Objetivos específicos

- Desarrollo de una aplicación móvil para trazar rutas de navegación en interiores.
- Desarrollo de la interfaz de usuario para la definición de zonas en interiores.
- Uso e implementación de los modelos de datos, almacenamiento de datos y visualización de datos.

1.4 Estructura del documento

En esta sección se describe el contenido en esta tesis en los siguientes capítulos:

Capítulo 2. Marco teórico: En este capítulo se describen las teorías principales que se siguen en esta tesis como también algunos conceptos que son necesarios para el entendimiento del mismo.

Capítulo 3. Estado del arte: En este capítulo se describen los trabajos relacionados con esta tesis, los cuales se clasifican en 2 categorías 1) localización en interiores y 2) navegación en interiores. Además de hacer una pequeña descripción de cada trabajo: a) Descripción general del trabajo, b) algoritmos utilizados y c) tecnologías utilizadas.

Capítulo 4. Navegación con tecnología de proximidad en interiores: En este capítulo se describe la metodología de solución usada para hacer navegación en interiores utilizando la tecnología Bluetooth. Además de explicar las aplicaciones que se desarrollaron para lograrlo.

Capítulo 5. Pruebas y resultados: En este capítulo se muestran y describen los resultados que fueron obtenidos a partir del uso de la aplicación.

Capítulo 6. En este capítulo se presentan las conclusiones obtenidas de esta tesis, así como los trabajos futuros que podrán ayudar a mejorar el funcionamiento de la aplicación.

Capítulo 2

Marco teórico



2.1 Internet de las cosas

El internet de las cosas es una evolución natural de los dispositivos digitales en la era moderna que se espera revolucione la interacción entre el mundo cibernético y el mundo real. El IoT (por sus siglas en inglés *Internet of Things*) se enfoca en conectar todos los objetos o cosas en el mundo a Internet. IoT representa la próxima evolución de Internet, y que supondrá un avance enorme en su capacidad para recopilar, analizar y distribuir datos que se pueden convertir en información, en conocimiento y, en última instancia, en sabiduría. En este contexto, IoT cobra una gran importancia [16].

El 20% de todos los proyectos identificados de IoT están relacionados con ciudades inteligentes. Además de eso, el rastreador de estadísticas de empleo de IoT muestra una fuerte tendencia al alza gracias a cientos de iniciativas recientes de ciudades inteligentes iniciadas por gobiernos de todo el mundo. Los ejemplos más destacados son: la ciudad de Barcelona y la ciudad de Londres. La aplicación ciudad inteligente más popular es *Smart Traffic*, (por ejemplo, la solución de Intel y *Smart Parking* de Siemens en la ciudad de Berlín) seguida de *Smart Utilities* (por ejemplo, los contenedores inteligentes de Dublín). Otras iniciativas de ciudad inteligente evolucionan alrededor de la seguridad de la ciudad. Un proyecto de IoT de monitoreo de seguridad notable (europeo) es el proyecto *CityPulse* en Eindhoven, donde la información sobre los niveles de ruido se corresponde con los mensajes de las redes sociales para detectar y gestionar incidentes y ajustar el alumbrado público en consecuencia.

2.1.1 Ciudad inteligente

Una ciudad inteligente está definida por la empresa International Business Machines como el uso de la tecnología de la información y la comunicación para detectar, analizar e integrar la información clave de los sistemas centrales en las ciudades en funcionamiento. Al mismo tiempo, la ciudad inteligente puede hacer una respuesta inteligente a los diferentes tipos de necesidades, incluidos los medios de vida cotidianos, la protección del medio ambiente, la seguridad pública y los servicios de la ciudad, las actividades industriales y comerciales [17].

El concepto de edificio inteligente está ganando popularidad. Los edificios inteligentes que aprovechan las tecnologías de IoT (por sus siglas en inglés *Internet of Things*) se están convirtiendo en otro elemento de la compleja red de la ciudad inteligente a medida que se integran más en las redes de energía y datos. Los datos recopilados y los conocimientos generados por las tecnologías de construcción inteligentes pueden llevar a cambios en la gestión de las instalaciones que reducen el consumo de energía para el clima y los objetivos de sostenibilidad y ayudan a mejorar la salud pública y la seguridad.

2.1.2 Edificios inteligente

Los edificios inteligentes son edificios que integran y representan la inteligencia, la empresa, el control, los materiales y la construcción como un sistema de construcción completo, con capacidad de adaptación, no de reactividad, para cumplir con los impulsores de la progresión del edificio: energía, eficiencia, longevidad y la comodidad y la satisfacción. La mayor cantidad de información disponible de esta gama más amplia de fuentes permitirá que estos sistemas sean adaptables, y permitirá que un edificio inteligente se prepare para el contexto y el cambio en todas las escalas de tiempo [18].

Un edificio inteligente se caracteriza por ofrecer servicios los cuales son de gran ayuda para sus visitantes, algunas de ellas son: consumo de energía inteligente, climatización, aparcamiento, navegación, entre otros.

2.1.3 Navegación en interiores

La navegación interior consiste en navegar dentro de los edificios. Debido a que la recepción del GPS usualmente no existe dentro de los edificios, aquí se usan otras tecnologías de posicionamiento automático. A menudo se utilizan Wifi o beacons para crear un llamado "*GPS interior*". La mayoría de las aplicaciones requieren una funcionalidad de "*enrutamiento interior*" que guía a las personas de forma precisa a través de un edificio utilizando una aplicación de navegación en interiores y de esta manera determina automáticamente su posición, muy similar a los sistemas de navegación que usamos en nuestros automóviles [19].

La navegación en interiores nos permite desarrollar un sistema el cual brinde al usuario navegar a través de edificios permitiéndole llegar de una ubicación inicial a partir del celular del usuario (punto origen) a un punto de arribo (punto final)

2.1.4 Navegación en exteriores

La navegación al aire libre consiste en la navegar en ambientes al aire libre como lo puede ser tu patio de tu casa hasta senderos naturales. La navegación al aire libre es utilizada principalmente por excursionistas, mochileros, montañistas o ciclistas) y trabajadores como: trabajadores de emergencia, conservación de la vida silvestre, trabajadores forestales, agricultores. No siempre se requieren mapas, ya que se pueden cargar rutas individuales en dispositivos o se pueden crear rutas a partir de caminatas. [20].

La navegación en exteriores nos permite desarrollar un sistema el cual nos ayuda a fortalecer la navegación que será brinda por el usuario, en otras palabras, la navegación

en exteriores brindada por el GPS es usada en aquellos lugares en los cuales no haya necesidad de colocar beacons ya que son espacios al aire libre, por lo tanto, se puede hacer uso de esta tecnología en aquellas situaciones donde el destino donde se pretende llegar se encuentre en un lugar abierto.

2.1.5 Ambiente para navegación en interiores

La tecnología de posicionamiento en interiores se está comercializando en varias formas y calidades. Es un mundo y ningún método probado ha sido suficiente para todos los propósitos, a diferencia del posicionamiento al aire libre con el uso de la tecnología satelital GPS. Los sistemas de posicionamiento han jugado un papel importante en la vida de las personas desde que la tecnología satelital del GPS se hizo pública a finales de los 90. Hoy en día, casi todo el mundo tiene un dispositivo con capacidades de posicionamiento como un teléfono inteligente, tableta, dispositivo de rastreo por GPS o un reloj con GPS incorporado [21].

Para poder proporcionar una navegación en interiores de calidad se necesita cumplir una compleja serie de requerimientos que nos ayudan a tener un ambiente o estructura que constantemente monitorea la posición del usuario a partir de la cual se orientara al usuario a llegar a su destino.

2.1.6 Teléfonos inteligentes

Los teléfonos inteligentes son una nueva modalidad de teléfonos móviles que incorporan mucha más capacidad de proceso y de movilidad que los dispositivos tradicionales. El desarrollo de la tecnología microelectrónica y de las redes de telecomunicación es lo que ha hecho posible su aparición y su popularización, de forma que son uno de los dispositivos tecnológicos multifunción más demandados en la actualidad por los usuarios.

Desde el punto de vista del hardware, un teléfono inteligente es un ordenador de bolsillo que, gracias a las tecnologías microelectrónicas, ha ido acumulando funciones y posibilidades que lo acercan a otros dispositivos de proceso aparentemente más potentes y versátiles. Los teléfonos móviles inteligentes incluyen, como mínimo, un teclado (físico o virtual), una pantalla normalmente táctil, y un importante tamaño de memoria, GPS, bluetooth [22].

Los teléfonos inteligentes son una herramienta fundamental en el desarrollo de un sistema de navegación ya que con ella se obtendrá la información del contexto que será enviada por los beacons y el GPS además de contar con los sensores esenciales para su desarrollo.

2.1.7 Sistema de posicionamiento global

El Sistema de Posicionamiento Global o GPS (por sus siglas en inglés *Global Positioning System*), aunque su nombre correcto es NAVSTAR-GPS1, es un sistema global de navegación por satélite que permite determinar en todo el mundo la posición de un objeto, una persona, un vehículo o una nave. Podemos alcanzar una precisión hasta de centímetros, usando el GPS diferencial, pero lo habitual son unos pocos metros [9].

El GPS funciona mediante una red de 27 satélites (24 operativos y 3 de respaldo) en órbita a 20.200 km sobre el globo terráqueo, con trayectorias sincronizadas para cubrir toda la superficie de la Tierra. Cuando se desea determinar una posición, el receptor que se utiliza para ello localiza automáticamente como mínimo tres satélites de la red, de los que recibe unas señales indicando la posición y el reloj de cada uno de ellos. Con base en estas señales, el aparato sincroniza el reloj del Sistema de Posicionamiento y calcula el retraso de las señales; es decir, la distancia al satélite. Por "*triangulación*" los tres satélites calculan la posición en que el GPS se encuentra. La triangulación en el caso del Sistema de Posicionamiento Global se basa en determinar la distancia de cada satélite respecto al punto de medición. Conocidas las distancias, se determina fácilmente la propia posición relativa respecto a los tres satélites. [23].

La tecnología GPS será de gran ayuda, se pretende que sea utilizada solo en aquellos lugares en los cuales se tengan que atravesar por espacios al aire libre de tal manera que no haya necesidad de gastar en beacons para colocarlos en este tipo de espacios de lo cual resulta un ahorro en infraestructura y aprovechando las tecnologías brindadas por el teléfono inteligente.

2.1.8 Cómputo en la nube

En pocas palabras, la computación en la nube es la entrega de servicios informáticos - servidores, almacenamiento, bases de datos, redes, software, análisis y más a través de Internet ("*la nube*"). Las empresas que ofrecen estos servicios informáticos se denominan proveedores de servicios en la nube y, por lo general, cobran por los servicios de computación en la nube en función del uso, de forma similar a cómo se le factura el agua o la electricidad en el hogar [24].

Esta tecnología nos ayuda a poder almacenar nuestros servicios y almacenar la información que vaya a ser generada por la aplicación de esta manera nos aseguramos que si algún usuario que haya instalado la aplicación, pero en algún momento la haya desinstalado quede guardado su registro en dado caso que la quiera volver a utilizar, otro benéfico es tener un historial de los usuarios como de las organizaciones que hagan uso de ella.

2.1.9 Beacons

Los *beacons* son transmisores de hardware a bajo precio. Estos transmisores están diseñados para usar señales de transmisión de bluetooth de baja energía para atraer la atención a una ubicación específica. Estos transmisores son muy pequeños y se pueden conectar a las paredes o pilares de lugares como tiendas, aeropuertos, restaurantes o apartamentos. La tecnología *beacon* se usa principalmente para detectar la posición de su identificador en espacios interiores donde es imposible ubicar los dispositivos con la ayuda de señales de GPS. Actualmente hay dos estándares principales de tecnología de *beacon*. iBeacon y EddyStone [25].

Esta tecnología es un pilar dentro la navegación en interiores, ya que por medio de ella se transmiten las señales de bluetooth que son captadas por el teléfono inteligente, de esta manera podremos saber la ubicación del usuario y también saber cuándo haya llegado a su destino teniendo como resultado nuestro GPS interno.

A continuación, se describe los protocolos más usados para la tecnología Bluetooth desarrollados por dos empresas líderes en tecnología:

2.1.10 Eddystone

EddyStone es una especificación de protocolo que define un formato de mensaje Bluetooth de baja energía (BLE) para mensajes de proximidad de *beacons*. Describe varios tipos de cuadros diferentes que se pueden usar individualmente o en combinaciones para crear *beacons* que se pueden usar para una variedad de aplicaciones. Anunciado en abril de 2016, Eddystone-EID (Ephemeral ID) es un nuevo tipo de marco que define un método criptográficamente seguro para la configuración de un *beacon* para transmitir información que solo las personas autorizadas pueden descifrar [26].

2.1.11 iBeacon

iBeacon es la marca de Apple de la tecnología basada en la microlocalización y la interacción de un dispositivo móvil en el mundo físico. Esta tecnología puede ser considerada como la próxima etapa de desarrollo de la tecnología de código QR o, alternativamente, la tecnología de Comunicación de campo cercano. iBeacon utiliza el estándar Bluetooth de bajo consumo y, que forma parte de una nueva versión de bluetooth 4.0. iBeacon es un pequeño dispositivo que transmite información particular en un radio definido y en intervalos regulares. Tan pronto como un dispositivo móvil (un teléfono inteligente) se encuentra dentro de este radio, puede recibir dicha información y, sobre la base de esto, puede realizar una acción.

Considerando el bajo consumo de BLE, un dispositivo puede ser alimentado por una batería de monedas de hasta dos años. Por supuesto, la duración de la batería depende

de la potencia de salida del transmisor (potencia de tx) y de los ajustes del intervalo de publicidad [27].

A continuación, se describe una serie de parámetros que son necesario y pueden algunos ser modificados según sea la necesidad:

Difusión amplia

La difusión amplia es la difusión masiva de información o paquetes de datos a través de redes informáticas. En el caso de la informática, la difusión amplia es la transferencia de información desde un nodo emisor a una multitud de nodos receptores [30].

Identificador único universal

Un UUID es un número de 128 bits utilizado para identificar de manera única algún objeto o entidad en Internet. Dependiendo de los mecanismos específicos utilizados, se garantiza que un UUID es diferente o, al menos, es muy probable que sea diferente de cualquier otro UUID [28].

Major

Son valores enteros sin signo entre 1 y 65535 los cuales están destinados a identificar y distinguir un grupo; por ejemplo, a todos los *beacons* de un determinado piso o habitación de su sede se les podría asignar un valor principal único [29].

Minor

Los valores principales son valores enteros sin signo entre 1 y 65535 los cuales están destinados a identificar y distinguir a un individuo, por ejemplo, distinguir *beacons* específicas dentro de un grupo de *beacons* asignadas a un valor mayor [30].

Capítulo 3

Estado del arte

Introducción.

En este capítulo se presentan algunos trabajos de investigación que tienen relación con el tema que se desarrolló, la búsqueda se realizó sobre publicaciones en revistas y congresos, abordando como tema principal Navegación en interiores con beacons.

Aspectos descriptivos de los trabajos del estado del arte de navegación en interiores con nuevas tecnologías

Los aspectos descriptivos utilizados para detallar los tipos de navegación analizados son:

- **Descripción general del trabajo**, en este aspecto se muestra una descripción general de un trabajo relacionado.
- **Algoritmos usados para lograr navegación en interiores**, en este aspecto se mencionan los algoritmos usados para la navegación y localización en interiores.
- **Uso de las tecnologías para interiores**, en este aspecto se describen las tecnologías que han sido usadas para la localización y navegación en interiores.

Los trabajos relacionados con este proyecto de investigación han sido clasificados en dos categorías, de acuerdo a los objetivos que se persiguen en esta tesis, las cuales son:

Localización en interiores.

En esta categoría se analizan trabajos que presentan desarrollos para la localización de objetos o personas en interiores por medio de un teléfono inteligente a través de diferentes tecnologías, como también los algoritmos utilizados para la localización.

Navegación en interiores.

En esta categoría se analizan trabajos que presentan desarrollos para la navegación de personas en interiores por medio de un teléfono inteligente a través de diferentes tecnologías también los algoritmos utilizados para la localización

Clasificación de los trabajos del estado del arte en navegación en interiores con nuevas tecnologías

Las categorías utilizadas para clasificar los tipos de navegación analizados son:

3.1 Localización en interiores.

La localización en interiores se refiere a la tarea de localizar a una persona, utilizando un dispositivo móvil adecuado, en entornos interiores típicos, como lo son: edificios de oficinas, aeropuertos, estaciones de ferrocarril entre otros. Aunque se han producido

avances notables en esta área, el progreso en la localización de interiores se ha retrasado en comparación con la localización al aire libre

3.1.1 Ubicación de beacons para la localización en interiores usando bluetooth

Esté trabajo de investigación [31] describe un método para determinar la ubicación de un dispositivo móvil, como una computadora portátil o un teléfono móvil, en un ambiente interior usando beacons bluetooth. Una ventaja importante de esté método es que permite que el dispositivo móvil determine su ubicación mientras permanece de manera anónima. En un despliegue de beacons en un edificio, una de las tareas importantes es el diseño de la colocación de beacons, la propagación de señales en entornos interiores son complejos, ya que son afectadas por factores como la estructura del edificio, conductos, propiedades de transmisión y reflexión de los materiales de construcción, muebles y la interferencia de otros dispositivos. Por lo tanto, el área desde donde se ve una beacon es muy irregular y no muy aproximado por modelos simples como los elipsoides.

El objetivo principal de esté trabajo de investigación [31] es desarrollar un método para determinar la ubicación de un dispositivo móvil, tal como una computadora portátil o un teléfono móvil, en un ambiente interior usando la tecnología beacon.

La solución que se muestra en esté artículo permite una recepción compleja de características para ser modelado con precisión y proporciona un método para elegir ubicaciones de beacons.

La localización en interiores mediante beacons puede lograrse utilizando una variedad de técnicas, como la triangulación, la trilateración, la multilateración y los métodos basados en células.

La triangulación requiere la medición de ángulos entre la línea que conecta dos beacons y la línea de visión de cada beacon al viajero. Por lo tanto, no es adecuado para bluetooth y otras tecnologías de radiofrecuencia, pero puede aplicarse con éxito a un sistema de beacons visuales.

La trilateración requiere el cálculo de la distancia del viajero de cada una de las tres beacons. La posición del viajero se determina de manera única como el punto de intersección de tres círculos, cada uno centrado en una de las beacons. El radio de cada uno de estos círculos es la distancia calculada del viajero desde un beacon. La localización basada en la multilateración se basa en la medición de los intervalos de tiempo entre la transmisión de un pulso del viajero y su recepción en múltiples receptores. Dichas mediciones requieren características no admitidas en los dispositivos de bajo costo que se desea utilizar. Además, incluso si tales características están disponibles, la

especificación de bluetooth permite una variación de reloj de 10 microsegundos, lo que se traduce en un error de medición de aproximadamente tres kilómetros, lo que la hace inadecuada para la mayoría de las aplicaciones de localización.

Los métodos basados en celdas determinan la ubicación del viajero en función de la visibilidad de las beacons, sin utilizar mediciones de distancia o ángulo. La localización se basa en el conocimiento del alcance limitado de cada una de las beacons, lo que permite que el viajero se localice en la región de intersección de los rangos de todas las beacons visibles. Teniendo en cuenta los problemas con muchos de los otros métodos, los métodos basados en células son muy populares para bluetooth, así como para la identificación por radiofrecuencia y radiación infrarroja.

Otro aspecto de su método de localización es que realizan todos los cálculos necesarios para la localización solo en el dispositivo móvil del viajero, como un teléfono móvil o asistente digital personal. Además de desplegar los beacons como se describió anteriormente, no se requiere ningún otro soporte de infraestructura. No solo no se requiere computación en los beacons, ni siquiera es posible realizar cálculos generales, ya que cada beacon es simplemente un adaptador bluetooth USB con alimentación y sin host conectado [31].

3.1.2 Detección de ocupación a través de iBeacon en dispositivos Android para la gestión de edificios inteligentes

Esté trabajo de investigación [32] presenta el desarrollo de una aplicación con el objetivo de conocer la ocupación de un edificio, esto debido a que juega un papel crucial en la implementación de sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado.

