

**APLICATIVO MÓVIL PARA LOCALIZAR Y GUIAR PERSONAS A TRAVÉS DEL
CAMPUS UNIVERSITARIO DE LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA**

**DAVID EDUARDO CRUZ GÓMEZ
JAVIER CAMILO MENDOZA ORTIZ**



**DIRECTOR:
DANIEL JARAMILLO RAMÍREZ**

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BOGOTÁ, D.C.
2016**

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

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

Contenido

Lista de Figuras	6
Lista de Tablas.....	7
Lista de Ecuaciones	8
1 Introducción	9
2 Marco Teórico.....	9
2.1 Definiciones	9
2.1.1 AP (Access Point):	9
2.1.2 Mapa de huellas:.....	9
2.1.3 RSSI:	10
2.1.4 dBm:	10
2.1.5 MAC:.....	10
2.1.6 SSID	10
2.2 Variables de localización	10
2.2.1 RSS (Received Signal Strength).....	10
2.2.2 Multitrayectos.....	10
2.2.3 Atenuación por distancia.....	11
2.2.4 Absorción	12
2.3 Estado del arte	12
2.3.1 Técnicas de Localización	12
2.3.1.1 ToA (Time of Arrival).....	12
2.3.1.2 DToA (Differential Time of Arrival)	13
2.3.1.3 AOA (Angle of arrival)	13
2.3.1.4 Basada en RSS (Received Signal Strength)	13
2.3.1.5 Triangulación:	13
2.3.1.6 Trilateración	14
2.3.1.7 Fingerprinting - Reconocimiento de patrones	14
2.3.1.8 Método KNN (K vecinos más cercanos).....	14
2.3.1.9 Redes Neuronales.....	14
2.3.1.10 Máquina de Soporte Vectorial.....	15
2.3.1.11 Métodos Probabilísticos	15
2.3.1.12 Navegación inercial.....	15
2.4 Tecnologías de Localización.....	15
2.4.1 GPS (Global Positioning System)	15
2.4.2 GSM (Global System for Mobile).....	15

2.4.3	RFID (Radio Frequency IDentification)	16
2.4.4	Bluetooth.....	16
2.4.5	ZigBee	16
2.4.6	UWB (Ultra Wide Band).....	16
2.4.7	Wi-Fi	17
3	Objetivo del Proyecto.....	17
4	Desarrollo.....	18
4.1	Fingerprinting utilizando Wi-Fi	18
4.1.1	Fase de calibración:	18
4.1.2	Aplicativo de adquisición de datos.....	19
4.1.3	Almacenamiento.....	20
4.1.3.1	Fase de localización:	20
4.1.4	Aplicativo de localización	20
4.1.5	KNN (K Nearest Neighbors).....	21
4.1.6	Algoritmos de estimación de posición	22
4.1.6.1	Algoritmo Distancia Euclidiana	22
4.1.6.2	Algoritmo de Probabilidad	23
	CDF (Cumulative Distribution function)	24
5	Protocolo de pruebas	24
5.1	Consideraciones Pruebas.....	24
5.2	Captura de Datos	26
5.3	Algoritmos a probar	26
5.4	Prueba 1 - Variabilidad de señal Wi-Fi.....	26
5.5	Prueba 2 - Variación de parámetro KNN.....	27
5.6	Prueba 3 - Identificación de zonas y precisión.....	27
6	Análisis de Resultados	28
6.1	Resultados - Variabilidad de la Señal Wi-Fi.....	28
6.2	Resultados - Elección K en la técnica K vecinos cercanos	30
6.3	Resultados - Identificación de zonas y precisión	31
6.4	Localización Vertical	39
6.5	Aplicativo de localización en diferentes celulares	41
7	Conclusiones y recomendaciones.....	43
7.1	Oportunidades	44
8	Bibliografía	46
9	Anexos:	47
9.1	Diseño e implementación aplicativo móvil:.....	47
9.1.1	Fase de calibración.....	47

9.1.1.1	Caso de uso.....	47
9.1.1.2	Aplicativo de adquisición de datos.....	49
9.1.1.3	Diagrama de flujo.....	50
9.1.2	Fase de localización	52
9.1.2.1	Caso de uso.....	52
9.1.2.2	Aplicativo de localización.....	53
9.1.2.3	Diagrama de flujo.....	54

