



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUERRERO

FACULTAD DE INGENIERÍA

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS DE POSGRADO



TESIS

**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE UBICACIÓN EN EDIFICIOS,
BASADO EN LOCALIZACIÓN DE PUNTOS DE ACCESO WIFI**

QUE PRESENTA EL

LSC. RODOLFO SALGADO RIVERA

PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRÍA EN INGENIERÍA PARA LA INNOVACIÓN Y
DESARROLLO TECNOLÓGICO**

DIRECTOR DE TESIS

DR. ARNULFO CATALÁN VILLEGAS

CHILPANCINGO, GUERRERO, DICIEMBRE DEL 2018

DEDICATORIAS

A mi familia y amigos.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia y amigos por su apoyo.

Al cuerpo académico de la MIIDT por su paciencia y consejos.

Contenido

INTRODUCCIÓN	5
JUSTIFICACIÓN	5
ALCANCES.....	6
OBJETIVOS.....	6
Objetivo General.....	6
Objetivos específicos.....	6
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO E HIPÓTESIS.....	7
1.1 Antecedentes.....	7
1.2 Redes WiFi.....	7
1.2.1 Arquitectura de las redes WiFi	8
1.2.3 Estándares.....	9
1.3 Regulaciones de espectro radioeléctrico para comunicaciones	10
1.4 Física de radio	11
1.4.1 La onda y sus características generales	11
1.4.2 Interferencia	12
1.4.3 Línea de vista.....	14
1.4.4 Principio de Huygens	14
1.4.5 Zona de Fresnel	14
1.4.6 Potencia.....	14
1.5 Técnicas de localización	15
1.5.1 TOA (Time of Arrival, Tiempo de Llegada)/TDOA (Time Difference of Arrival, Diferencia de Tiempo de Llegada)	16
1.5.2 RSSI (Received Signal Strength Indication, Indicador de Potencia de señal Recibida)	16
1.6 Esquemas de localización	17
1.7 Herramientas de software.....	17
1.7.1 Software Libre y Open Source	17
1.7.2 GNU/Linux	19
1.7.3 Ubuntu	20
1.7.4 Java	21
1.7.5 NetBeans	21
1.7.6 MySQL.....	21
1.7.7 Android	22

1.7.8 SQLite	22
1.8 Planteamiento de la hipótesis	22
CAPÍTULO II. ESTADO DEL ARTE	23
2.1 Artículos relacionados	23
2.1.1 Current Approaches of WiFi Positioning	23
2.1.2 Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems	24
2.1.3 Indoor Location with Wireless Sensor Networks	25
2.1.4 Open Wireless Positioning System: a WiFi Based Indoor Positioning System	26
2.1.5 Localizing WiFi Access Points Using Signal Strength	26
2.1.6 A Study of Infrastructure for Real-Time Location System	27
2.1.7 Indoor WiFi Positioning System for Android-based Smartphone	27
2.1.8 Application of WiFi-based indoor positioning system in handheld directory system	27
2.2 Desarrollos comerciales relacionados	28
2.2.1 Ekahau	28
2.2.2 Google Indoors	29
CAPÍTULO III. ANÁLISIS Y DISEÑO DEL SISTEMA	30
3.1 Requisitos no funcionales	30
3.1.1 Ambiente físico	30
3.1.2 Interfaces	30
3.1.3 Usuarios y factores humanos	30
3.1.4 Funcionalidad	31
3.1.5 Documentación	31
3.1.6 Datos	31
3.1.7 Recursos	32
3.1.8 Seguridad	33
3.1.9 Aseguramiento de la calidad	33
3.2 Requisitos funcionales	34
3.3 Metodología de desarrollo	35
3.4 Contenido de cada prototipo	36
3.5 Diagrama flujo de datos	36
3.6 Base de datos	38
3.7 Diagrama de clases	40
3.8 Casos de uso	41

3.9 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	45
CAPÍTULO IV. EXPERIMENTACIÓN Y PRUEBAS.	46
4.1 Cálculo de posición por trilateración	46
4.1.1 Modelo simplificado de atenuación	46
4.1.2 Propuesta de aplicación	48
4.2 Cálculo de distancia por atenuación de onda mediante dispositivos auxiliares	52
4.2.1 Metodología	52
4.2.2 Prueba de la propuesta	53
4.2.3 Resultados	55
4.2.4 Conclusiones	56
4.3 Basado en reconocimiento de patrones de señales cercanas	56
4.3.1 Metodología	56
4.3.2 Resultados	57
4.4 Estimación de posición basada en proximidad	58
4.4.1 Metodología	58
4.4.2 Resultados	59
CAPÍTULO V. APLICACIÓN MÓVIL.	61
5.1 Algoritmo a emplear.....	61
5.1.1 Cálculo de posición por trilateración.....	61
5.1.2 Basado en reconocimiento de patrones de señales cercanas	63
5.1.3 Estimación de posición basada en proximidad.....	63
5.2 Estructura básica del proyecto.....	63
5.3 Descripción de las funcionalidades de la aplicación móvil	65
CONCLUSIONES	70
REFERENCIAS	72
LISTA DE TABLAS, ECUACIONES Y FIGURAS	74
Lista de tablas	74
Lista de ecuaciones.....	74
Lista de Imágenes	74

INTRODUCCIÓN

El sistema de posicionamiento más conocido y comúnmente utilizado es el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) que comenzó a funcionar a toda su capacidad en 1995; aunque resulta muy útil y sus capacidades continúan siendo aprovechadas por nuevas tecnologías, resulta ser poco eficiente o en ocasiones totalmente inútil al usarlo dentro de construcciones. Esto debido a que la señal de los satélites no es lo suficientemente fuerte para trabajar dentro de edificaciones. En la actualidad la tecnología WiFi puede ser encontrada en la mayoría de los sitios que se visitan, ya sean públicos o privados. Con esta amplia difusión de la tecnología WiFi se abre la puerta a la posibilidad de aprovechar su cobertura para localizar dispositivos móviles en dichos lugares de una forma hecha a la medida para cada lugar, además de brindar la posibilidad a las personas de interactuar de forma diferente con los lugares que visita. Cabe señalar que el estándar WiFi no fue planteado originalmente con funciones de localización, es por esto que supone un reto y abre la puerta a un campo de estudio y aplicación más allá de lo que fue originalmente ideado. Ante ésta situación, algunas compañías han lanzado productos para cubrir esta oportunidad de aplicación, por ejemplo Google en el año 2011 lanzó un producto llamado Google Indoors, con el objetivo de ser usado en aeropuertos, centros comerciales, estadios y transporte público, o Ekahau empresa líder en el campo de la localización en espacios abiertos y cerrados con soluciones a medida.

El presente trabajo cuenta con cinco capítulos. El primer capítulo titulado marco teórico e hipótesis, plantea los principios físicos generales, técnicas de localización existentes así como las herramientas de software sobre los que se desarrolló el trabajo de investigación. En el siguiente capítulo se mencionan artículos de divulgación científica además de desarrollos comerciales relacionados al trabajo de investigación. En el tercer capítulo se aborda el análisis y diseño del sistema; continuando con el cuarto capítulo implementación y pruebas, en el que se analizan diferentes técnicas de localización así como los resultados obtenidos de estas; con base a lo anterior se define el último capítulo en el que se describe la aplicación desarrollada. Finalizando el presente trabajo de investigación se presentan las conclusiones, referencias así como la lista de tablas, ecuaciones e imágenes.

JUSTIFICACIÓN

Debido a la problemática que resulta al llegar a un edificio por primera vez, ya sea para realizar un trámite, encontrarse con una persona, pedir informes, entre otras actividades, y al no conocer la localización de la oficina, departamento o local, además de no conocer en qué parte se encuentra uno, resulta difícil ubicarse y el problema se agrava al no encontrar a quién pedir informes o que estos sean de poca utilidad, por lo que se presenta una propuesta de solución a esta situación, mediante una herramienta de software que permita al visitante conocer el edificio (institución, hotel, centro comercial, etc.) que está visitando (ubicación de oficinas, locales), además de la localización relativa del visitante dentro del edificio.

ALCANCES

El presente proyecto de innovación tecnológica tiene por alcance el desarrollar un sistema de posicionamiento intramuros, basado en la ubicación de los puntos de acceso de la red WiFi de un edificio.

El caso de estudio propuesto es el edificio de La Torre de Ingeniería de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad Autónoma de Guerrero, México, ubicado dentro de Ciudad Universitaria Sur en Chilpancingo de los Bravo, en el cual se pretende desarrollar un prototipo del sistema.

OBJETIVOS

Objetivo General

Desarrollar una aplicación para Smartphone con sistema operativo Android que permita a un visitante de La Torre de Ingeniería conocer su ubicación, así como información básica de la Torre (ubicación de laboratorios, sala de conferencia, sala de alumnos, cubículos de profesores, entre otros), aprovechando la infraestructura de puntos de acceso WiFi pre-existente dentro del edificio como marcadores de ubicación.

Objetivos específicos

- Investigar las técnicas existentes para realizar la localización intramuros.
- Experimentar con las técnicas de localización para seleccionar la que se usará posteriormente.
- Desarrollar una aplicación que de información básica del edificio, así como ayudar a su ubicación dentro del edificio para la navegación dentro de éste.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO E HIPÓTESIS

1.1 Antecedentes

El antecedente más antiguo que se encontró data del 2004, en el parque temático LEGOLAND, en Dinamarca, el cual implementó un sistema de rastreo en tiempo real basado en tecnología WiFi con el objetivo de encontrar a niños extraviados dentro del parque, usando el software desarrollado por Bluesoft Inc., el hardware de AeroScout y siendo vinculados estos dos mediante el software desarrollado por KidSpotter.

De acuerdo con Kurt Kritensen, Jefe de proyectos de LEGOLAND de ese entonces, el sistema tardó aproximadamente ocho semanas en montar los 37 *receivers* (antenas diseñadas para este sistema) junto con la fibra óptica que componen el sistema de localización en tiempo real.

Los *receivers* hacen uso de un método para calcular la distancia basado en la diferencia de tiempo de llegada (TDoA, por sus siglas en inglés) y triangulación, esto para ubicar un *tag* (un dispositivo que envía señales a las antenas) sujeto al brazo del infante.

El sistema contó con una precisión en el cálculo de la ubicación de dos metros enviando señales a las antenas a intervalos de ocho segundos (Hazry, Mohd Sofian, & Mohd Zahiruddin, 2009).

Algunas empresas comenzaron a proporcionar soluciones similares, ejemplo de ello es Ekahau, su principal uso ha sido en el ambiente hospitalario monitoreando la ubicación de paciente ambulatorios, aunque igual puede usarse para control de accesos, o material dedicado (“Real Time Location System (RTLS) Overview,” n.d.).

Como parte de una solución más general se encuentra Google Indoors, que sirve como complemento del servicio de navegación Google Maps, este desarrollo permite la navegación de edificios públicos grandes, hasta el momento en que se escribe esto solo ha sido implementada en algunos edificios grandes como centros comerciales, estadios y aeropuertos principalmente en Estados Unidos (McClendon, 2011).

1.2 Redes WiFi

La tecnología WiFi (Wireless Fidelity), es una de las más extendidas en cuanto a comunicación Wireless (inalámbrica) se refiere. Wireless es un término referido a cualquier aparato que para efectuar una comunicación con otro dispositivo y además no depende de un medio físico (cableado) para hacerlo. En cambio, para hacer dicha comunicación el equipo necesita disponer de un componente conocido

como tarjeta de red inalámbrica, dicho componente es el que lleva a cabo la comunicación con otros dispositivos a través de sus tarjetas (igualmente conocidas como adaptadores de red) mediante el uso de ondas de radio (Carballar & Falcón, 2010).

1.2.1 Arquitectura de las redes WiFi

Además de las tarjetas de red inalámbrica existen dispositivos llamados AP (Access Point), estos dispositivos son usados como intermediarios en la comunicación inalámbrica, siendo ellos los encargados de gestionar la comunicación (Carballar & Falcón, 2010), estos equipos de igual manera poseen una tarjeta de red inalámbrica, pero se diferencian por ser el punto de convergencia de múltiples dispositivos que intentan comunicarse entre sí o a un dispositivo que se encuentre en un segmento de red diferente (para este propósito se necesitaría un Router para hacer el encaminamiento de la información fuera del segmento definido por el AP).

Con lo anterior se puede concluir que los elementos mínimos para realizar la comunicación en una red WiFi son un AP y uno o más dispositivos con tarjeta de red inalámbrica, de estos elementos se desprende una topología que describa su alcance, siendo estas topologías las siguientes (ver Imagen 1):

- WPAN: *Wireless Personal Area Network*, es el tipo de red de menor alcance, no se incluye tecnología WiFi para describir este tipo de redes, las tecnologías que se ocupan en este tipo de redes son: infrarrojo y Bluetooth, su alcance es de aproximadamente una habitación.
- WLAN: *Wireless Local Area Network*, este tipo de red más conocido, emplea tecnología WiFi y su alcance va desde un departamento hasta un centro comercial.
- WWAN: *Wireless Wide Area Network*, es el tipo de red inalámbrica más amplia que puede abarcar la tecnología WiFi, puede cubrir el área de una ciudad.

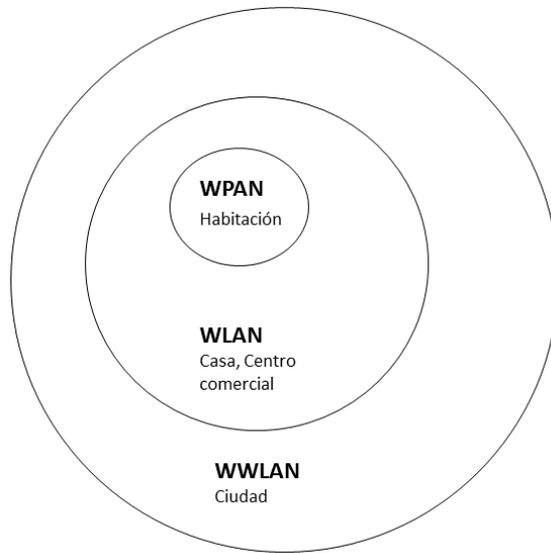


Imagen 1. Tipos de red WiFi por su alcance. Fuente: Propia.

1.2.3 Estándares

La tecnología WiFi está regulada por la organización WiFi Alliance, esta organización sin fines de lucro se encarga de promover la tecnología WiFi, así como de probar y certificar que productos cumplen con los estándares 802.11 de la IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, por sus siglas en inglés)(Crow, Widjaja, Kim, & Sakai, 1997).

Actualmente las bandas ISM(Industrial, Scientific and Medical) de 902-928, 2400-2483 y 5700-5900 MHz son usadas en un amplio rango de comunicaciones de voz y datos. Estas bandas son reservadas internacionalmente para uso no comercial, en la actualidad es popular su uso para comunicaciones WLAN como puede ser, WiFi o de rango personal como lo es la tecnología Bluetooth; y pueden ser utilizadas en todo el mundo sin necesidad de licencia, pero respetando las regulaciones de potencia transmitida, lo que provoca problemas de propagación que deben ser resueltos con diseño e instalación de sistemas capaces de evaluar su rendimiento en este tipo de ambientes.

1.2.3.1 IEEE 802.11

Como se expuso anteriormente, el estándar 802.11 de la IEEE es el que regula la tecnología WiFi, siendo la primera versión del estándar 802.11 a, que vio su aparición en el año 1999. Como es de esperarse el estándar ha sufrido cambios y actualizaciones a lo largo de su historia. A continuación, una breve reseña de las versiones del 802.11 y sus características técnicas.

- IEEE 802.11 a, fue aprobada en el año 1999 utilizando los mismos protocolos del estándar original, se incluyó una multiplicación por división de frecuencias ortogonales, lo cual permite que múltiples usuarios de un

sistema de comunicaciones puedan compartir el mismo espectro de un cierto canal de ondas de radio. Este estándar está definido para trabajar en la banda de 5 GHz y contemplaba una velocidad de transferencia de 54 Megabits por segundo.

- IEEE 802.11 *b*, la revisión de éste estándar fue ratificada en 1999, los productos que contaban con 802.11 *b* salieron a la venta en el año 2000, cuenta con velocidad de transferencia de 11 megabits por segundos definidos por estándar, esto en la práctica es menor, debido al uso del protocolo CSMA/CA.
- IEEE 802.11 *g*, en el año 2003 vio la luz el estándar 802.11 *g*, al igual que el 802.11 *b* trabaja en la banda 2.4 GHz, tiene velocidad de transferencia máxima teórica de 54 megabits por segundo y un rendimiento estándar de 22 megabits por segundo, el hardware del 802.11 *g* es compatible con el 802.11 *b* debido a esto los productos que contaban con este estándar llegaron al mercado aun antes de que este fuese ratificado, pues es compatible con sistemas basados en el estándar 802.11 *b*.
- IEEE 802.11 *n*, es ratificado en el año 2009 y cuenta con una velocidad de transferencia de 600 megabits por segundo con un promedio de 80-100 como estables, éste estándar puede ser usado en anchos de banda de 2.4 y 5 GHz, es compatible con los productos de versiones anteriores, el alcance en operación de éste estándar es mucho mayor al hacer uso de tecnología MIMO (Multiple Input Multiple Output, múltiples entradas múltiples salidas), que permite hacer uso de múltiples canales para enviar y recibir datos haciendo uso de varias antenas.

IEEE 802.11 *ac*, de igual manera conocido como como WIFI 5G o como WIFI Gigabit, fue aprobada en el año 2014, tiene una mejora en las tasas de transferencia de 433 megabits por segundo y 1.3 Gigabits teóricos mediante el uso de 3 antenas, opera en el ancho de banda de 5GHz.

1.3 Regulaciones de espectro radioeléctrico para comunicaciones

El espectro radioeléctrico para comunicaciones es el conjunto de longitudes de ondas de radio que pueden ser usadas para transmitir información, dicho conjunto está limitado por cuestiones económicas y políticas, debido a que en la práctica cuando alguien hace uso de una frecuencia los demás no pueden hacer uso de la misma; además de esto, se podría interferir con las comunicaciones de los demás; por ejemplo, en el año 1902, cuando usó ondas de radio para transmitir mensajes a través del océano Atlántico, usó la totalidad del espectro disponible en la época, con el transmisor se ocupaban todas las frecuencias que los receptores existentes de esa época podían captar, nadie más habría sido capaz de enviar mensajes de radio en alrededor de 3500 kilómetros de la estación emisora; si alguien hubiese querido comunicarse en esa área debía de coordinarse en la transmisión de mensajes en diferentes intervalos de tiempo; los usuarios situados a una distancia mayor a 3500 kilómetros de la estación podían hacer uso del espectro, de ahí la necesidad de regular el espectro radioeléctrico.

De las formas con las que se podía volver a hacer uso del medio de transmisión descritas en el ejemplo anterior se derivan las técnicas TDMA (Time Division Multiple Access, acceso múltiple por división de tiempo) y SDMA (Space Division Multiple Access, acceso múltiple por división de espacio). Marconi creó un dispositivo transmisor capaz de restringir sus transmisiones a solo un rango de frecuencias, así como su receptor; con esto, múltiples usuarios podían transmitir en la misma área al mismo tiempo; así surgió la FDMA (Frequency Division Multiple Access, acceso múltiple por división de frecuencias).

Para la coordinación de las frecuencias los países crearon agencias especializadas para tal fin, de igual forma se necesitaron acuerdos internacionales, porque las ondas de radio traspasan las fronteras entre países. En la actualidad la organización internacional encargada de regular las telecomunicaciones es la Unión Internacional de Telecomunicaciones (Butler et al., 2013); para el caso de México la institución encargada de las regulaciones y concesiones de uso de espectro radioeléctrico es el IFT (Instituto Federal de Telecomunicaciones).

Para efectos de tecnología de transmisión de radio para tecnología WIFI a nivel de uso civil en México se encuentran las bandas 2.4 y 5 GHz para uso no comercial; cabe mencionar que la mayoría de dispositivos trabaja en 2.4GHz, el espectro 5GHz es usualmente utilizado para enlaces de comunicaciones de varios kilómetros de distancia.

1.4 Física de radio

1.4.1 La onda y sus características generales

El término onda describe un fenómeno físico, el cual consiste en la propagación de energía a través de una oscilación en un medio o masa, esta propagación puede entenderse como una perturbación en el medio, como por ejemplo un cambio de presión, densidad o campo electromagnético, mediante vibraciones, éstas entendidas como un movimiento de ida y vuelta alrededor de un punto de definido como referencia.

Se conocen dos clases principales de onda:

Onda mecánica: Se propaga a través de las partículas del medio, dicho medio es deformado por la acción de las ondas, por ejemplo, al arrojar una piedra a un lago se observa cómo vibra la superficie del agua alrededor del punto donde cayó la piedra.

Onda electromagnética: Este tipo de onda puede propagarse en el vacío; es decir, no requiere un medio, consisten en oscilaciones periódicas de campos eléctricos y

magnéticos originalmente generadas por la carga de partículas, como ejemplos de estas se encuentran las ondas de radio, la luz visible y los rayos gama.

1.4.1.1 Elementos de una onda

Cresta: Punto de mayor elongación o punto más alto alcanzado por la función de onda en el eje Y.

Periodo: Es tiempo o unidades del eje X que se necesita para desplazarse de una cresta a otra.

Amplitud: Es la distancia entre el punto $Y=0$ y la cresta de la onda, cabe señalar que pueden existir ondas donde la amplitud aumente o disminuya, en otras palabras, sea variable, quedando como, la distancia entre $Y=0$ y Y_x .

Frecuencia: Se define como el número de veces que se repite la vibración por unidad de tiempo, o la repetición de valores en un tiempo determinado.

En la imagen 2 se pueden observar los elementos de una onda descritos anteriormente.