En esté trabajo relacionado [32], proponen una solución basada en la tecnología iBeacon, está solución aprovecha el estándar Bluetooth Low Energy, que proporciona un menor consumo de energía. Además, el protocolo iBeacon se puede usar tanto en sistemas iOS como en Android, lo que hace que esté nuevo enfoque sea flexible. Cabe mencionar que se centran en una solución basada en Android con el objetivo de aumentar la precisión de la ubicación y la eficiencia energética de todo el sistema. Aumentando la precisión en un 10% y la eficiencia energética en un 15%.

El monitoreo notifica a una aplicación de escucha cada vez que un receptor se acerca a un transmisor con un identificador único universal específico. El rango proporciona una aproximación de la distancia desde el transmisor iBeacon utilizando la información del campo de potencia de transmisión. Cuando un usuario ingresa a una sala con iBeacon habilitada, la sala se anuncia del usuario; en consecuencia, el dispositivo inteligente del usuario detecta el anuncio y envía está información al sistema de gestión de edificios.

Crearon una arquitectura compuesta por tres componentes principales: (1) los transmisores de beacons, dispositivos dentro de las salas que envían paquetes de iBeacon identificados de manera exclusiva a una (2) aplicación móvil, instalada en los teléfonos inteligentes de los clientes(visitantes); está aplicación es capaz de detectar beacons instalados en el edificio y envía esta información a un (3) servidor remoto del edificio a través de una solicitud HTTP o una conexión bluetooth, dicha arquitectura se muestra en la Figura 1.

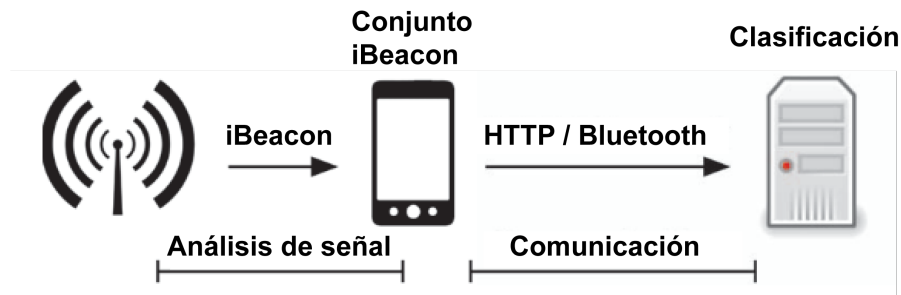


Figura 1 Aspectos principales de la solución propuesta

Al igual que otras señales de alta frecuencia que se transmiten a través del aire, bluetooth se ve afectado por la humedad, la presencia de otras señales y muchos otros factores ambientales.

Por lo tanto, realizaron diferentes pruebas para evaluar la variación de la señal recibida. Las pruebas consistieron en ubicar el dispositivo a una distancia D dada del transmisor, después de una calibración adecuada, y al registrar las señales detectadas. La Figura 2 muestra los valores registrados detectados con D = 2 m. con un celular Samsung S3 mini.

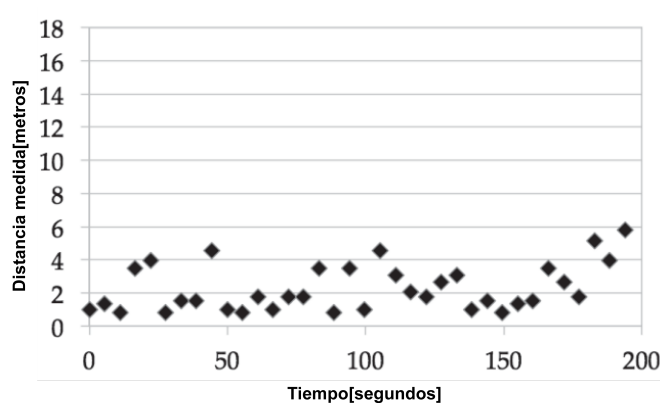


Figura 2 Evaluación de la señal con un periodo de monitoreo de cinco segundos.

Dada la información provista por el transmisor después del análisis de la señal, determinaron la posición del usuario. Primero, necesitaron una fase de recopilación de datos que requiera un operador que caminara por el edificio recolectando muestras (identificadores de beacons y sus distancias detectadas). Estas muestras se asocian con la sala específica y se envían al servidor que las almacena en la base de datos. Después

de esta fase, el servidor crea un modelo de aprendizaje automático supervisado basado en todas las muestras. Cuando un usuario ingrese al edificio, la aplicación envía al servidor la lista de todas las beacons detectadas en un determinado instante y sus respectivas distancias.

Para comprobar su precisión, crearon una aplicación de prueba y le pidieron a un usuario que se mueva dentro de una casa e indique su ubicación real. Los datos recopilados los usaron para construir un modelo de máquina de vector soporte (conjunto de entrenamiento), mientras que se utilizó otra parte para que probaran los comportamientos (conjunto de pruebas). Como resultado, obtuvieron una precisión de aproximadamente el 94% (Figura 3). De la matriz de confusión (Figura 3.c) el número de falso positivo, la detección del usuario dentro de la habitación mientras estuvo afuera es ligeramente mayor que la cantidad de falso negativo, la detección del usuario fuera de la habitación mientras estuvo adentro, es sobre lo mismo. Este resultado es bueno, debido a que es mejor tener un falso positivo que un falso negativo porque los falsos negativos son un problema en términos de comodidad y seguridad del usuario [32].

3.1.3 Mejora de la localización en interiores utilizando beacons de baja energía Bluetooth

Este trabajo de investigación [33] describe los principios básicos de la localización en interiores basada en el radio, centrándose en la mejora de sus resultados con la ayuda de una nueva tecnología de bajo consumo de bluetooth. La ventaja de esta tecnología radica en su compatibilidad con dispositivos móviles contemporáneos, especialmente con teléfonos inteligentes y tabletas. Además, implementaron un sistema distribuido para recopilar huellas dactilares de radio por dispositivos móviles con el sistema operativo Android. Este sistema permite a los voluntarios crear mapas de radio y actualizarlos continuamente. Los nuevos transmisores bluetooth de baja energía los instalaron en el piso del edificio, como en los puntos de acceso Wifi existentes. La localización de objetos estacionarios basados en Wifi, bluetooth de bajo consumo y su combinación los evaluaron utilizando datos de medición durante el experimento en el edificio. Probaron varias configuraciones de la disposición de los transmisores, diferentes formas de combinación de los datos de ambas tecnologías y otros parámetros que influyen en la precisión de la localización estacionaria.

El objetivo principal de este trabajo de investigación [33] es aportar una mejora en la localización en interiores haciendo uso de la tecnología Bluetooth.

Los métodos de localización en interiores generalmente se basan en la monitorización de la intensidad de la señal de radio, el llamado Indicador de intensidad de señal recibida (RSSI). Las señales de radio son transmitidas por transmisores (generalmente puntos de acceso Wifi, pero también puede ser los beacons bluetooth de bajo consumo también son una opción) que cubren un área particular. Con la creciente distancia del transmisor,

la intensidad de la señal recibida disminuye y el tiempo de viaje del transmisor al receptor aumenta. Cuando midieron estos valores desde más transmisores, pudieron estimar una posición del receptor. Usaron dos enfoques básicos: triangulación y toma de huellas dactilares.

Algoritmo usado para posicionamiento triangulación. Los métodos basados en la triangulación pueden dividirse en lateración y angulación. Estos métodos utilizan la estimación de la distancia de varios transmisores basados en la atenuación de la señal, las características del tiempo de propagación de la señal o la dirección de la señal recibida cuando usando antenas direccionales o matrices de antenas. Todos estos métodos logran un buen rendimiento en un espacio abierto con propagación de línea de vista entre el transmisor y el receptor.

Algoritmo usado para posicionamiento huellas dactilares La toma de huellas dactilares es un método de localización que comprende dos fases. En la primera fase, se recogen vectores de aprendizaje compuestos por los valores RSSI y las características adicionales opcionales medidas por un dispositivo de medición en las ubicaciones conocidas. Estos valores de referencia, el conjunto de datos calibrado, se guardan junto con las coordenadas de ubicación en la base de datos de huella dactilar para las necesidades de localización. En la segunda fase, la localización en sí misma, el dispositivo a localizar mide los valores RSSI y los compara con los datos en la base de datos de huellas dactilares utilizando un método adecuado. Los algoritmos o métodos de comparación más utilizados y las estimaciones de la posición son: métodos probabilísticos, vecino más cercano, redes neuronales, maquinas vector soporte, polígono m-vértice más pequeño.

Tecnologías usadas: Localización basada en bluetooth. La localización en interiores basada en bluetooth no es una idea novedosa. Debido a la limitación de la especificación original de bluetooth, esté enfoque no se ha usado ampliamente. El tiempo requerido para obtener un número suficiente de dispositivos bluetooth cercanos no fue satisfactorio debido al largo proceso de descubrimiento. Del mismo modo, las demandas energéticas y económicas de la infraestructura de bluetooth fueron altas en comparación con la infraestructura basada en Wifi.

Las redes Wifi se utilizan comúnmente para la localización dentro de edificios. Un edificio suele ser un sistema complicado con respecto a la propagación de la señal Wifi debido a los materiales utilizados. Es por lo que las áreas sin señal Wifi pueden aparecer en los edificios a pesar de la alta concentración de puntos de acceso Wifi eficientes. En tales áreas, no es posible coleccionar huellas dactilares porque no contendrían señales medidos de las redes Wifi circundantes. Para esté fin, se pueden usar beacons los cuales transmiten una señal bluetooth en lugar de una señal Wifi. Mientras funcionan con baterías, pueden colocarse en lugares menos accesibles donde no hay enchufes de alimentación u otras formas de suministro, como los cables ethernet, que permiten usar alimentación a través de internet [33].

3.1.4 Localización en interiores usando sensores de teléfono inteligente y iBeacons

Esté trabajo de investigación [34], presentan un marco de combinación de sensores de teléfonos inteligentes e iBeacons para una localización interior precisa. *El Pedestrian Dead Reckoning* (PDR) se puede aplicar para la localización mediante sensores de teléfonos inteligentes, pero desafortunadamente podría ir a la deriva por la poca distancia que abarca. Por lo tanto, iBeacons se aprovechan para corregir la deriva del enfoque PDR. Realizaron un filtro de partículas para la corrección. Los experimentos que son presentados en esté documento muestran una mejora significativa de la precisión de localización con la dispersión del despliegue de iBeacon en un área de 47.3m x 15.9m. Además, dado que la precisión de la estimación del punto inicial es vital para el enfoque de PDR, evaluaron el desempeño de su enfoque propuesto con respecto al error de estimación del punto inicial. Los resultados subrayan la solidez de su enfoque propuesto para el error de estimación del punto inicial.

El objetivo principal de esté trabajo de investigación [34] es hacer localización en interiores por medio de sensores del teléfono inteligente y beacons usando el algoritmo Pedestrian Dead Reckoning (PDR).

Pedestrian Dead Reckoning

Para determinar la posición actual, el enfoque PDR aprovecha la posición anterior, la longitud actual de la caminata y la dirección de la caminata, que puede expresarse como:

$$x_{t+1} = X_t + L_t \begin{bmatrix} \sin \theta_t \\ \cos \theta_t \end{bmatrix} \quad (1)$$

Donde:

X_t : es la ubicación 2D del peatón.

L_t es la longitud de la caminata.

θ_t es la dirección de la caminata en el paso de tiempo t .

Detección de pasos: la detección de pasos se puede lograr en función del patrón periódico de aceleraciones verticales durante la marcha. En realidad, debido a la baja calidad de acelerómetros de teléfonos inteligentes y vibraciones aleatorias durante la marcha, los datos de aceleración sin procesar son muy ruidosos. Por lo tanto, el preprocesamiento de datos se lleva a cabo utilizando una función de suavizado. Luego, se puede aplicar un método de umbral simple para identificar cada paso.

Longitud de caminar. La longitud de caminar varía para diferentes sujetos y en diferentes momentos durante la caminata, por lo tanto, asumieron longitudes de paso constantes simples para diferentes modos, es decir caminar, trotar y correr. Tomaron diferentes pasos

durante el caminar en consideración, presentaron un modelo más sofisticado, que establece:

$$L = \beta(a_{\max} - a_{\min})^{1/4} \quad (2)$$

Donde:

L : es la longitud del caminar.

a : es la aceleración.

β : es el coeficiente.

Dirección para caminar: Intuitivamente, las lecturas del magnetómetro proporcionaron la información de la dirección de la caminata directamente. Sin embargo, pueden verse afectados por dispositivos electrónicos en entornos interiores. Una forma alternativa de obtener la dirección de la caminata se basa en la doble integración de las lecturas del giroscopio. Pero, debido al efecto de ruido, la integración se desplazará si no hay correcciones. La combinación de estos dos sensores puede proporcionar una mejor estimación de la dirección de la caminata. Se puede construir un filtro Kalman para esta combinación de acuerdo con su trabajo anterior.

Localización basada en Ibeacon.

La tecnología emite periódicamente un paquete publicitario que contiene una identificación única y un valor RSS calibrado a una distancia de un metro. Este valor permite determinar la distancia entre un iBeacon y un dispositivo. Tenga en cuenta que no se requieren conexiones emparejadas para recibir estos paquetes. La localización basada en iBeacon aprovecha el RSS de un iBeacon. La propagación de la señal de un iBeacon se puede formular utilizando un modelo de pérdida de ruta, que se puede expresar como:

$$R_t^i = R^0 + 10y \log(d_t^i / d^0) \quad (3)$$

Donde:

R_t^i : el RSS de i-ésimo iBeacon.

R^0 : es el valor de RSS en la distancia de referencia.

y : es el exponente de pérdida de trayecto.

d_t^i : es la distancia entre el dispositivo e i-ésimo iBeacon.

d^0 : es la distancia de referencia.

Tenga en cuenta que la técnica iBeacon aplica un metro como la distancia de referencia. Por lo tanto, podemos obtener d_t^i como:

$$d_t^i = 10 \frac{R^0 - R_t^i}{10y} \quad (4)$$

Donde:

R_t^i : el RSS de i-ésimo iBeacon.

R^0 : es el valor de RSS en la distancia de referencia.

y : es el exponente de pérdida de trayecto.

Sobre la base de las distancias estimadas entre iBeacons y un dispositivo, se puede aplicar un modelo de promedio ponderado o un modelo de triangulación para la localización [34].

3.1.5 Servicios basados en la ubicación con tecnología iBeacon

Esté trabajo de investigación [35] explica qué es un iBeacon, cómo funciona y cómo puede simplificar su vida cotidiana, qué restricciones tiene iBeacon y cómo mejorar está restricción. Además, explican cómo usar los servicios basados en la ubicación para rastrear objetos. Por ejemplo, cada vez que una persona aterriza en un aeropuerto y espera su maleta en la zona de equipaje, no tiene información cuando su equipaje llegará a la cinta transportadora. Con un iBeacon dentro de su maleta, es posible rastrear el equipaje y recibir una notificación de inserción aún antes de que pueda verlo. iBeacon puede crear una experiencia de compra completamente nueva, en el aeropuerto, en los museos, en los ayuntamientos o en hacer su hogar o área de trabajo más inteligente, hay muchas otras posibilidades.

El objetivo principal de esté trabajo de investigación [35] es generar servicios de localización en interiores utilizando la tecnología beacon para rastrear el equipaje en un aeropuerto.

El seguimiento de una maleta con iBeacon tiene tres casos de uso. Primero es saber cuándo está la maleta cerca. Entonces, cuando el dispositivo que está buscando la maleta detecta la específica, envía una notificación para que el usuario sepa que la maleta se encuentra en una región de aproximadamente 30 metros. Usaron esto cuando el usuario está en la espera del equipaje. El segundo caso es cuando la maleta está al alcance y se quiere saber la distancia entre la maleta y el usuario.

El último caso lo aplicaron si la maleta deja la región de seguimiento. En este caso, el usuario necesita una notificación de que el equipaje está a más de 30 metros de distancia. Cuando se registraron y entregaron el equipaje, está claro que recibe una notificación de que el equipaje ha salido de la región. Con el cálculo de la distancia, tuvieron un buen indicador de dónde debe estar.

Necesitaron cumplir con tres cosas: un iBeacon que funciona con una batería, de modo que pueda colocarse en una maleta; un teléfono inteligente que admite la tecnología Bluetooth Low Energy; y una aplicación que gestiona todos los datos entrantes del iBeacon y muestra la información. En esta prueba usaron un Gimbal iBeacon y un iPhone 5. Se pueden usar dos funciones diferentes para interactuar con un iBeacon, región de monitoreo y rango. En el ejemplo de este artículo utilizan ambos: la supervisión de la región para recibir una notificación de inserción cuando la maleta está al alcance; y el rango para calcular la distancia entre el teléfono inteligente y la maleta.

Su primer paso fue establecer los valores de mayor y menor para identificador único universal. La Tabla 1 muestra la asignación completa para tres familias y 3 integrantes de cada una de ellas. La aplicación tiene un identificador único universal para que cada iBeacon con este identificador único universal pueda ser encontrado por la aplicación. El valor Minor identifica cada maleta de un miembro de la familia con su propio número único.

Familia		Familia 1	Familia 2	Familia 3
UUID		9903EC64-D309-11E3-94A7-1A514932AC02		
Major		10	20	30
Minor	Padre	1	1	1
	Madre	2	2	2
	Hijo	3	3	3

Tabla 1 Asignación para tres familias.

Todas los iBeacons que se usaron en la prueba fueron Gimbal proximity beacon - Serie 10 de Gimbal. Estos iBeacons son alimentados por una batería de celda de monedas y son muy pequeños. El Gimbal iBeacon tiene adicionalmente a su tecnología iBeacon un sensor de temperatura incorporado. Este sensor no se puede usar con el protocolo iBeacon, la única forma de obtener los valores de temperatura es usar un Kit de desarrollo de software de Gimbal.

Para configurar el UUID, valores *major* y *minor*, Gimbal tiene una plataforma web, donde puede administrar todos los iBeacons. En dicha plataforma web es posible crear un iBeacon y establecer todos los valores, incluso para la potencia medida. Después de crear este iBeacon en el portal web, Gimbal tiene una aplicación específica, que envía los datos de la web al iBeacon seleccionado. Cada iBeacon de Gimbal tiene un ID único y este ID se usa para identificar cada iBeacon, incluso si tienen los mismos valores de UUID, Major y Minor.

Para crear su aplicación utilizaron la plataforma Xamarin, con dicha plataforma es posible programar aplicaciones nativas iOS, Android y Mac OSX en el lenguaje de programación C#. Con esta característica, pudieron crear aplicaciones multiplataforma con una única base de código e incluso la misma interfaz de usuario. Solo las APIs nativas, como la API *Core Location* de iOS, deben ser específicas de la plataforma. La Figura 3 describe la arquitectura del sistema con el hardware iBeacon a la izquierda y la aplicación móvil a la derecha. El iBeacon envía una señal BTLE a la aplicación móvil. CLLocationManager maneja las señales entrantes y entrega la información al controlador.

Su siguiente paso fue crear una función que se llame cuando el usuario ingrese o salga de la región. El administrador de la ubicación proporciona eventos que pueden conectar con las funciones de eventos del usuario.

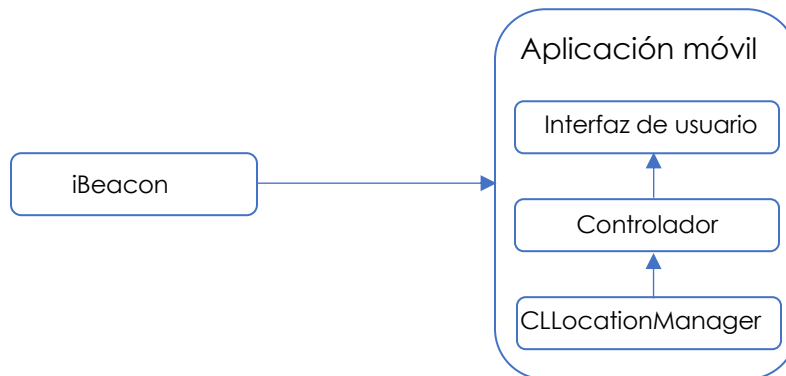


Figura 3. Arquitectura del sistema.