Lista de Figuras

Figura 1. Efectos causantes del multitrayectos	11
Figura 2. Ilustración desvanecimiento a gran y pequeña escala.....	11
Figura 3. Localización ángulo de llegada.....	13
Figura 4. Ilustración técnica triangulación	13
Figura 5. Ilustración trilateración	14
Figura 6. Diagrama de bloques método Fingerprinting	18
Figura 7. Mapa de huellas fase de calibración Fingerprinting	19
Figura 8. Mapa de huellas Piso 6 del edificio de Ingeniería	19
Figura 9. SSID captadas por el aplicativo	20
Figura 10. Aplicativo fase localización.....	21
Figura 11. Clasificación de conjunto de datos a través de KNN.....	21
Figura 12. Aproximación muestras distribución normal.....	24
Figura 13. Ilustración exactitud y precisión	25
Figura 14. Ilustración error ubicación estimada.....	25
Figura 15. Ubicaciones seleccionadas prueba variabilidad de la señal Wi-Fi.....	26
Figura 16. Ubicaciones seleccionadas prueba piso 5	27
Figura 17. Ubicaciones seleccionadas prueba piso 6	27
Figura 18. Variación en el tiempo e Histograma señal Wi-Fi punto cercano	28
Figura 19. Variación en el tiempo e Histograma señal Wi-Fi punto lejano.....	29
Figura 20. Error promedio distancia estimada variando K - Ubicación fiable	30
Figura 21. Error promedio distancia estimación variando K - Ubicación No fiable.....	30
Figura 22. Error estimación de distancia de los algoritmos para cada punto del piso 5.....	33
Figura 23. Error estimación de distancia de los algoritmos para cada punto del piso 6.....	34
Figura 24. Errores de medición muestras - piso 5.....	35
Figura 25. Histograma del error - Piso 5	36
Figura 26. Errores de medición muestras - piso 6.....	37
Figura 27. Histograma del error - Piso 6.....	37
Figura 28. Error promedio por punto - piso 5 y piso 6.....	38
Figura 29. Histograma valores RSS de puntos a evaluar	39
Figura 30. Rangos de presión atmosférica para pisos del modelo de localización	40
Figura 31. Aplicativo móvil aplicando localización vertical.....	40
Figura 33. Ubicaciones elegidas para pruebas con diferentes celulares – piso 5	41
Figura 34. Ubicaciones elegidas para pruebas con diferentes celulares – piso 6	41
Figura 35. Comparación error de ubicación diferentes celulares - piso 5	41
Figura 36. Comparación error de ubicación diferentes celulares - piso 6	42
Figura 37. Histograma del error - comparación diferentes celulares	42
Figura 37. Variación en el tiempo de la señal wifi en varios equipos.....	43
Figura 38. Interacción usuario y funcionalidades - Fase de calibración	47
Figura 39. Funcionalidad modificar número de muestras - Aplicativo de Adquisición de datos	49
Figura 40. Funcionalidad modificar propiedades de grilla - Aplicativo de Adquisición de datos	49
Figura 41. Visualización información de huella - Aplicativo de Adquisición de datos	50
Figura 42. Diagrama de flujo fase de calibración	51
Figura 43. Interacción usuario y funcionalidades - Fase de localización.....	52
Figura 44. Menú de opciones aplicativo de localización	53
Figura 45. Funcionalidad selección de algoritmo - Aplicativo de localización	54
Figura 46. Visualización estimación de posición - Aplicativo de localización.....	54
Figura 47. Diagrama de flujo fase de localización.....	55

Lista de Tablas

Tabla 1. Comparación técnicas y tecnología de localización en interiores	17
Tabla 2. Comparación técnicas y variables de localización en interiores	17
Tabla 3. Comparación medidas de dispersión punto cercano y lejano al AP	29
Tabla 4. Resultados identificación zonas - piso 5	32
Tabla 5. Resultados identificación zonas - piso 6	32
Tabla 6. Error estimación de distancia método probabilístico con mapa simplificado piso 5	33
Tabla 7. Resultados Precisión y exactitud por puntos – Piso 5	34
Tabla 8. Resultados Precisión y exactitud por puntos – Piso 6	35
Tabla 9. Resultados Precisión y exactitud total – Piso 5	36
Tabla 10. Resultados Precisión y exactitud total – Piso 6	38
Tabla 11. Resultados ubicación vertical utilizando barómetro y técnica	40

Lista de Ecuaciones

Ecuación 1. Conversión mW a dBm.....	10
Ecuación 2. Tiempo de propagación de una onda.....	12
Ecuación 3. Posición estimada método KNN basado en pesos.....	22
Ecuación 4. Distancia Euclidiana.....	22
Ecuación 5. Vector <i>huella</i> y matriz de <i>huellas</i>	22
Ecuación 6. Vector valores RSS en tiempo real.....	23
Ecuación 7. Distancia euclidiana para Fingerprinting.....	23
Ecuación 8. Distancia entre dos puntos.....	25