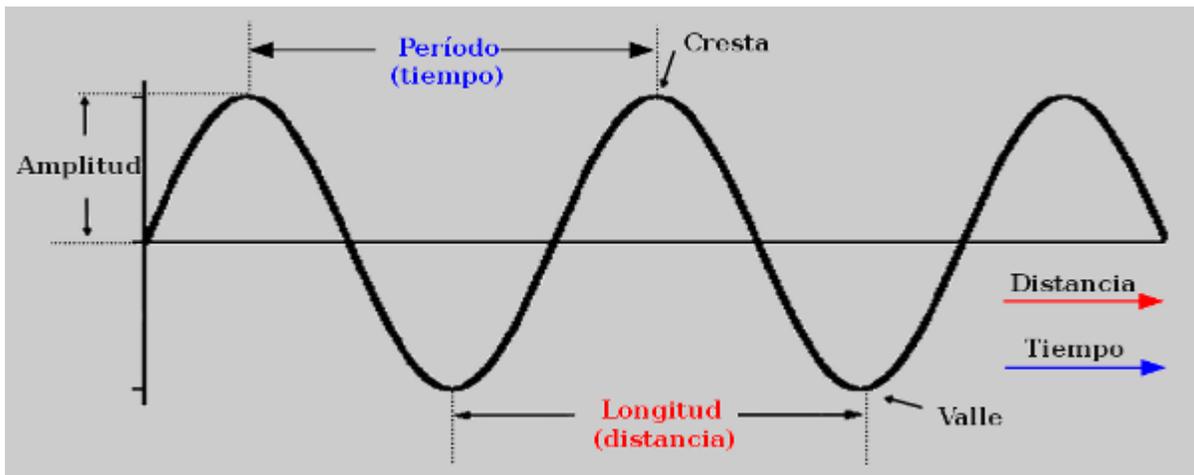


Imagen 2. Elementos de una onda. Fuente: <http://www.sabelotodo.org/ondas/onda.html>.

De estos elementos se puede definir su relación en una ecuación matemática.

$$T = \frac{1}{f}$$

Ecuación 1. Relación entre periodo y frecuencia.

Donde T representa el periodo de la onda y f la frecuencia de dicha onda.

1.4.2 Interferencia

Es el término usado para definir uno de los fenómenos más incomprendidos en el ámbito de las redes inalámbricas, pues personas con formaciones diferentes lo emplean para referirse a fenómenos diferentes, un físico se referirá al comportamiento de las ondas y mientras que para un ingeniero en comunicaciones será todo ruido que se presente en el camino; ambos puntos de vista son válidos, a continuación, se explicará cada uno de estos puntos de vista.

Desde el punto de vista físico se entiende que se trabaja con ondas y en estas se observan dos fenómenos de interferencia, cuando la diferencia de la fase es igual a cero, se tiene un resultado máximo dando como consecuencia una interferencia constructiva; por otra parte, cuando un pico coincide con un valle se obtiene una desaparición de la onda, este efecto es conocido como interferencia destructiva (Imagen 3).

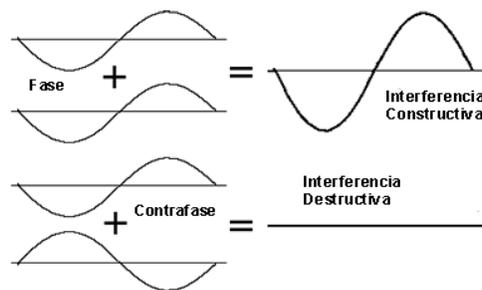


Imagen 3. Interferencia constructiva y destructiva. Fuente: http://ocw.uniovi.es/pluginfile.php/677/mod_resource/content/1/1C_C11812_A/cristalografia/18/4.html.

Para que dos ondas se cancelen o sumen totalmente, deben poseer la misma longitud de onda, además de una relación de fase fija.

Debido a estos efectos de interferencia las antenas están construidas de manera tal que las direcciones de propagación de las ondas posean la mayor interferencia constructiva en la dirección que se requiere la señal e interferencia destructiva donde no sea deseada; esto logrado mediante una combinación de control en los cambios de fase y dimensionamiento de la antena.

Visto desde la perspectiva de la ingeniería en comunicaciones, el ruido o interferencia, se refiere generalmente a los diversos tipos de alteraciones generadas por otras redes y fuentes de microondas, independientemente de que posean la misma frecuencia y relación de fase fija o no, ya sea de canales cercanos, de otros proveedores de servicio o fuentes naturales de radiación de microondas.

Estas dificultades se vuelven especialmente notorias en ambientes cerrados o urbanos donde se tienen varias redes compitiendo por el uso del mismo espectro, a menos que se tenga una concesión de uso de frecuencia privada (Butler et al., 2013).

1.4.3 Línea de vista

La línea de vista es aparentemente un concepto fácil de entender, en la práctica es un poco complicado llevarlo a cabo; el concepto es simple si el punto A es observable desde el punto B y además no existe nada en el camino existe línea de vista, pero esto se complica cuando adicionalmente se toma en cuenta que las longitudes de onda de radio son de unos pocos centímetros; cabe señalar que las ondas se ensanchan si viajan por suficiente distancia, por lo que el concepto de línea de vista adquiere un elemento más, al no ser una línea delgada, sino, una elipsoide, el ancho de la elipse es descrito como zona de Fresnel.

1.4.4 Principio de Huygens

Para tratar el principio de Huygens primero se debe definir el concepto de frente de onda, es el lugar geométrico en que determinados puntos en los que una onda se propaga en el medio son alcanzados al mismo tiempo por dicha onda, por tal motivo todos los puntos que forman un frente de onda poseen la misma fase. Éste principio establece que, cada punto de frente de onda primario se comportara como un emisor de ondas secundario, las cuales tienen por características el ser esféricas, tener la misma frecuencia además de propagarse en la misma frecuencia y en todas direcciones con la misma velocidad; la onda envolvente de todas estas ondas producidas crea el frente de onda.

El principio de Huygens permite predecir la próxima posición de un frente de onda cuando se conoce la posición anterior explicando fenómenos ondulatorios como la difracción y las interferencias.

1.4.5 Zona de Fresnel

La zona de Fresnel se refiere al radio que se debería dejar despejado alrededor de la línea de vista de un enlace de radio entre dos antenas con el fin de reducir el ruido en el enlace causado por la reflexión de la onda en objetos cercanos.

A partir de la línea directa de vista entre emisor y receptor se forman una serie de elipsoides concéntricos rodeándola; al volumen de estos elipsoides se le denomina zona de Fresnel, y estos se pueden calcular. La primera zona se calcula a partir de la diferencia entre las fases de dos ondas, medida en un instante, y es equivalente a un múltiplo de 180° , la segunda zona posee un desfase de 360° . El segundo elipsoide formado contiene al primero, del mismo modo se obtienen las zonas superiores, ya que se forma un elipsoide en revolución.

1.4.6 Potencia

Cualquier onda electromagnética tiene energía, y a la cantidad de energía dividida durante un intervalo de tiempo durante el cual es medida la energía se denomina

potencia. La potencia se mide en vatios; es necesaria una cantidad mínima de potencia para que el dispositivo detecte y procese de manera adecuada la señal. La potencia medida en vatios se obtiene por medio de algún tipo de receptor, ya sea una antena y un voltímetro, un osciloscopio, un analizador de espectro, o simplemente la tarjeta de red inalámbrica de un dispositivo. De igual forma la potencia se puede calcular por medio del cuadrado de la señal en voltios dividido por el valor de la resistencia eléctrica en ohmios.

Cálculo en dB. La técnica más importante para el cálculo de la potencia es el decibel (dB), el dB expresa una razón entre cantidades pero no una cantidad exacta, cabe destacar que no es una expresión lineal, sino logarítmica, lo que lo hace una unidad de medida relativa y una unidad sin dimensión. La fórmula que expresa este cálculo es:

$$dB = 10 \log \frac{P_1}{P_0}$$

Ecuación 2. Cálculo de decibeles.

Donde P_1 y P_0 , son dos valores cualesquiera que se deseen comparar.

1.4.6.1 DBi

Son decibeles de ganancia basados en una antena isotrópica y se expresa mediante las siguientes ecuaciones:

$$dBi = 10 \log_{10} D$$

Ecuación 3. Cálculo de dBi.

$$D = \frac{I}{I_i}$$

Ecuación 4. Cálculo de la directividad de la antena.

Dónde:

D es la directividad de la antena, I la intensidad de la radiación de la antena y I_i es la radiación de una antena isotrópica teórica.

DBm es una unidad de medida de potencia expresada en decibelios relativa a un milivatio, usada en telecomunicaciones como una unidad de medida conveniente de la potencia absoluta a causa de su capacidad para expresar de forma corta valores muy grandes o muy pequeños de forma corta (Butler et al., 2013).

1.5 Técnicas de localización

Los sistemas de localización en tiempo real (RTLS) son sistemas automáticos que, mediante la monitorización de una determinada frecuencia, son capaces de

determinar la ubicación de un elemento móvil; para su funcionamiento, se apoyan en equipos de alta frecuencia, con el fin de identificar de forma individual sus componentes.

El término RTLS fue acuñado en 1998 por Tim Harrington, Jay Werb y Bert Moore en ID EXPO trade show; fue concebido para describir y diferenciar una tecnología emergente que no solo permite la identificación automática por uso de tags activos RFID (Radio-Frequency Identification, identificación de radio-frecuencias), sino que además permite ver la localización plasmada en un plano en una pantalla. Los RTLS se usan principalmente en ubicaciones intramuros o áreas confinadas tales como edificios o áreas donde los sistemas de posicionamiento global tienen poca fiabilidad.

A pesar de todos los beneficios que se tienen, los RTLS no son fáciles de implementar; la complicación de estos sistemas proviene de la falta de control de diversas anomalías inherentes a la física del radio que pueden sesgar las mediciones.

1.5.1 TOA (Time of Arrival, Tiempo de Llegada)/TDOA (Time Difference of Arrival, Diferencia de Tiempo de Llegada)

Son técnicas muy similares, la diferencia radica en que TOA hace uso del tiempo absoluto de llegada de la señal a determinada estación, en vez de la diferencia de tiempo entre salirse de una estación para llegar a otra; la distancia en cualquiera de las dos técnicas puede ser calculada desde el momento de la llegada, debido a que las señales viajan con una velocidad conocida, se requieren dos equipos receptores extra para resolver la posición del emisor.

1.5.2 RSSI (Received Signal Strength Indication, Indicador de Potencia de señal Recibida)

El RSSI es una unidad de potencia presente al recibir una señal de radio, usualmente es un dato visible para el usuario de un dispositivo receptor. Sin embargo, debido a que la señal puede variar enormemente, los dispositivos solo muestran una medida entendible para los usuarios usualmente de forma gráfica. En los equipos que cumplen con el estándar IEEE 802.11 el RSSI es un valor representado en forma negativa, en una escala tal que el valor más cercano a 0 es el que ha tenido más potencia de señal recibida, cabe señalar que dicho valor se expresa en dBm; por lo tanto, los valores de las potencias recibidas tienen una proporción logarítmica respecto a la distancia y se ven afectadas por un valor no constante llamado pérdida de camino, pero es posible determinarlo mediante ecuaciones conocidas que requieren conocer previamente puntos con distancias conocidas y la potencia que observan respecto al emisor; por lo tanto, se puede ocupar para determinar distancias respecto a los emisores.

1.6 Esquemas de localización

En la actualidad existen diversos esquemas de localización, siendo los más utilizados los que se muestran en la Imagen 4.

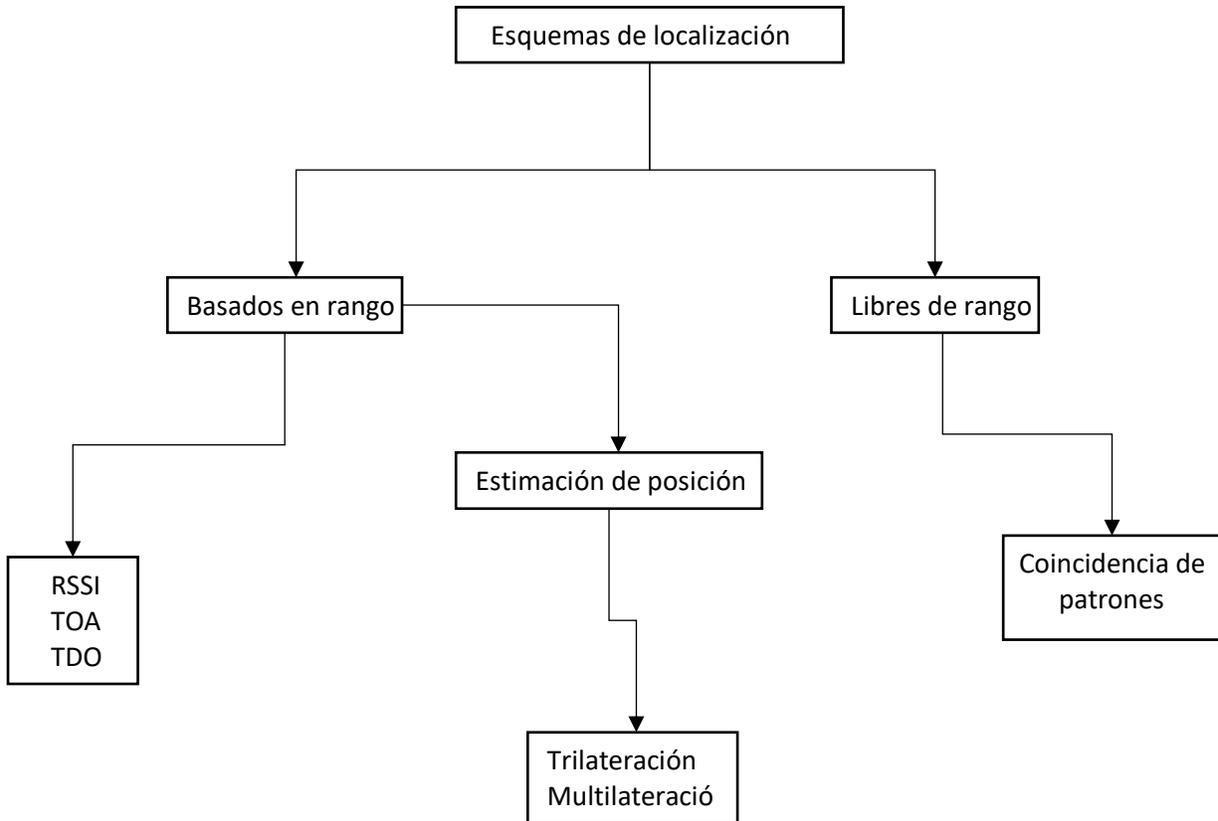


Imagen 4. Técnicas de localización Fuente: Propia.

1.7 Herramientas de software

El software es un componente lógico que posibilitan las tareas específicas, se encuentran en forma de aplicaciones o programas que se ejecutan en dispositivos de cómputo.

1.7.1 Software Libre y Open Source

El software libre se define como aquel software que respeta la libertad de los usuarios y la comunidad, esto es que los usuarios tienen la libertad de copiar, distribuir, estudiar, modificar y mejorar el software, por lo tanto se trata de una cuestión de libertad, no de precio, a veces se ocupa el término “libre software”, empleando ese adjetivo francés o español, derivado de libertad para mostrar que no necesariamente significa gratuito (ver imagen 5).



Imagen 5. Logo de la Free software Foundation. Fuente: <https://www.gnu.org/graphics/fsf-logo.html>.

Un programa solo es software libre si al usuario se le otorgan las siguientes libertades de manera adecuada:

- La libertad de ejecutar el programa como se desee, lo que significa que cualquier tipo de persona u organización es libre de usarlo en cualquier tipo de sistema de cómputo, para cualquier trabajo y finalidad, sin que por este motivo exista alguna obligación de comunicarlo al programador ni a alguna otra entidad específica.
- La libertad de estudiar el código fuente y modificarlo, para esto el usuario debe tener acceso al código fuente, por consiguiente el acceso al código fuente es una condición necesaria para el software libre.
- La libertad de redistribuir copias si así se desea, el usuario tiene la libertad para redistribuir copias con o sin modificaciones, ya sea gratuitamente o cobrando una tarifa por la distribución. De igual manera se debe tener la libertad de hacer modificaciones y usarlas en privado ya sea para trabajo o pasatiempo sin tener que mencionar que existen. La libertad de redistribuir copias debe incluir las formas binarias o ejecutables del programa además del código fuente, ya sea para las versiones modificadas como para las que no lo están.
- La libertad de redistribuir copias de sus versiones modificadas por terceros. Esto permite a toda la comunidad la oportunidad de beneficiarse de las modificaciones, el acceso al código fuente es una condición para ello.

Otro término comúnmente utilizado es el de código abierto o también llamado open source, es algo parecido en significado al software libre en cuanto a que se refiere a libertad y no al precio, aunque evoca la idea de libertad, la palabra abierto nunca se refiere a libertad, el que se pueda ver el código fuente no necesariamente significa el poder modificarlo.

Para que un software pueda ser considerado como de código abierto debe de cumplir con las características siguientes:

- Se permite hacer copias del programa; esto es que el software, se puede copiar, regalar o vender a terceros, sin tener que pagar a nadie por ello.
- El programa debe de incluir el código fuente y permitir la distribución tanto en forma compilada como en fuente del mismo. O, en su defecto el facilitar de algún modo la obtención del código fuente; por lo que no está permitido el ocultar el código o compartirlo de forma intermedia.

- La licencia del software debe permitir el realizar modificaciones y trabajos que se deriven por parte de terceros, y que entonces se puedan distribuir dichas modificaciones bajo la misma licencia que la original.
- Se puede disponer de la integridad del código del autor, esto es, que las modificaciones pueden presentarse en forma de parches al código original, o se pueden pedir que tengan nombres o números distintos a los originales; todo esto con la finalidad de proteger al autor de que las modificaciones puedan considerarse como suyas, aunque este punto depende de lo que exprese la licencia.
- La licencia no debe discriminar a ninguna persona o grupo; un caso aparte son las restricciones por ley, de existir estas restricciones deben ser mencionadas.
- No discriminar campos laborales, esto es permitir su uso con fines comerciales.
- La licencia es aplicable a todo el que reciba el programa.
- En caso de que el software formara parte de un producto mayor, este deberá permanecer con la misma licencia, con la finalidad de controlar que no se separen partes para formar software propietario, en el caso de software propietario se debe informar que existen partes de software de código abierto y cuáles son estas partes.
- La licencia no deberá restringir ningún software incorporado o distribuido conjuntamente, el incorporarlo no debe suponer ninguna barrera para otro producto de software distribuido conjuntamente.
- La licencia deberá ser tecnológicamente neutra; esto es que no deben mencionarse medios de distribución únicos, o el excluirse posibilidades.
- Los partidarios del Open Source ven esta filosofía la oportunidad de promocionar el software que de otra manera estaría en una utilización minoritaria, pero que con la divulgación para todo el mundo, incluyendo empresas que quisiesen participar en proyectos de código abierto se estaría en condiciones de hacer frente al software propietario.
- El principal ideal que persiguen ambas filosofías continua siendo el de aumentar la utilidad del software libre, al ofrecer así una alternativa a las soluciones únicas que las grandes empresas quieren imponer, al final las diferencias son más filosóficas que prácticas(Free Software Foundation, 2017).

1.7.2 GNU/Linux

Se trata de un sistema operativo libre creado con la combinación de los proyectos GNU (encabezado por Richard Stallman y la Free Software Foundation) y el núcleo Linux (encabezado por Linus Torvalds) siendo el resultado un sistema operativo multi-usuario y multi-plataforma tipo UNIX, siendo este uno de los mejores ejemplos de software libre dado que todo su código permite ser utilizado,

modificado y redistribuido por cualquier persona, bajo los términos de la GPL(Licencia Publica General de GNU).

A pesar de que la palabra “Linux” se usa de manera común para referirse al sistema operativo, Linux es solo el núcleo del sistema operativo, además existen derivados de Linux que carecen de componentes GNU (por ejemplo el sistema operativo Android del que se hablará más adelante), así como distribuciones GNU donde no se utiliza el núcleo Linux (por ejemplo Debian/Hurd).

Existen características que diferencian a un núcleo de sistema operativo Linux del resto(i Esteve & Boldrito, 2007), estas podrían ser:

- Código abierto, cualquiera puede disponer de sus fuentes, hacer modificaciones a estas, además de poder crear nuevas versiones y compartirlas bajo la licencia GPL, con lo que se convierte en software libre.
- Portabilidad, Linux está pensado para depender muy poco de una arquitectura de una maquina en concreto, por consecuencia Linux en su mayor parte es independiente de la máquina de destino por lo que puede portarse a prácticamente cualquier arquitectura que disponga de un compilador de lenguaje C.
- Kernel de tipo monolítico: si bien el diseño del kernel es de una sola pieza es conceptualmente modular en las diferentes tareas que realiza.
- Módulos dinámicamente cargables, estos permiten poner partes del sistema operativo como pedazos externos que se cargan con el kernel en tiempo de ejecución bajo demanda, lo cual permite simplificar el kernel y ofrecer funcionalidades con elementos programables por separados.
- Desarrollo por comunidad, Linux permite que cada usuario pueda colaborar en la medida que el tiempo y sus conocimientos lo permitan, como resultado de esto existen de cientos a miles de desarrolladores para Linux.

1.7.3 Ubuntu

Ubuntu es un sistema operativo cuyos principales enfoques son: la facilidad de uso e instalación, la libertad de los usuarios, y los lanzamientos regulares (“Sobre Ubuntu | Ubuntu-es,” 2017).

La filosofía de Ubuntu se basa en los principios siguientes:

- El usuario puede descargar, ejecutar, copiar, distribuir, estudiar, compartir, cambiar y mejorar Ubuntu para cualquier propósito, sin que esto implique el tener que pagar licencia.
- El usuario debe ser capaz de utilizar el idioma de la elección del usuario.
- El usuario podrá utilizar todo el software independientemente de su discapacidad.