Para probar su implementación en un escenario del mundo real, utilizaron el aeropuerto Tegel en Berlín. Después del chequeo, la maleta estaba en camino a ser cargada en el avión. Un minuto después, la aplicación envió una notificación que confirmaba que la maleta había abandonado la región.

Otra de sus pruebas fue en la recuperación de equipaje, allí, la aplicación envió una notificación de que la maleta estaba al alcance. Como la maleta todavía no estaba en el cinturón del equipaje, se sabía que la maleta estaba en camino antes de que pudieran verla. Su aplicación mostró una distancia de aproximadamente 30 metros y en los siguientes minutos bajó a 10 metros. Sin embargo, una vez que vieron la maleta, su aplicación mostraba 9 metros, que en realidad tenían solo 3 metros, por lo que no era tan precisa como podría haber sido. El iPhone busca con un intervalo de 100 ms, mientras que el Gimbal iBeacon tiene un intervalo predeterminado de 645 ms [35].

3.1.6 Mejora de la estimación de distancia en la localización de objetos con Bluetooth de baja energía

Esté trabajo de investigación [36] describen las mejoras en la estimación de distancia al ubicar objetos perdidos utilizando la tecnología Bluetooth de bajo consumo, para ello desarrollaron un enfoque único para reducir el ruido y reducir el error hasta 1 metro para distancias cortas y por debajo de 3 los metros para distancias largas.

El objetivo principal de esté trabajo de investigación [36] es desarrollar una aplicación móvil que ayude a las personas a encontrar sus pertenencias, sin la necesidad de una infraestructura costosa.

Su sistema usa la tecnología beacon de la marca StickNFind que se pueden unir a los objetos de importancia y con facilidad se pueden extraviar. Su batería dura hasta un año basado en el uso de 30 minutos al día.

La distancia entre el emisor y el receptor la estimaron utilizando el modelo Log Normal Shadowing (LNS).

$$P_d = P_0 = 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X \quad (1)$$

P_d : representa la potencia de la potencia de la señal (RSSI).

P_0 : es el desplazamiento (la intensidad de la señal en la referencia distancia d_0).

n : es una característica de coeficiente para el dispositivo y el entorno circundante.

d : representa la distancia entre el emisor y el receptor.

X : es el ruido agregado a cada medición.

Las balizas StickNFind transmiten datos una vez por segundo cuando no están vinculados con el dispositivo inteligente, Una vez emparejados, transmiten cada 100 milisegundos. El valor RSSI (Indicación de la intensidad de la señal recibida) de la señal Bluetooth recibida por el dispositivo móvil se utiliza para estimar la distancia entre la radiobaliza y el dispositivo móvil.

La señal de Bluetooth no es suficientemente estable para estimar la distancia basándose únicamente en una medición. Por secuencia hicieron un ejemplo de diferentes medidas del RSSI para la misma distancia entre el emisor y el receptor. Para reducir el ruido y atenuar los valores extremos, utilizaron una muestra de diez medidas para calcular la distancia, en lugar de uno solo para cada valor de la distancia, utilizaron las últimas diez medidas a las que aplicaron las técnicas de filtrado.

Finalmente pudieron hacer una mejora en la estimación de la distancia como resultado de la aplicación del teorema de Chebyshev combinado con el filtro de Kalman. Además, la discretización de los valores de distancia agrega estabilidad y reduce el ruido [36].

3.2 Localización en interiores.

La navegación interior es tal cual su nombre lo dice navegar dentro de los edificios. Debido a que la recepción del GPS usualmente no funciona de manera correcta dentro de los edificios, aquí se usan otras tecnologías de posicionamiento automático. A menudo se utilizan Wifi o beacons para crear un llamado "*GPS interior*". La mayoría de las aplicaciones requieren una funcionalidad de "*enrutamiento interior*" que guía a las personas de forma precisa a través de un edificio utilizando una aplicación de navegación en interiores y de esta manera determina automáticamente su posición, muy similar a los sistemas de navegación que se usan en los automóviles.

3.2.1 Un enfoque para la navegación híbrida en interiores / exteriores

Este trabajo de investigación [37] describen un enfoque para integrar el mundo interior y exterior para proporcionar una experiencia de navegación híbrida. El enfoque se basa sobre localización en interiores y se integra con su infraestructura existente para la navegación al aire libre que se ha desarrollado en el proyecto de investigación europeo GAMBAS. Para evaluar el enfoque, prestaron datos recopilados de una implementación en el mundo real como parte del proyecto de investigación europeo SIMON.

El objetivo principal de este trabajo de investigación [37] es desarrollar una aplicación móvil que ayude a las personas a navegar en un ambiente híbrido(interior/exterior)

Como punto de partida para la navegación híbrida, cuentan con una infraestructura de servicio para la navegación al aire libre que han desarrollado como parte del proyecto de investigación europeo de GAMBAS. Como fuentes de datos, la infraestructura se basa en los datos geográficos proporcionados por el proyecto OpenStreetMap y los datos de cronograma de tránsito disponibles públicamente que se adhieren a la *General Transit Feed Specification*.

- Mapas: el servicio de mapas permite a un cliente recuperar una representación visual (2D) del entorno del usuario en forma de un mosaico de imágenes.
- Lugares: el servicio de lugares permite a un cliente traducir cadenas en ubicaciones (geocodificación) y viceversa (geocodificación inversa).
- Direcciones: El servicio de direcciones permite que un cliente calcule rutas desde un origen hasta un destino utilizando una modalidad de viaje particular (en automóvil, a pie o en transporte público).

En esta sección describen su enfoque para ampliar la infraestructura existente para la navegación al aire libre para apoyar la navegación híbrida.

A. Enrutamiento interior

Para minimizar el esfuerzo de modelado, presentaron un modelo simple para entornos interiores que permite apoyar la navegación. Al igual que en el modelo para exteriores, se necesitan definir ubicaciones, calcular rutas y visualizar el entorno. En base a esto, agregaron los siguientes elementos:

- **Construcción:** Esté elemento representa un solo edificio.
- **Capa:** una capa representa un solo piso en un edificio. Consiste en un número entero para modelar su nivel, un conjunto de rutas, zonas y lugares, así como una o más imágenes para proporcionar una representación gráfica.
- **Anclaje:** un delimitador define la asignación del sistema de coordenadas de una imagen a una longitud y latitud en WGS84.
- **Lugar:** un lugar representa un punto de interés para el usuario modelado como una coordenada WGS84 con un nombre. Similar al modelo de datos OSM, un lugar puede etiquetarse con pares clave-valor para definir atributos adicionales como su categoría o su nombre en diferentes idiomas.
- **Ruta:** Es una polilínea que representa una ruta posible a través de una capa.
- **Zona:** una zona representa un área poligonal particular en un piso modelado como una secuencia de coordenadas WGS84.

Dado el modelo de interior descrito anteriormente, existen diferentes enfoques para el enrutamiento de soporte. En primer lugar, requirieron que el modelo contenga zonas para todas las habitaciones y enlaces entre las capas. Esto nos permitiría crear un gráfico de enrutamiento al a) crear bordes entre polígonos vecinos y b) crear bordes entre polígonos que comparten un enlace y c) crear bordes dentro de cada polígono entre todos los pares de sus vértices (incluidos los vértices resultantes de los enlaces), lugares y obstáculos que se encuentran dentro de él) y luego d) eliminar todos los bordes que se crucen con los límites del polígono o los límites de un polígono de obstáculos.

Fase de entrenamiento: para acelerar la recopilación de datos, recopilaron continuamente huellas dactilares marcadas por el tiempo mientras caminaron. **Fase de localización:** para el emparejamiento, primero calcularon la probabilidad de haber recibido una determinada huella dactilar dentro de una celda al asumir la independencia entre las mediciones de fuentes de señales individuales y suponiendo que las mediciones seguirían una distribución normal.

Operación desconectada: Si bien la toma de huellas dactilares tiene la ventaja de ser precisa, requiere la disponibilidad de una conexión de red al servicio de localización.

Durante la localización, usaron esto para estimar la distancia entre un beacon y la ubicación del usuario usando su valor de RSSI medido de la siguiente manera: 1) Si el RSSI recibido de un beacon es menor que el RSSI mínimo utilizado para calcular el polinomio, descartaron el beacon y no intentaron calcular una estimación de distancia. 2) Si el RSSI recibido de un beacon es más alto que el RSSI máximo utilizado para calcular el polinomio, estimaron la distancia como 0. 3) En todos los demás casos, calcularon la estimación de distancia como el valor polinomial para el RSSI medido [37].

3.2.2 Desarrollo de un Sistema de Navegación en Interiores Usando la Tecnología NFC.

Esté trabajo de investigación [38] describen un sistema de navegación mediante la tecnología NFC (por sus siglas en inglés *Near Field Communication*). NFC es una tecnología de comunicación inalámbrica bidireccional de corto alcance. La comunicación se produce entre dos dispositivos cercanos a pocos centímetros. Se utiliza una señal de 13,56 MHz con un ancho de banda no superior a 424 Kbit/s. La tecnología NFC se basa en la tecnología de RFID (por sus siglas en inglés *Radio Frequency Identification*) y puede funcionar en emulación de tarjetas, lector / escritor y modos de operación punto a punto donde la comunicación ocurre entre un teléfono móvil por un lado y un lector NFC, un RFID pasivo etiqueta (etiqueta NFC), o un teléfono móvil en el otro lado, respectivamente.

NFC en interiores es muy simple y fácil de usar. El usuario solo necesita llevar y usar un dispositivo móvil habilitado para NFC. La aplicación de navegación interior debe ser OTA (por sus siglas en inglés *Over the Air*) precargada en la tarjeta inteligente. De lo que el usuario necesita simplemente toque la etiqueta URL (etiqueta NFC), que contiene la URL de la información del mapa interior justo antes de ingresar al edificio o al área. El mapa en el sitio web es OTA descargado al dispositivo móvil del usuario desde MapServer (es decir, un servidor web que contiene la información del mapa). La aplicación de navegación en el interior del teléfono móvil se inicia automáticamente y luego utiliza esta información del mapa. A medida que el usuario selecciona el punto de destino de su viaje dentro del edificio, la aplicación de navegación interior proporciona la ruta óptima hacia su destino

Etiquetas de referencia para NFC interno: para navegar por el entorno interior, NFC interno necesita información espacial para calcular todas las rutas accesibles. El entorno interior de edificios o complejos tiene una gran cantidad de etiquetas de referencia en nuestro modelo. Estas etiquetas de referencia se colocan en las entradas de cada habitación, elevador y escalera, y también en los orificios. El número de estas etiquetas depende del tamaño, la estructura y la complejidad del edificio. Se utiliza una descripción para cada etiqueta de referencia para permitir una búsqueda fácil de los

puntos de destino, y cada etiqueta de referencia incluye información de ubicación que está compuesta por los datos de un identificador de construcción, los datos de un identificador de planta y los datos espaciales de vectores. Usamos una estructura de datos espaciales vector en lugar de usar una estructura de datos raster. El uso de datos espaciales vectoriales permite una topología de codificación eficiente y también se pueden emplear eficazmente los enlaces de red.

Algoritmo para NFC interno: con un algoritmo de derivación de gráficos rápido y confiable, los mapas descargados de MapServer deben convertirse en un modelo de nodo de enlace con relaciones topológicas, como se ve en. Un modelo de enlace-nodo se compone de corredor, camino, camino, camino entre edificios, habitación, salón, escalera, ascensor, puerta de interés. La aplicación de navegación interior encuentra la ruta más corta entre la posición actual y el destino utilizando estas relaciones de enlace-nodo. El cálculo de la ruta óptima se basa en el algoritmo de Dijkstra, que resuelve eficientemente los problemas de ruta más corta en el origen y el sumidero cuando se proporcionan los nodos de inicio y fin [38].

3.2.3 Aplicación de módulos UWB en sistema de navegación interior

Esté trabajo de investigación [39] proponen utilizar módulos de banda ultra ancha (UWB) para el alcance y la comunicación bidireccional del tiempo de partida. El sistema se compone de dos grupos de módulos: *beacons* y estaciones móviles. Los *beacons* se encuentran fuera del edificio en el que la navegación debería estar disponible.

Los *beacons* están equipadas con módulos de radio UWB y opcionalmente con receptores GNSS precisos que utilizan correcciones RTK (por sus siglas en inglés *Real Time Kinematic*) desde una estación base local RTK, ubicada no lejos de la construcción de intereses. La cantidad de balizas puede variar según la situación actual y el rendimiento global necesario del sistema. Teniendo en cuenta los diferentes tipos y número de balizas, se pueden establecer tres configuraciones de sistema diferentes:

- 1) El sistema con balizas estacionarias: las balizas no cambian sus posiciones a tiempo. Está configuración permite un posicionamiento rápido y preciso, pero el tiempo de despliegue del sistema aumenta con el número de balizas.
- 2) El sistema con varias balizas no estacionarias: las balizas pueden cambiar sus posiciones a tiempo, por ejemplo, para optimizar el rendimiento general del sistema. Está configuración proporciona un posicionamiento rápido y preciso, pero representa la versión más cara y más complicada del sistema.
- 3) El sistema con un beacon no estacionaria: es una versión de bajo costo del sistema, con un solo beacon que cambia su posición en el tiempo. En esté caso, el

posicionamiento preciso requiere más tiempo, ya que las mediciones de distancia para diversas ubicaciones.

Las estaciones móviles están ubicadas dentro del edificio, estas proporcionan un servicio de posicionamiento a los usuarios. Las estaciones están equipadas con módulos de radio UWB y módulos MCU con todos los algoritmos necesarios, los cuales son responsables de las configuraciones y la comunicación con los módulos UWB, la estimación de la posición del usuario y la presentación de sus datos al usuario en una pantalla específica.

Las estaciones móviles también pueden transferir sus estimaciones de posición a los otros usuarios del sistema, a través de los módulos UWB, que pueden usarse para operaciones de equipo coordinadas dentro de los edificios y para mostrar las posiciones de todos los usuarios móviles en un centro de monitoreo externo. Estas características hacen que el sistema sea especialmente útil para la policía, el ejército y otros servicios de emergencia.

El sistema implementa un algoritmo de posicionamiento, cuyo elemento más importante es el Filtro de Kalman Extendido (EKF). Las ecuaciones que describen el modelo del sistema, utilizado como base para la formulación de la EKF se componen de un modelo de dinámica lineal y un modelo de observación no lineal.

El objetivo principal de los experimentos presentados y los análisis teóricos fue determinar si los módulos UWB se pueden usar en un sistema de posicionamiento interior. Los resultados muestran que el sistema de posicionamiento basado en UWB puede proporcionar un valioso servicio de posicionamiento bajo varias condiciones.

La calidad del servicio depende significativamente de la configuración del sistema y del tipo de paredes y obstáculos en el edificio de interés. Por lo tanto, en un sistema totalmente operativo, se debe considerar el uso de una red de balizas compuesta por más anclajes que en la demostración presentada. Esto minimizaría las pérdidas de servicio de posicionamiento cuando uno o más módulos no están disponibles para el posicionamiento [39].

3.3 Comparativa de trabajos relacionados.

En esta sección se muestra una comparación de los trabajos relacionados descritos previamente en este capítulo, los aspectos considerados son:

- **Nombre del trabajo:** Esta columna especifica el nombre al que le pertenece algún trabajo de investigación.
- **Información proporcionada:** Esta columna especifica el tipo de información que puede consultar el pasajero.

- **Área de aplicación:** Esta columna específica a cuál sector fue dirigida (energético, educativo, comercial, transporte, etc.).
- **Tipo de transmisión:** Esta columna especifica el tipo de tecnología utilizada para la forma en que se establece la comunicación.
- **Lenguajes de programación e Ids:** Esta columna especifica el lenguaje de programación que se utilizó y el ambiente de trabajo que utilizaron para el desarrollo de la aplicación.
- **Plataforma:** Esta columna se refiere al tipo de sistema operativo de Smartphone para el que fue desarrollada la aplicación.

Cabe señalar que algunos trabajos principalmente en los lenguajes de programación y plataforma no se mencionan, por lo tanto, se denoto la palabra N/D que significa que no está disponible.

Nombre del Trabajo	Información proporcionada	Área de aplicación	Tipo de transmisión	Lenguaje de programación e lds	Plataforma
Ubicación de beacon para la localización en interiores usando bluetooth [31]	Ubicación de un dispositivo móvil (celular, laptop)	General	Bluetooth	N/D	N/D
Detección de ocupación a través de iBeacon en dispositivos Android para la gestión de edificios inteligentes [32]	Ocupación de un edificio	Comercial	Bluetooth	N/D	Android
Mejora de la localización en interiores utilizando beacons de baja energía Bluetooth [33]	Localización interior	N/D	Bluetooth/WIFI	N/D	Android
Localización en interiores usando sensores de teléfono inteligente y iBeacons [34]	Localización interior	N/D	N/D	N/D	N/D
Servicios basados en la ubicación con tecnología iBeacon [35]	Localización interior	Comercial	Bluetooth	Xamarin	IOS
Mejora de la estimación de distancia en la localización de objetos con Bluetooth de baja energía [36]	Ubicación de objetos en interiores	N/D	Bluetooth	N/D	N/D
Un enfoque para la navegación híbrida en interiores / exteriores [37]	Localización en interiores y exteriores	Investigación, Educativo	Bluetooth	N/D	Android
Desarrollo de un Sistema de Navegación en Interiores Usando la Tecnología NFC [38]	Navegación en interiores	Investigación, Educativo	NFC	N/D	N/D
Aplicación de módulos UWB en sistema de navegación interior [39]	Navegación en interiores	Investigación, Educativo	UWB	N/D	N/D
Propuesta	Localización en interiores	Investigación, Educativo	Bluetooth	Java, JavaScript	Android

Tabla 2 Estado del arte

Capítulo 4

Navegación con tecnología de proximidad en interiores



En este capítulo se describe la metodología de solución de la aplicación para la navegación en interiores utilizando la tecnología beacon. En la primera sección se describe brevemente la metodología que fue usada y en las siguientes secciones se describe de manera detallada cada una de las fases que la forman.

4.1 Descripción general de la metodología de solución

En este proyecto de investigación se llevó a cabo el desarrollo de una aplicación móvil inteligente la cual ayuda a la transformación de ciudades “*tradicionales*” a ciudades inteligentes, la aplicación es capaz de proporcionar ayuda para llegar de un punto de inicial a un destino dentro de edificios, además de brindar la ruta de menor distancia.

La aplicación inteligente mejora la experiencia del usuario dentro de un edificio, además de agregar un servicio que distingue de un edificio tradicional a un edificio inteligente, esta aplicación de aquí en adelante será mencionada como “*navIndoor*”. Esta aplicación móvil utiliza recursos tecnológicos que se pueden obtener fácilmente, por lo tanto, su despliegue en los edificios es relativamente fácil y rápida.

navIndoor utiliza un teléfono inteligente para la recopilación de la información del entorno dentro de un edificio. Por otra parte, se hace uso de otros tipos de dispositivos electrónicos los cuales llevan por nombre beacons, estos dispositivos sirven de apoyo para obtener información del contexto.

Para el funcionamiento y uso de navIndoor se crearon 2 aplicaciones que son utilizadas por 2 tipos de usuarios con roles diferentes. La primera aplicación está enfocada a dos usuarios, uno es el usuario administrador a nivel organizacional, es decir es el que gestiona la aplicación a nivel de una alguna institución, escuela, aeropuerto, etc., la aplicación lleva por nombre navIndoor para administradores. La segunda aplicación está dirigida al usuario general, el cual es usado solo para navegar dentro de algún edificio, la aplicación lleva por nombre navIndoor.

Para poder generar la ruta óptima o más cercana es necesario y muy importante tener información acerca de los edificios en donde se pretende hacer dicha navegación como lo es el número de pisos, las zonas que serán cubiertas por los beacons, las distancias que existen entre beacons, etc.