1 Introducción

Actualmente las personas tienen la necesidad de ubicarse y encontrar un lugar específico, desplazándose de un lugar a otro para realizar sus actividades diarias, no solo en carreteras, parques, y en general espacios abiertos, sino también en lugares cerrados como centros comerciales, aeropuertos, museos y universidades. Conocer las rutas o posibles caminos que se deben seguir para llegar a un destino, permite optimizar uno de los recursos más valiosos, pero menos tomados en cuenta: el tiempo.

El Sistema de Posicionamiento Global, comúnmente denominado como GPS se ha convertido en la principal herramienta para la localización, con una precisión aproximada de 15 metros [2], este tiene un buen funcionamiento cuando se trata de determinar la ubicación en espacios abiertos. Al tratarse de espacios cerrados, esta tecnología deja de funcionar correctamente, lo que impide tener un sistema de posicionamiento y navegación preciso, esto se ve evidenciado en escenarios cerrados como los campos universitarios donde a través de GPS no es posible conocer con precisión la ubicación dentro de un edificio o detectar en qué piso se encuentra un usuario.

La Pontificia Universidad Javeriana es recorrida diariamente por un gran número de personas que no conocen el campus, ya sean estudiantes o profesores, personas que asisten a eventos o personas que por una u otra razón visitan la universidad; en el primer semestre del 2016 ingresaron más de dos mil estudiantes nuevos [5] y 12.000 estudiantes procedentes de 192 colegios [6] asistieron a Expo-Javeriana¹, además de este evento, existen diferentes actividades que involucran el conocimiento previo de las zonas de la universidad por parte de personas externas, razón por la que se considera relevante la localización y cobra sentido un aplicativo de localización en interiores preciso dentro del campus universitario.

El presente trabajo se centra en el análisis de diferentes métodos y algoritmos utilizados para la localización en interiores teniendo en cuenta que el GPS no funciona óptimamente, de esta manera, se propone un aplicativo que utiliza un modelo de localización que hace uso de las redes Wi-Fi y de distintos algoritmos implementados en un celular inteligente para ofrecer una herramienta de guía a las personas que se desplazan comúnmente en el campus. Por último, se presentan los resultados obtenidos de localización con los diferentes algoritmos y su comparación.

2 Marco Teórico

En este capítulo se introduce a los conceptos básicos de localización y se realiza una clasificación general de las tecnologías que permiten estimar la localización de un objeto.

2.1 Definiciones

2.1.1 AP (Access Point):

Access Point o punto de acceso inalámbrico es un dispositivo que conecta dispositivos de comunicación de forma inalámbrica.

2.1.2 *Mapa de huellas*:

Plano de referencia que contiene las mediciones de intensidades de potencias para las señales Wi-Fi en diferentes puntos.

¹ Evento que reúne a personas de todas las edades y colegios para que conozcan el campus universitario, y las diferentes carreras que ofrece la universidad.

2.1.3 RSSI:

Received Signal Strength por sus siglas en inglés, es una escala de medición de intensidad de potencia en señales inalámbricas captadas por receptores, estos valores se encuentran comúnmente entre -30 y -90 dBm.

2.1.4 dBm:

Unidad de medida de potencia absoluta mediante una relación logarítmica. Esta potencia es expresada en decibelios (dB), utilizando como nivel de referencia 1mW, usada en el RSSI.

2.1.5 MAC:

Media Access Control por sus siglas en Inglés, hace referencia al código de identificación de un dispositivo inalámbrico correspondiente a su tarjeta de red inalámbrica, este código es único en el mundo y está compuesto de 6 grupos de dos dígitos hexadecimales donde los 3 primeros indican el fabricante y los otros 3 el dispositivo.

2.1.6 SSID

Service Set Identifier por sus siglas en inglés SSID hace referencia al nombre de la red inalámbrica.

2.2 Variables de localización

Existen algunas variables que se deben tener en cuenta para las técnicas y tecnologías utilizadas en el proceso de estimar la localización de una persona u objeto, a continuación, se definen algunas de ellas para que sean tenidas en cuenta a lo largo del desarrollo del documento.

2.2.1 RSS (Received Signal Strength)

Es la medida de intensidad de potencia de una señal, la conversión de unidades de mW a dBm se realiza con ayuda de la siguiente fórmula:

$$P(dBm) = 10 \cdot \log_{10}(P(mW) / 1mW)$$

Ecuación 1. Conversión mW a dBm.