1.7.4 Java

Se trata de un lenguaje de programación de propósito general, concurrente, orientado a objetos, diseñado para tener tan pocas dependencias de implementación como fuese posible.

Java fue creado en el año de 1991 en Sun Microsystems por un equipo compuesto por trece personas y dirigido por James Gosling. Pero este proyecto tuvo algunas dificultades. El desarrollo del mercado para los dispositivos electrónicos para uso doméstico no fue tan rápido como Sun tenía previsto. Sin embargo en el año de 1993 explotó la popularidad de la World Wide Web (Internet) y rápidamente el equipo de Sun se dio cuenta del potencial de Java para poder agregar contenido dinámico y animaciones a las páginas web. Sin embargo, Java generó particular interés en la comunidad de negocios; en la actualidad Java es utilizado en enorme medida para el mejoramiento de la funcionalidad de los servidores de internet, proporcionar aplicaciones para dispositivos domésticos como teléfonos celulares o computadoras personales y demás propósitos diferentes (Deitel & Deitel, 2004).

1.7.5 NetBeans

NetBeans es un entorno de desarrollo integrado (IDE, Integrated Development Environment); en el que se puede editar código, compilarlo, ejecutarlo y depurarlo, es decir, todas las tareas relacionadas a la programación.

El uso del IDE simplifica algunas tareas que, sobre todo en proyectos grandes, resultan tediosas; así como asistir de forma parcial en la escritura de código; además de ayudar en la navegación de las clases predefinidas en la plataforma; aunque puede ser costoso su aprendizaje, los beneficios superan las dificultades (Gimeno & González, 2011).

1.7.6 MySQL

MySQL es un sistema de manejo de bases de datos relacionales, considerado el sistema manejador de bases de datos Open Source más popular del mundo, fue desarrollado bajo una licencia dual GPL/Licencia comercial de Oracle Corporation (MySQL, 2001), entre sus características se encuentra:

- El uso de multihilos mediante hilos de kernel.
- El uso de tablas hash en memorias temporales.
- La disponibilidad en diversas plataformas y sistemas.
- La seguridad en la conectividad.
- La búsqueda e indexación de campos; entre otras.

1.7.7 Android

Se trata de un sistema operativo principalmente usado y diseñado para plataformas móviles, tales como teléfonos o tabletas(Gironés, 2012), entre sus características se encuentran:

- Una plataforma abierta. Entre sus ventajas se encuentra el poder usar y modificar el sistema sin necesidad de pagar por esto.
- Una arquitectura basada en componentes inspirados en internet. Ejemplo de esto es el diseño de la interfaz de usuario, la cual se realiza en XML (Lenguaje de Marcas Extensibles, por sus siglas en inglés).
- Portabilidad asegurada. Los programas son compilados a una extensión .apk (Android Application Package), siendo este formato una variante del formato JAR de Java, y es usado para distribuir e instalar aplicaciones para cualquier dispositivo en esta plataforma.

1.7.8 SQLite

SQLite es un sistema de manejo de bases de datos relacionales, escrita en lenguaje C, SQLite no es un clásico sistema manejador de bases de datos con arquitectura Cliente – servidor, en lugar de eso SQLite se enlaza con el programa, para ser parte del mismo; la aplicación utiliza SQLite mediante instancias a subrutinas y funciones, lo que reduce el tiempo de respuesta de SQLite a la aplicación.

1.8 Planteamiento de la hipótesis

Los puntos de acceso WiFi de una red de comunicaciones instalada en un edificio generan una mancha magnética que puede ser vista por otros dispositivos, por lo tanto esta puede ser aprovechada en una aplicación móvil para tareas de ubicación.

CAPÍTULO II. ESTADO DEL ARTE

2.1 Artículos relacionados

En el presente capítulo se aborda el desarrollo de temas y desarrollos tecnológicos relacionados con el presente trabajo, comenzando por algunas de las más significativas contribuciones por parte de la comunidad académica publicadas en forma de artículos científicos.

2.1.1 Current Approaches of WiFi Positioning

En el 2012 Robin Henniges presentó un artículo en el cual se expone el rol del posicionamiento usando las redes WiFi en el mejoramiento del rendimiento de servicios de localización sin la necesidad de dispositivos adicionales (Henniges, 2012), a pesar de que las redes WiFi no fueron diseñadas para tal propósito; sin embargo, se han adaptado métodos de otras tecnologías de posicionamiento para que funcionen para la infraestructura de redes WiFi. En su trabajo se trata la precisión de estos métodos y sus áreas de aplicación.

En su artículo, el autor hace mención del sistema de posicionamiento global (GPS) y de cómo en éste, si bien tiene numerosas aplicaciones, resulta ser que las señales de satélite no son lo suficientemente fuertes para trabajar dentro de edificios, al mismo tiempo hace mención de la disponibilidad de las redes WiFi que se encuentran en la actualidad en casi cualquier edificación, por lo que si bien no fueron ideadas con el propósito de localización resultan ser una oportunidad para efectos de localización, debido a lo extenso de su difusión, bajo costo de instalación y que pueden ser usadas tanto en exteriores como en interiores.

En dicho artículo se hace una mención a la tecnología WiFi, desde sus fundamentos físicos hasta el estándar IEEE 802.11 que se encarga de regular esta tecnología; en el mismo apartado hace mención del factor de atenuación de la señal WiFi en interiores, estos factores van desde la atenuación por el entorno estático, entendiéndose como este a la reflexión que tiene la onda electromagnética al impactar con una pared u otra barrera similar, como pueden ser muebles. Otra fuente de atenuación de la onda es la presencia de personas en el edificio, el cuerpo humano tiene una gran cantidad de agua en él, sumado al hecho de que las redes WiFi trabajan a una frecuencia de 2.4 GHz y la radiación de esta frecuencia es parcialmente absorbida por el agua.

Otro punto particularmente importante planteado en el artículo para efectos de este proyecto de investigación es acerca de las técnicas de localización, las cuales pueden plantearse principalmente como:

- Basados en proximidad

Los métodos basados en proximidad son los más simples y rápidos, pero de igual forma son los más imprecisos, pero bastante populares para localización en exteriores, un buen representante de estos métodos es la identificación de celda, la idea proviene del método de posicionamiento GSM, para el cual la posición es determinada midiendo la intensidad de la señal y se asume que la celda con mayor potencia es la celda más cercana.

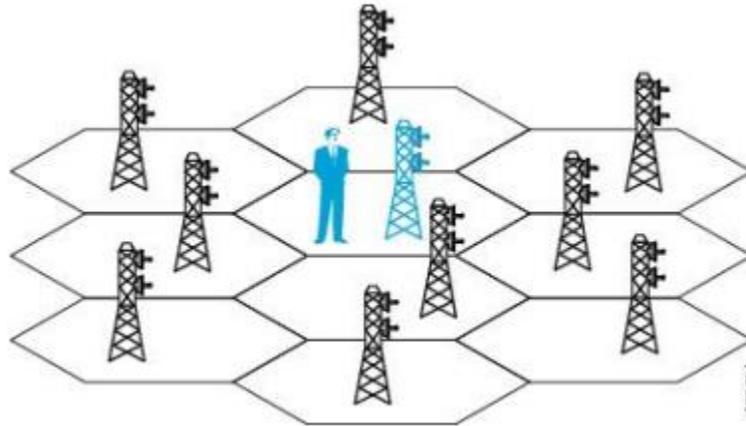


Imagen 6. Cell of Origin illustration. Fuente: cisco.com.

- Basada en trilateración:

Los métodos basados en trilateración hacen uso de la distancia calculada, ya sea absoluta o relativa, del dispositivo a las estaciones, mínimo este método requiere de tres estaciones a las cuales calcular la distancia del dispositivo, debido a que las mediciones no suelen ser muy precisas el desafío de este método es precisamente la precisión en los cálculos de distancia. Algunas variantes de esta metodología hacen uso de la medición de tiempo en la llegada de la señal, pero para esto se debe garantizar una buena sincronización, por lo que es probable que sea una técnica recomendable para exteriores con tecnología dedicada.

- Basado en reconocimiento de patrones

Para esta técnica se usa una base de datos creada previamente con los patrones de señal, los cuales deben coincidir con una única ubicación.

Una característica importante de este método es que a diferencia de los demás no se necesita conocer la posición de las estaciones.

2.1.2 Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems

Este artículo ofrece una visión general de las soluciones de localización por medio de WiFi en interiores; entre los temas que se tocan se encuentran las métricas de rendimiento de las técnicas de localización (Liu, Darabi, Banerjee, & Liu, 2007).

- Exactitud

Tan bien conocida como error de localización es el elemento con mayor importancia en los sistemas de posicionamiento. Usualmente, el error de la distancia promedio de error, en otras palabras el promedio de la distancia euclidiana entre el punto estimado y la ubicación real.

- Precisión

Si bien la exactitud calcula el error en la distancia, la precisión hace referencia a como funciona el sistema, midiendo la robustez del sistema con base a la variación en el rendimiento respecto al número de intentos; sin embargo de igual modo se define como la desviación estándar en el error de localización.

- Complejidad

La complejidad del sistema puede ser atribuida al hardware, software, y factores de operación; usualmente la complejidad en términos de software proviene de la complejidad en la fórmula que describa la técnica de localización.

- Robustez

Una técnica de localización con una alta robustez aun cuando esta puede funcionar de manera normal sin que necesariamente se encuentren todos los AP funcionando, las técnicas de localización deben usar esta información incompleta para establecer la ubicación.

- Escalabilidad

La escalabilidad se refiere al normal funcionamiento del sistema cuando el ámbito en el que se desarrolla la localización aumenta, es decir, cuando la distancia entre transmisores y receptores aumenta; el sistema necesita cubrir dos ejes, la geografía (el área o volumen cubierto por el sistema) y la densidad (el número de unidades localizadas por unidad geográfica).

- Costo

Para calcular el costo de un sistema de localización se revisan múltiples factores, entre los más importantes se encuentran el monetario, tiempo, espacio, peso y consumo energético.

2.1.3 Indoor Location with Wireless Sensor Networks

En años recientes se ha desarrollado un interés por las aplicaciones en el mundo de la computación de las redes de sensores inalámbricos, la localización en este tipo de redes es crucial debido a que es necesario conocer la ubicación de un sensor para poder procesar la información originada del sensor para adecuar las respuestas al ambiente o en una situación de emergencia. Diversas plataformas

de red de sensores inalámbricos han sido desarrolladas, evaluadas y probadas en entornos de emergencia reales para aplicaciones de servicios médicos.

En el artículo (Mitilineos, Kyriazanos, Segou, Goufas, & Thomopoulos, 2010) se exploran diferentes técnicas de localización con respecto al rendimiento de la localización, así como aspectos tales como amenazas a la validez, autonomía, robustez entre otros; todo esto con base a un desarrollo de localización mediante el uso de dispositivos dedicados a esto.

2.1.4 Open Wireless Positioning System: a WiFi Based Indoor Positioning System

En este artículo (Cypriani, Lassabe, Canalda, & Spies, 2009) se explora una técnica de localización híbrida combinando algoritmos existentes, dando como resultado un sistema de arquitectura centrada con cuatro elementos principales:

- Terminales móviles: se refiere a equipos con tarjetas WiFi; tales como laptops o teléfonos celulares.
- Access Points: los cuales sirven de puntos de acceso para las peticiones de posicionamiento transmitidas por los dispositivos móviles.
- Servidor de agregación: sirve para saber que Access Point recibió la petición de posicionamiento.
- Servidor de cómputo: se encarga de hacer los cálculos para definir la posición de cada dispositivo móvil.

La técnica propuesta requiere de al menos cuatro Access Points distribuidos por el edificio; además de un módulo de software correspondiente a cada elemento de la arquitectura del sistema.

Como resultado de las pruebas realizadas obtuvieron un error de 5 metros en sus resultados, de igual modo observaron un comportamiento en el ambiente del edificio no heterogéneo, que además evoluciona con el tiempo, por ejemplo observaron que el número de personas, el movimiento de los muebles, la corriente eléctrica o la circulación de agua en las tuberías como factores de influencia.

2.1.5 Localizing WiFi Access Points Using Signal Strength

Cuando se intenta hacer una estimación de la localización a partir de Access Points los elementos requeridos para un modelo de propagación de ondas de radio no son siempre posibles de obtener. En este artículo usan la potencia de señal recibida para un método de localización basado en rango cuando no se tiene información para un modelo de propagación, esto usando una aproximación lineal para aproximarse a la relación exponencial existente entre la potencia de señal recibida y la distancia, así como la aplicación de una técnica de multilateración.

Si bien su algoritmo propuesto es aplicable a ambientes anónimos y además no requiere del exponente de pérdida de potencia y potencia de transmisión conocida a priori, tiene como restricción que las potencias de señal recibidas deben ser medidas en al menos cuatro posiciones diferentes (Koo & Cha, 2011).

2.1.6 A Study of Infrastructure for Real-Time Location System

En el artículo (Hazry et al., 2009) se propone una infraestructura para sistema de localización en tiempo real para determinar y rastrear a una persona usando dispositivos activos, los cuales poseen una batería y con la capacidad de enviar señales de manera activa a diferentes receptores, dos o más de estos calculan la distancia entre el dispositivo y el receptor para así determinar su localización.

En el sistema propuesto los dispositivos y los receptores se comunican mediante radio frecuencia, lo cual provoca interferencia cuando los dispositivos y los receptores se comunican de manera simultánea, para solucionar este inconveniente colocaron los receptores en intervalos regulares, aun así su error mínimo presentado fue de 9 metros y su máximo de 247 metros.

2.1.7 Indoor WiFi Positioning System for Android-based Smartphone

(Shin et al., 2010) Presentan el desarrollo de un sistema de localización para teléfonos Android usando las señales WiFi con una implementación fácil y de bajo costo así como un algoritmo desarrollado.

El algoritmo que presentan mide la potencia de señal recibida de cada Access Point tres veces y el promedio de las tres potencias es calculado; usando la diferencia entre el valor promedio y cada valor de entrenamiento, si la diferencia es menor a un umbral, el valor de entrenamiento es retirado y entonces el promedio de los valores de entrenamiento es calculado nuevamente; finalmente el valor es comparado con el valor de la base de datos y así la localización del dispositivo es lograda.

2.1.8 Application of WiFi-based indoor positioning system in handheld directory system

(Wen, Nee, Chun, Shiang-Yen, & Idrus, 2011) Introducen un sistema de directorio de mano intramuros el cual trabaja basado en técnicas de localización WiFi, que tiene como propósito el proveer nuevas formas de directorios de pisos; el sistema consiste en tres módulos, el modulo del teléfono móvil, el modelo de kioscos y finalmente el modelo de sitio web y base de datos.

El usuario puede descargar mapas y la aplicación desde los kioscos o el sitio web; por otro lado el administrador usa el sitio web para manejar la base de datos.

Una de las limitantes del sistema de directorio propuesto es su algoritmo de triangulación el cual requiere de al menos tres puntos de acceso WiFi para trabajar de manera adecuada.

2.2 Desarrollos comerciales relacionados

Con los desarrollos hechos en el área académica surgen como consecuencia tecnologías aplicadas de manera comercial desarrolladas principalmente por grandes empresas del mundo tecnológico, si bien se encuentran diversas empresas que desarrollan soluciones a la medida de las necesidades del cliente, las grandes empresas buscan soluciones más generales para ser aplicadas a necesidades particulares, las soluciones de este tipo que resultan particularmente destacables son Ekahau, empresa subsidiaria de Cisco, y Google Indoors, un servicio de Google, a continuación se describirán brevemente las características de cada uno de estos desarrollos.

2.2.1 Ekahau

Es una empresa perteneciente a Cisco, se especializa en soluciones de localización haciendo uso de tags activos con tecnología RFID over WiFi, la cual junto con el software propietario de la empresa realizan la localización en tiempo real; su principal uso ha sido en el ambiente hospitalario monitoreando la ubicación de paciente ambulatorios, aunque igual puede usarse para control de accesos, o material dedicado (ver imagen 7) (“Real Time Location System (RTLS) Overview,” n.d.).



Imagen 7. Bages and Tags that use Ekahau for positioning. Fuente: applywifi.com.

2.2.2 Google Indoors

Se trata de una solución de google como complemento del servicio de navegación Google Maps, este desarrollo permite la navegación de edificios públicos grandes, hasta el momento en que se escribe esto solo ha sido implementada en algunos edificios grandes como centros comerciales, estadios y aeropuertos principalmente en Estados Unidos (McClendon, 2011).

CAPÍTULO III. ANÁLISIS Y DISEÑO DEL SISTEMA

En el presente capítulo se presenta la fase de diseño de la investigación, siendo esta la parte inicial de todo proyecto de desarrollo de software, en este apartado se definen los requisitos y se muestra una vista global de la arquitectura ideada para la aplicación. De igual manera en la segunda mitad del presente capítulo se toman en cuenta el catálogo de requisitos para servir como base para el diseño de los componentes de la aplicación, con base a los criterios de la ingeniería de software.

La arquitectura de la aplicación tendrá el formato stand-alone, construyendo una base de datos dentro de la aplicación móvil.

Este capítulo es fundamental para entender el funcionamiento de la aplicación. A continuación se desglosan las características a modo de análisis de requerimientos teniendo en cuenta tanto requisitos funcionales como no funcionales.

3.1 Requisitos no funcionales

3.1.1 Ambiente físico

- El sistema necesita de una infraestructura de red instalada en el edificio en cuestión, la aplicación además estaría instalada en un dispositivo móvil.
- Se instalaría en una sola localización.
- El sistema tiene restricciones en cuanto a interferencia magnética.

3.1.2 Interfaces

- La entrada proviene de la lectura de escaneo de redes cercanas realizado por la tarjeta de red inalámbrica ejecutado por el sistema operativo del dispositivo.
- La salida va directamente a la pantalla del dispositivo móvil.

3.1.3 Usuarios y factores humanos

- El sistema es abierto a todo usuario.
- El sistema no cuenta con varios tipos de usuarios.
- El sistema no requiere de un particular nivel de habilidad por parte del usuario.
- El sistema no requerirá de un entrenamiento para ser usado por el usuario.
- El sistema debe ser lo más fácil de usar.

- Al usuario le será sumamente difícil hacer un mal uso del sistema debido a la simplicidad del mismo, aunque debido a la naturaleza del mismo podría explotarse como una brecha de seguridad.

3.1.4 Funcionalidad

- El sistema indica al usuario su ubicación con base a un escaneo de las manchas magnéticas provenientes de los puntos de acceso WiFi ubicados en el edificio.
- El algoritmo de ubicación se ejecutará cuando el usuario haga la petición a la aplicación.
- Solo tiene un modo de operación.
- El sistema debe actualizarse cuando exista algún cambio en la infraestructura de red dentro del edificio.
- Las restricciones de velocidad y tiempo de respuesta están dadas por el funcionamiento del mismo equipo en el que se ejecute, por parte del sistema no tiene alguna restricción por velocidad y tiempo de respuesta, de igual manera al no ser una aplicación prioritaria, solo informativa, no se ve necesidad de prestar particular interés al rendimiento de la aplicación.

3.1.5 Documentación

- Se presenta la información correspondiente en forma de diagramas de casos de uso, diagramas de clase, diagramas entidad-relación, así como el presente análisis de requerimientos.
- La documentación se presenta para estar disponible en el capítulo III Análisis y diseño del sistema de la tesis titulada “Desarrollo de un sistema de ubicación en edificios, basado en localización de puntos de acceso WIFI”.

3.1.6 Datos

- El usuario ingresa sus peticiones mediante botones previamente preestablecidos, el sistema responderá mostrando una respuesta en pantalla en formato de imagen.
- Los datos serán manejados de manera interna y el proceso de captación de información para efectuar la localización se realizará al solicitar la petición.
- Los datos de entrada deberán ser precisos, por ello se recurre al sistema operativo directamente para realizar la captación, aun así, debido a la naturaleza de las ondas, precisa de cierta tolerancia en los resultados.
- Los cálculos que llevara a cabo el sistema deberán ser lo más precisos posibles sin afectar el funcionamiento normal del equipo.
- La cantidad de datos de entrada dependerá de la ubicación donde se pretenda realizar la ubicación.

- No es necesario el retener datos después de efectuar la ubicación.

3.1.7 Recursos

- Para la construcción del sistema se requieren de los siguientes recursos:

- Materiales:

- Construcción:

Para la construcción del sistema se necesita un equipo de cómputo para programarlo, un equipo celular con Android como sistema operativo para realizar pruebas, acceso a la ubicación y dirección MAC de los equipos instalados en el edificio.

- Utilización:

Para la utilización del sistema por parte del usuario se requiere de un equipo celular con sistema operativo Android, además de, para su correcto uso es necesario que el usuario se encuentre dentro del edificio, de otra manera por razones obvias no será posible el ubicar al usuario.

- Mantenimiento:

Para ser funcional el sistema, se deberá mantener actualizada la base de datos con las direcciones MAC y ubicación de los puntos de acceso WiFi correspondientes, además de los cambios en la estructura del edificio o posibles re-estructuraciones en la distribución de las áreas que componen el edificio.

- Personales:

- Construcción:

Para efectos del presente proyecto y sus características académicas solo hará falta de una persona para realizar la construcción de la aplicación.

- Utilización:

La aplicación solo tendrá la opción de un solo usuario, esto debido a la naturaleza de la misma.

- Mantenimiento:

Solo requerirá de una persona el dar mantenimiento a la aplicación.

- El desarrollador deberá contar con conocimientos en programación, bases de datos, sistemas operativos, además de nociones de física de onda y redes inalámbricas.