El sistema navIndoor se desarrolló en cuatro fases. A continuación, se describen brevemente cada una de las fases. En la Figura 4 se muestra el diagrama de la metodología de solución propuesta.

Fase 1: Análisis y diseño de la tecnología

En esta actividad se define las zonas y los lugares en los cuales se pretende hacer la navegación en interiores con el motivo de delimitar solo aquellos lugares los cuales destacan por su importancia y alta ocurrencia en visitarlos.

Fase 2: Algoritmos de navegación

Algoritmo de generación de rutas: este algoritmo nos ayuda a poder formar las rutas que están disponibles seguir desde un punto inicial a un punto destino, el algoritmo tiene una estructura de árbol con la particularidad de tener un peso entre sus nodos para poder definir la ruta óptima.

Algoritmo de posicionamiento: este algoritmo nos ayuda a poder tener una ubicación del usuario aproximada, la cual nos ayuda saber cuál es su punto de inicio, saber cuándo ha llegado a su destino, esta tarea se realiza con uso del SDK de los beacons Estimote.

Fase 3: Implementación

Módulo de navegación: este módulo será el encargado de brindarle al usuario una interfaz en la cual se muestra el mapeado de la zona, en el cual podrá ver su ubicación, buscar su destino de interés al cual quiera ir, y finalmente mostrar un camino óptimo a seguir para llegar al destino buscado anteriormente, este módulo está constituido por los tres algoritmos mencionados en la categoría anterior.

Módulo de obtención de información del contexto: este módulo será el encargado de monitorear la información que genere el usuario a partir de la interacción del celular del usuario y los beacons.

Fase 4: Pruebas

En esta actividad se describe el plan de pruebas establecido para llevar a cabo la evaluación del algoritmo Dijkstra para el cálculo de la ruta óptima.

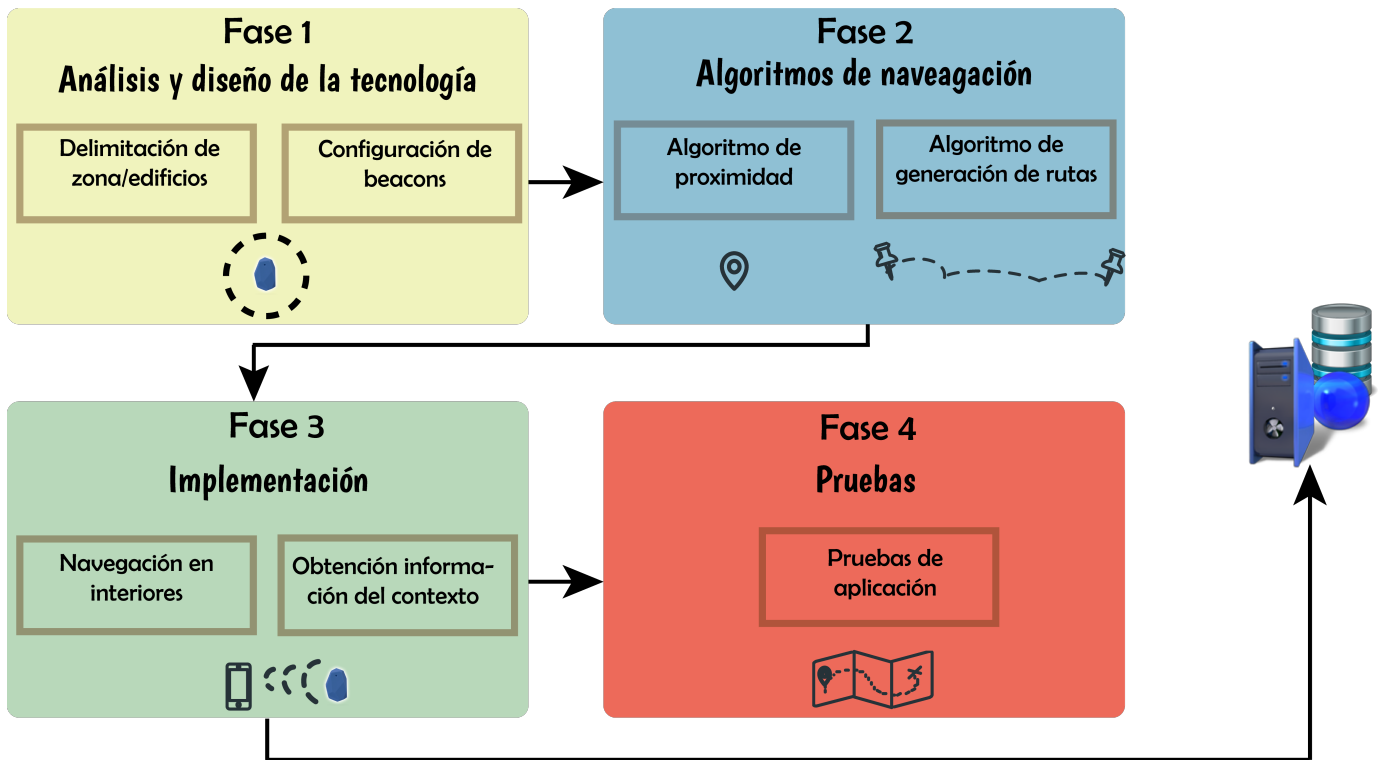


Figura 4 Metodología de solución de aplicación móvil.

4.2 Análisis y diseño de la tecnología

En este punto se define el espacio en el cual se quiere hacer la navegación, es decir el edificio o la zona donde se pretende hacer la navegación en interiores.

Este punto puede resolverse de distintas maneras según sea las necesidades que se demande:

- A) Una de las opciones es que un usuario con un rol de administrador del edificio capture la información necesaria por medio de formularios.
- B) Otra de las opciones es presentarle al administrador del edificio una interfaz en la cual pueda interactuar con mapas de los edificios de una organización.

En esta investigación se optó por la opción A esto debido al tiempo que se le tiene que invertir a la opción B. Para poder a cabo la actividad A se creó una aplicación en Android llamada navIndoor para administradores, la cual consta de 3 módulos: organizaciones, beacons y rutas.

Organizaciones

En este módulo se gestiona la organización en la cual se quiere hacer navegación en interiores, de la misma manera se gestionan los edificios que compone dicha organización, en dicho módulo empezamos a obtener la información que necesitamos saber para posteriormente ser mostrada al usuario al momento de navegar en un edificio, es por ello tener claro los alcances y saber hasta dónde se va a llegar con dicha aplicación.

En organizaciones se da de alta la organización en dado caso que no se haya hecho anteriormente, además en esta sección se dan de alta, baja o se actualiza los de edificios en los que se hará la navegación en interiores. Algunos de los campos que se piden registrar en esta sección y que son relevantes para hacer la navegación se en listan a continuación.

Por parte de la organización:

- Nombre de la organización
- Teléfono
- Dirección
- Sitio web
- Correo electrónico
- Descripción

En la sección de edificios se pide lo siguiente:

- Nombre del edificio
- Extensión
- Números de piso
- Descripción.

Beacons

En este módulo se gestiona los dispositivos beacons, los cuales son utilizados para hacer la navegación en interiores, en esta tesis se decidió utilizar los beacons de la marca Estimote, las razones por las que se compraron esta marca de beacons fueron: menor gasto económico, una amplia documentación, fáciles de usar, configuración en plataforma web, así como móvil y un robusto SDK en comparación con la marca Kontakt.io y otras marcas.

Para poder registrar un beacon es necesario configurarlo antes en la plataforma del fabricante, en este caso Estimote tiene aplicaciones web y móviles en las cuales puedes acceder mediante un registro <https://cloud.estimote.com/#/> en la plataforma se puede editar el nombre del beacon, consultar los valores: id del beacon, major, minor, uuid,

tags, attachment, txpower los cuales se pedirán que sean registrados. Los valores mencionados anteriormente son de suma importancia, ya que sin ellos no se podría utilizar el beacon para hacer navegación en interiores. Otros datos importantes a destacar son el edificio en el que se va a colocar, el número de piso del edificio. A continuación, se muestra un enlistado de la información que se necesita en esta sección para hacer la navegación.

- Identificador (id del beacon generado por la plataforma de la marca de los beacons)
- Nombre (Nombre representativo de la zona donde será colocado)
- Ubicación (Lugar en donde se va a colocar dicho beacon "descripción")
- Número de piso (No. de piso donde será colocado el beacon)
- Edificio (Edificio donde será colocado el beacon)
- Etiquetas (Tags, es el nombre de la zona que se le asignó al beacon en la plataforma de la marca de los beacons)
- Mensaje (Attachment, mensaje definido en la plataforma de la marca de los beacons)
- UUID (Valor proporcionado por la plataforma de la marca de los beacons)
- Tx power (Valor proporcionado por la plataforma de la marca de los beacons)
- Rango (Valor proporcionado por la plataforma de la marca de los beacons)
- Major (Valor proporcionado por la plataforma de la marca de los beacons)
- Minor (Valor proporcionado por la plataforma de la marca de los beacons)

Rutas

En este módulo se gestionan las instrucciones y caminos que existen dentro del edificio las cuales son utilizados para guiar al usuario al destino al cual quiere ir. Es importante tener este módulo de calibración ya que de él depende un correcto funcionamiento en la navegación en interiores para ello se estableció una sección en la cual se establece las distancias existentes entre los beacons para posteriormente formar una estructura de tipo grafo la cual será guardada para un edificio en particular. En la Tabla 5 se muestra la información que se ocupó para generar el grafo fue la siguiente.

- Beacon inicial (Beacon de punto de partida)
- Beacon destino (Beacon que tiene conexión directa con el beacon inicial)
- Distancia en metros (distancia que existe entre el beacon inicial y destino)
- Instrucciones (Indicaciones a seguir para llegar al beacon destino comenzando por el beacon inicial)

4.3 Algoritmos de navegación

En esta sección de la metodología se hace la selección de los algoritmos a utilizar para hacer la navegación en interiores. La navegación en interiores que se propone en esta

tesis utiliza un grafo, el cual es una pareja de conjuntos $G = (V, A)$, donde G es el grafo, V es el conjunto de vértices o nodos, y A es el conjunto de aristas que relacionan a los nodos, este último es un conjunto de pares de la forma (u, v) tal que $u, v \in V$ [35]. El grafo se genera por medio de una matriz de $n \times n$ en la cual se establecen los valores de las distancias reales entre los beacons a usar, si existe un enlace directo, es decir que no se necesita pasar por un beacon intermedio, si no existe dicho enlace se establece un valor por default, esta matriz es generada por el administrador de la organización en la aplicación navIndoor.

Los algoritmos desarrollados para llevar a cabo la navegación fueron: un algoritmo de posicionamiento y un algoritmo de generación de rutas. Estos algoritmos juegan un rol muy importante en nuestra propuesta ya que mediante ellos se pudieron hacer las actividades más importantes:

- Establecer la ubicación de un usuario
- Generar una ruta a partir de un punto inicial a un punto final.

Algoritmo de posicionamiento: este algoritmo tiene como objetivo obtener la ubicación de un usuario. Este algoritmo es utilizado para identificar el lugar donde se encuentra el usuario, es decir la ubicación del usuario aproximadamente, la cual nos ayuda saber cuál es su punto de partida, cual ha sido los lugares que ha estado, cuándo ha llegado a su destino.

Esta tarea se realiza con uso del SDK de los beacons Estimote, el cual nos proporciona una función de monitoreo que constantemente lanza un evento cuando algún usuario con su celular y la aplicación en ejecución entra dentro de la región de un beacon así podemos ejecutar cualquier actividad, como mostrar un mensaje, mostrar alguna imagen, hacer una consulta a la base de datos, etc. En la Figura 5 se ilustra el funcionamiento del algoritmo de posicionamiento.

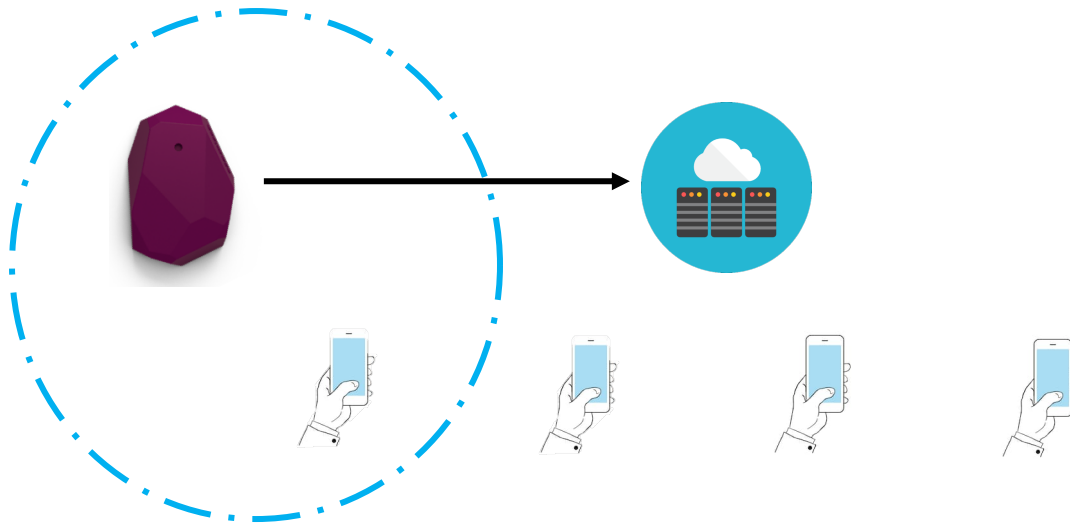


Figura 5 Funcionamiento de algoritmo de posicionamiento.

Algoritmo de generación de rutas: este algoritmo nos ayuda a poder formar las rutas a partir de la información generada por el administrador de la organización. Para poder generar una ruta es necesario tener un punto de inicio, un punto final y que exista al menos una distancia entre un beacon, es decir no debe de existir algún beacon que se encuentre aislado.

Existe una variedad de algoritmos que trabajan con rutas como puede ser: Kruskaly[36], Breadth first search[37], Bellman-Ford[38] los cuales trabajan de maneras diferentes por ejemplo Kruskaly trabaja con árboles de tipo de expansión mínima, Breadth first search y Bellman-Ford trabajan con grafos, pero las distancias (pesos en aristas) en caso de Breadth first search son distancias entre 0 y 1 y Bellman-Ford puede trabajar con cualquier tipo de distancias incluyendo negativas, sin embargo lo que necesitamos es que la información brindada por el administrador de la organización pase casi directamente y no hay un proceso de tratamiento de datos es por ello que se decidió utilizar el algoritmo Dijkstra, además de que este trabaja con la ruta óptima. El algoritmo Dijkstra tuvo que ser modificado para poder hacer uso de él, de los cambios que se realizaron se alistan a continuación:

- Se agregó el parámetro del destino.
- Se adaptaron los identificadores de los beacons como los nodos del grafo.
- Se hizo con un número de nodos dinámico.
- Se obtiene solo la ruta a la cual lleva al destino.
- Se modificó para que trabajara con números de tipo decimal.

En la Figura 6 se muestra un ejemplo de un grafo probado con el algoritmo Dijkstra ya modificado, para una mejor descripción del ejemplo vaya a la sección 5 de pruebas y resultados.

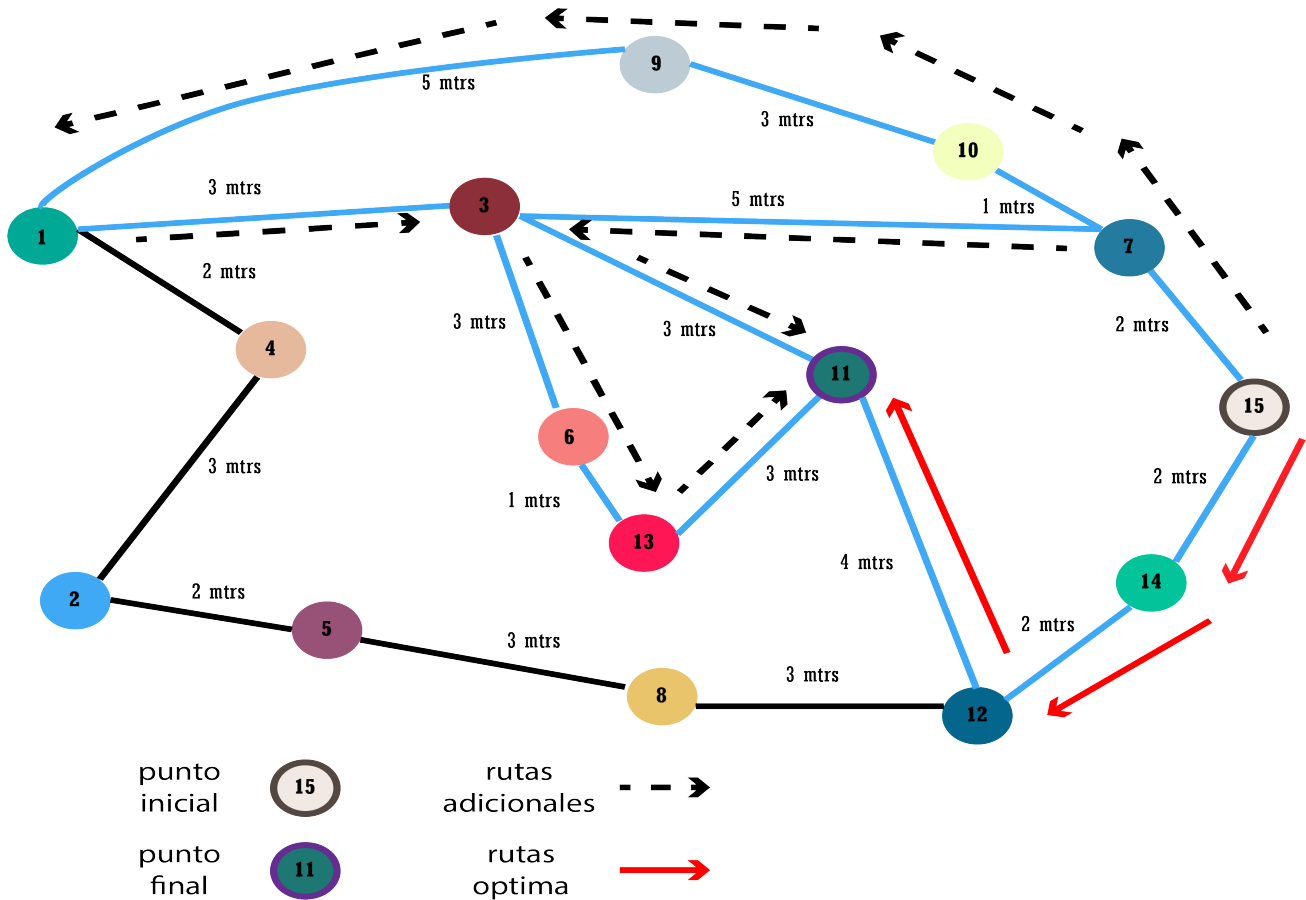


Figura 6 Funcionamiento de algoritmo de posicionamiento.

4.4 Implementación

En esta fase se presenta el desarrollo y la arquitectura del sistema de navegación de navIndoor para navegación en interiores. Además de un conjunto de servicios Web que se encargan de enlazar las aplicaciones móviles con el servidor, para el envío de la información del contexto, así como el envío de peticiones y respuestas del servidor.

El desarrollo de las aplicaciones se realizó utilizando la herramienta de desarrollo Android Studio, mientras que los servicios web se desarrollaron utilizando la tecnología nodejs. Las aplicaciones fueron desarrolladas para ser instaladas en teléfonos inteligentes que cuenten con el sistema operativo Android, desde la versión 4.4 KitKat hasta la versión 7.0 Nougat.

4.4.1 Arquitectura del sistema navIndoor

En esta sección se presenta la descripción de la arquitectura del funcionamiento del sistema inteligente navIndoor. El sistema navIndoor es de tipo cliente-servidor, lo cual significa que las aplicaciones móviles (clientes) envían peticiones al Servidor, para posteriormente el servidor dependiendo de las peticiones devuelve una respuesta normalmente de tipo json a las aplicaciones móviles. El envío de las peticiones y respuestas se realiza mediante Servicios Web.