La intensidad de potencia de la señal o el RSS decrece logarítmicamente a medida que se aleja de la fuente emisora y no es del todo proporcional ya que la señal se ve afectada por la humedad, la temperatura, las personas, las edificaciones, obstáculos y otros fenómenos que hacen que una señal recibida en un punto puede ser diferente a la esperada teóricamente.

A continuación, se describen brevemente algunos de los fenómenos que se presentan en la transmisión de señales:

2.2.2 Multitrayectos

Multipath o Multitrayectos hace referencia al fenómeno en el cual una señal transmitida llega al receptor por dos o más caminos en diferentes tiempos, parte de la señal puede llegar directamente al destino mientras que otras pueden rebotar en superficies y presentar un retraso con respecto a la trayectoria directa. Como resultado, la señal recibida está formada por la suma de varios componentes con diversas amplitudes, direcciones de llegada y ángulos de fase.

Los multitrayectos son originados por los siguientes comportamientos de la señal:

- **Reflexión (reflection):** Rebote de una onda al entrar en contacto con una superficie.
- **Dispersión (scattering):** La onda choca contra una superficie y rebota, dispersándose en múltiples señales.
- **Difracción (diffraction):** La onda choca contra una superficie y cambia de dirección, dispersándose en múltiples señales.

- **Refracción (refraction):** La señal atraviesa una superficie, pero cambia de dirección al atravesarla.

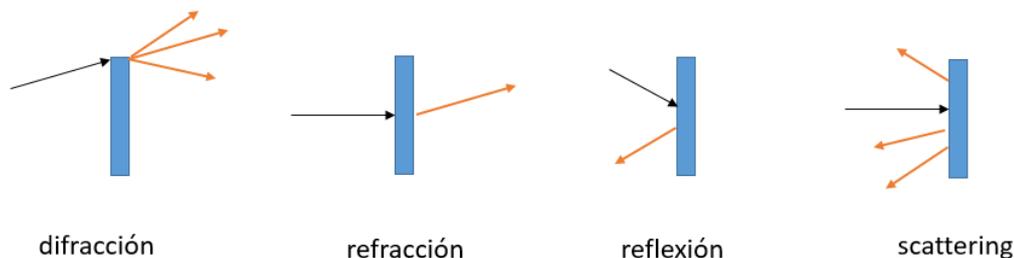


Figura 1. Efectos causantes del multitrayectos

Los multitrayectos generan lo que se conoce como *desvanecimientos*, que se refiere a las atenuaciones que presenta la señal en el receptor; estos influyen en la manera como deben tomarse los datos y en cómo debe hacerse el proyecto.

Se consideran dos tipos de desvanecimientos descritos a continuación:

- **Desvanecimiento a pequeña escala:** Tiene efecto en distancia cortas entre el emisor y el receptor comparables a la longitud de onda, se debe a los cambios en los ángulos de fase de los distintos componentes de la señal o al fenómeno de dispersión.
- **Desvanecimiento a gran escala:** Tiene efecto en distancias grandes entre el emisor y el receptor mucho mayores que la longitud de onda, se debe principalmente al fenómeno de reflexión.

Si se mide la potencia de la señal desde un punto lejano, el comportamiento de la señal a lo largo del tiempo se puede observar en la Figura 2, donde se evidencia pérdidas de potencia lo largo del tiempo, debido a los desvanecimientos a pequeña escala y a gran escala. Los desvanecimientos pueden generar en pocos segundos pérdidas de potencia de 30 dB o más [20], ocasionando medidas dispersas de intensidad de potencia captadas por un receptor en diferentes tiempos y diferentes distancias.