- En relación al espacio físico que requiere el sistema se puede hablar de dos aspectos, el de la aplicación en si misma solo ocupa un espacio virtual en el dispositivo instalado, en el aspecto del espacio ocupado por los elementos necesarios para el funcionamiento del sistema que son los puntos de acceso WiFi, se buscará hacer uso de los elementos ya instalados en el edificio, solo se incluirán más de ser absolutamente necesario.
- Los requerimientos de consumo del sistema son los inherentes al dispositivo en el que fue instalado, además del consumo propio de la red WiFi del edificio.
- El cronograma de desarrollo será presentado en el capítulo III Análisis y diseño del sistema de la tesis titulada “Desarrollo de un sistema de ubicación en edificios, basado en localización de puntos de acceso WiFi”.
- El sistema será desarrollado pensando en ser de bajo costo tanto en producción como en optimización de los recursos de red disponibles.

3.1.8 Seguridad

- El sistema está pensado para ser de uso abierto en cuanto a limitaciones de número y permisos para su uso.
- No se requiere el aislar datos de usuarios, puesto que no es necesario el manejo de perfiles de usuarios.
- Por la naturaleza del programa necesita de una amplia interacción con el sistema operativo, manejador de bases de datos y el hardware.

3.1.9 Aseguramiento de la calidad

- Requerimientos de:
 - Confiabilidad:

En cuanto a la confiabilidad del sistema debe hacerse notar que para el óptimo funcionamiento de la aplicación se requiere que los puntos de acceso WiFi se encuentren en su ubicación y al menos generando mancha magnética.

- Disponibilidad:

A nivel de aplicación esta siempre deberá estar disponible para el usuario.

- Facilidad de mantenimiento:

El mantener actualizado el sistema, por la naturaleza del mismo se requiere de cierto entrenamiento para mantener la aplicación actualizada.

- Seguridad:

La aplicación por su naturaleza de sistema abierto no cuenta con características extras de seguridad.

- Mantenimiento:
En el mantenimiento se deberá corregir aspectos de funcionamiento, así como, el cubrir cualquier cambio en la distribución de las áreas dentro del edificio.

3.2 Requisitos funcionales

A continuación se describe en la imagen 8 el procedimiento que se tomará como requerimiento para el desarrollo de la aplicación.

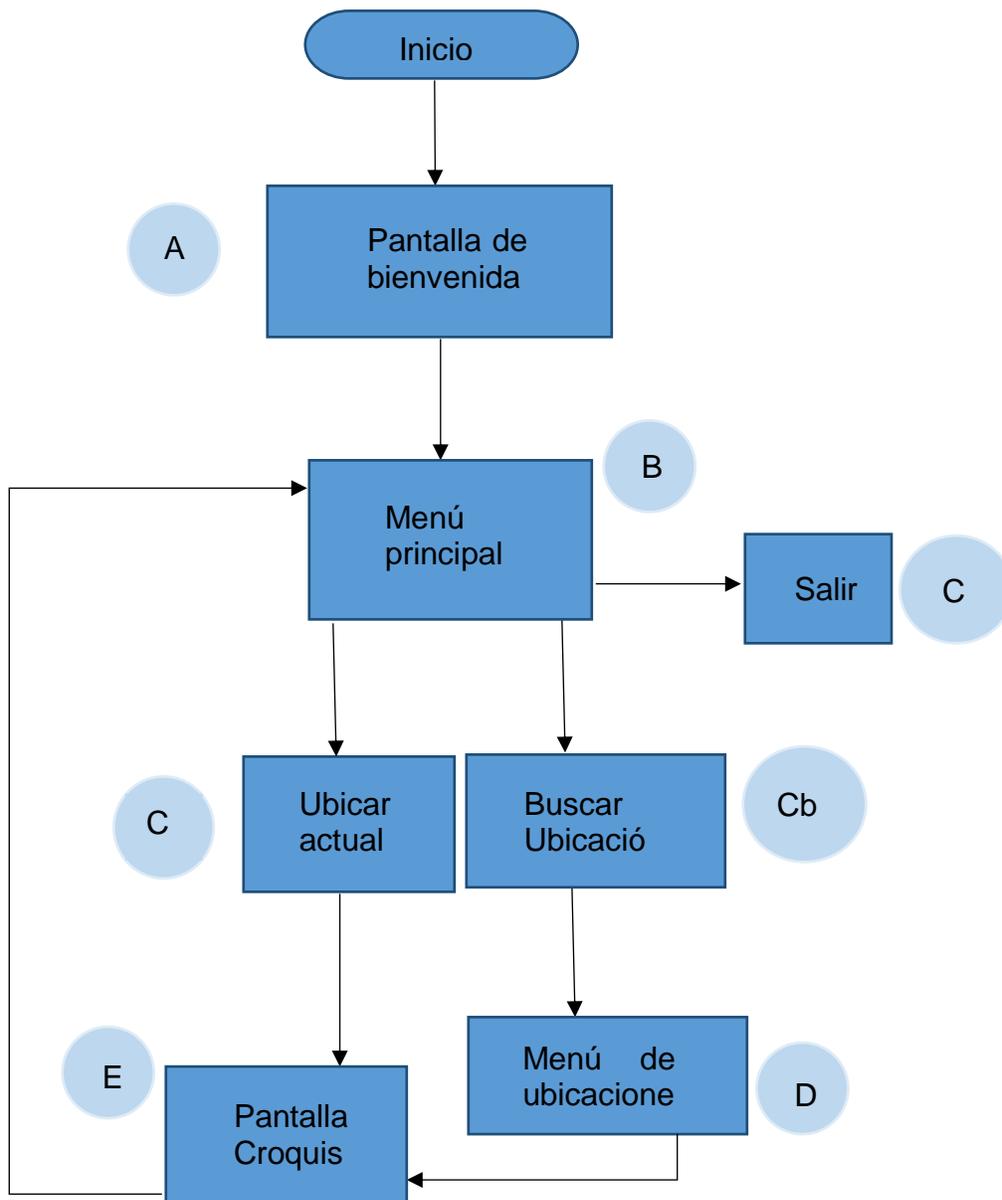


Imagen 8. Requisitos funcionales. Fuente: Propia.

- A. Mediante una animación se da la bienvenida al usuario a la aplicación.
- B. En el menú principal se muestran tres opciones de manipulación de la aplicación, ubicar actual **Ca**, buscar ubicación **Cb** y salir **Cc**.
- C.
 - a. Se aplica el algoritmo de ubicación a una lectura del espectro electromagnético en la banda de 2.4 GHz para determinar la ubicación del dispositivo en el edificio.
 - b. Se envía a la pantalla de selección de áreas que se encuentran en el edificio para ser seleccionadas.
 - c. Cierra la aplicación.
- D. Se muestra todas las áreas predefinidas dentro del edificio divididas las selecciones por piso, una vez seleccionada.
- E. Muestra en pantalla el plano del piso al que se hace referencia.

3.3 Metodología de desarrollo

En este apartado se desarrollará un marco de trabajo para estructurar, planificar y controlar el proceso de desarrollo de la aplicación. En la gran cantidad de métodos, cada metodología de desarrollo de software tiene su propio enfoque. En el caso particular del presente proyecto se realizará una producción basada en prototipos mediante la metodología ágil, la cual parece ser la más apropiada, esto debido a que de manera paralela al software se desarrolla un algoritmo que permita la navegación dentro del edificio, así como el tiempo que se tiene para realizar la aplicación, realizar las pruebas pertinentes.

Con base a lo anterior y lo que dicta el modelo de prototipos perteneciente al modelo evolutivo, cada prototipo deberá ser construido en poco tiempo, al igual que no deberá emplear muchos medios. Por su parte el desarrollo ágil conduce a la creación del primer prototipo, el cual debe ser construido en poco tiempo y sin utilizar pocos recursos. Si bien el diseño rápido conduce a la creación de prototipos centrados en representación de aspectos de software visibles para el usuario, pero en este caso particular se centrará en el desarrollo de prototipos basados en el algoritmo a usar, de igual manera se desarrollará el software de acuerdo a las necesidades de cada algoritmo a probar, cabe señalar que para efectos de dichas pruebas se realizarán en el sistema operativo GNU/LINUX Ubuntu, esto debido a las similitudes con la información que puede ser obtenida mediante la tarjeta de red tanto en este sistema operativo como en Android, además de ser para el que escribe una forma más fácil de desarrollarlo y probarlo, sin embargo, las demás características del modelo se mantendrán.

3.4 Contenido de cada prototipo

En el primer prototipo se explora un algoritmo basado en marcas de ubicación de puntos de acceso WiFi, al comparar las potencias emitidas y elegir la ubicación del punto de acceso con más potencia expresada en dBm.

El segundo prototipo explora un enfoque diferente, se toman muestras del comportamiento de la mancha magnética, para ser comparadas con una nueva a ubicar, la cual ingresará a un clasificador previamente definido a través de un estudio.

Posteriormente se someterán a evaluación ambos métodos para elegir el que será utilizado en la aplicación final, posteriormente se seguirá el modelo de desarrollo ágil de aplicaciones tal cual como se dicta en la literatura.

3.5 Diagrama flujo de datos

A continuación se muestra en la imagen 9 el diagrama de flujo de datos de la aplicación en su versión basado en el punto de acceso más cercano.

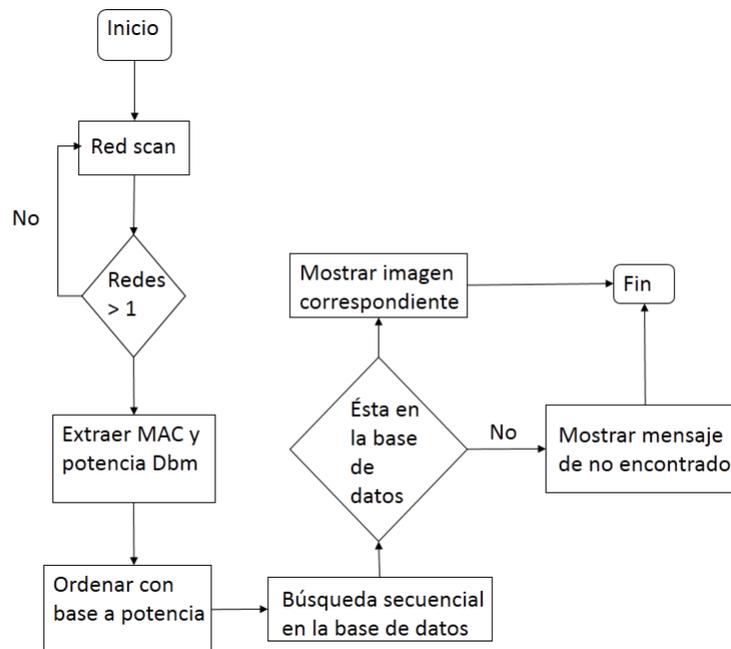


Imagen 9. Diagrama de flujo del algoritmo propuesto. Fuente: Propia.

El flujo de datos inicia con un escaneo del espectro electromagnético en busca de los puntos de acceso visibles por el dispositivo, por efectos notados durante la realización de pruebas se encontró que al ser este un proceso no vital para el

funcionamiento del sistema operativo en el que fue probado, este solo mostraba la red a la que se encontraba conectado, no obstante a esto, para lograr más eficiencia se propone que el número de redes a evaluar sea mayor a 1.

Una vez cumplido el requisito del número de redes observadas se procede a extraer la información necesaria para que funcione el algoritmo, para esos efectos se extrae la dirección MAC y la potencia del dispositivo emisor expresada en dBm. Ya terminado de extraer las características del espectro necesarias se procede a ordenar dichos datos con base a su potencia, de mayor a menor potencia.

Con los datos extraídos y ordenados se hace una consulta secuencial a la base de datos con el fin de saber si se está en dicha base, si se encuentra el punto de acceso registrado en la base de datos se procede a mostrar al usuario la imagen correspondiente a su ubicación, caso contrario se despliega un mensaje anunciando la imposibilidad de ubicarlo dentro del edificio.

Siguiendo lo establecido anteriormente en la imagen 10 a continuación se presenta el diagrama de flujo concerniente al segundo prototipo a ser evaluado basado en clasificadores, esto con la finalidad de incrementar la precisión sin necesidad de aumentar en cantidad los puntos de acceso usados como referencia para la navegación en el edificio y así disminuir costos en el proyecto.

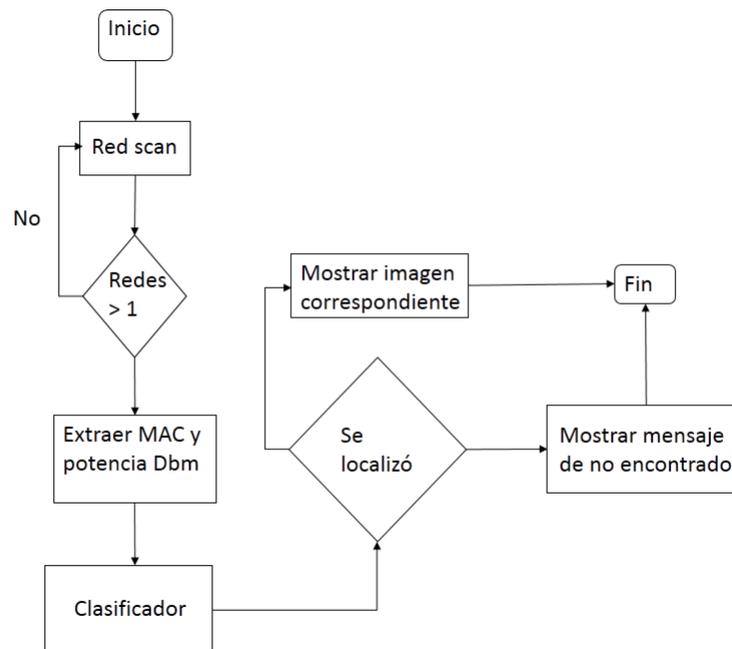


Imagen 10. Diagrama de flujo del algoritmo propuesto. Fuente: Propia.

Al igual que en el prototipo anterior se realiza la toma de una muestra de la mancha magnética producida por las redes circundantes.

De igual forma se extraen los datos de dirección MAC y potencia expresada en dBm.

La siguiente etapa es pasar los datos extraídos a través de un clasificador, esto con el fin de determinar a cuál de las áreas correspondería la toma realizada, si se encuentra el punto de acceso registrado en la base de datos se procede a mostrar al usuario la imagen correspondiente a su ubicación, caso contrario se muestra un mensaje anunciando la imposibilidad de ubicarlo dentro del edificio.

Como anotación cabe señalar que desde la toma se filtran las redes, registrando únicamente a las direcciones MAC con el nombre de red "Red UAGro", esto debido a que los equipos de red que deberían ser más inmutables en cuanto a cambio de ubicación y/o funcionamiento, garantizando así cierta estabilidad en cuanto a elementos ajenos a la aplicación, pero que a su vez representan la principal entrada de datos a dicha aplicación.

3.6 Base de datos

Por la naturaleza propia de la aplicación se requerirá de una base de datos, tanto para los prototipos como para las versiones en sistema operativo Android, la base de datos se encargará de almacenar la información relevante del edificio así como la relevante para el funcionamiento de los algoritmos de navegación.

El diseño preliminar de la base de datos en nivel de áreas ubicadas en el edificio se muestra en la imagen 11, cabe señalar que es la base para los dos prototipos, pues con estas tablas se almacena la básica información concerniente a las áreas que componen el edificio.

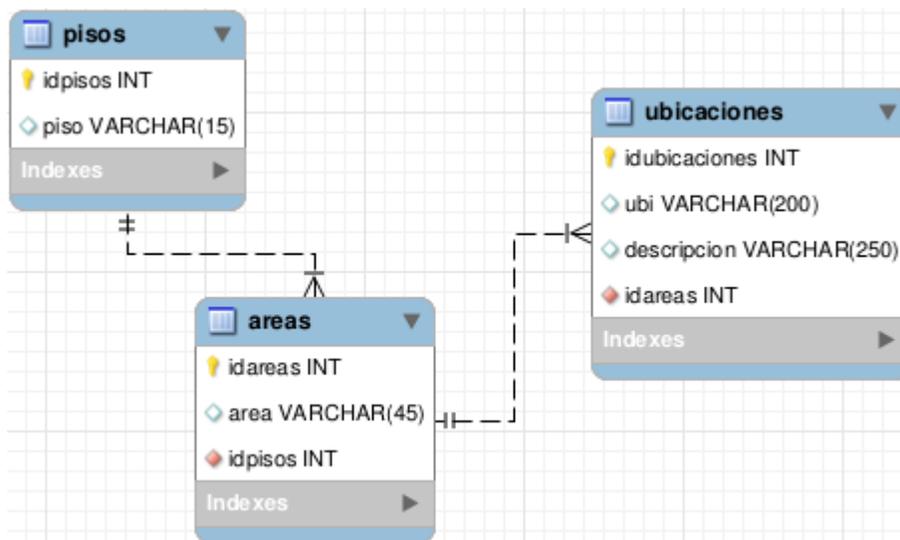


Imagen 11. Diagrama entidad relación de pisos, áreas y ubicaciones. Fuente: Propia.

De las tablas mostradas anteriormente, la primera almacena el piso, los cuales serán Planta Baja, Primer, Segundo, Tercer, Cuarto Piso, estos son los datos más inmutables de la base de datos, pero servirán como guía y base para las demás tablas; la tabla áreas hace referencia a los espacios físicos dentro de cada piso diferenciados entre sí para un mayor entendimiento para el usuario de la aplicación; por último se encuentra la tabla ubicaciones en la cual se almacenará el nombre de oficinas, laboratorios y demás así como una descripción concerniente a la misma.

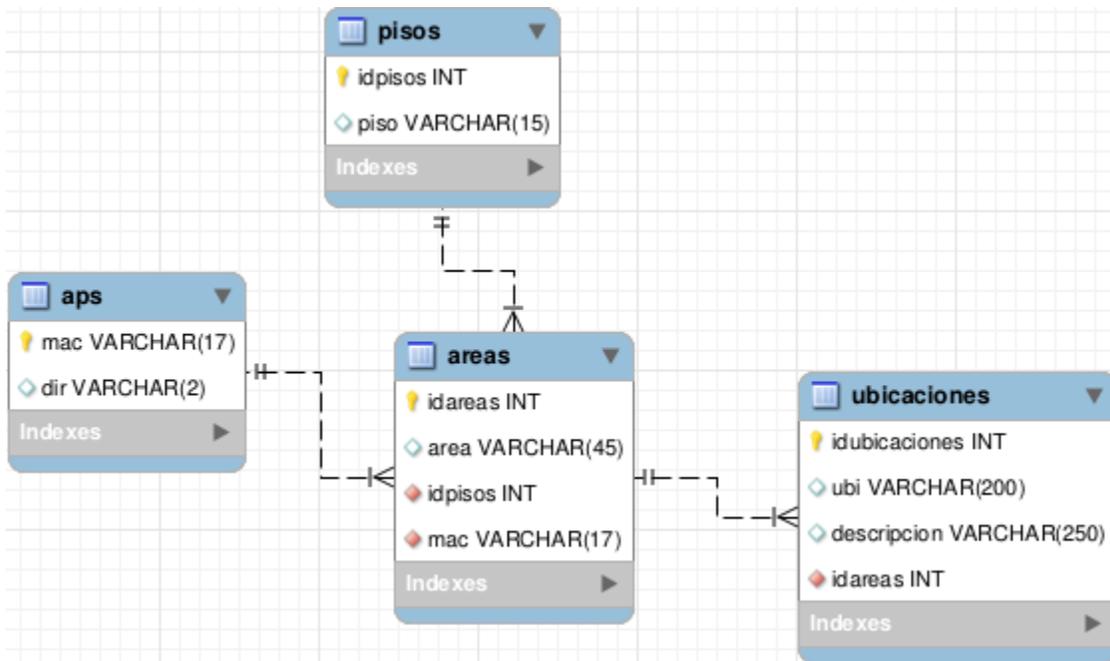


Imagen 12. Diagrama entidad relación de la primera propuesta de solución. Fuente: Propia.

El diseño anterior (imagen 12) corresponde al primer prototipo basado en puntos de acceso usados como puntos de referencia, como se puede apreciar a simple vista solo se agrega una tabla para la ubicación correspondiente a los puntos de acceso respecto a cada área, cabe destacar que esta propuesta de solución maximiza su precisión al agregar más puntos de acceso, pero en consecuencia aumenta el costo de la infraestructura de red, aunque es necesario aclarar que este incremento no se ve reflejado en la misma proporción en el desarrollo de la aplicación, pues en la parte del software solo habría que agregar más puntos de acceso en la tabla aps.

Para el segundo prototipo se desarrolló una aplicación para obtener muestras de la mancha magnética con el objetivo de servir como alimentación a un algoritmo clasificador, con el fin de aprovechar la infraestructura de red existente.