En la Figura 7 se muestra el diagrama de la arquitectura del sistema navIndoor.

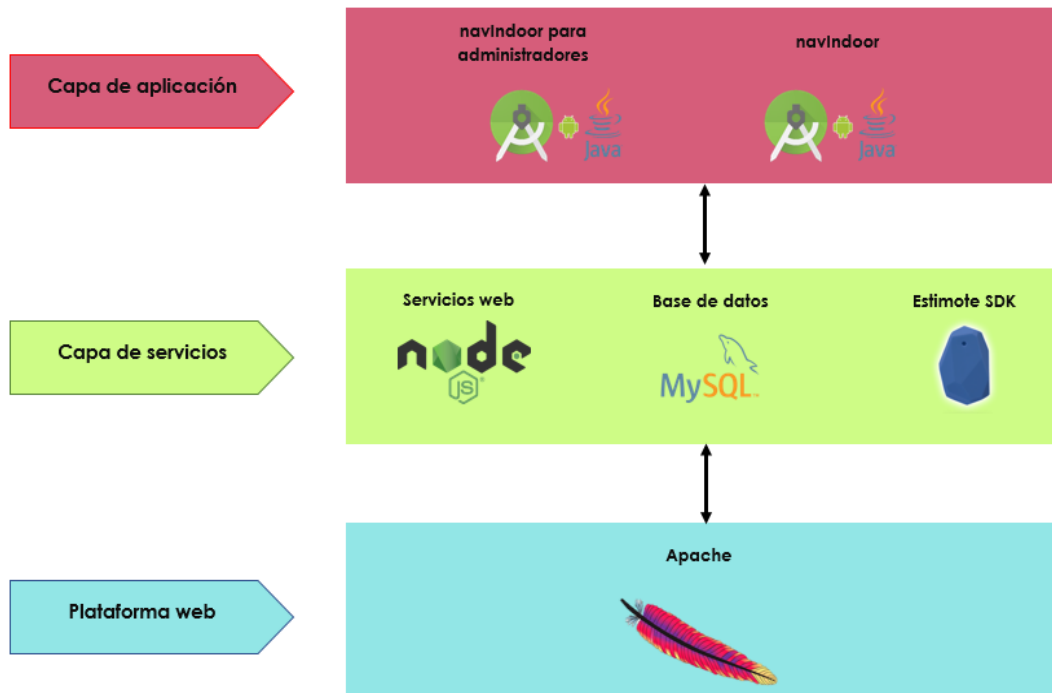


Figura 7 Aplicación Móvil de IoT: navIndoor.

4.4.2 Aplicación navIndoor para administradores

La aplicación móvil navIndoor está destinada para los administradores o dueños encargados de gestionar las organizaciones. La aplicación móvil se compone de diferentes secciones que en conjunto permiten llevar a cabo una serie de tareas tales como registro del usuario de tipo administrador de la organización, como también registro de organizaciones, edificios, beacons y las rutas disponibles dentro de cada edificio. Esta información que se pide ingresar al administrador de la organización permite preparar un ambiente, el cual permite construir una infraestructura para poder hacer una navegación en ambientes interiores.

La Figura 8 muestra una vista de la pantalla principal de la aplicación navIndoor para el usuario administrador de la organización.

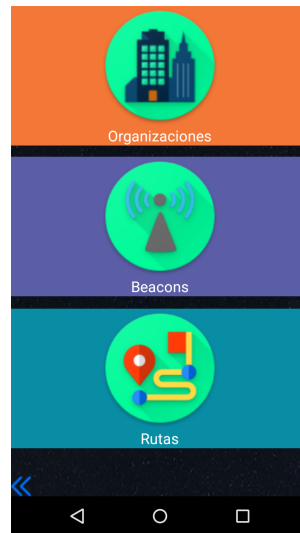


Figura 8 Aplicación Móvil de IoT: navIndoor.

En las siguientes secciones se describen los módulos que conforman la aplicación móvil navIndoor.

4.4.2.1 Módulo “Organizaciones”

En este módulo de organizaciones se crea la organización en donde se quiere hacer la navegación en interiores, compréndase organización como un conjunto de estructuras administrativas con las mismas metas u objetivos. Las organizaciones son dadas de alta solamente con los usuarios de tipo administrador de organización, ya que este rol solamente tiene este privilegio, solamente se puede crear una organización por administrador de la organización, en este apartado también se tiene la opción de actualizar dicha organización. En la Figura 9 se muestra la interfaz gráfica del registro de una organización.



Figura 9 Vista de interfaz del módulo de la organización.

4.4.2.2 Módulo “Edificios”

Dentro del módulo de organizaciones se tiene registro de los edificios, en el cual se hace la gestión de los edificios en los que se pretende hacer la navegación en interiores y pertenezcan a la organización, por qué ponerlo dentro de la sección de la organización, el motivo es darle un orden a la creación de los recursos que se deben dar de alta en esta aplicación. A Continuación, se muestra la Figura 10 en donde se observa la interfaz de la sección de gestión de edificios.

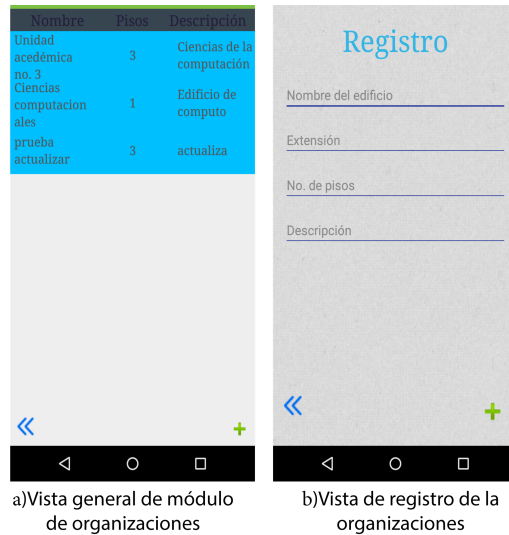


Figura 10 Vista de interfaz general y registro de edificios.

Además de dar de alta los edificios también se tiene las operaciones modificar y actualizar tal como se muestra en la Figura 11.

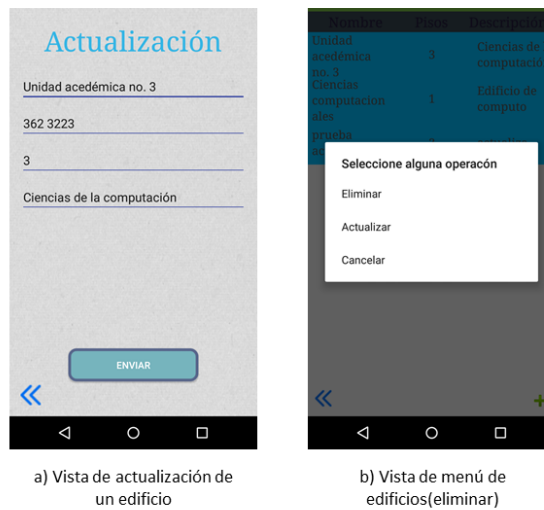


Figura 11 Vista de interfaz de actualización y menú de edificios.

4.4.2.3 Módulo “Beacons”

En este módulo de Beacons es en donde se hace la gestión de los beacons tal como se muestra en la Figura 12. Este módulo es importante ya que se empieza a construir el ambiente para hacer navegación en interiores, en el registro del beacon se especifican valores importantes a utilizar como lo son: su id del beacon, el nombre, los parámetros UUID, Mayor, Minor como la ubicación de en donde se coloca dicho beacon seleccionando un edificio de los registrados y finalmente el número de planta.



Figura 12 Vista de interfaz general y registro de beacons.

Así como en el módulo de Edificios, en el de Beacons también contamos con las operaciones modificar, eliminar y una adicional de registro de credenciales de beacon, dichas operaciones se muestran se la Figura 13.

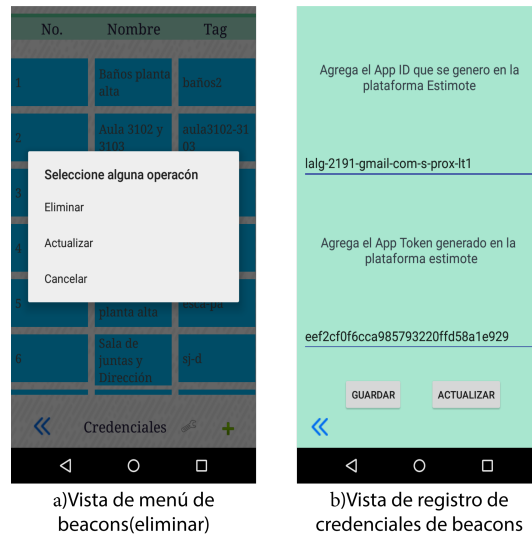


Figura 13 Vista de interfaz de menú y registro de credenciales.

4.4.2.4 Módulo “Rutas”

En este módulo de Rutas es en donde se hace la gestión de los caminos existentes entre beacons en un edificio. Este módulo es crucial para hacer una buena navegación en interiores, esto es debido a que se establecen las distancias que existen entre los beacons dados de alta, para ello se creó un registro en el cual hace la detección de los beacons para posteriormente establecer la distancia entre ellos y las instrucciones que deben seguir. En la Figura 14 se muestra la primera vista de la interfaz del módulo de rutas.

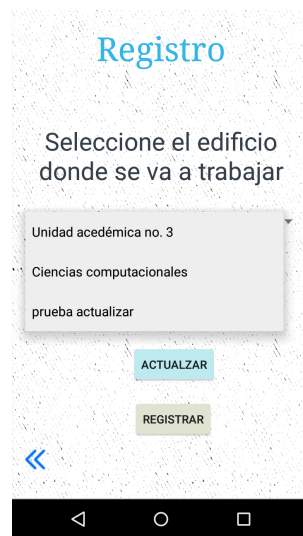


Figura 14 Vista principal de módulo de rutas.

Una vez elegida alguna opción: registrar o actualizar se muestran nuevas vistas correspondientes a la operación seleccionada, en la Figura 15 se muestran dichas operaciones.



Figura 15 Vista de registro y actualización de rutas.

4.4.2.5 Aplicación navIndoor

El prototipo desarrollado en la tercera fase de la metodología propuesta se refiere a la aplicación de navegación por parte de los usuarios, dicha aplicación tiene la tarea de obtener la información del contexto, es decir debe de obtener las señales de bluetooth emitidas por los beacons, monitorear constante dichas señales. Esta aplicación se compone por cinco módulos principales, los cuales fueron implementados en una aplicación móvil con el sistema operativo Android. Este prototipo ha sido denominado como NavIndoor.

- Registro de usuario.
- Inicio de sesión.
- Búsqueda de lugares dentro del edificio.
- Generación de ruta.
- Detección de ubicación.

navIndoor es una aplicación móvil de IoT (por sus siglas en inglés Internet of Things) para dispositivos móviles Android. Los usuarios deben registrarse para poder hacer uso de la aplicación desarrollada y poder hacer inicio de sesión. Una vez que el usuario se encuentra registrado e inicia sesión, entonces puede hacer búsquedas de los lugares dentro de un edificio inteligente, mostrándose la ubicación del usuario para posteriormente generar la ruta hacia del lugar al que el usuario desea ir.

La aplicación navIndoor tiene la capacidad de poder detectar cuando no se ha seguido las instrucciones correctamente. La aplicación manda un mensaje con la descripción "*Te has desviado de la ruta*", posteriormente la aplicación automáticamente recalcula la ruta a partir de la posición actual del usuario. Otra funcionalidad que se incorporó a la aplicación es detectar si el usuario ha cambiado de edificio habiendo iniciado una ruta en un edificio diferente.

La aplicación móvil tiene como objetivo guiar al usuario mediante una serie de instrucciones que la aplicación muestra y reproduce hasta llegar a un destino de interés en ambientes interiores.

En esta aplicación hace uso del algoritmo de ubicación y del algoritmo Dijkstra, la aplicación detecta automáticamente en la organización que se encuentra, para posteriormente dar una ubicación más precisa mostrando en que edificio, piso y oficina, salón o baño te encuentras. Posteriormente se busca el lugar donde se requiera ir, con esto se obtiene el punto inicial y punto final para poder ser enviados al algoritmo Dijkstra y obtenga la ruta óptima, esta ruta se encuentra conformada por al menos dos nodos los cuales tienen instrucciones que fueron dadas de altas por el administrador de la organización, finalmente se recorren todos estos nodos hasta llegar al final y haber concluido la navegación. Para hacer uso de dicha aplicación es necesario registrarse en

la aplicación, en donde se pide ingrese un conjunto de datos sencillos para su registro, posteriormente podría iniciar sesión. En la Figura 16 se muestra la pantalla de inicio de dicha aplicación.



Figura 16 Vista de inicio de sesión.

Posteriormente una vez iniciada la sesión aparece una interfaz gráfica con un saludo al usuario, una leyenda es mostrada inmediatamente de bajo del saludo con el nombre de la organización, en el centro de la pantalla se muestra un botón grande con la leyenda "Presione para empezar" con dicho botón empieza el proceso para navegar dentro de un edificio, al final en la parte inferior izquierda se muestra un botón para poder cerrar la sesión. En la Figura 17 se muestra la interfaz gráfica descrita en esta sección.



Figura 17 Vista de saludo e identificación de organización.

Después de haber presionado el botón de “*Presione para empezar*” se muestra una nueva ventana, en la cual se muestra de manera detallada en el lugar que se el usuario mostrando, organización, edificio, el piso y finalmente la oficina o baño, etc. también se muestra un botón para seleccionar el destino, tal como se muestra en la Figura 18.

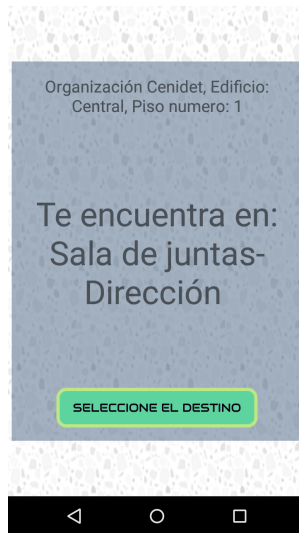


Figura 18 Vista de ubicación en detalle.

Posteriormente se muestra una interfaz Figura 19 en la cual el usuario debe escoger algunos de los destinos mostrados en la lista, en dado caso que fueran demasiados lugares se puede hacer un filtro buscando el lugar por el nombre, una vez que se selecciona el destino se muestra en la parte inferior un mensaje temporal con el nombre del lugar seleccionado, posteriormente se presiona el botón “*Calcular ruta.*”



Figura 19 Vista de búsqueda de destino.

Esto abrirá una nueva interfaz con un mensaje pidiendo que espere unos segundos para el cálculo de la ruta, una vez obtenida muestra una interfaz nueva, donde se muestra

una serie de instrucciones que te llevaran de beacon a beacon hasta llegar a su destino. A continuación, se muestra la Figura 20 donde se puede observar dicha interfaz mencionada en esta sección.



Figura 20 Vistas de seguimiento de instrucciones y llegada al destino.

4.4.3 Modelo relacional de la base de datos

El modelo relacional de la base de datos se muestra en la Figura 21. Este modelo es utilizado por la base de datos para el almacenamiento de la información y permite consultar la información de manera eficaz. La base de datos almacena la información de los usuarios, las organizaciones, los edificios, las rutas, el contexto, entre otra información. Esta base de datos reside sobre un servidor web que tiene instalado el sistema gestor de base de datos MySQL.

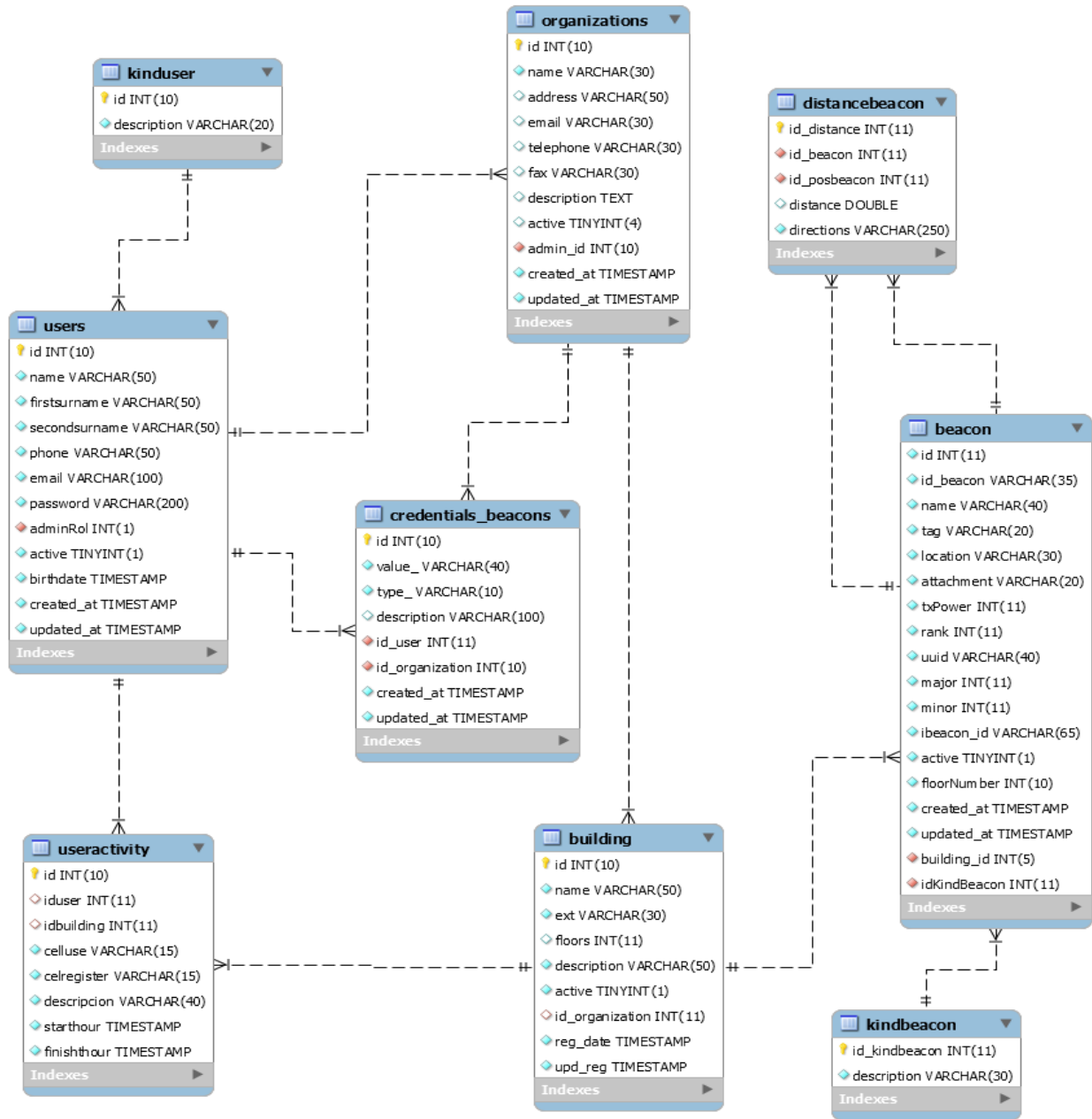


Figura 21 Modelo entidad relación de la base de datos.

4.5 Pruebas

Las pruebas son una sección muy importante a realizar en esta tesis, las pruebas se hicieron enfocadas a las aplicaciones NavIndoor como al mismo algoritmo Dijkstra, a pesar de que el algoritmo Dijkstra ya se ha comprobado en su correcto funcionamiento es importante recordar que este ha sido modificado para las diferentes necesidades que se requiere para hacer navegación en interiores utilizando la tecnología beacons, es aquí

la necesidad de hacer pruebas a la codificación de esta nueva versión del algoritmo Dijkstra y comprobar que la manipulación que se le hizo no haya cambiado su correcto funcionamiento. Además de ver los resultados que nos arroja la combinación de dicho algoritmo con la tecnología beacon y así poder deducir que tan factible es utilizar estos dos componentes en un sistema de navegación en interiores.