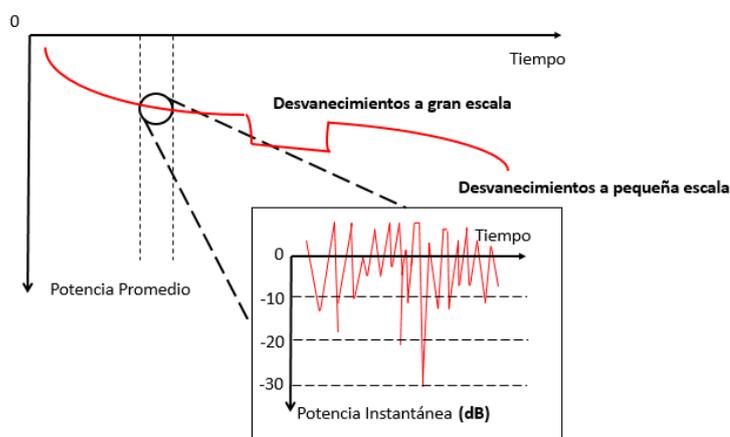


Figura 2. Ilustración desvanecimiento a gran y pequeña escala

2.2.3 Atenuación por distancia

La atenuación es descrita matemáticamente por la ley del cuadrado del inverso, que describe como se reduce la densidad de potencia con la instancia de la fuente. El campo magnético se dispersa a medida que las ondas se alejan de la fuente, lo que hace que las ondas cada vez estén más separadas entre sí, por lo tanto, la cantidad de ondas por unidad de área es menor.

2.2.4 Absorción

Cuando una onda choca contra una superficie, ésta absorbe parte de su energía atenuando la señal original, esta pérdida depende de una constante relacionada con el material de la superficie y la distancia.

2.3 Estado del arte

Los Sistemas de Información Geográfica y las tecnologías de posicionamiento han originado lo que se conoce como *Servicios Basados en Localización* (LBS), los cuales utilizan las características y los datos georreferenciados que nos proporciona la localización, para transmitirlos hacia una aplicativo que pueda procesar y responder la solicitud.

Debido a la necesidad de aplicar la localización en interiores han surgido soluciones denominadas IPS (*Indoor Positioning System*) o Sistemas de Posicionamiento en Interiores. Estos sistemas utilizan técnicas que incluyen el uso de redes inalámbricas de área local WLAN, utilizando métodos basados en la intensidad de señal de los puntos de acceso Wi-Fi [7][8], para redes Bluetooth u otro tipo de redes, se utilizan *Beacons*² y lectores de identificación por radiofrecuencia RFID (*Radio Frequency Identification*), también se utilizan tecnologías como la UWB (*Ultra Wide Band*) y protocolos como ZigBee [8][9], diseñados para trabajar en entornos WPAN (*Wireless Personal Area Network*). Estas investigaciones incluyen el uso de diferentes sensores y técnicas, en ocasiones combinaciones entre ellas con el fin de mejorar la precisión.

Otros métodos comúnmente utilizados hacen uso de una configuración de redes de sensores WSN (*Wireless sensor networks*), estos sensores se basan en las leyes geométricas y utilizan la dirección y distancia desde un nodo con una posición conocida, para determinar la posición de los demás nodos en la red [10][11]. Este nodo es quien envía la información de su ubicación al resto de nodos de la red y mediante algoritmos distribuidos, el resto de nodos infieren su ubicación [12]. Por otros lados existen métodos que se basan en el uso de teléfonos inteligentes los cuales cuentan con sensores como: el magnetómetro, giroscopio, acelerómetro, lector de comunicación de campo cercano NFC, barómetro, y otras que permiten determinar la ubicación a través de la navegación inercial [11].

A continuación, se describen las tecnologías y técnicas de localización más relevantes:

2.3.1 Técnicas de Localización

2.3.1.1 ToA (*Time of Arrival*)

Es el tiempo que demora una onda electromagnética en ir del transmisor al receptor; la relación lineal entre la distancia recorrida y el tiempo de propagación es:

$$d_i = c \Delta(t_i)$$

Ecuación 2. Tiempo de propagación de una onda

Donde d_i es la distancia entre el transmisor y el receptor, c es velocidad de propagación de la onda en el vacío y $\Delta(t_i)$ es la diferencia entre el tiempo de emisión y el tiempo de llegada. Para ubicar a un usuario se necesita como mínimo tres estaciones base; emitiendo con una estación, se tiene una circunferencia de radio R de posibles ubicaciones, con dos estaciones, se tiene dos puntos de posicionamiento correspondiente a la intersección de las dos circunferencias y con tres estaciones se tiene un solo punto donde las tres circunferencias se intersectan, este punto corresponde a la posición del usuario.

La técnica ToA tienen la desventaja de tener que utilizar un el reloj en el emisor y receptor muy sincronizados, debido a que, con pocas variaciones temporales, los cambios en la localización son notorios, se necesita de 8 a 10 segundos para 1 metro de precisión [2].

²Los *beacons* son dispositivos que emiten señales onda corta periódicas por medio de la tecnología Bluetooth [1].