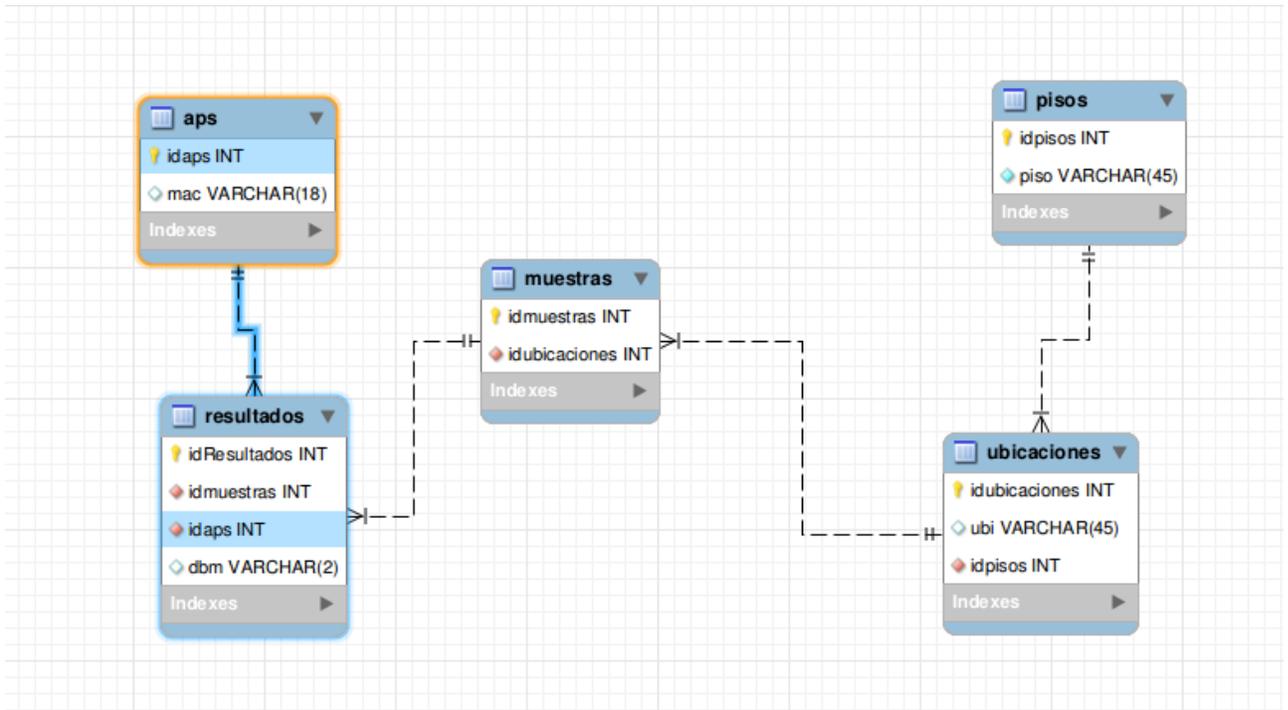


Imagen 13. Diagrama entidad relación del prototipo basado en vector de características. Fuente: Propia.

En el esquema anterior (ver imagen 13) se muestran las tablas pertenecientes a la base de datos para la aplicación desarrollada para realizar el muestreo de mancha magnética en las diferentes ubicaciones previamente seleccionadas; tanto la descripción de esta base de datos, el programa desarrollado para realizar el muestreo así como las ubicaciones seleccionadas serán descritas en el capítulo quinto del presente trabajo de la presente tesis, sin embargo cabe señalar esta base de datos tiene un doble propósito, el primero es el descrito anteriormente y el segundo es el de constatar el número de puntos de acceso con los utilizados en el primer prototipo, debido a posibles errores humanos en el momento de la ubicación y posterior vaciado en la base de datos.

3.7 Diagrama de clases

A continuación en la imagen 14 se muestra el diagrama de clases empleado en el primer prototipo desarrollado en Java en sistema operativo GNU/Linux Ubuntu.

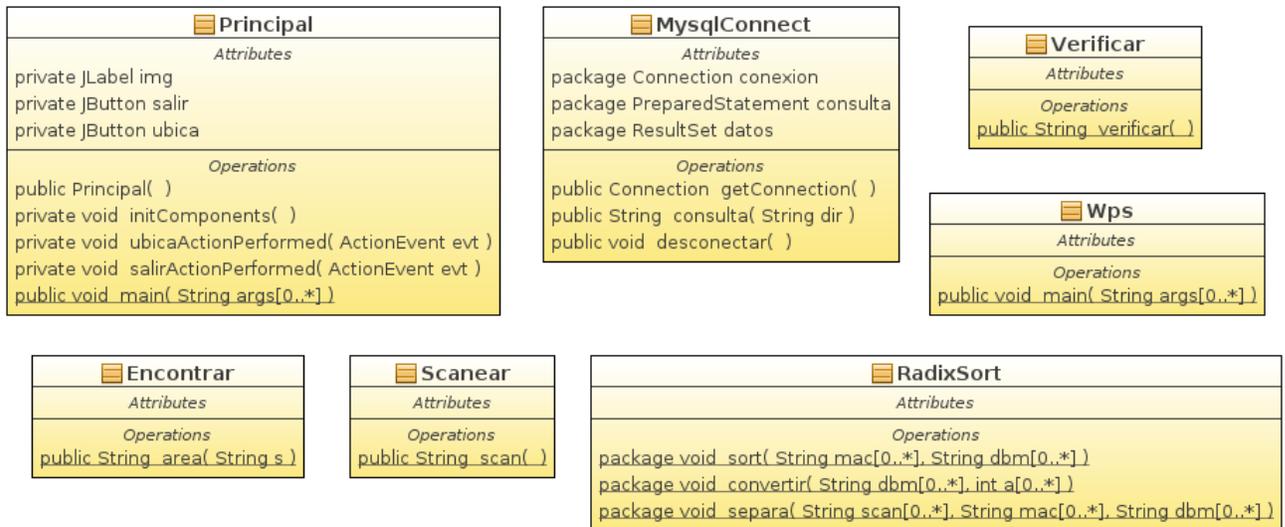


Imagen 14. Diagrama de clases. Fuente: Propia.

Los detalles de la aplicación prototipo se describirán en el capítulo quinto del presente trabajo de investigación, sin embargo, vale la pena hacer notar que esta aplicación se desarrolló con el fin de probar el algoritmo.

3.8 Casos de uso

En la presente sección se muestran en la imagen 15 los casos de uso identificados para la aplicación, estos casos de uso son indistintos del algoritmo que se decida utilizar, como primer caso de uso se presenta el caso general.

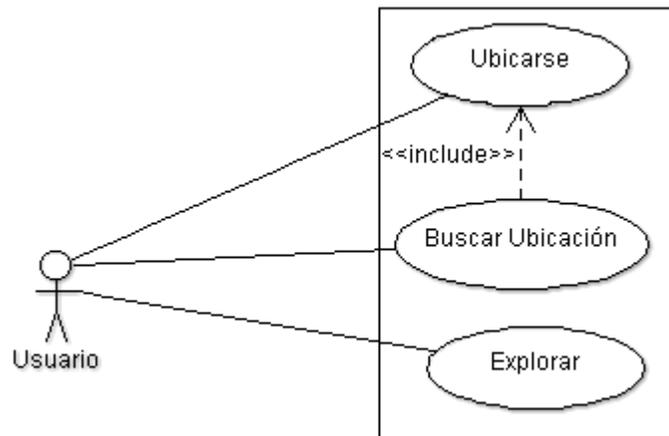


Imagen 15. Diagrama de casos de uso general. Fuente: Propia.

En el diagrama de casos de uso general (ver imagen 15) se presentan los tres casos de uso generales que compondrán la aplicación, los cuales son:

Ubicarse: este caso de uso es el principal componente y atractivo de la aplicación, el cual permitirá al usuario conocer su ubicación en el edificio, esto gracias al algoritmo basado en la ubicación de puntos de acceso WiFi.

Buscar ubicación: de la información contenida en la aplicación el usuario podrá buscar una ubicación en específico, ya sea una oficina, laboratorio u otro dentro del edificio, a su vez se realiza una ubicación para determinar la posición del usuario a nivel de piso respecto al área en la que se encuentra la ubicación que desea localizar.

Explorar: en este caso de uso se permite al usuario conocer el edificio a través de consultas a la base de datos sin necesidad de realizar una ubicación dentro del edificio, permitiendo así familiarizarse con el edificio sin necesidad de encontrarse dentro de éste.

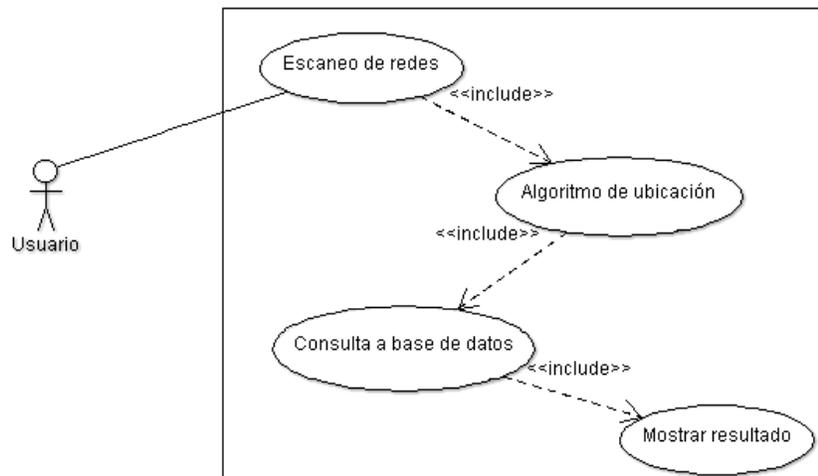


Imagen 16. Diagrama de casos de uso Ubicarse. Fuente: Propia.

En el anterior diagrama (imagen 16) se describe el funcionamiento del caso de uso principal Ubicarse, para el cual se requiere de una serie de procesos descritos como casos de uso que son:

Escaneo de redes: en este caso de uso se realiza un escaneo de las redes WiFi cercanas que la tarjeta de red del dispositivo puede identificar.

Algoritmo de ubicación: con la información obtenida del caso de uso anterior se procede a aplicar el algoritmo que permita determinar en qué parte del edificio se encuentra el usuario.

Consulta a la base de datos: una vez determinada la posición del usuario se realiza una consulta a la base de datos para extraer de ésta la información relacionada a dicha posición.

Mostrar resultado: con la información obtenida del caso de uso anterior se muestra en pantalla dicha información al usuario.

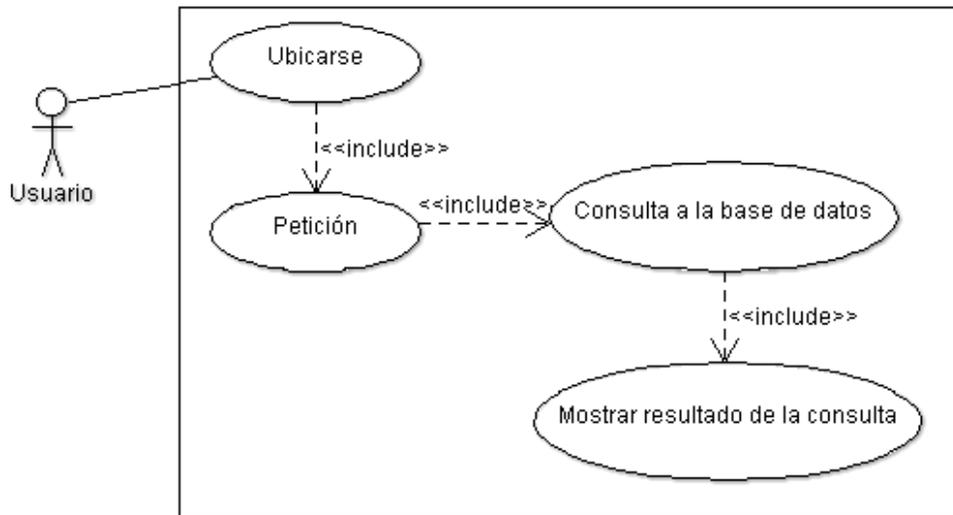


Imagen 17. Diagrama casos de uso buscar ubicación. Fuente: Propia.

El diagrama de casos de uso anterior corresponde a la descripción del caso de uso principal Buscar ubicación (imagen 17) el cual se encuentra compuesto por los casos de uso:

Ubicarse: corresponde a el coso de uso principal del mismo nombre solo que la información obtenida no es mostrada directamente al usuario sino que será utilizada por los casos de uso que le continúan.

Petición: en este caso de uso se discierne que información será requerida para ser mostrada, es necesario de este caso de uso para determinar no solo que información es requerida sino que además si es necesario hacer una consulta a la base de datos.

Consulta a la base de datos: una vez determinada la posición del usuario, así como la ubicación que desea conocer se realiza una consulta a la base de datos para extraer de ésta la información relacionada a dicha posición.

Mostrar resultado: con la información obtenida del caso de uso anterior se muestra en pantalla dicha información al usuario.

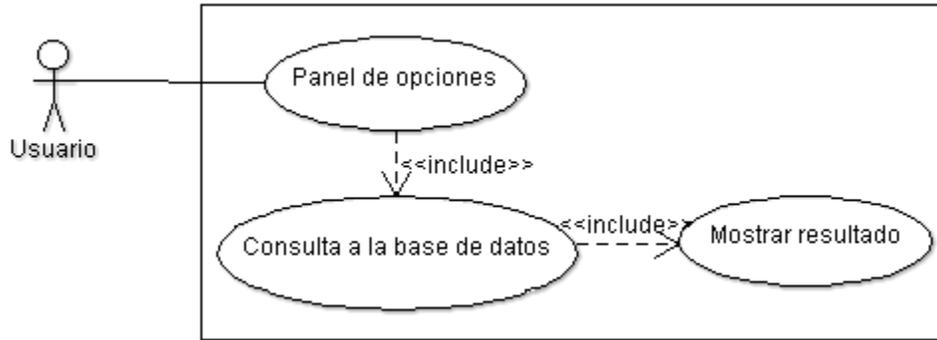


Imagen 18. Diagrama casos de uso explorar. Fuente: Propia.

En la imagen 18 correspondiente al diagrama de casos de uso se describe el funcionamiento del caso principal explorar, este caso de uso describe solo una interacción entre el usuario y la base de datos a través de la aplicación, esto mediante los siguientes casos de uso:

Panel de opciones: este caso de uso describe una interacción entre el usuario y la aplicación.

Consulta a la base de datos: como su nombre lo indica realiza una consulta a la base de datos para obtener la información acerca del área seleccionada.

Mostrar resultado: con la información obtenida del caso de uso anterior se muestra en pantalla dicha información al usuario.

3.9 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.

Título del trabajo de tesis: “Desarrollo de un sistema de ubicación en edificios, basado en localización de puntos de acceso WiFi”

NÚM. DE META	DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES PARA CADA META	2016					2017										2018								
		5 MESES					1 AÑO										7 MESES								
		AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL
1.	Definir tema de investigación																								
2.	Análisis del estado del arte																								
3.	Redacción de la tesis																								
4.	Estudio de algoritmos, técnicas y modelos físico-matemáticos afines al tema de investigación.																								
5.	Selección de algoritmos, técnicas y modelos.																								
6.	Diseño y desarrollo de software																								
7.	Prueba de software en ambiente real																								
8.	Optimización de código																								
9.	Realizar estancia																								
10.	Presentación de resultados preliminares en congresos																								
11.	Elaboración de artículos																								
12.	Diseño de soporte para dispositivo móvil																								

CAPÍTULO IV. EXPERIMENTACIÓN Y PRUEBAS.

Con el fin de resolver la problemática que presenta el desarrollo de un sistema de ubicación empleando la mancha magnética generada por los Access Points WiFi, localizados dentro de edificios, se necesitó probar diferentes aproximaciones a modo de propuestas de algoritmo de solución debido a que esta problemática es del tipo no trivial y teniendo como objetivo el elegir un método de localización que se ajuste a las necesidades que presenta el proyecto de investigación; en este capítulo se muestran las alternativas consideradas así como los resultados obtenidos en estas.

4.1 Cálculo de posición por trilateración

Para el siguiente apartado se hace uso del indicador de fuerza de señal recibida (RSSI) de puntos de acceso WiFi (AP) (Seybold, 2005) implementados en un modelo físico para como primer paso conocer la distancia entre el dispositivo a localizar respecto a cada uno de los AP previamente localizados en puntos del plano, una vez conocidas estas distancias se aplica el método matemático conocido como trilateración para finalmente ubicar el dispositivo como un punto con un valor en coordenadas cartesianas. Para realizar las pruebas de la metodología propuesta se ocupó un software programado en Java para la obtención de los datos así como el procesamiento de estos, dicho software fue diseñado para ser ejecutado en un sistema operativo Linux que ofrece ventajas para el propósito de captación de datos de las redes WiFi circundantes. El presente apartado está organizado de la siguiente forma: en el apartado 4.1.1 se presenta el modelo simplificado de atenuación WiFi, en el apartado 4.1.2 se presentan la propuesta de aplicación, la metodología de la prueba realizada así como el resultado de la prueba realizada.

4.1.1 Modelo simplificado de atenuación

Para llevar a cabo este estudio se ocupó como base física el efecto de atenuación electromagnética para el cual se hizo una reinterpretación del modelo propuesto por Rappaport (Rappaport, 1996), haciendo así un modelo simplificado que se presenta a continuación.

$$L_d = L_f + 10n \log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right)$$

Ecuación 5. Modelo simplificado.

De la ecuación anterior se entiende por:

L_d : Potencia obtenida en la distancia 1 expresada en dBm.

L_f : Potencia obtenida en la distancia 0 expresada en dBm.

d_0 : Distancia 0 respecto al emisor.

d : Distancia 1 respecto al emisor.

n : Factor de atenuación.

Con base al modelo anterior se puede deducir una formulación matemática para obtener el factor de atenuación siendo la siguiente:

$$n = \frac{Ld - Lf}{10 \log_{10}(d/d0)} \quad \text{Ecuación 6. Atenuación.}$$

Esto puede ser comprobado con un simple modelo teórico experimental, en la imagen 19 se presenta un escenario de un caso de propagación de ondas de red WiFi.

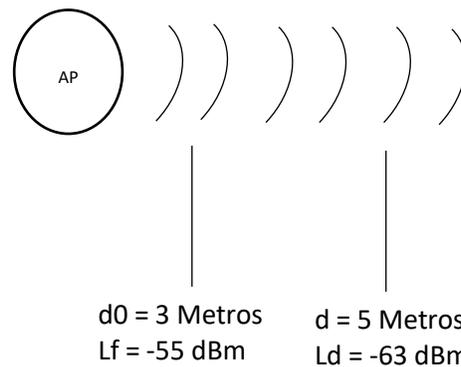


Imagen 19. Modelo teórico experimental de atenuación de onda. Fuente: Propia.

Aplicando la formulación para el cálculo de atenuación descrita anteriormente se obtiene un valor para n igual a -3.606060442 , con el cual se describiría el comportamiento que presentaría la potencia de la señal del AP respecto a la distancia en el escenario teórico propuesto.

De la misma manera que se puede deducir la formulación de la atenuación en la distancia, es posible deducir una formulación para conocer el valor de d , la cual sería la siguiente propuesta:

$$d = 10^{\frac{Ld - Lf}{10n} + \log_{10}(d0)} \quad \text{Ecuación 7. Distancia.}$$

Si se realizan las operaciones descritas en la fórmula anterior con los valores propuestos en el modelo teórico se comprobaría el valor de 5 metros para d , para dar utilidad a los propósitos de la presente demostración se propone un valor nuevo para L_d , manteniendo los valores de d_0 , L_f y n iguales y siendo desconocida como se presenta en la imagen 20.

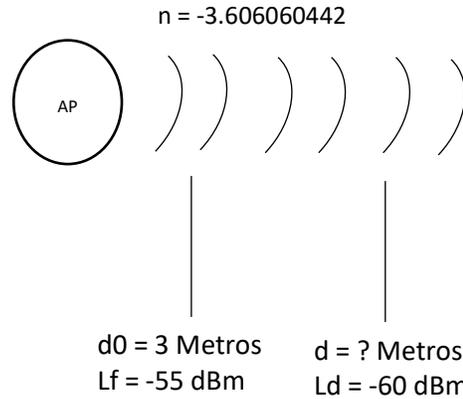


Imagen 20. Modelo teórico experimental con la atenuación de onda calculada. Fuente: Propia.

Al sustituir en la formulación para el cálculo de d se obtiene un valor de 4.13 metros, o al sustituir diversos valores en L_d se obtienen valores correspondientes en d para cada potencia como se muestra en la tabla 4.1.

Tabla 1 Relación dBm distancia.

-60 dBm	4.13 metros
-70 dBm	7.82 metros
-55 dBm	3 metros
-30 dBm	0.61 metros

Así pues, es posible concluir que, con conocer el valor de n , d_0 y L_f es posible calcular la distancia de un dispositivo con el valor de potencia que alcance a medir respecto a un AP en específico y asignándolo a L_d empleando el modelo simplificado de atenuación WiFi propuesto.

Una vez calculadas las distancias surge el problema de como ubicar el dispositivo en un punto del plano, debido a que con la sola distancia respecto al AP se tienen infinitos puntos de solución en el plano dentro del perímetro alrededor del AP y con el radio igual a la distancia calculada, para solucionar esto se optó por usar el método matemático conocido como trilateración, el cual permite conocer la ubicación de un punto en el plano con solo conocer la distancia a la que se encuentra respecto a tres puntos previamente ubicados en el plano, aunque cabe señalar que este método necesita que las distancias den una solución única, por lo que es importante calcular las distancias de manera que esta condición se cumpla.

4.1.2 Propuesta de aplicación

Para poner a prueba lo planteado en el apartado anterior se propone una prueba en la cual se hace uso de tres AP de la misma marca y modelo con el propósito de

generar señal WiFi, los tres son distribuidos en el plano como se muestra en la Tabla 4.2 a continuación:

Tabla 2 Propuesta de distribución.