Para un tener un mejor panorama de las pruebas realizadas debe de dirigirse al Capítulo 6 de esta tesis donde se describe de manera más precisa dichas pruebas.

Capítulo 5

Pruebas y resultados

En este capítulo se describe el plan de pruebas establecido para llevar a cabo la evaluación de las aplicaciones que se generaron y el algoritmo usado.

5.1 Descripción de las pruebas

El objetivo principal de este capítulo fue evaluar el correcto funcionamiento del algoritmo Dijkstra que se programó para obtener la ruta óptima, también fue evaluar el correcto funcionamiento de la aplicación móvil hecha en Android para la navegación en interiores, esta aplicación hace uso de la tecnología beacon y del algoritmo Dijkstra. Para lograr con el objetivo planteado en este punto las pruebas se realizaron en dos fases:

- a) La primera fase consistió en hacer uso del algoritmo Dijkstra para la obtención de la ruta a partir de un punto inicial a un punto final, pero no cualquier ruta que lleve al destino, esta debe de ser la óptima, ya que Dijkstra se caracteriza por trabajar con la ruta óptima en cuanto distancia se refiere.
- b) La segunda fase consistió en hacer uso de la aplicación de navegación en interiores(navIndoor) con el algoritmo Dijkstra integrado y la interacción con los beacons colocados en el edificio de ciencias de la computación de Cenidet.

5.2 Pruebas fase 1: Algoritmo Dijkstra

Las pruebas realizadas en la fase 1 se enfocaron en el uso del algoritmo Dijkstra para la obtención de la ruta óptima con grafos de diferentes tamaños, haciendo recorridos desde un nodo a otro nodo, es decir que solo se recorre un nodo en distancia para llegar al destino, otro caso es que solo exista una única ruta para llegar al destino, hasta recorridos complejos en los cuales se tiene que evaluar las distancias que se tienen entre nodos para poder brindar la ruta óptima.

En esta primera fase se hicieron 3 pruebas al algoritmo Dijkstra con 3 grafos diferentes respectivamente, las cuales son explicadas con mayor detalle en este reporte.

5.2.1 Prueba 1: Algoritmo Dijkstra con un grafo de 15 nodos

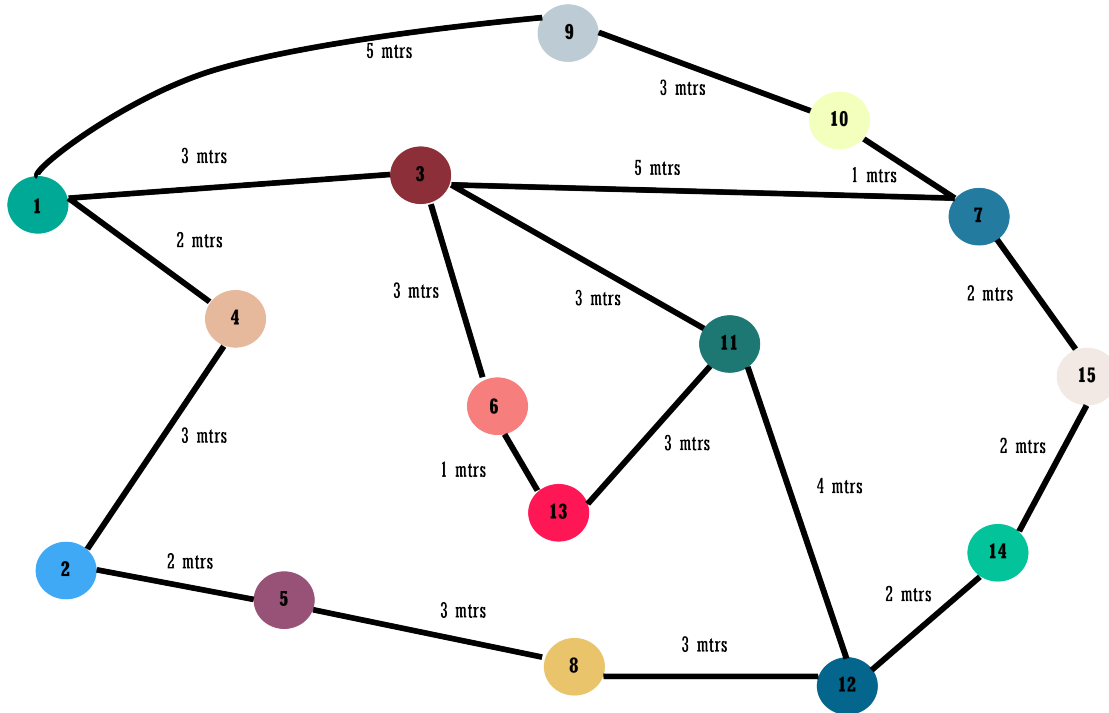


Figura 22 Grafo de 15 nodos.

De los 8 recorridos establecidos el algoritmo Dijkstra pudo obtener el camino de un punto de inicio a un punto final, aparte de ello también dio la ruta óptima en los 8 recorridos, teniendo una efectividad del 100%.

En la Tabla 3 se muestra los recorridos como algunas otras alternativas de cada recorrido que llevan al mismo destino, esto para comprobar que es la ruta generada por el algoritmo es la óptima.

No. prueba	Nodo inicio/fin	Ruta generada	Ruta óptima	Posibles rutas	Distancia	Efectividad
1	1-3	1,3	1,3	1,3	3 m.	100%
2	3-13	3,6,13	3,6,13	3,6,13 3,11,13	4 m. 6 m.	100%
3	9-3	9,1,3	9,1,3	9,1,3 9,10,7,3	8 m. 9 m.	100%
4	15-11	15,14,12,11	15,14,12,11	15,14,12,11 15,7,3,11	8 m. 10 m.	100%
5	5-8	5,8	5,8	5,8	3 m.	100%
6	12-1	12,11,3,1	12,11,3,1	12,11,3,1 12,8,5,2,4,1	10 m. 13 m.	100%
7	4-5	4,2,5	4,2,5	4,2,5	5 m.	100%
8	6-12	6,13,11,12	6,13,11,12	6,13,11,12 6,3,11,12	8 m. 10 m.	100%

Tabla 3 Recorridos con grafo de 15 nodos.

5.2.2 Prueba 2: Algoritmo Dijkstra con un grafo de 20 nodos

En la segunda prueba se elaboró un grafo de 20 nodos mostrado en la Figura 23, en el cual se establecieron 10 recorridos aleatoriamente.

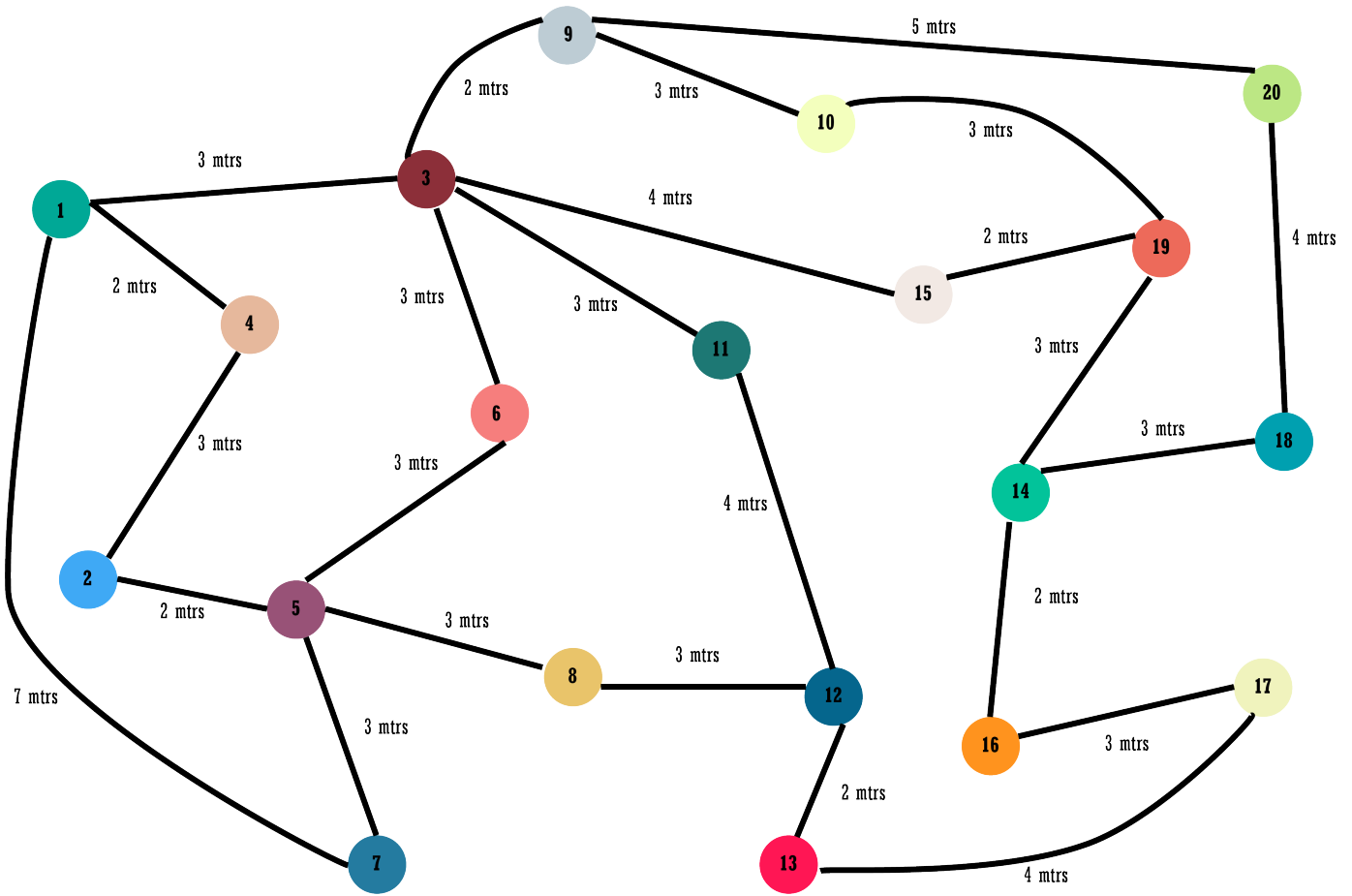


Figura 23 Grafo de 20 nodos.

De los 10 recorridos establecidos el algoritmo Dijkstra pudo obtener el camino de un punto de inicio a un punto final, aparte de ello también dio la ruta óptima en los 10 recorridos, teniendo una efectividad del 100%.

En la Tabla 4 se muestra los recorridos como algunas otras alternativas de cada recorrido que llevan al mismo destino.

No. prueba	Nodo inicio/fin	Ruta generada	Ruta óptima	Posibles rutas	Distancia	Efectividad
1	1-4	1,4	1,4	1,4	2 m.	100%
2	1-6	1,3,6	1,3,6	1,3,6 1,4,2,5 1,7,5	6 m. 10 m. 13 m.	100%
3	2-9	2,4,1,3,9	2,4,1,3,9	2,4,1,3,9 2,5,6,3,9	10 m. 10 m.	100%
4	10-20	10,9,20	10,9,20	10,9,20 10,19,14,18,20	8 m. 13 m.	100%
5	7-1	7,1	7,1	7,1 7,5,2,4,1 7,5,6,3,1	7 m. 10 m. 12 m.	100%
6	6-12	6,5,8,12	6,5,8,12	6,5,8,12 6,3,11,12	9 m. 10 m.	100%
7	3-8	3,6,5,8	3,6,5,8	3,6,5,8 3,1,7,5,8 3,11,12,8	9 m. 16 m. 10 m.	100%
8	19-3	19,15,3	19,15,3	19,15,3 19,10,9,3	6 m. 8 m.	100%
9	14-17	14,16,17	14,16,17	14,16,17 14,19,15,3,11,12,13,17	5 m. 22 m.	100%
10	20-1	20,9,3,1	20,9,3,1	20,9,3,1 20,18,14,19,15,3,1 20,18,14,19,10,9,3,1 20,18,14,16,17,13,12,8,5,7,1	10 m. 19 m. 21 m. 37 m.	100%

Tabla 4 Recorridos con grafo de 20 nodos.

5.2.3 Prueba 3: Algoritmo Dijkstra con un grafo de 30 nodos

En la segunda prueba se elaboró un grafo de 30 nodos mostrado en la Figura 24, en el cual se establecieron 15 recorridos aleatoriamente.

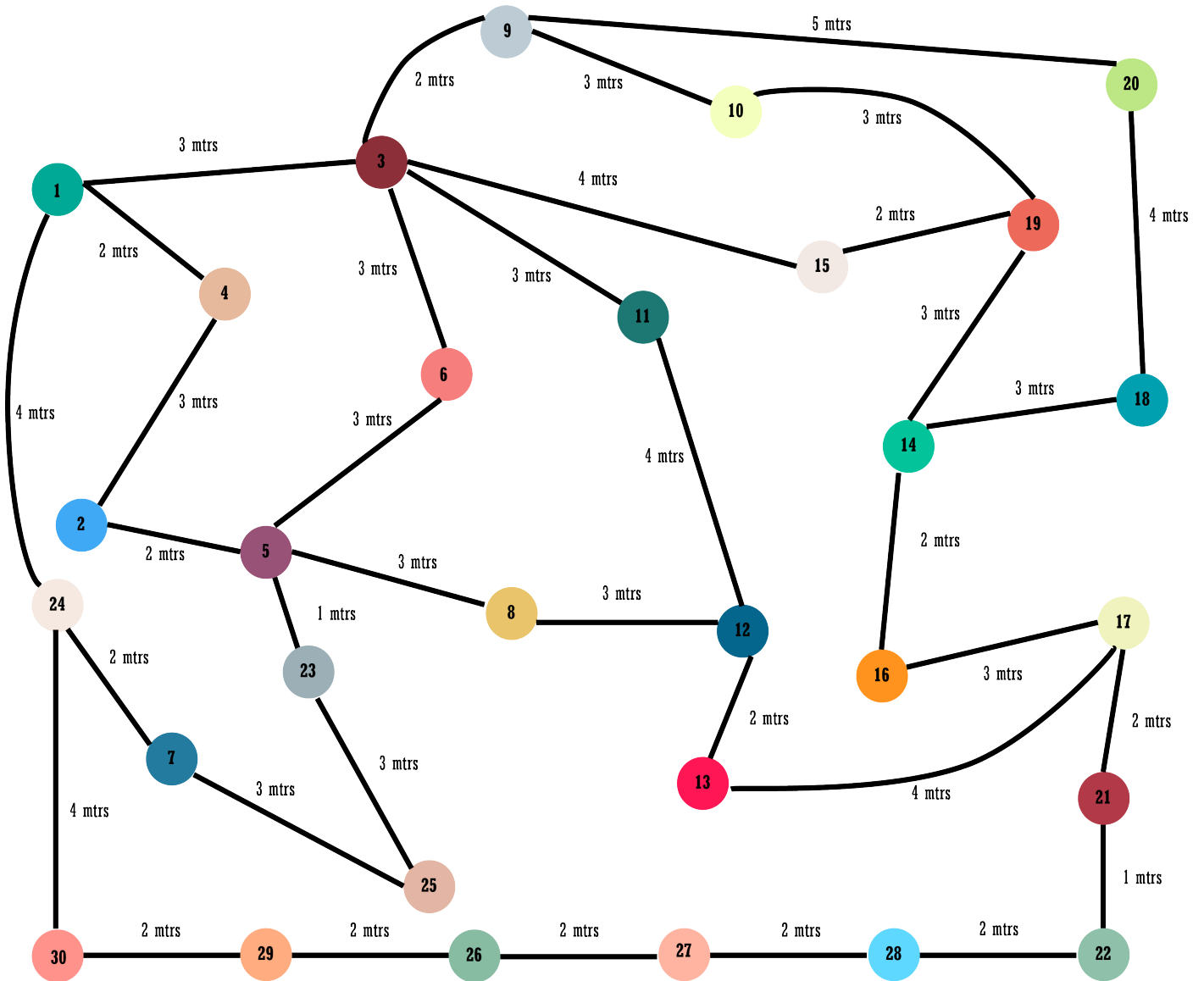


Figura 24 Grafo de 30 nodos.

De los 15 recorridos establecidos el algoritmo Dijkstra pudo obtener el camino de un punto de inicio a un punto final, aparte de ello también dio la ruta óptima en los 15 recorridos, teniendo una efectividad del 100%, en la Tabla 5 se muestra los recorridos como algunas otras alternativas de cada recorrido que llevan al mismo destino, esto para comprobar que es la ruta generada por el algoritmo es la óptima.

No. prueba	Nodo inicio/fin	Ruta generada	Ruta óptima	Posibles rutas	Distancia	Efectividad
1	1-5	1,4,2,5	1,4,2,5	1,4,2,5 1,3,6,5	7 m. 9 m.	100%
2	24-1	24,1	24,1	24,1 24,7,25,23,5,2 ,4,1	4 m. 16 m.	100%
3	3-19	3,15,19	3,15,19	3,15,19 3,9,10,19	6 m. 8 m.	100%
4	6-12	6,5,8,12	6,5,8,12	6,5,8,12 6,3,11,12	9 m. 10 m.	100%
5	9-18	9,20,18	9,20,18	9,20,18 9,10,19,14,18	9 m. 12 m.	100%
6	5-23	5,23	5,23	5,23	1 m.	100%
7	11-8	11,12,8	11,12,8	11,12,8 11,3,6,5,8	7 m. 12 m.	100%
8	26-22	26,27,28,22	26,27,28,22	26,27,28,22	6 m.	100%
9	17-27	17,21,22,28,27	17,21,22,28,27	17,21,22,28,27	7 m.	100%
10	7-29	7,24,30,29	7,24,30,29	7,24,30,29	8 m.	100%

Tabla 5 Recorridos con grafo de 30 nodos.

No. prueba	Nodo inicio/fin	Ruta generada	Ruta óptima	Posibles rutas	Distancia
11	2-6	2,5,6	2,5,6	2,5,6	5
				2,4,1,3,6	11
12	10-14	10,19,14	10,19,14	10,19,14	6
				10,9,20,18,14	15
13	20-15	20,9,3,15	20,9,3,15	20,9,3,15	11
				20,18,14,19,15	12
				20,9,10,19,15	13
14	18-16	18,14,16	18,14,16	18,14,16	5
15	13-6	13,12,8,5,6	13,12,8,5,6	13,12,8,5,6	11
				13,12,11,3,6	12

Tabla 5 Recorridos con grafo de 30 nodos.

En la Figura 25 ejemplifica lo dicho al inicio de este punto, como se puede mostrar existen varios caminos que pueden llevar del punto de inicio el nodo15 al punto final nodo 11, pero Dijkstra obtiene la ruta corta.

Como se puede mostrar en la Figura 4 existen varios caminos que pueden llevar dado un punto de inicio en este caso se trabajó con el nodo15 como punto inicial y el nodo número 11 como punto final, estos 2 nodos fueron escogidos porque tienen más de 2 caminos que se pueden recorrer y llevar al mismo destino. Se utilizaron flechas negras para mostrar algunos caminos de todos los posibles que llevan al mismo destino y las flechas rojas para resaltar el camino que el algoritmo Dijkstra debe dar, es decir el camino óptimo a seguir.