2.3.1.2 DToA (*Differential Time of Arrival*)

Esta técnica es similar a ToA, la diferencia radica en que DToA se tienen dos ondas con velocidades de propagación diferentes, la primera de ellas utilizada comúnmente con una onda de radio, con un tiempo de propagación T_r y la otra con una onda acústica con tiempo de propagación T_s . La diferencia de tiempos de propagación de las ondas multiplicado por la velocidad de la onda acústica obtendrá la distancia. La ventaja respecto al anterior método es que en este mide los tiempos de forma relativa, eliminando errores que pueden aparecer por pequeñas diferencias de sincronización entre los relojes del emisor y receptor.

2.3.1.3 AOA (*Angle of arrival*)

Se define como el ángulo entre la dirección de propagación de la señal y otra dirección de referencia conocida. Esta técnica estima la posición utilizando un conjunto de antenas sensibles a la dirección para determinar el ángulo de la señal incidente. La posición del dispositivo es estimada al encontrar la intersección entre diferentes trayectorias de propagación de la señal, necesitando tres señales para posicionarse en tres dimensiones.

Se necesita un número elevado de antenas transmisoras para que el sistema sea preciso, esta técnica se ve afectada en gran medida por los multitrayectos provocando ángulos equivocados.



Figura 3. Localización ángulo de llegada

2.3.1.4 Basada en RSS (*Received Signal Strength*)

Esta técnica utiliza las potencias de señales recibidas y teniendo en cuenta la atenuación que presentan a medida que se alejan de la fuente emisora, se estima la distancia al emisor. Si se utiliza localización tipo ToA, es necesario utilizar un reloj muy preciso en los dispositivos de transmisión y si se utiliza localización tipo AoA se debe utilizar muchas antenas en cada transmisor.

La ventaja de esta técnica, es su fácil implementación y bajo costo, pero su desventaja es que la relación que existe entre la distancia y la potencia de la señal no es muy clara debido a los multitrayectos, reflexiones, difracciones etc.

2.3.1.5 Triangulación:

La triangulación se basa en la propiedad de que, si se conocen los puntos que forman los vértices de un triángulo y los ángulos interiores de este, es posible determinar cualquier posición interna del triángulo [3]. La precisión de este método depende en gran medida de la exactitud de las medidas realizadas, que pueden tener ruido debido a la orientación de las antenas, multitrayecto, o calidad de los sensores [2].

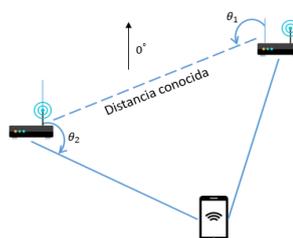


Figura 4. Ilustración técnica triangulación

2.3.1.6 Trilateración

La trilateración se basa en la intersección de tres círculos o más, haciendo referencia al lugar donde se encuentra la persona [19], para que esta técnica funcione, es necesario conocer al menos tres puntos de referencia.

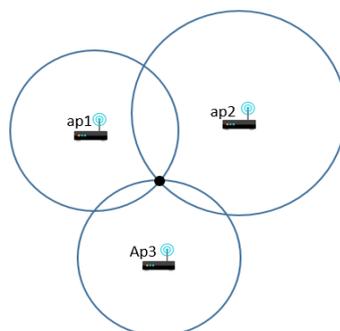


Figura 5. Ilustración trilateración

2.3.1.7 Fingerprinting - Reconocimiento de patrones

Las ondas de radiofrecuencia en espacios interiores tienen un complejo comportamiento de propagación, son inestables, su predicción es difícil y a pesar de que existe una relación entre el nivel de potencia RSSI emitido por un emisor y la distancia de propagación, no es posible confiar en que, para un nivel de potencia dado, corresponde directamente una separación entre los dispositivos de la red Wi-Fi; dificultando aplicar técnicas de localización como la *triangulación* o *trilateración*.

Por esta razón se contempla el método conocido como *Fingerprinting*, esta técnica se basa en buscar situaciones y características de un ambiente previamente conocido, siendo posible en el futuro reconocerlo a través de características similares, siempre y cuando el medio no haya sufrido cambios significativos.

Se utilizan dos fases: en la primera fase se construye una base de datos que almacena la información de las mediciones de RSS de las señales provenientes de los diferentes APs que se encuentran en el ambiente, en la segunda fase, se toman medidas de RSS en alguna posición para luego ser comparadas con las mediciones de RSS almacenadas en la base de datos y de esta manera estimar la localización.

Esta técnica además de utilizarse con señales Wi-Fi, también puede aplicarse midiendo la variación del campo magnético en la tierra; ya que este es teóricamente diferente para cada punto de la tierra y con la ayuda de un magnetómetro estimar la localización de una persona o un objeto, algunas investigaciones aseguran que se puede conseguir un margen de error entre 1 y 2 metros [4].