Access Point	X, Y	Dirección MAC
AP0	0, 0	60:E3:27:92:10:D4
AP1	0, 5.68	60:E3:27:91:E8:36
AP2	3.66, 2.25	60:E3:27:92:13:86

El dispositivo a ubicar se mantiene estático en el plano, esto con el objetivo de poder corroborar la posición calculada respecto a la posición real del dispositivo, el dispositivo a ubicar es una laptop posicionada en las coordenadas 1.35 en el eje X y 4.36 en el eje Y, la unidad de medida usada son metros y la distribución puede apreciarse en la Imagen 21:

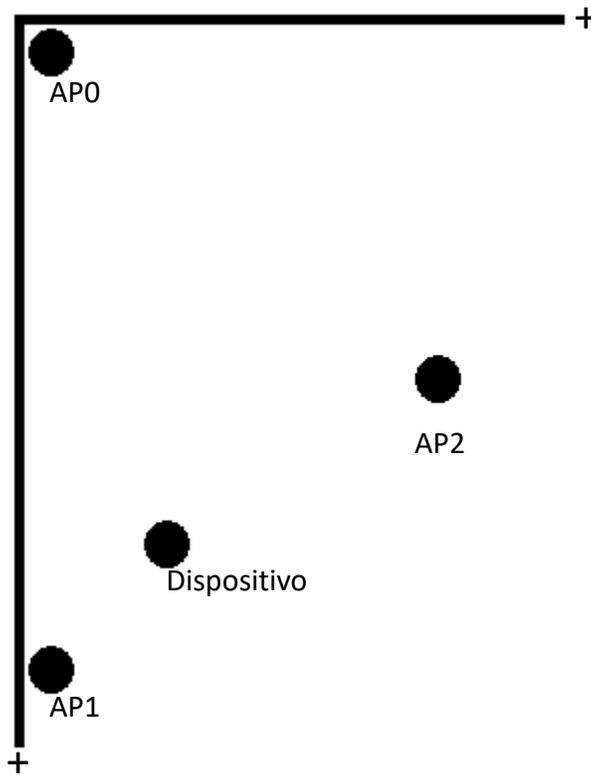


Imagen 21. Vista grafica de la distribución de los dispositivos. Fuente: Propia.

Con esta distribución de AP se intenta localizar el dispositivo por medio de cálculos basados en el modelo simplificado propuesto en el apartado anterior, para ello se ocupan las posiciones de los AP para el modelo de trilateración como los puntos conocidos del plano, para efectos de d_0 y L_f se proponen valores ideales estáticos siendo estos 1 metro para d_0 y -33 dBm para L_f , para hacer el cálculo de la variable n se ocupa el valor obtenido del escaneo de las redes WiFi para el AP1 para ser el valor de L_d y el valor de d es la distancia en entre el AP1 y el

dispositivo, su valor sería de 1.88 metros, una vez conocido el valor de n para el AP1 se sustituye para todos los AP dicho valor de n para calcular la distancia a cada uno de estos, finalmente las distancias son ocupadas para ser ubicado el punto con trilateración y el dispositivo es ubicado, como se muestra de manera general en la imagen 22.

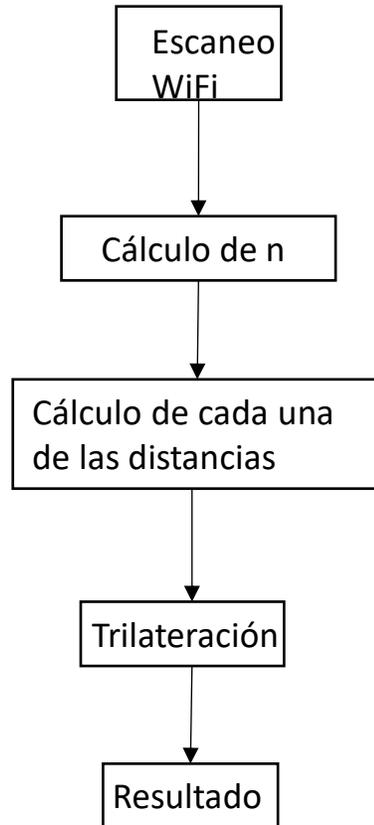


Imagen 22. Diagrama de bloques del proceso. Fuente: Propia.

Para la captación de datos procedentes de los AP así como el cálculo de todos los factores involucrados se desarrolló un software para tal propósito programado en el lenguaje Java, se eligió ese lenguaje sin una razón particular, bien pueden ser efectuados en cualquier otro lenguaje de programación, lo que sí es importante señalar es que se eligió un sistema operativo Linux, esto debido a que es posible obtener los datos de las señales WiFi de manera sencilla en este sistema operativo con el comando `iwlist <interface> scanning`, el cual permite ver las direcciones MAC de los AP cercanos y su potencia expresada en dBm, en sistemas como Windows no es posible obtener de manera directa el valor de la potencia expresado en dBm ya que a la potencia la expresa en términos de calidad expresados por un porcentaje y para pasar de calidad de señal a dBm hace falta saber cómo el sistema operativo determina cual es la calidad, además de efectuar operaciones extra.

Así pues para obtener los datos de las redes se programó una instancia de la clase `Process` con el comando `iwlist` para obtener la información necesaria de las

redes, una vez ejecutado el comando se filtra para obtener un arreglo con únicamente las MAC y las dBm correspondientes, se busca la MAC correspondiente a AP1 para calcular n , después se envía a otra función el arreglo con el valor de n , comparando las MAC con una base de datos se determina si la MAC corresponde a un punto conocido, de ser así, se calcula la distancia correspondiente, al final se envían las tres distancias así como a que punto corresponden a una función que ejecuta el algoritmo de trilateración para al final entregar un resultado en pantalla.

Se realizaron 44 pruebas de este método y los resultados expresados en metros se muestran a continuación en la Tabla 4.3.

Tabla 3 Resultados de la prueba.

Valores reales	X	Y		
	1.35	4.36		
Test	X	Y	Error X	Error Y
1	0.82	3.86	0.53	0.5
2	1.35	4.22	0	0.14
3	0.82	3.86	0.53	0.5
4	0.38	4.06	0.97	0.3
5	0.32	0	1.03	4.36
6	0.38	4.06	0.97	0.3
7	0.33	4.01	1.02	0.35
8	1.35	4.22	0	0.14
9	0.33	4.01	1.02	0.35
10	0.33	4.01	1.02	0.35
11	0	4.15	1.35	0.21
12	1.87	4.02	0.52	0.34
13	0.28	4.11	1.07	0.25
14	0.18	4.15	1.17	0.21
15	0	3.86	1.35	0.5
16	0	0	1.35	4.36
17	0	4.06	1.35	0.3
18	0	3.86	1.35	0.5
19	0.22	3.92	1.13	0.44
20	0	0	1.35	4.36
21	0.82	3.86	0.53	0.5
22	0.22	3.92	1.13	0.44
23	1.71	4.67	0.36	0.31
24	1.35	4.22	0	0.14
25	0.79	4.09	0.56	0.27
26	0	4.09	1.35	0.27

27	0	6.33	1.35	1.97
28	1.23	4.41	0.12	0.05
29	1.23	4.41	0.12	0.05
30	1.54	4.8	0.19	0.44
31	1.72	5.26	0.37	0.9
32	1.64	4.16	0.29	0.2
33	1.93	6.81	0.58	2.45
34	2.78	4.17	1.43	0.19
35	3.08	6.37	1.73	2.01
36	1.97	4.61	0.62	0.25
37	1.29	7.84	0.06	3.48
38	1.23	4.41	0.12	0.05
39	0.16	3.73	1.19	0.63
40	0	3.54	1.35	0.82
41	1.72	5.27	0.37	0.91
42	0.23	3.58	1.12	0.78
43	0	3.26	1.35	1.1
44	0.16	3.67	1.19	0.69

Las pruebas se realizaron durante cuatro días, el primer día se realizaron 24, el siguiente 7, al tercer día 6 y el último se realizaron 7 pruebas, la razón por que se realizaron tan pocas pruebas fue la limitación del sistema operativo, al no ser un proceso necesario la mayoría del tiempo el comando *iwlist* solo regresaba la red a la que estaba conectado se necesitaba de tiempo para que se obtuviera un resultado completo de las redes WiFi.

4.2 Cálculo de distancia por atenuación de onda mediante dispositivos auxiliares

Con el fin de mejorar la precisión del método de localización por trilateración expuesto anteriormente se tomó la decisión de usar dispositivos extra para ayudar a esta tarea, el dispositivo auxiliar elegido para dicho propósito fue el *esp8266*, un microcontrolador con capacidades de uso de la tecnología WiFi.

4.2.1 Metodología

La intención fue ocupar el dispositivo *esp8266* como monitor de espectro electromagnético en la banda de 2.4 GHz para que capture información respecto a las condiciones de las redes WiFi cercanas ver Imagen 23, la información que captura es las direcciones MAC de los AP cercanos así como el valor absoluto de la potencia emitida por estos además de poner un encabezado con el área, a la que pertenece así como el número de dispositivo de esa área ver Imagen 24; dado que se conoce la ubicación de estos dispositivos así como la de los AP parece posible ocupar esta información en el modelo propuesto de atenuación de onda

para calcular la distancia de un dispositivo a un AP específico del cual se conoce su ubicación en el plano.

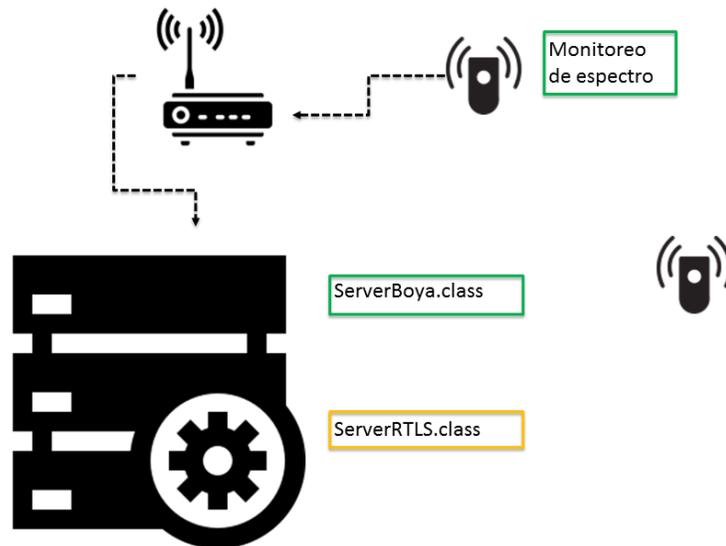


Imagen 23. Esquema general de la propuesta. Fuente: Propia.

```

Salida - Ps (run) x
area uno, 2, 04:18:D6:A9:38:04, 77, 60:E3:27:92:10:D4, 43, 04:18:D6:A5:21:B5, 61, 04:18:D6:A9:39:8F, 88, 04:18:D6:A5:1C:95, 84, 04:18:D6:A5:1D:1D, 84,
conexion establecida
area uno, 1, 60:E3:27:92:10:D4, 16, 04:18:D6:A9:38:04, 75, E8:40:F2:E4:25:59, 91, CC:AF:78:02:DF:AD, 66, 04:18:D6:A5:1C:95, 84, 04:18:D6:A5:1D:1D, 84,
conexion establecida
area uno, 2, 60:E3:27:92:10:D4, 44, 04:18:D6:A9:38:04, 74, 04:18:D6:A5:21:B5, 61, 04:18:D6:A9:39:8F, 88, 04:18:D6:A5:1C:95, 85, 04:18:D6:A5:1D:1D, 88,
conexion establecida
area uno, 1, 60:E3:27:92:10:D4, 17, 04:18:D6:A9:38:04, 75, E8:40:F2:E4:25:59, 93, CC:AF:78:02:DF:AD, 67, 04:18:D6:A5:21:B5, 77, 04:18:D6:A5:1D:1D, 85,
conexion establecida
area uno, 2, 60:E3:27:92:10:D4, 44, 04:18:D6:A9:38:04, 79, CC:AF:78:02:DF:AD, 64, 04:18:D6:A5:21:B5, 60, 04:18:D6:A9:38:08, 83,
conexion establecida
area uno, 1, 60:E3:27:92:10:D4, 17, 04:18:D6:A9:38:04, 78, CC:AF:78:02:DF:AD, 64, 90:00:4E:0B:10:0A, 91, 04:18:D6:A5:1C:95, 84, E8:40:F2:E4:25:59, 95, 04:18:D6:A5:1D:1D, 83,
conexion establecida
area uno, 2, 60:E3:27:92:10:D4, 41, 04:18:D6:A9:38:04, 72, 04:18:D6:A5:1C:95, 84, 04:18:D6:A5:21:B5, 59, 04:18:D6:A5:1D:1D, 79,
conexion establecida
area uno, 1, 60:E3:27:92:10:D4, 16, 04:18:D6:A9:38:04, 72, EC:4D:47:C6:28:4C, 85, 04:18:D6:A5:1C:95, 86, CC:AF:78:02:DF:AD, 66, 04:18:D6:A5:21:B5, 70, 04:18:D6:A5:1D:1D, 79,
conexion establecida
area uno, 2, 60:E3:27:92:10:D4, 51, 04:18:D6:A9:38:04, 80, E8:40:F2:E4:25:59, 91, 04:18:D6:A5:21:B5, 66, CC:AF:78:02:DF:AD, 61, 04:18:D6:A9:38:08, 87,
conexion establecida
area uno, 1, 60:E3:27:92:10:D4, 17, 04:18:D6:A9:38:04, 76, E8:40:F2:E4:25:59, 92, CC:AF:78:02:DF:AD, 64, 04:18:D6:A5:21:B5, 80, 04:18:D6:A5:1D:1D, 82,
conexion establecida
area uno, 2, 04:18:D6:A9:38:04, 69, 60:E3:27:92:10:D4, 43, 04:18:D6:A5:21:B5, 63, CC:AF:78:02:DF:AD, 64, 04:18:D6:A9:39:8F, 91, 04:18:D6:A5:1C:95, 87, 04:18:D6:A9:38:08, 87,
conexion establecida
area uno, 1, 04:18:D6:A9:38:04, 77, 60:E3:27:92:10:D4, 17, CC:AF:78:02:DF:AD, 66, 04:18:D6:A5:21:B5, 71, E8:40:F2:E4:25:59, 94, 04:18:D6:A5:1D:1D, 82,
conexion establecida
area uno, 2, 04:18:D6:A9:38:04, 71, 60:E3:27:92:10:D4, 41, CC:AF:78:02:DF:AD, 65, 04:18:D6:A9:39:8F, 89, 04:18:D6:A5:21:B5, 62, 04:18:D6:A9:38:08, 87, 04:18:D6:A5:1D:1D, 86,
conexion establecida
area uno, 1, 04:18:D6:A9:38:04, 74, 60:E3:27:92:10:D4, 16, 04:18:D6:A5:21:B5, 68, 04:18:D6:A5:1C:95, 89, CC:AF:78:02:DF:AD, 69, 04:18:D6:A5:1D:1D, 80, E8:40:F2:E4:25:59, 95,
conexion establecida
area uno, 2, 60:E3:27:92:10:D4, 42, 04:18:D6:A9:38:04, 74, EC:4D:47:C6:28:4C, 87, CC:AF:78:02:DF:AD, 66, 04:18:D6:A5:21:B5, 66, 04:18:D6:A5:1D:1D, 83, 04:18:D6:A9:38:08, 87,
conexion establecida
area uno, 1, 60:E3:27:92:10:D4, 17, E8:40:F2:E4:25:59, 95, 04:18:D6:A9:38:04, 73, 04:18:D6:A5:21:B5, 69, 04:18:D6:A5:1C:95, 88, CC:AF:78:02:DF:AD, 69, 04:18:D6:A5:1D:1D, 83,
conexion establecida
area uno, 2, 60:E3:27:92:10:D4, 51, 04:18:D6:A9:38:04, 75, 04:18:D6:A5:21:B5, 68, CC:AF:78:02:DF:AD, 64, 04:18:D6:A9:38:08, 91,
conexion establecida
area uno, 1, 60:E3:27:92:10:D4, 16, 04:18:D6:A9:38:04, 73, CC:AF:78:02:DF:AD, 70, 68:7F:74:69:99:EB, 92, 04:18:D6:A5:1D:1D, 84,

```

Imagen 24. Resultados entregados por los dispositivos. Fuente: Propia.

4.2.2 Prueba de la propuesta

Los *esp8266* fueron adaptados para conectarse a los toma corriente de la pared, esto usando un cargador de teléfono celular convencional y un reductor de voltaje para tener una salida con un voltaje de 3.3 volts y así poder ubicarlos en puntos fijos dentro del área en la que se realizó la prueba ver Imagen 25.

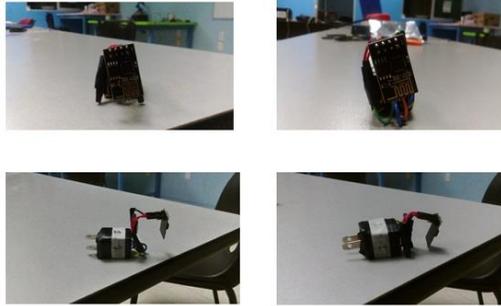


Imagen 25. esp8266 adaptados. Fuente: Propia.

Un primer esp8266 fue colocado a una distancia de 1.4 metros del AP, un segundo esp8266 fue colocado a 3.3 metros del AP como se muestra en la imagen 26.

Distribución



1.4 Metros



3.3 Metros

Imagen 26. Distribución de los esp8266. Fuente: Propia.

Finalmente un dispositivo móvil, en este caso una laptop fue colocada a una distancia de 3.83 metros del AP como se muestra en la Imagen 27, y se procedió a echar a andar el servidor *boya* y se tomaron 20 intentos de calcular la distancia.



3.83 Metros

Imagen 27. Ubicación del AP y del dispositivo móvil. Fuente: Propia.

4.2.3 Resultados

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 4.4, los valores mostrados están expresados en metros.

Tabla 4 Resultados de cálculo de distancia usando esp8266.

Valores obtenidos	Variación	Valor absoluto
15.45	11.62	11.62
2.7	-1.13	1.13
3.73	-0.1	0.1
1.89	-1.94	1.94
1.89	-1.94	1.94
1.89	-1.94	1.94
5.52	1.69	1.69
3.78	-0.05	0.05
4.55	0.72	0.72
6.47	2.64	2.64
6.19	2.36	2.36

3.99	0.16	0.16
3.61	-0.22	0.22
4.47	0.64	0.64
3.78	-0.05	0.05
4.8	0.97	0.97
1.19	-2.64	2.64
1.32	-2.51	2.51
4.39	0.56	0.56
4.39	0.56	0.56

De la Tabla 4.3 se estima una media aritmética de 4.3 metros lo que representa un error a la distancia real de 0.47 metros, si se elimina de las muestras el valor máximo y el valor mínimo obtenido se obtiene un promedio de 3.85 metros lo que a la distancia real representa un error de 0.02 metros.

4.2.4 Conclusiones

En conclusión si es posible aplicar este método para obtener resultados que deriven en una mayor precisión en cuanto al cálculo de distancias entre dispositivos móviles y AP lo cual permite una mejor localización; como puntos negativos se tiene el incremento en costos de implementación al necesitar colocar dispositivos extras con una tarea muy concreta y dedicada al monitoreo del espectro electromagnético, al igual que se necesita un servidor dedicado, de igual forma se incrementa el costo computacional al requerir de un mayor número de operaciones matemáticas, además de incrementar el costo indirecto de consumo eléctrico para el funcionamiento del sistema.

4.3 Basado en reconocimiento de patrones de señales cercanas

Con la intención de mejorar la precisión de la ubicación intramuros sin que esto impacte en los costos de implementación del sistema se exploró la posibilidad de hacer uso del reconocimiento de señales cercanas.

4.3.1 Metodología

El edificio fue dividido en secciones más representativas como áreas de cubículos, laboratorios salas de video conferencia, etcétera; de estos lugares se realizaron 100 escaneos del espectro electromagnético de cada uno de estos puntos elegidos en los diferentes pisos Imagen 28, los resultados fueron guardados en una base de datos para posteriormente ser convertidos a archivos en formato de la plataforma WEKA para ser analizados posteriormente ver Imagen 29.

Toma de muestras de mancha magnética

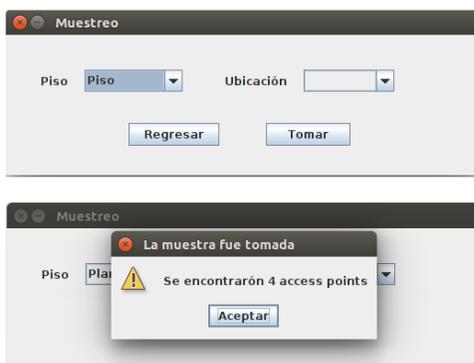


Imagen 28. Toma de muestras de mancha magnética. Fuente: Propia.

Toma de muestras a comparar

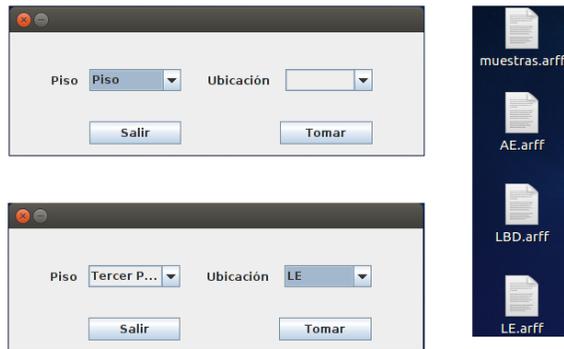


Imagen 29. Toma de muestras a comparar. Fuente: Propia.

4.3.2 Resultados

Los resultados de los clasificadores probados resultaron en una muy baja efectividad con una máxima de instancias correctamente clasificadas de 50% como se muestra en la imagen 30, esto debido a que el problema presenta una mayor complejidad a la supuesta al inicio de estas pruebas.

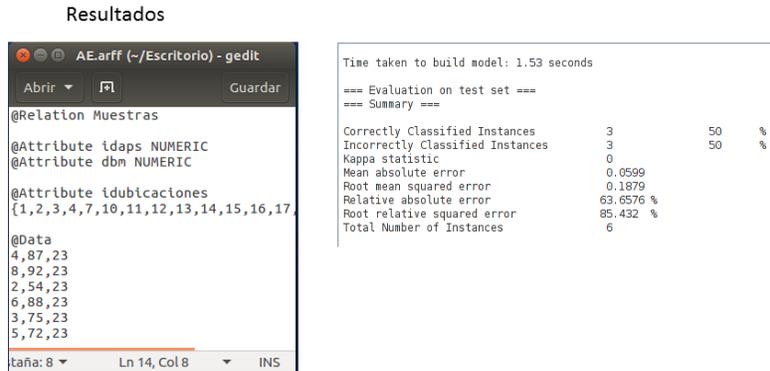


Imagen 30. Resultados de uso de clasificadores. Fuente: Propia.