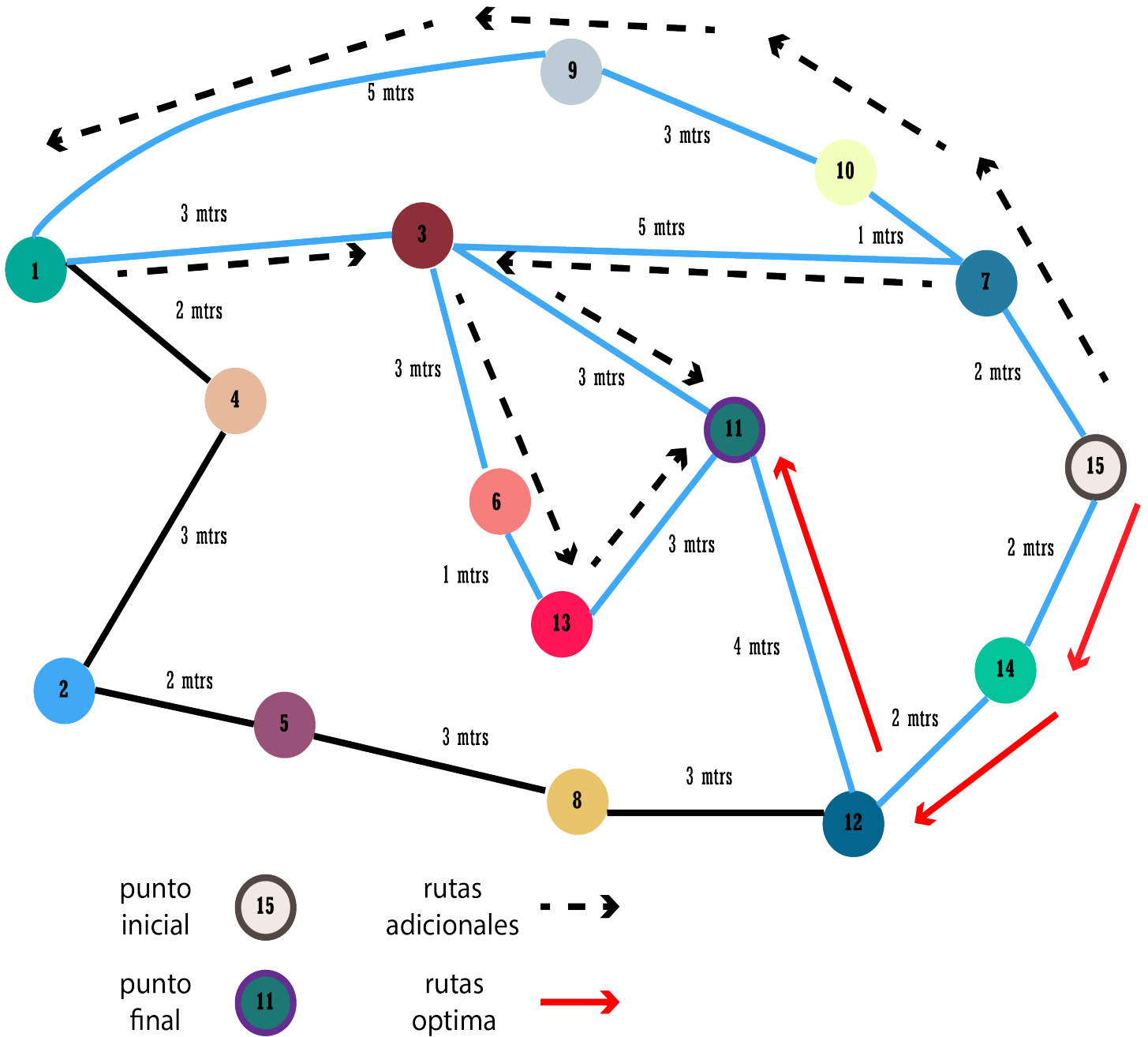


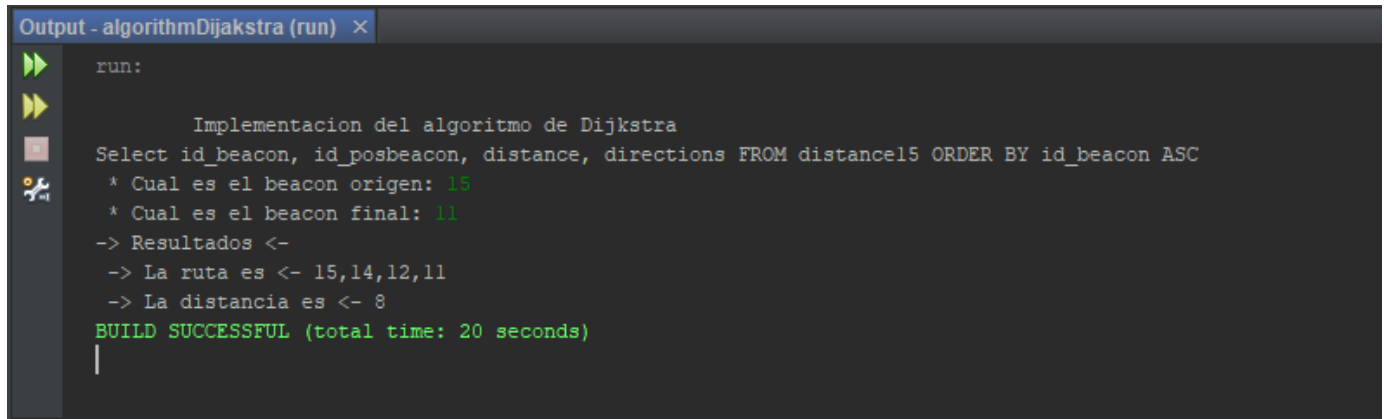
Figura 25 Recorrido del nodo 15 al 11.

En la Figura 26 se muestra una impresión en consola de la ejecución del algoritmo Dijkstra del recorrido mostrado en la Figura 4, el cual consiste el nodo 15 como nodo inicial y el nodo 11 como nodo final, teniendo el mismo resultado del ejercicio 4.

En la Figura 26 se puede observar que se requiere escribir cual es beacon(nodo) de origen, al igual se pide escribir el beacon(nodo) final, teniendo esos 2 datos el algoritmo

empieza a recorrer los vértices(distancias) del grafo y comparar cual es el de menor distancia hasta formar la ruta que lleva al destino.

Después de la impresión “Resultados” se muestra la ruta óptima que el algoritmo calculo y la distancia de la misma.



```

Output - algorithmDijkstra (run) x
run:
  Implementacion del algoritmo de Dijkstra
  Select id_beacon, id_posbeacon, distance, directions FROM distance15 ORDER BY id_beacon ASC
  * Cual es el beacon origen: 15
  * Cual es el beacon final: 11
  -> Resultados <-
  -> La ruta es <- 15,14,12,11
  -> La distancia es <- 8
  BUILD SUCCESSFUL (total time: 20 seconds)
  
```

Figura 26 Ruta óptima del nodo 15 al 11.

5.3 Prueba 4: Pruebas fase 2: Aplicación de navegación en interiores

Las pruebas realizadas en la fase 2 se enfocaron en el uso de la aplicación navIndoor la cual hace uso de la tecnología beacon y el algoritmo Dijkstra para poder navegar en interiores.

Las pruebas de la fase 2 fueron hechas en el edificio de ciencias de la computación del Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico(CENIDET), este edificio consta de dos plantas una baja y otra alta, en total se hicieron 10 recorridos en todo el edificio:

- recorridos en la planta baja.
- 3 recorridos en la planta alta.
- 2 recorridos usando ambas plantas.

Los beacons usados son de la marca Estimote con una versión del firmware: 4.13.2, los beacons son de tipo beacon de ubicación. El teléfono móvil es un Motorola Moto G, Android 5.1 Lollipop un teléfono ya desactualizado y con algunas limitaciones en hardware.

5.3.1 Prueba 4: Prueba de aplicación con beacons y el algoritmo Dijkstra

En las Figuras 27 y 28 se muestra la estructura de la planta alta y baja respectivamente, donde se hicieron las pruebas de navegación.

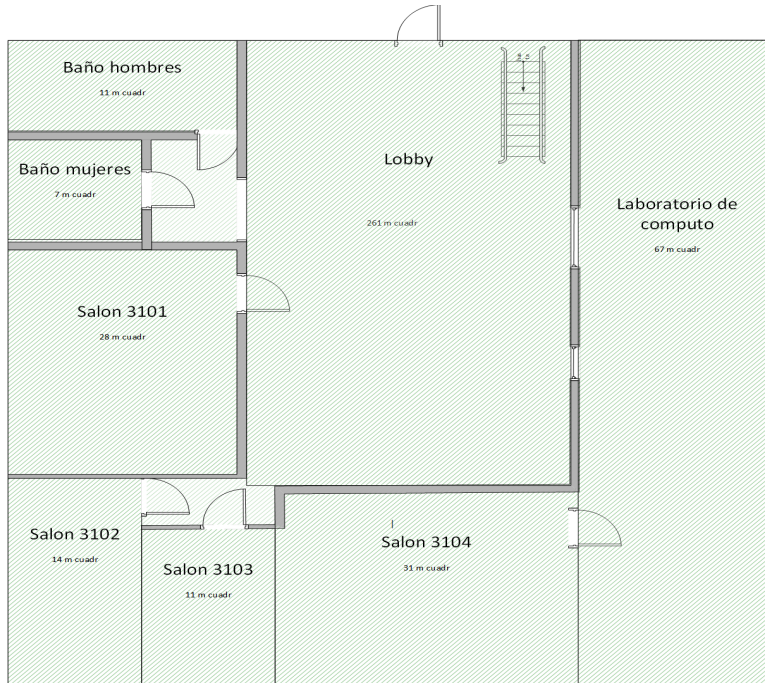


Figura 27 Planos de planta baja edificio de computación en Cenidet.

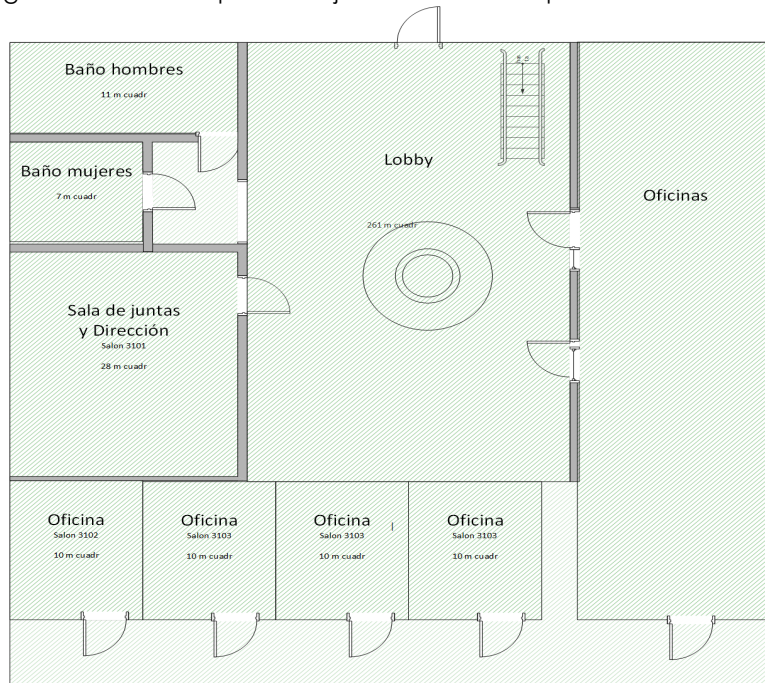


Figura 28 Planos de planta alta edificio de computación en Cenidet.

Para las pruebas de la fase 2 se contaron con una cantidad de 10 beacons, los cuales fueron distribuidos en ambas plantas, debido a la cantidad de beacons se tuvieron que

acotar solo algunos lugares específicos dentro en el edificio, en la Tabla 6 se muestra los lugares con los que se trabajaron.

No. beacon	Lugar	planta
1 	Entrada/Salida	Baja
2 	Baños planta baja	Baja
3 	Escaleras planta baja	Baja
4 	Laboratorio de computo	Baja
5 	Aula 3101	Baja
6 	Aula 3102 – 3103	Baja
7 	Baños planta alta	Alta
8 	Escaleras planta alta	Alta
9 	Sala de juntas y dirección	Alta
10 	Área de doctores	Alta

Tabla 6 Recorridos con grafo de 20 nodos.

Como se muestra en la Tabla 6 algunos beacons, en el caso específico el numero 6 representa dos lugares como son las aulas 3102 y 3103 esto debido a el número de beacons que contamos y a la cercanía que tienen estos dos salones, también el beacon número 9 representa a dos lugares: sala de juntas y dirección por las mismas razones mencionadas anteriormente.

Para la realización de estas pruebas se colocaron 6 beacons en la planta baja tal como se muestra en la Figura 29.

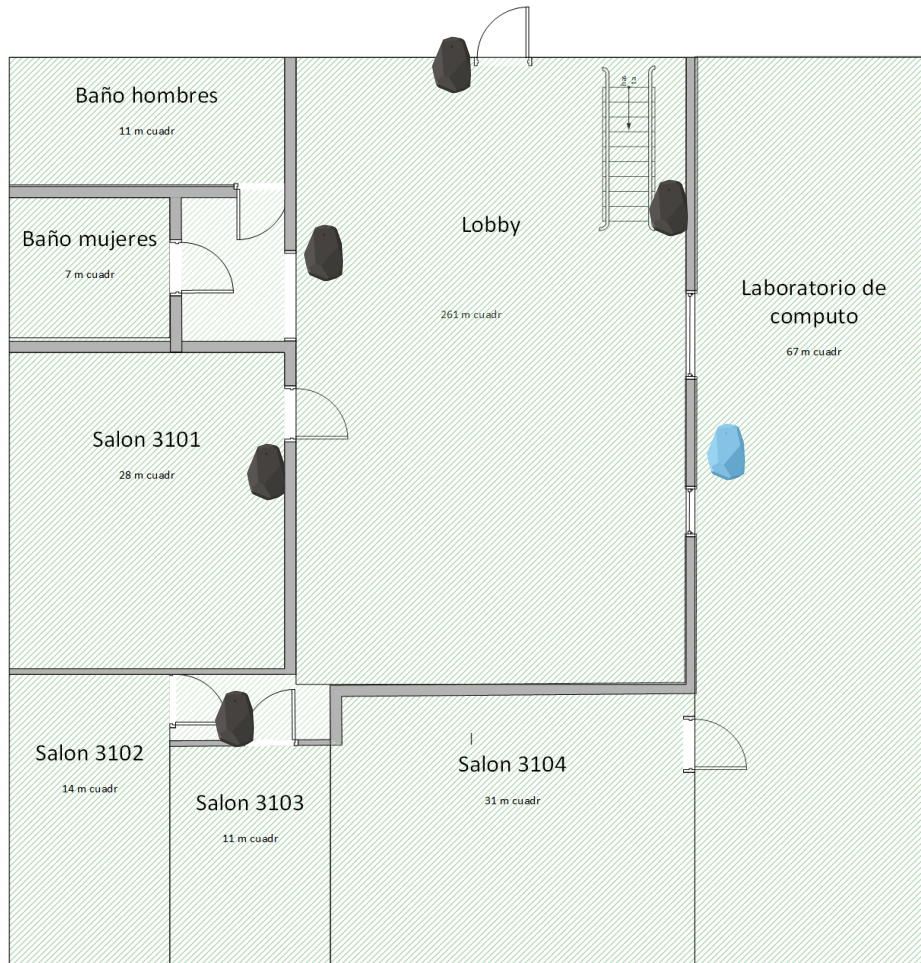


Figura 29 Ubicación de beacon en planta baja.

En la planta baja se realizaron 5 recorridos los cuales son sencillos debido a la estructura del edificio. A continuación, en la Tabla 7 se muestra los recorridos que se establecieron.

No. prueba	Nodo inicio/fin	Ruta generada	Ruta óptima	Posibles rutas	Distancia	Efectividad
1	Aula 3101- Laboratorio de computo	4,10	4,10	4,10	3	100%
2	Aula 3102 y 3103 - Laboratorio de computo	3,10	3,10	3,10	3	100%
3	Escaleras planta baja - Aula 3102 y 3103	5,3	5,3	5,3	4	100%
4	Baños planta baja -	9,4,3	9,4,3	9,4,3	4	100%

Aula 3102 y 3103						
5	Laboratorio de computo - Entrada y salida	10,8	10,8	10,8	4	100%

Tabla 7 Recorridos de planta baja.

De todas las pruebas realizadas en la planta baja se ejecutaron correctamente, es decir la aplicación sugería instrucciones para llegar al destino elegido.

A continuación, se muestra una secuencia de imágenes de un recorrido que se hizo en la planta baja, donde se eligió como punto inicial el aula 3102-3103 y como punto final el laboratorio de ciencias de la computación.

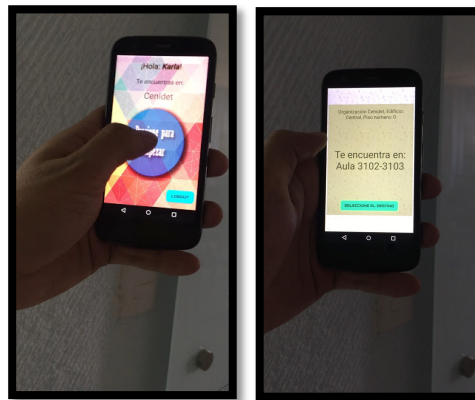


Figura 30 Detección automática del lugar.

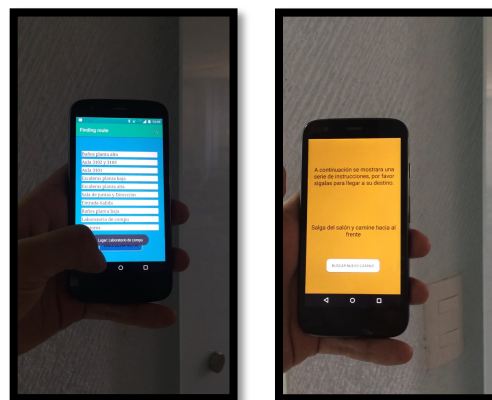


Figura 31 Selección del destino y primera instrucción.

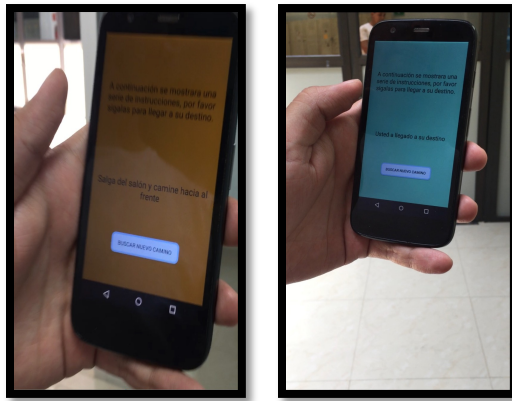


Figura 32 Seguimiento de instrucciones y llegada a destino.

Con respecto a la planta alta del edificio se colocaron 4 beacons tal como se muestra en la Figura 33.

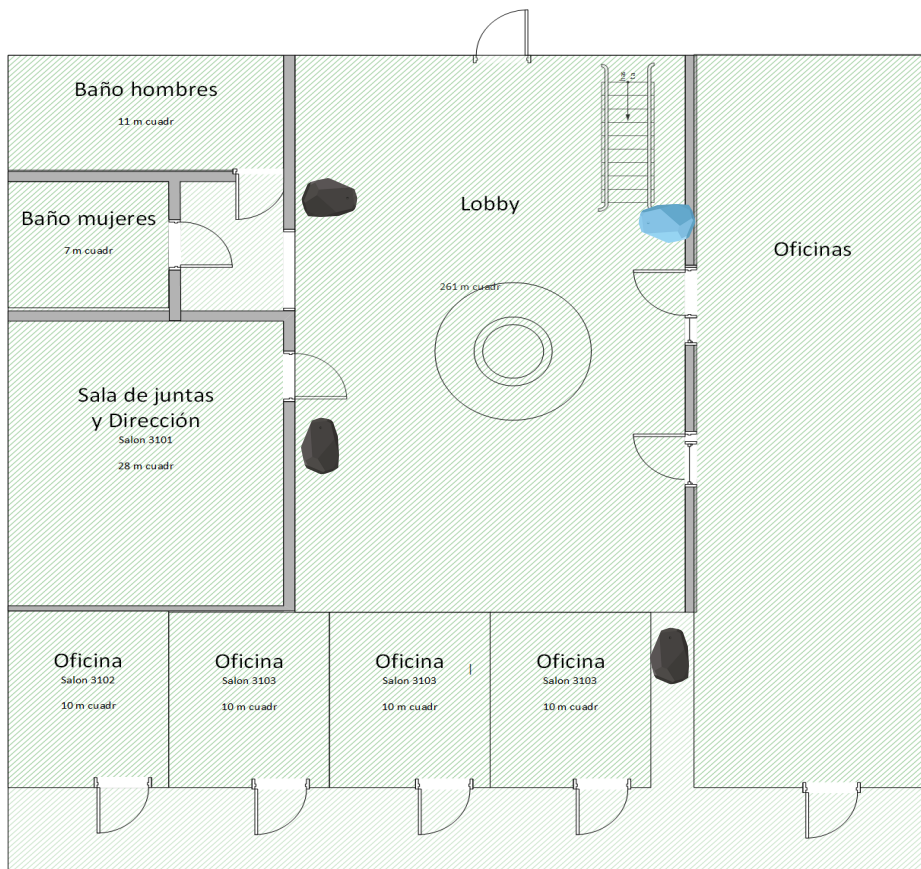


Figura 33 Ubicación de beacon en planta alta

En la planta alta se realizaron 3 recorridos, los cuales son parecidos en cuanto dificultad con los de la planta baja debido a la estructura del edificio. A continuación, en la Tabla 8 se muestra los recorridos que se establecieron.