A continuación, se mencionan los principales algoritmos y técnicas que utilizan *Fingerprinting*.

2.3.1.8 Método KNN (K vecinos más cercanos)

El método de los vecinos más cercanos es un método de clasificación de objetos basado en un entrenamiento mediante ejemplos cercanos en el espacio de los elementos, este método estima el valor de la función de densidad de probabilidad o la probabilidad a posteriori de que un elemento pertenezca a una clase a partir de la información proporcionada por el conjunto de elementos [5].

2.3.1.9 Redes Neuronales

Son sistemas inteligentes que tienen el objetivo de clasificar los datos en conjuntos, logrando estimar la localización mediante la observación de señales procedentes de fuentes emisoras. Las redes neuronales están basadas en dos etapas, en la primera etapa se entrena la red con un conjunto de datos de entrada-salida, en este caso las entradas son las potencias recibidas por cada uno de los emisores, y las salidas son las probabilidades de encontrarse en una posición, en la segunda etapa el sistema se encuentra entrenado y es capaz de decidir a qué conjunto de potencias corresponde una localización.

Este método tiene el inconveniente de tener alto tiempo de procesamiento en la etapa de entrenamiento y ser complejo comparado con otras técnicas [6].

2.3.1.10 Máquina de Soporte Vectorial

Conocidas también como SVM (*Support Vector Machine*) por sus siglas en inglés, es un algoritmo de aprendizaje supervisado basado en vectores de soporte, para la clasificación y regresión de datos, el algoritmo SVM crea un hiperplano de separación o superficie de decisión en dicho espacio caracterizado utilizando para llevar a cabo la clasificación. A diferencia de las redes neuronales las SVM pueden ser entrenadas para crear estructuras de clasificación de los datos sin memorizar las muestras de entrenamiento [6].

Los resultados que se obtienen con esta técnica son buenos, alrededor de 3,96 metros [6], pero requiere una calibración laboriosa para que funcionen correctamente y son complejos de implementar.

2.3.1.11 Métodos Probabilísticos

Se utilizan diferentes técnicas de probabilidad para estimar la posición del usuario, comúnmente se hace uso del teorema de Bayes para calcular la probabilidad a posteriori de encontrar una posición dado el *mapa de huellas*.

2.3.1.12 Navegación inercial

Se basa en el uso de diferentes sensores; algunos comúnmente encontrados en los celulares, tales como el acelerómetro para medir la aceleración lineal, el giroscopio para medir la orientación, el barómetro para medir la altura (útil para detectar el piso), el magnetómetro para medir la variación del campo magnético y la brújula para medir el sentido en el que camina el individuo [7]. Esta técnica es utilizada en conjunto con otras, con el fin de mejorar la precisión y disminuir el error.

2.4 Tecnologías de Localización

2.4.1 GPS (*Global Positioning System*)

Consiste en la utilización de 24 satélites que se encuentran girando con trayectorias sincronizadas alrededor de la tierra, a través de la diferencia de tiempo entre las señales enviadas por los satélites al receptor y del método de *trilateración*, se logra determinar las coordenadas en términos de latitud, longitud y altitud de cualquier punto sobre la superficie de la Tierra, con una precisión aproximada de 15 metros [8]. El GPS ha logrado integrarse a la mayoría de dispositivos, hoy se puede encontrar en vehículos como automóviles, barcos, aviones, incluso en relojes o collares para mascotas [9]. Como se ha mencionado anteriormente el GPS no tiene un buen funcionamiento en los espacios cerrados, debido a que las señales de radio emitidas por los satélites que están girando alrededor de la Tierra, sufren atenuaciones por las estructuras físicas de los edificios, lo que impide tener un sistema de posicionamiento y navegación preciso.

2.4.2 GSM (*Global System for Mobile*)

GSM es la red de telefonía móvil que cuenta con una gran infraestructura y por lo tanto cuenta con gran cobertura. Trabaja en dos bandas de 25 MHz cada una, el *uplink* (terminal móvil-estación base) que se encuentra entre 890-915 MHz y el *downlink* (estación base-terminal móvil) que se encuentra entre 935-960 MHz [2].

Para utilizar la tecnología de GSM como tecnología de localización, se obtiene la potencia recibida de cómo mínimo tres estaciones base y basándose en técnicas de *triangulación* que emplea la técnica diferencia entre los tiempos de llegada TDOA (*Time Difference Of Arrival*) de la señal procedente del

terminal móvil a las estaciones base, calcula la posición. La precisión de este método es muy baja (50-200 m), dependiendo del tamaño de la celda [10].