4.4 Estimación de posición basada en proximidad

Con la finalidad de tener un método de localización que sea de bajo costo, fácil implementación y bajo costo computacional se exploró un acercamiento basado en proximidad de los AP.

4.4.1 Metodología

Existen diferentes técnicas empleadas para determinar la distancia entre un dispositivo y un AP, ejemplo de esto es la determinación de distancia por medio de la atenuación en la propagación de las ondas en el medio (Rappaport, 1996; Seybold, 2005), estas técnicas hacen uso de una considerable cantidad de recursos computacionales, por tal motivo no basada en distancia, sino en la cercanía del AP al dispositivo a ubicar.

Para realizar la propuesta de sistema se plantea como primer paso el ubicar de manera física cada AP, así como su dirección MAC (Group, 1999) para poder almacenarlo en una base de datos como se observa en la Imagen 31, para cada uno de los pisos que conforman la torre de ingeniería.

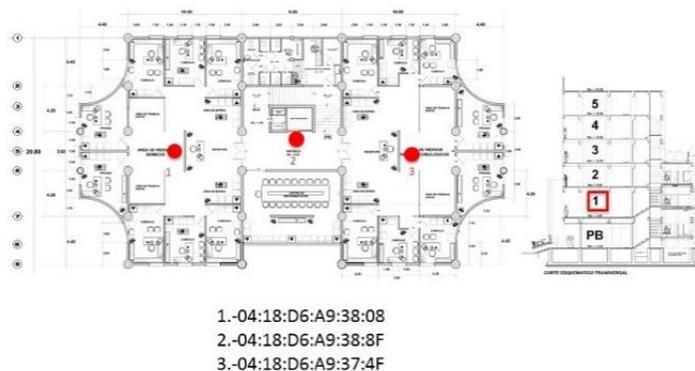


Imagen 31. Ubicación física de los APs. Fuente: Propia.

Una vez ubicados los AP de cada uno de los pisos, los datos de estos se guardaron en una base de datos para su permanencia.

Posteriormente se programó el algoritmo descrito en la Imagen 32, el cual consiste en la captación de datos mediante un escaneo hecho por la tarjeta de red de la computadora laptop, para posteriormente ordenar los datos con base a su potencia, esta lista de valores de potencia son comparados con la base de datos mediante la dirección MAC de los AP, si es encontrada una correspondencia se muestra en pantalla una imagen correspondiente a la ubicación de dicho AP.

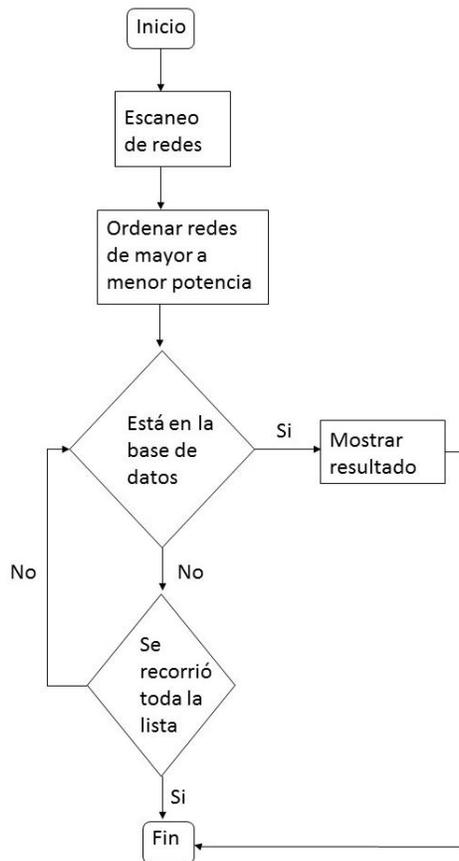


Imagen 32. Algoritmo basado en proximidad. Fuente: Propia.

El programa fue desarrollado en el lenguaje de programación Java en un sistema operativo Linux, se emplearon estas herramientas por practicidad, la facilidad de crear ventanas, procesar datos de tipo cadena, conexión a bases de datos por parte del lenguaje Java junto a la facilidad de obtener los datos de la tarjeta de red de Linux resultaron en su elección para estos fines.

4.4.2 Resultados

Después del análisis realizado el programa de prueba del algoritmo fue desarrollado, en la Imagen 33, se muestra la pantalla de inicio del mismo, la cual

es una interface simple de dos botones uno para salir de la aplicación y otro que permite ubicar el edificio utilizando el algoritmo descrito anteriormente.

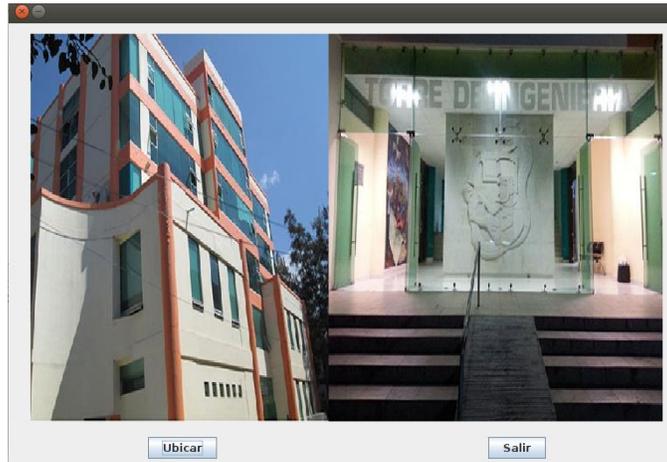


Imagen 33. Pantalla de inicio de la aplicación. Fuente: Propia.

En la Imagen 34 se muestra el resultado mostrado al pulsar el botón de ubicar en el programa con el equipo dentro de la torre de ingeniería, en la imagen se puede observar el punto de ubicación del AP más cercano al dispositivo en plano arquitectónico y a su lado se encuentra el corte esquemático transversal mostrando el piso en el que se está.

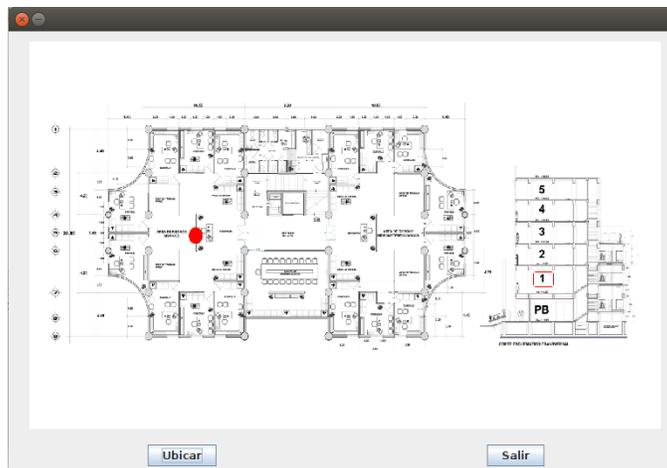


Imagen 34. Resultado mostrado por la aplicación. Fuente: Propia.

CAPÍTULO V. APLICACIÓN MÓVIL.

Una vez exploradas las formas de llevar a cabo el fin de este trabajo de investigación se procedió a seleccionar una técnica de localización para realizar la aplicación móvil.

En el presente capítulo se describirán parte del desarrollo de la aplicación móvil, así como su funcionalidad; para realizar la construcción de dicha aplicación se hizo uso del entorno de desarrollo Android Studio para efectos de codificación, para probar el desarrollo de la aplicación se hizo uso del emulador Genymotion en su versión de uso personal debido a que no se trata de un desarrollo con fines comerciales sino académicos.

5.1 Algoritmo a emplear

Con base a los resultados obtenidos del capítulo anterior se analizaron las posibles opciones para llevar a cabo la parte de localización, a continuación se expresan los pros y contras de llevar a cabo cada una de ellas.

5.1.1 Cálculo de posición por trilateración

Con base a los resultados obtenidos y documentados en el capítulo anterior acerca de esta técnica se puede rescatar los siguientes puntos a considerar:

- Alta precisión en la ubicación:
Acorde a los resultados obtenidos en técnica de trilateración se obtuvo un error mínimo de 0 metros en el eje x y un error de mínimo de 0.05 metros en el eje y, aunque en mediciones diferentes, pero en general el error es bajo.
- Alta instrumentación:
Para lograr realizar esta técnica se requiere de tres Access Point, así como de dos sensores para calcular la atenuación de la señal, esto por zona intramuros en la que se pretenda emplear, además de un servidor que procese los datos y una alta disponibilidad de conexión a este.

Con base a lo anterior se realizó la siguiente cotización en pesos mexicanos:
Por zona:

3 Access Point con un costo de \$300.00 = \$900.00

2 sensores de potencia de señal:

Esp8266 = \$75

Convertidor analógico/digital = \$15

Im7833 = \$40

La suma de los costos de los componentes anteriores da un total de \$280.00 por la construcción de ambos sensores, sin tomar en cuenta mano de obra y gastos en materiales e insumos para su construcción.

En total por área se calcula un costo de \$1,180.00.

En el edificio se identificaron el siguiente número de áreas para implementar:

Planta baja = 10 = \$11,800.00
Primer piso = 21 = \$24,780.00
Segundo piso = 8 = \$9,440.00
Tercer piso = 7 = \$8,260.00
Cuarto piso = 15 = \$17,700.00
Quinto piso = 1 = \$1,180.00

Dando un total de \$73,160.00, esto sin contar el costo de un servidor, consumo eléctrico del sistema y viabilidad para su instalación; por lo que esta opción resulta bastante costosa como para implementarla en el edificio de estudio.

Para seleccionar las áreas a las que se hace mención es básicamente dividir el plano en cuartos o zonas delimitadas por paredes como se muestra en la imagen 35 utilizando el tercer nivel como como ejemplo.

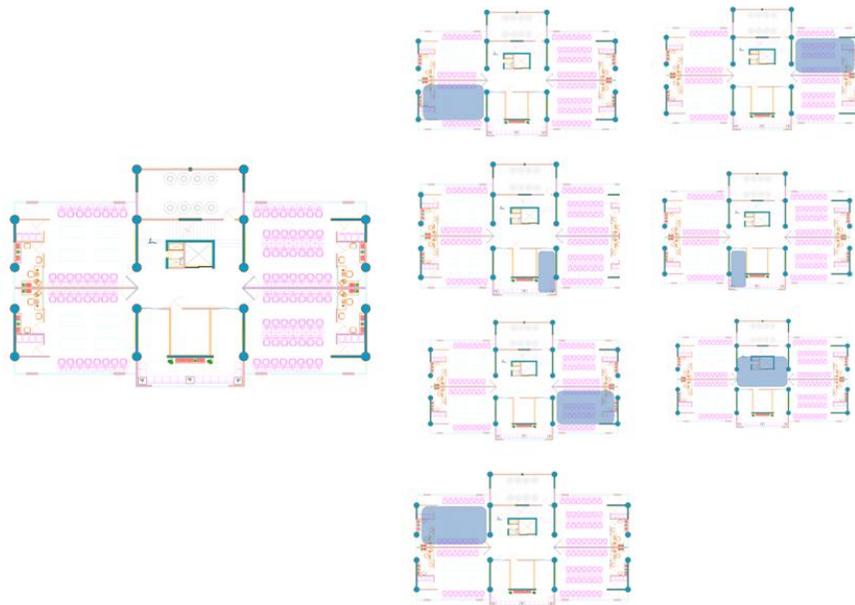


Imagen 35 Aéreas del tercer nivel. Fuente: Propia.

5.1.2 Basado en reconocimiento de patrones de señales cercanas

Esta técnica a diferencia de la anterior tuvo resultados muy pobres como para ser empleada, esto debido a que el mejor resultado de precisión se tenía 50%; sin embargo una revisión posterior a la redacción del capítulo anterior mostro deficiencias en el tratamiento de la misma, por cuestiones de temporalidad no se continuara investigando esta técnica en el presente trabajo pero se propone continuarla en un trabajo futuro.

5.1.3 Estimación de posición basada en proximidad

Con base a los resultados de esta técnica y mostrados en el capítulo anterior se optó por esta, si bien no presenta el nivel de precisión de la técnica de trilateración, su costo de realización se reduce significativamente, sobre todo porque se ocupa la infraestructura de red ya instalada en el edificio, por lo que solo se tiene que implementar en la aplicación móvil el algoritmo empleado en la aplicación de escritorio.

5.2 Estructura básica del proyecto

El proyecto se realizó en Android Studio, siguiendo lo detallado en el capítulo anterior para la técnica de estimación de posición basada en proximidad.

Uno de los cambios más notorios es que a diferencia de lo visto anteriormente no se ocupó una arquitectura cliente-servidor para la base de datos SQL, en cambio se empleó una arquitectura local con SQLite como se muestra en la imagen 36.

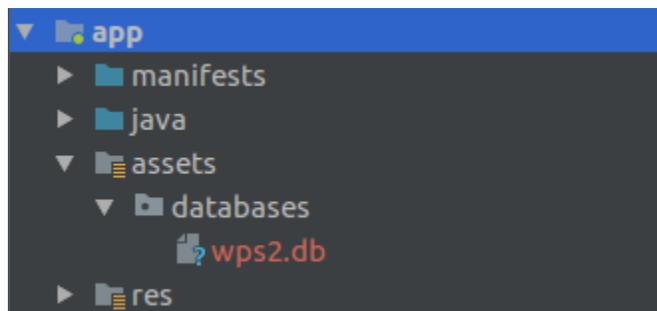


Imagen 36 Archivo SQLite. Fuente: Propia.

Una parte importante a mencionar en el proyecto desarrollado en Android es la modificación al archivo *AndroidManifest.xml* para incluir los permisos de uso de la antena WiFi, como se muestra en la imagen 37.

```

<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<manifest xmlns:android="http://schemas.android.com/apk/res/android"
    package="com.example.rabdos7.wpsdirectory">

    <uses-permission android:name="android.permission.ACCESS_WIFI_STATE" />
    <uses-permission android:name="android.permission.CHANGE_WIFI_STATE" />

    <application
        android:allowBackup="true"
        android:icon="@mipmap/ic_launcher"
        android:label="WPS Directory"
        android:roundIcon="@mipmap/ic_launcher_round"
        android:supportsRtl="true"
        android:theme="@style/AppTheme">
        <activity
            android:name=".MainActivity"
            android:label="WPS Directory"
            android:screenOrientation="landscape"
            android:theme="@style/AppTheme.NoActionBar">
    
```

Imagen 37 Asignación de permisos WiFi a la aplicación. Fuente: Propia.

En la actividad principal se realiza el proceso de localización de manera transparente para el usuario ejecutándose el algoritmo de manera automática cada segundo para facilitarle al usuario su uso.

Por otra parte, para hacer lo relacionado al directorio o en otras palabras dar información relativa al edificio se optó por dar las ubicaciones por planta, para hacer esto se crearon actividades por cada piso, con la finalidad de no interferir con el proceso de ubicación que se realiza como *background*, en la imagen 38 se muestra la ubicación de ellas en el proyecto.

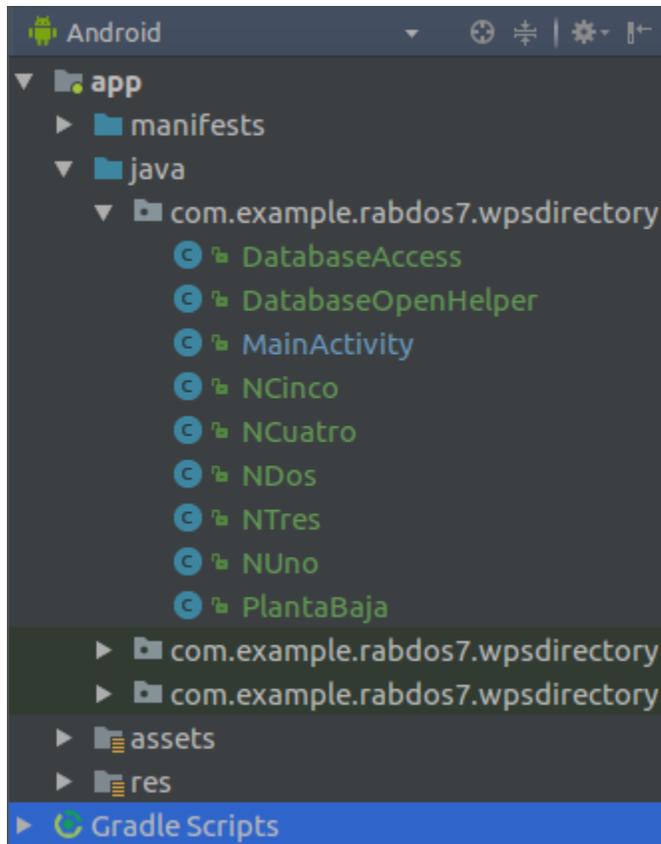


Imagen 38 Actividades o Activity creadas por piso para la aplicación. Fuente: Propia.

Cabe señalar que la información usada fue proporcionada el día miércoles 18 de octubre del 2017 y con base a ella se trabajó, al igual es importante señalar que no fue proporcionada la información de la planta baja ni del quinto piso, sin embargo se recabó la información que se consideró necesaria.

5.3 Descripción de las funcionalidades de la aplicación móvil

A continuación se describirá la funcionalidad de la aplicación desarrollada como producto del presente trabajo de investigación.

Primero la pantalla principal, la cual se encuentra dividida en dos secciones, en el lado derecho se muestra el corte del edificio remarcando con un borde el piso en el que se encuentra el dispositivo; en el lado izquierdo se muestra la planta arquitectónica en la que se encuentra localizado el dispositivo (ver imagen 39).



Imagen 39 Pantalla principal de la aplicación. Fuente: Propia.

En la imagen 40 se puede observar que en la esquina superior derecha se encuentra un menú el cual al accionarlo muestra un mensaje con la leyenda de ayuda, el cual al pulsarlo se despliega un mensaje con una sugerencia para mejorar la ubicación de la persona el cual se ilustra en la imagen 41.

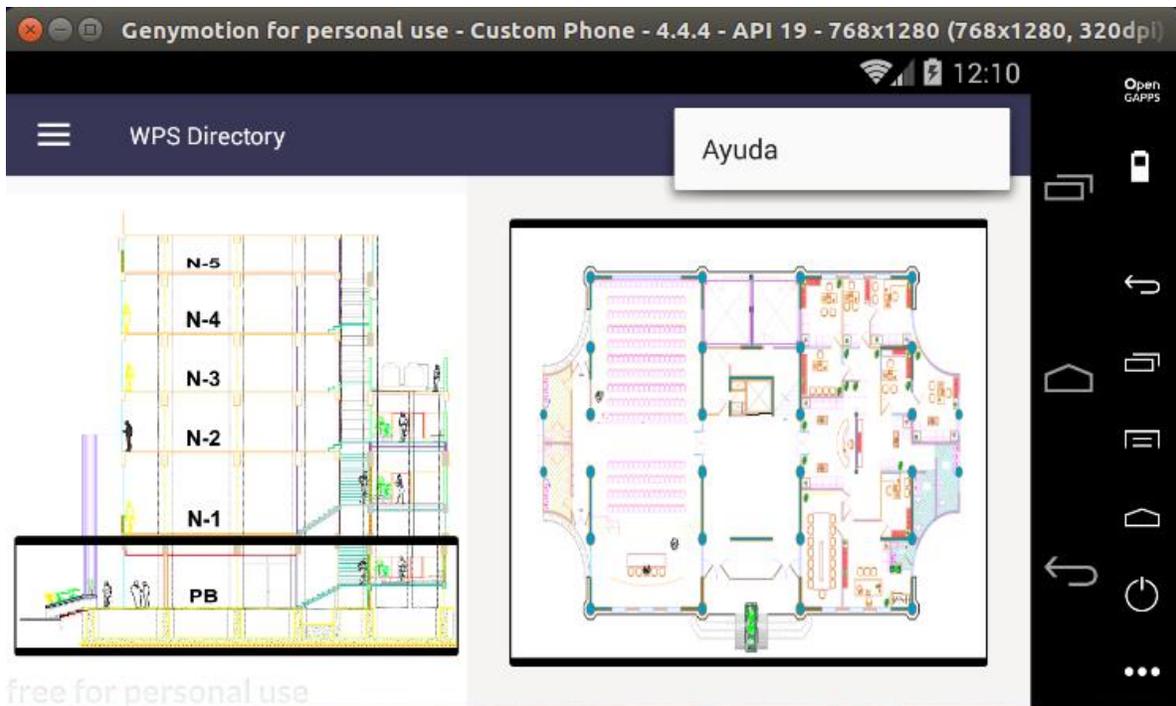


Imagen 40 Ayuda de la aplicación. Fuente: Propia.