No. prueba	Nodo inicio/fin	Ruta generada	Ruta óptima	Posibles rutas	Distancia	Efectividad
6	Sala de juntas y dirección – baños planta alta	7,2	7,2	7,2	2 m.	50%
7	Baños planta alta - área de doctores		2,7,11	2,7,11	5 m.	0%
8	Escaleras planta alta – área de doctores	6,11	6,11	6,11	6 m.	100%

Tabla 8 Recorridos de planta alta.

De los tres recorridos realizados en la planta alta de igual modo que en planta baja fallo la ruta 6 y 7 debido a la pérdida de red dentro de los baños, la ruta 6 obtuvo un 50% debido a que se navegó hasta la mitad del recorrido, mientras la ruta 7 obtuvo 0% por ser el punto de inicio, sin embargo, la ruta 8 se ejecutó de manera correcta.

A continuación, se muestra una secuencia de imágenes del seguimiento de la ruta de sala de juntas y dirección a baños de la planta alta.

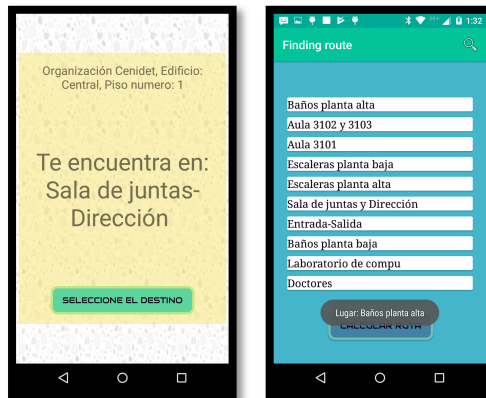


Figura 34 Detección automática del lugar y primera instrucción.



Figura 35 selección y llegada del destino.

Ahora toca turno de hacer un recorrido que haga uso de la planta baja y alta, para ello se establecieron 2 recorridos, los cuales se muestran en la Tabla 9.

No. prueba	Nodo inicio/fin	Ruta generada	Óptima	Posibles rutas	Distancia
9	Área de doctores – entrada y salida	6,11	6,11	6-11	6
10	Laboratorio de computo – sala de juntas y dirección	11,6,5-8	11,6,5,8	11-6-5-8	9

Tabla 9 Recorridos de planta baja y alta.

De los dos recorridos que se hicieron usando ambas plantas ambos fueron exitosos y la aplicación funciono de manera correcta. A continuación, en la Figura 36 se muestra una secuencia de imágenes del seguimiento de la ruta de sala de juntas y dirección a baños de la planta alta.

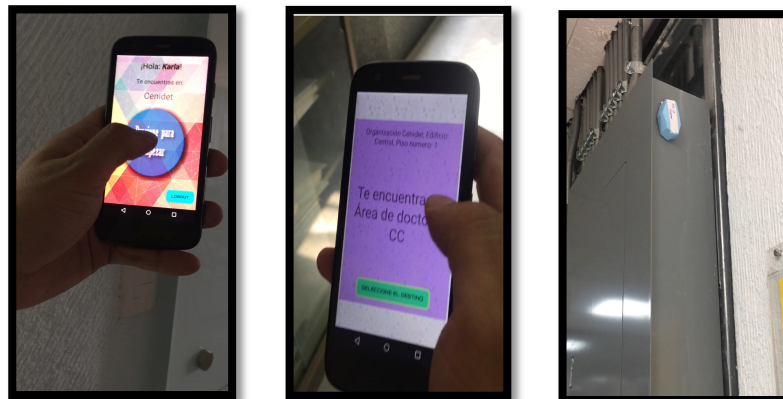


Figura 36 identificación de lugar

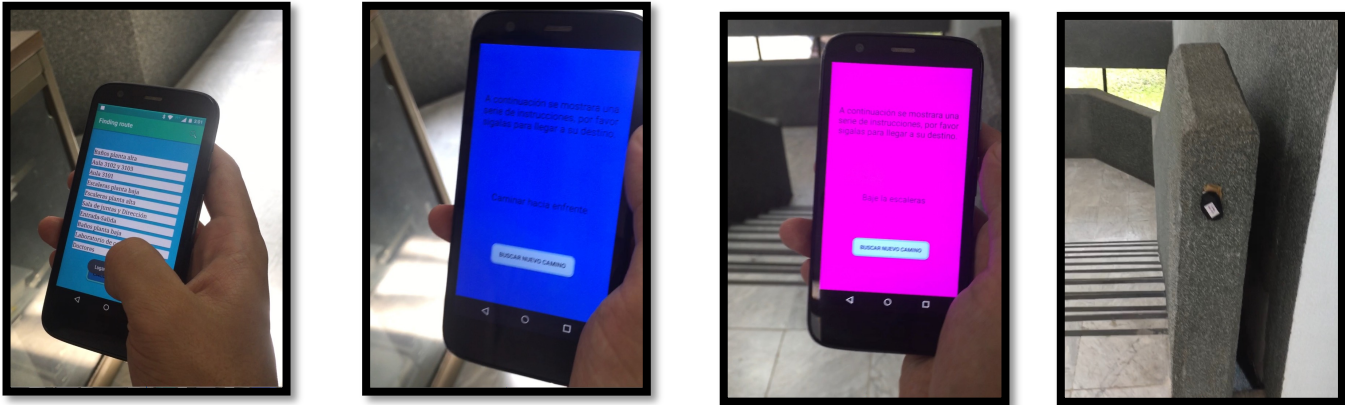


Figura 37 selección del destino y seguimiento de instrucciones.

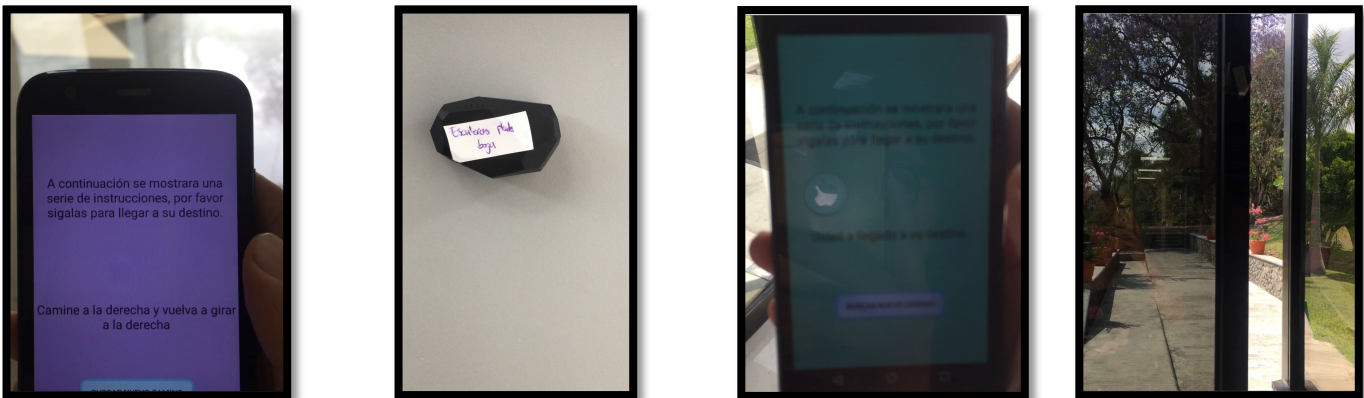


Figura 38 seguimiento de instrucciones y llegada al destino.

5.4 Resumen de resultados y conclusiones

Los resultados de las pruebas realizadas se enfocaron al correcto funcionamiento del algoritmo con n cantidad de nodos, además de calcular la ruta óptima, así como comprobar el correcto funcionamiento de la aplicación de navegación en interiores con el algoritmo Dijkstra y tecnología beacon.

5.4.1 Los resultados de las pruebas fase 1

Los resultados del algoritmo Dijkstra con las tres pruebas realizadas en la fase 1 fueron buenas ya que se obtuvo un 100% de efectividad en cuanto las dos principales funcionalidades de este algoritmo:

- La primera es encontrar el camino dándole un punto inicial y un destino.
- La segunda es que la ruta encontrada fuera la óptima.

Esto era de esperarse ya que este algoritmo es ampliamente utilizado para trabajar con recorridos y especialmente con la ruta óptima.

5.4.2 Los resultados de las pruebas fase 2

Los resultados de la aplicación de navegación(navIndoor) en interiores se esperaba que tuviera la misma efectividad en las pruebas realizadas, pero existieron otros tipos de factores los cuales no son controlados, como la red Wifi que abarca en el edificio. La aplicación navIndoor consume servicios web los cuales se encuentran alojados en la red y depende de ellos para poder dar instrucciones.

De los 10 recorridos que se hicieron en las instalaciones del laboratorio de ciencias de la computación solamente 8 fueron exitosas, mientras los 2 restantes fueron fallidos por causas ajenas a la aplicación, beacons o algoritmo.

Capítulo 6

Conclusiones y trabajos futuros

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

6.1 Conclusiones

En la presente tesis se muestra que la tecnología beacon es una opción viable para hacer navegación en interiores por los buenos resultados que se obtuvieron.

En la presente tesis se muestra que el algoritmo Dijkstra es una opción factible para hacer navegación en interiores por los buenos resultados que se obtuvieron.

Se recomienda utilizar la tecnología beacon en aquellas organizaciones en las cuales se puede sacarle más provecho e interactuar con sus visitantes, por ejemplo: aparte de ofrecer navegación, también dar información acerca de lugares importantes, mandar alertas de ofertas, etc.

La combinación de tecnologías como beacons, GPS y Wifi podrían producir una herramienta muy poderosa de navegación en interiores haciendo más precisa la navegación, además de expandir dicha navegación a lugares abiertos dentro de las organizaciones sin tener que hacer un gasto fuerte en compra de beacons o de repetidores de señal.

El Sistema de navegación en interiores fue sometido a una serie de pruebas, teniendo como resultado con una efectividad del 100%.

La información proporcionada al usuario le permite ahorrarse una cantidad de tiempo en búsqueda de lugares y la transición a llegar a ellos, ya que la aplicación navIndoor sugiera la ruta óptima.

Este tipo de aplicaciones impulsa la transformación de ciudades tradicionales a ciudades inteligentes, las cuales tienen como objetivo mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

Se aportó la adaptación del algoritmo Dijkstra para poder ser utilizado en proyectos similares de navegación en interiores o exteriores.

El sistema presentado en esta tesis no necesita de intermediarios ya que por ello se desarrolló la aplicación navIndoor para administradores la cual tiene como objetivo preparar el ambiente para hacer una navegación en interiores.

La tecnología beacon se recomienda usar en aquellos espacios interiores en los que es difícil colocar cableado y repetidores, estos dispositivos son fáciles de colocar debido a su pequeño tamaño.

Los beacons se recomienda usar solo en espacios interiores, ya que en ambientes exteriores existen otras tecnologías que podrían con un mejor funcionamiento, como el GPS.

Es posible que la aplicación de navegación siga funcionando perfectamente, aunque algún beacon se desconecte, esto se resuelve estimando un tiempo de respuesta en el monitoreo de los beacons, en dado caso que algún beacon no responda a la entrada de su zona se mandaría un mensaje al usuario que camine a otro lugar, al momento de encontrar otro beacon se recalcularía la ruta.

6.2 Trabajos futuros

Los trabajos futuros que se proponen para ampliar y/o mejorar este proyecto de investigación se listan a continuación:

- Desarrollar la opción de mandar notificaciones a los usuarios cuando se haga una navegación en interiores en una organización nueva.
- Implementar una cartografía y geolocalización de la organización con sus edificios para poder ser mostrada la ruta y la ubicación del usuario gráficamente.
- Por otra parte, sería útil generar una versión web de la aplicación navIndoor para el administrador de la organización con el fin de brindarle un mejor espacio de trabajo.
- Hacer la combinación de tecnología GPS con la beacon para poder ampliar la cobertura de navegación en espacios abiertos.
- Aplicar minería de datos en el sistema y poder dar recomendaciones sobre los lugares que son más visitados por los usuarios.
- Consumir algún servicio web de alguna marca de los beacons y obtener la información necesaria de los beacons automáticamente.
- Ampliar el sistema de navegación para el uso de diferentes marcas de beacons y no estar limitado solamente a una.
- Combinar la tecnología beacon y Wifi para una mejor ubicación como navegación en ambientes interiores.

Referencias

- [1] Bouskela, M., Casseb, M., Bassi, S., De Luca, C., & Facchina, M. (2016). La ruta hacia las smart cities: Migrando de una gestión tradicional a la ciudad inteligente (Vol. 454). Inter-American Development Bank.
- [2] Amelia Gutiérrez Solís, "¿Cómo funcionan los edificios inteligentes y sustentables?". Recuperado de: <http://www.conacytprensa.mx/index.php/tecnologia/materiales/15875-como-funcionan-edificios-inteligentes-sustentables>.
- [3] INTEL, "Edificios inteligentes con tecnologías de internet de las cosas" [Online]. Available: <https://www.intel.la/content/www/xl/es/smart-buildings/overview.html>. [Accessed: 22-Sep-2018].
- [4] Kontakt.io, "What is a beacon?". Recuperado de: <https://kontakt.io/beacon-basics/what-is-a-beacon/>.
- [5] Cisco, "What Is Wi-Fi?". Recuperado de: <https://www.cisco.com/c/en/us/products/wireless/what-is-wifi.html>.
- [6] Khanacademy, "¿Qué son los campos magnéticos?". Recuperado de: <https://es.khanacademy.org/science/physics/magnetic-forces-and-magnetic-fields/magnetic-field-current-carrying-wire/a/what-are-magnetic-fields>.
- [7] Haas, H., Yin, L., Wang, Y., & Chen, C. (2015). What is lifi?. Journal of lightwave technology, (Vol. 34), (pp. 1533-1544).
- [8] Roberts, C. M. (2006). Radio frequency identification (RFID). Computers & security, (Vol. 25), (pp. 18-26).
- [9] M. E. R. B. Tamara Giménez Rodríguez, "Sistema de Posicionamiento Global (GPS):" Sociedad Latinoamericana en Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial, p. 94, 2008.
- [10] NFC Forum, "What Is NFC?". Recuperado de: <https://nfc-forum.org/what-is-nfc/>.
- [11] Google Play, "Maps - Navegación y transporte público". Recuperado de: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.google.android.apps.maps>.
- [12] Google Play, "Waze - GPS, Mapas, Alertas de Tráfico y Navegación". Recuperado de: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.waze>.
- [13] Google Play, "HERE WeGo - GPS, Metro & Bus". Recuperado de: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.here.app.maps>.
- [14] Google Play, "Sygic GPS Navigation & Maps". Recuperado de: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.sygic.aura>.

[15] Google Play, "CoPilot GPS - Navegación y Tráfico". Recuperado de: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.sygic.aura>.

[16] Dave Evans – Cisco, "Internet of Things, La próxima evolución de Internet lo está cambiando todo". Recuperado de: https://www.cisco.com/c/dam/global/es_es/assets/executives/pdf/Internet_of_Things_IoT_IBSG_0411FINAL.pdf.

[17] Su, K., Li, J., & Fu, H. (2011, September). Smart city and the applications. In 2011 international conference on electronics, communications and control (ICECC) (pp. 1028-1031.)

[18] Buckman, A. H., Mayfield, M., & BM Beck, S. (2014). What is a smart building?. Smart and Sustainable Built Environment, 3(2), (pp. 92-109).

[19] INSOFT, "Indoor Navigation". Recuperado de: <https://www.insoft.com/solutions/indoor-navigation>.

[20] Rui Barradas Pereira, "Outdoor Navigation". Recuperado de: https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Outdoor_Navigation.

[21] Nick Stein, "Indoor Positioning and the Big 3". Recuperado de: <https://indoo.rs/indoor-positioning-and-the-big-3/>.

[22] J. M. Roca, "¿Qué es un smartphone?". Recuperado de: <http://www.informeticplus.com/que-es-un-smartphone>.

[23] El-Rabbany, A. (2002). Introduction to GPS: the global positioning system. Artech house.

[24] Microsoft, "What is cloud computing?". Recuperado de: <https://azure.microsoft.com/en-us/overview/what-is-cloud-computing/>.

[25] Shende, P., Mehendarge, S., Chougule, S., Kulkarni, P., & Hatwar, U. (2017, April). Innovative ideas to improve shopping mall experience over E-commerce websites using Beacon technology and Data mining algorithms. In 2017 International Conference on Circuit, Power and Computing Technologies (ICCPCT) (pp. 1-5).

[26] Google, "Eddystone format". Recuperado de: <https://developers.google.com/beacons/edystone/>.

[27] Koühne, M., & Sieck, J. (2014, November). Location-based services with iBeacon technology. In 2014 2nd International Conference on Artificial Intelligence, Modelling and Simulation (pp. 315-321)

[28] Hurí, "Qué es Bodcast". Recuperado de: <http://huribroadcast.com/que-es-broadcast/>.

[29] Margaret Rouse, "UUID (Universal, Unique Identifier)". Recuperado de: <https://searchmicroservices.techtarget.com/definition/UUID-Universal-Unique-Identifier/>.

- [30] Kontakt.io," Beacon Strategy Guide – UUID, Major, Minor ". Recuperado de: <https://kontakt.io/blog/beacon-id-strategy-guide-quick-deployment/>.
- [31] Kontakt.io," Beacon Strategy Guide – UUID, Major, Minor". Recuperado de: <https://kontakt.io/blog/beacon-id-strategy-guide-quick-deployment/>.
- [32] Chawathe, S. S. (2008, October). Beacon placement for indoor localization using bluetooth. In 2008 11th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (pp. 980-985).
- [33] Corna, A., Fontana, L., Nacci, A. A., & Sciuto, D. (2015, March). Occupancy detection via iBeacon on Android devices for smart building management. In Proceedings of the 2015 Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition (pp. 629-632).
- [34] Kriz, P., Maly, F., & Kozel, T. (2016). Improving indoor localization using bluetooth low energy beacons. Mobile Information Systems (pp. 1-11)
- [35] Chen, Z., Zhu, Q., Jiang, H., & Soh, Y. C. (2015, June). Indoor localization using smartphone sensors and iBeacons. In 2015 IEEE 10th Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA) (pp. 1723-1728)
- [36] Koühne, M., & Sieck, J. (2014, November). Location-based services with iBeacon technology. In 2014 2nd International Conference on Artificial Intelligence, Modelling and Simulation (pp. 315-321)
- [37] Wagner, S., Fet, N., Handte, M., & Marrón, P. J. (2017, August). An Approach for Hybrid Indoor/Outdoor Navigation. In 2017 International Conference on Intelligent Environments (IE) (pp. 36-43)
- [38] Ozdenizci, B., Ok, K., Coskun, V., & Aydin, M. N. (2011, April). Development of an indoor navigation system using NFC technology. In 2011 Fourth International Conference on Information and Computing (pp. 11-14)
- [39] Kaniewski, P., Kazubek, J., & Kraszewski, T. (2017, November). Application of UWB modules in indoor navigation system. In 2017 IEEE International Conference on Microwaves, Antennas, Communications and Electronic Systems (COMCAS) (pp. 1-5)