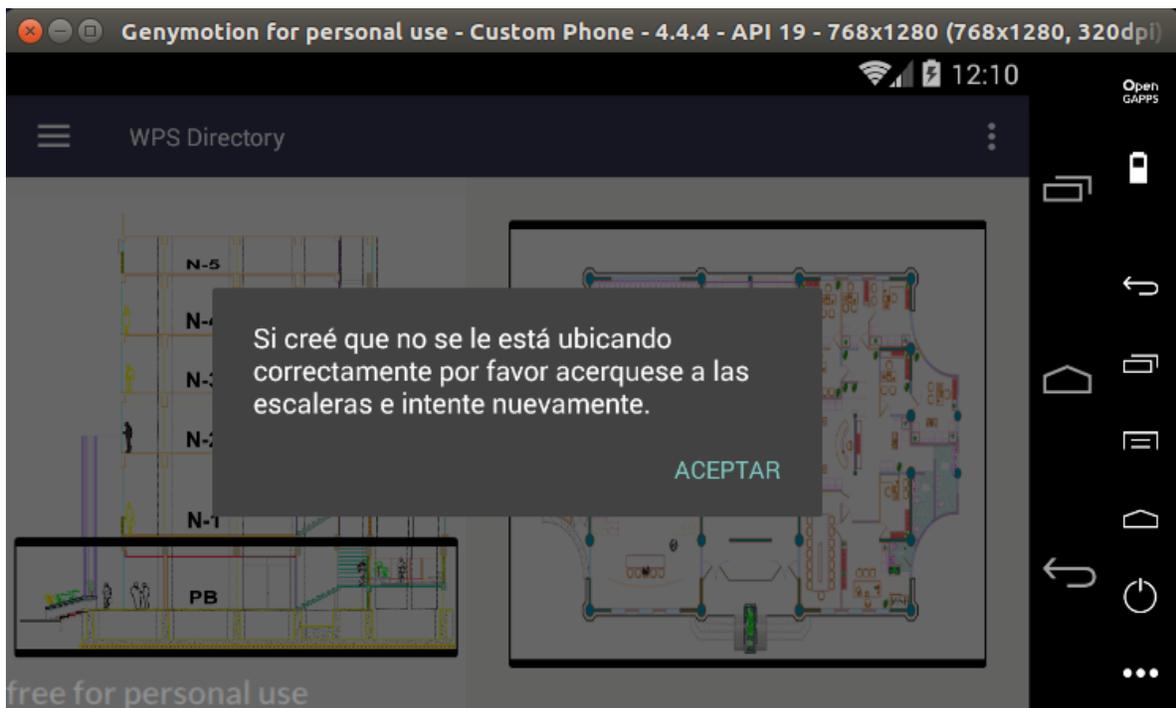


Imagen 41 Sugerencia para mejorar la ubicación. Fuente: Propia.

En la esquina superior izquierda de la imagen 42, se muestra un menú de navegación en el cual se listan los diferentes niveles con los que cuenta la Torre De Ingeniería.

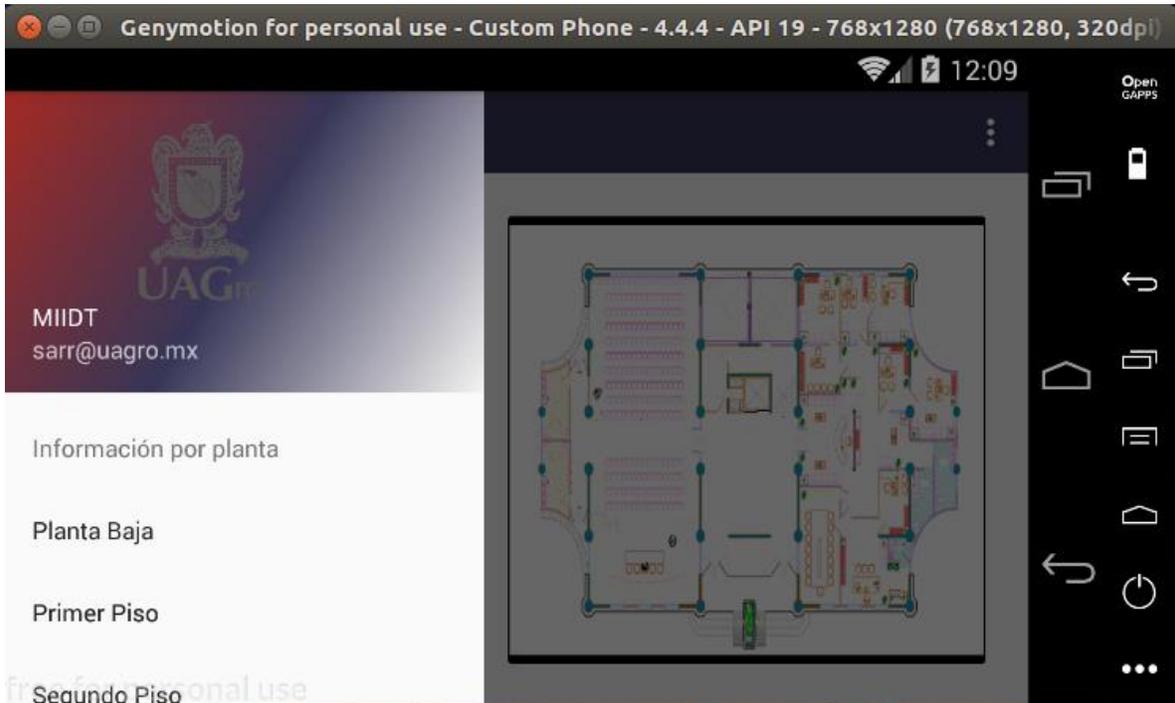


Imagen 42 Menú de navegación. Fuente: Propia.

Al pulsar en un piso, por ejemplo el tercero, se muestra una pantalla dividida en la cual del lado izquierdo se encuentra la planta arquitectónica y del lado derecho una serie de botones con las áreas principales que componen dicha planta como se ilustra en la imagen 43, al pulsar alguno de estos botones correspondientes a las áreas, por ejemplo, si se desea conocer la ubicación del laboratorio de tecnologías de cómputo y electrónica solo hace falta pulsar el botón correspondiente y se observará un resultado como el de la imagen 44.

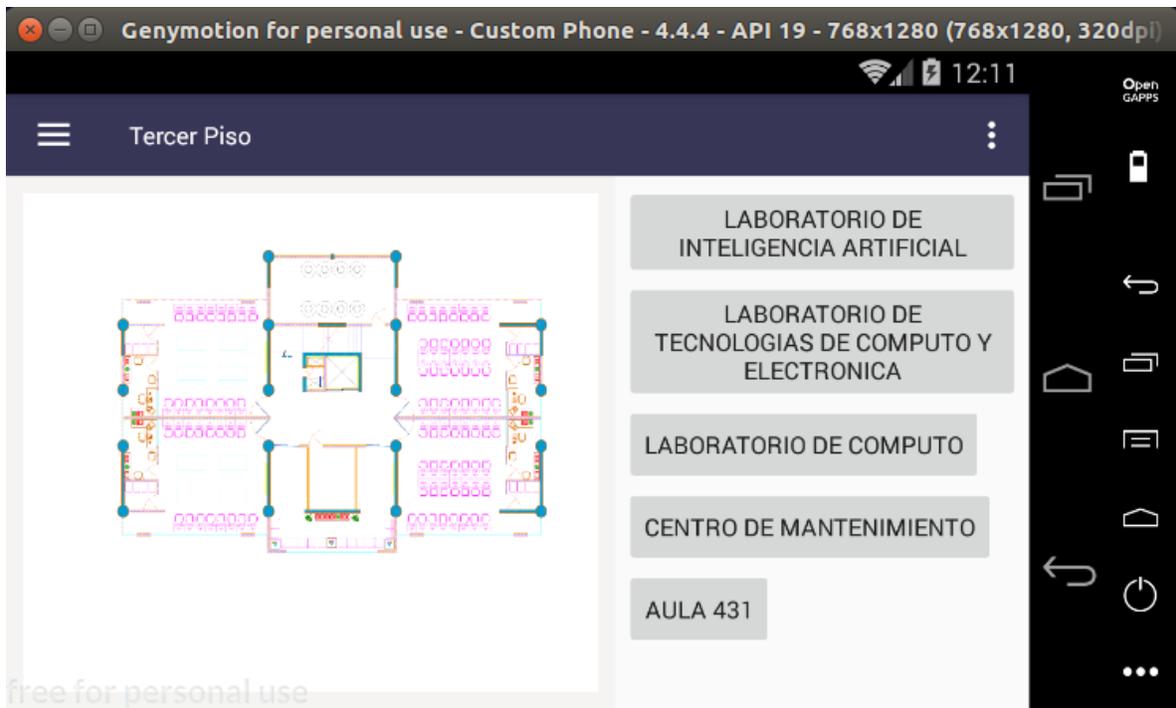


Imagen 43 Datos del tercer piso. Fuente: Propia.



Imagen 44 Ubicación del laboratorio de tecnologías de cómputo y electrónica. Fuente: Propia.

CONCLUSIONES

De manera general se concluye que el proyecto de desarrollar un sistema de ubicación en edificios basado en puntos de acceso WiFi resulta ser un problema de solución no trivial que, por lo tanto, puede ser resuelto desde distintos puntos de vista dependiendo los requerimientos o limitaciones con los que se cuenten y por ende presenta múltiples oportunidades para realizar trabajo a futuro.

En relación a la hipótesis planteada, la mancha magnética generada por los puntos de acceso WiFi tiene el potencial de servir como característica para localización en aplicaciones móviles para tareas de ubicación dentro de edificios. Sin embargo durante el la elaboración del presente trabajo se observó el requerimiento de contar con acceso a la información actualizada respecto a la infraestructura del edificio y de la red, así como colaboración por parte de los responsables de las mismas para mantener información actualizada en el sistema.

Con relación al objetivo principal se considera alcanzado, pues se desarrolló una aplicación móvil con las características planteadas, así como en el transcurso del presente trabajo de investigación se cumplieron los objetivos específicos y los mismos reportados en los capítulos I, IV y V del presente trabajo.

Como trabajo a futuro se hacen dos propuestas:

- Rehacer la experimentación ubicación por reconocimiento de patrones, aumentando el número de características del patrón e intentando un acercamiento como problema de regresión en lugar de clasificación.
- Intentar un modelo híbrido ajustando el resultado de la señal GPS a sistema de coordenadas cartesianas y lo desarrollado para ubicación a nivel de planta.

Durante el desarrollo de la presente investigación se experimentó con diferentes aproximaciones para resolver el problema de la localización intramuros a continuación se presentan las conclusiones por cada aproximación realizada.

- Cálculo de posición por trilateración

En el apartado de cálculo de posición por trilateración, en la tabla 3 se presentaron los resultados obtenidos al realizar un primer acercamiento para un sistema de localización en tiempo real aplicado a un área específica cerrada dentro de una construcción, a través de la aplicación de un modelo simplificado propuesto de propagación de onda generada por APs. Los resultados muestran tener un error máximo de 1.73 metros en el eje X y 4.36 metros en el eje Y, del mismo modo muestran que tiene un error mínimo de 0 metros en el eje X y 0.05 metros en el eje Y, del total de las pruebas realizadas, con base a esto se puede concluir que el modelo simplificado describe de manera aceptable el comportamiento de la

atenuación de onda en un área, de igual forma parece no ser necesario el calcular un valor para n en cada uno de los AP por con siguiente como trabajo futuro se propone el usar dispositivos dedicados a la función de determinar el valor de n en un área y probar con un dispositivo en diferentes puntos para comprobar su precisión.

- Cálculo de distancia por atenuación de onda mediante dispositivos auxiliares

En conclusión si es posible aplicar este método para obtener resultados que deriven en una mayor precisión en cuanto al cálculo de distancias entre dispositivos móviles y AP lo cual permite una mejor localización; como puntos negativos se tiene el incremento en costos de implementación al necesitar colocar dispositivos extra con una tarea muy concreta y dedicada al monitoreo del espectro electromagnético, al igual que se necesita un servidor dedicado, de igual forma se incrementa el costo computacional al requerir de un mayor número de operaciones matemáticas, además de incrementar el costo indirecto de consumo eléctrico para el funcionamiento del sistema.

- Basado en reconocimiento de patrones de señales cercanas

Los resultados obtenidos no fueron los esperados, en un análisis posterior se encontraron deficiencias en el punto de vista de la interpretación por lo que se plantea reproducir este acercamiento.

- Estimación de posición basada en proximidad

En general la aplicación funciona bien, realizando la ubicación con resultados acorde a la realidad, aunque se encontraron algunas zonas donde tenía fallas debido a que las plantas arquitectónicas de cada nivel son diferentes entre sí, y por lo tanto la distribución de los AP dentro de este no es simétrica así que en algunas zonas la potencia de la mancha magnética de un AP que no está en el mismo piso que el dispositivo aparece como mayor, para solucionar esto se incluirán en la base de datos AP extra que han sido colocados por los mismos usuarios de la torre de ingeniería, esto con la finalidad de aprovechar la infraestructura WiFi que ya ha sido instalada.

En conclusión, con el uso de los AP de dentro de una construcción como puntos de referencia es posible ubicar un dispositivo con facilidad, esto permite una facilidad de exploración, navegación e interacción entre las personas y los edificios.

Los códigos fuente de las actividades descritas y realizadas en el presente trabajo pueden ser consultados en el enlace siguiente:

https://drive.google.com/drive/folders/1wQR_KegXmdw5XuQI_id4ORq0gezWftPC?usp=sharing

REFERENCIAS

- Butler, J., Pietrosevoli, E., Zennaro, M., Fonda, C., Okay, S., Aichele, C., & Büttrich, S. (2013). Redes inalámbricas en los países en desarrollo. *The WNDW Project*.
- Carballar, J. A., & Falcón, J. A. C. (2010). *Wi-Fi: lo que se necesita conocer*. RC libros.
- Crow, B. P., Widjaja, I., Kim, J. G., & Sakai, P. T. (1997). IEEE 802.11 wireless local area networks. *IEEE Communications Magazine*, 35(9), 116–126.
- Cypriani, M., Lassabe, F., Canalda, P., & Spies, F. (2009). Open wireless positioning system: A wi-fi-based indoor positioning system. In *Vehicular Technology Conference Fall (VTC 2009-Fall), 2009 IEEE 70th* (pp. 1–5). IEEE.
- Deitel, H. M., & Deitel, P. J. (2004). *Cómo programar en Java*. Pearson Educación.
- Free Software Foundation, I. (2017, November 6). ¿Qué es el software libre? Retrieved from <https://www.gnu.org/philosophy/free-sw.es.html>
- Gimeno, J. M., & González, J. L. (2011). Introducción a Netbeans.
- Gironés, J. T. (2012). *El gran libro de Android*. Marcombo.
- Group, I. 802. 1. W. (1999). Part11: Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications. *ANSI/IEEE Std. 802.11*.
- Hazry, D., Mohd Sofian, M. R., & Mohd Zahiruddin, M. Z. (2009). A study of infrastructure for real-time location system.
- Henniges, R. (2012). Current approaches of Wi-Fi positioning. In *IEEE Conference Publications* (pp. 1–8).
- i Esteve, J. J., & Boldrito, R. S. (2007). *Administración avanzada de GNU/Linux*. UOC.
- Koo, J., & Cha, H. (2011). Localizing WiFi access points using signal strength. *IEEE Communications Letters*, 15(2), 187–189.
- Liu, H., Darabi, H., Banerjee, P., & Liu, J. (2007). Survey of wireless indoor positioning techniques and systems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, 37(6), 1067–1080.
- McClendon, B. (2011). A new frontier for google maps: mapping the indoors. *Documento Online, Official Google Blog*, Noviembre.
- Mitilineos, S. A., Kyriazanos, D. M., Segou, O. E., Goufas, J. N., & Thomopoulos, S. C. A. (2010). Indoor localisation with wireless sensor networks. *Progress In Electromagnetics Research*, 109, 441–474.
- MySQL, A. B. (2001). MySQL.
- Rappaport, T. D. (1996). *Wireless communication systems*. Prentice Hall.
- Real Time Location System (RTLS) Overview. (n.d.). Retrieved July 3, 2017, from <http://www.sitesurvey.de/features/rtls-anwendung/real-time-location-system-rtls-overview.html>
- Seybold, J. S. (2005). *Introduction to RF propagation*. John Wiley & Sons.
- Shin, B.-J., Lee, K.-W., Choi, S.-H., Kim, J.-Y., Lee, W. J., & Kim, H. S. (2010). Indoor WiFi positioning system for Android-based smartphone. In *Information*

and Communication Technology Convergence (ICTC), 2010 International Conference on (pp. 319–320). IEEE.

Sobre Ubuntu | Ubuntu-es. (2017, November 8). Retrieved from http://www.ubuntu-es.org/sobre_ubuntu

Wen, L. P., Nee, C. W., Chun, K. M., Shiang-Yen, T., & Idrus, R. (2011). Application of WiFi-based Indoor Positioning System in Handheld Directory System. In *5th European Computing Conference*.

LISTA DE TABLAS, ECUACIONES Y FIGURAS

Lista de tablas

Tabla 1 Relación dBm distancia.....	48
Tabla 2 Propuesta de distribución.....	49
Tabla 3 Resultados de la prueba.....	51
Tabla 4 Resultados de cálculo de distancia usando esp8266.	55

Lista de ecuaciones

Ecuación 1. Relación entre periodo y frecuencia.....	12
Ecuación 2. Cálculo de decibeles.....	15
Ecuación 3. Cálculo de dBi.	15
Ecuación 4. Cálculo de la directividad de la antena.	15
Ecuación 5. Modelo simplificado.	46
Ecuación 6. Atenuación.	47
Ecuación 7. Distancia.....	47

Lista de Imágenes

<i>Imagen 1. Tipos de red WiFi por su alcance. Fuente: Propia.</i>	<i>9</i>
<i>Imagen 2. Elementos de una onda. Fuente: http://www.sabelotodo.org/ondas/onda.html.....</i>	<i>12</i>
<i>Imagen 3. Interferencia constructiva y destructiva. Fuente: http://ocw.uniovi.es/pluginfile.php/677/mod_resource/content/1/1C_C11812_A/cristalografia/18/4.html.....</i>	<i>13</i>
<i>Imagen 4. Técnicas de localización Fuente: Propia.</i>	<i>17</i>
<i>Imagen 5. Logo de la Free software Foundation. Fuente: https://www.gnu.org/graphics/fsf-logo.html.....</i>	<i>18</i>
<i>Imagen 6. Cell of Origin illustration. Fuente: cisco.com.</i>	<i>24</i>
<i>Imagen 7. Bages and Tags that use Ekahau for positioning. Fuente: applywifi.com.</i>	<i>28</i>
<i>Imagen 8. Requisitos funcionales. Fuente: Propia.</i>	<i>34</i>
<i>Imagen 9. Diagrama de flujo del algoritmo propuesto. Fuente: Propia.</i>	<i>36</i>
<i>Imagen 10. Diagrama de flujo del algoritmo propuesto. Fuente: Propia.</i>	<i>37</i>
<i>Imagen 11. Diagrama entidad relación de pisos, áreas y ubicaciones. Fuente: Propia.</i>	<i>38</i>
<i>Imagen 12. Diagrama entidad relación de la primera propuesta de solución. Fuente: Propia.</i>	<i>39</i>
<i>Imagen 13. Diagrama entidad relación del prototipo basado en vector de características. Fuente: Propia.....</i>	<i>40</i>
<i>Imagen 14. Diagrama de clases. Fuente: Propia.....</i>	<i>41</i>
<i>Imagen 15. Diagrama de casos de uso general. Fuente: Propia.</i>	<i>41</i>
<i>Imagen 16. Diagrama de casos de uso Ubicarse. Fuente: Propia.</i>	<i>42</i>
<i>Imagen 17. Diagrama casos de uso buscar ubicación. Fuente: Propia.</i>	<i>43</i>

<i>Imagen 18. Diagrama casos de uso explorar. Fuente: Propia.</i>	44
<i>Imagen 19. Modelo teórico experimental de atenuación de onda. Fuente: Propia.</i>	47
<i>Imagen 20. Modelo teórico experimental con la atenuación de onda calculada. Fuente: Propia.</i>	48
<i>Imagen 21. Vista grafica de la distribución de los dispositivos. Fuente: Propia.</i>	49
<i>Imagen 22. Diagrama de bloques del proceso. Fuente: Propia.</i>	50
<i>Imagen 23. Esquema general de la propuesta. Fuente: Propia.</i>	53
<i>Imagen 24. Resultados entregados por los dispositivos. Fuente: Propia.</i>	53
<i>Imagen 25. esp8266 adaptados. Fuente: Propia.</i>	54
<i>Imagen 26. Distribución de los esp8266. Fuente: Propia.</i>	54
<i>Imagen 27. Ubicación del AP y del dispositivo móvil. Fuente: Propia.</i>	55
<i>Imagen 28. Toma de muestras de mancha magnética. Fuente: Propia.</i>	57
<i>Imagen 29. Toma de muestras a comparar. Fuente: Propia.</i>	57
<i>Imagen 30. Resultados de uso de clasificadores. Fuente: Propia.</i>	58
<i>Imagen 31. Ubicación física de los APs. Fuente: Propia.</i>	58
<i>Imagen 32. Algoritmo basado en proximidad. Fuente: Propia.</i>	59
<i>Imagen 33. Pantalla de inicio de la aplicación. Fuente: Propia.</i>	60
<i>Imagen 34. Resultado mostrado por la aplicación. Fuente: Propia.</i>	60
<i>Imagen 35 Aéreas del tercer nivel. Fuente: Propia.</i>	62
<i>Imagen 36 Archivo SQLite. Fuente: Propia.</i>	63
<i>Imagen 37 Asignación de permisos WiFi a la aplicación. Fuente: Propia.</i>	64
<i>Imagen 38 Actividades o Activity creadas por piso para la aplicación. Fuente: Propia.</i>	65
<i>Imagen 39 Pantalla principal de la aplicación. Fuente: Propia.</i>	66
<i>Imagen 40 Ayuda de la aplicación. Fuente: Propia.</i>	67
<i>Imagen 41 Sugerencia para mejorar la ubicación. Fuente: Propia.</i>	67
<i>Imagen 42 Menú de navegación. Fuente: Propia.</i>	68
<i>Imagen 43 Datos del tercer piso. Fuente: Propia.</i>	69
<i>Imagen 44 Ubicación del laboratorio de tecnologías de cómputo y electrónica. Fuente: Propia.</i>	69