Con GSM es posible utilizar la técnica de *Fingerprinting*, incluyendo las celdas más fuertes, para crear su mapa de *huella*, algunas pruebas han demostrado que se puede tener una exactitud aproximada de 2.5 metros. [11]. Sin embargo, la localización por GSM se basa en la detección de la celda a la que está conectado el móvil, siendo ineficiente en las zonas rurales donde se necesitan menos celdas para brindar el servicio.

2.4.3 RFID (*Radio Frequency IDentification*)

La identificación por radiofrecuencia RFID, es una tecnología que permite el intercambio de información de manera inalámbrica gracias a una onda emisora que transmite por radiofrecuencia los datos de un objeto, haciendo posible su auto identificación. La comunicación se realiza entre una etiqueta RFID, conocida normalmente como *tag* RFID y un lector. La distancia de comunicación, la fiabilidad y velocidad de transmisión depende de los tipos de los *tags* y los lectores RFID utilizados que manejan diferentes características como el tipo de antena, la frecuencia de trabajo o el tipo de circuito que usan.

El lector RFID emite una señal a una denominada frecuencia, esta señal es captada por el *tag*, el cual modifica la señal incorporando la información necesaria y la devuelve al lector, así un usuario que se quiera localizar en un edificio, puede utilizar un lector RFID para obtener la información de las etiquetas cercanas.

Esta es una opción que podría tener buenos resultados, pero es costosa, ya que alcance de las señales es corto y para su implementación sería necesario contar con muchos *tags* RFID desplegados a lo largo del edificio.

2.4.4 Bluetooth

Bluetooth es una tecnología inalámbrica que opera sobre la banda de 2.4 GHz con una velocidad de transmisión de 1 Mbps aproximadamente y un rango de distancias de 10 m a 15 m [12].

Bluetooth es usada en localización de interiores mediante *Beacons*, que permiten crear una red de sensores con el fin de aplicar el método de *triangulación*, este tipo de tecnología logra tener un error aproximado de 1,5 m [13]. Sin embargo, su mayor problema es el indicador de intensidad de potencia, ya que no es muy preciso y tiene un corto alcance; razón por la que es necesario el uso de varios dispositivos durante su implementación.

2.4.5 ZigBee

ZigBee es considerado como un protocolo de comunicación inalámbrica, basada en el estándar IEEE 802.15.4 [10], cuyo principal uso es en comunicaciones seguras con baja tasa de transmisión, sin embargo, estos dispositivos son costosos, comparados a los demás.

Al igual que Bluetooth la tecnología ZigBee es usada en localización de interiores mediante una red de sensores transmitiendo con diferente RSS para hacer uso de técnicas como *trilateración*, *triangulación* o *métodos basados en el rastro*.

2.4.6 UWB (*Ultra Wide Band*)

UWB o banda ultra ancha es una tecnología de origen militar con un espectro de frecuencia que va desde 3.1 GHz hasta 10.6 GHz [14], usualmente es utilizada en comunicaciones de alta velocidad de transmisión con un gran ancho de banda, sin embargo esta transmisión es de corta distancia entre 50 y 20 cm [15].

En UWB suelen usar pulsos cortos de transmisión al momento de realizar localización en interiores, con el fin de implementar TDOA con AOA. La ventaja de utilizar ambas soluciones conjuntamente, es la

facilidad de ubicación con pocos sensores. una de sus principales desventajas es el problema que existe al momento de sincronización del receptor con el emisor.

2.4.7 Wi-Fi

Es un sistema de comunicación de datos basado en el estándar IEEE 802.11 que transmite y recibe datos utilizando ondas electromagnéticas, diseñada para comunicaciones inalámbricas en redes WLAN (*Wireless Local Area Network*). Esta tecnología inalámbrica emite en la banda de 2.4GHz y trabaja en 14 canales solapados entre sí, utiliza el método de acceso al medio múltiple basado en el protocolo CSMA-CA por lo que reduce las interferencias al transmitir tramas solo cuando el medio está libre y por lo tanto el error [16].

En las siguientes tablas se muestra un resumen de las técnicas que se pueden aplicar por cada una de las tecnologías y las variables de localización que intervienen por cada técnica.

Tecnología Técnica	Wi-Fi	RFID	Bluetooth	UWB	Navegación Inercial	Campo Magnético	ZigBee	GSM
Trilateración	X	X	X	X			X	X
Triangulación	X	X	X	X			X	X
KNN	X	X	X	X			X	X
Fingerprinting	X	X		X		X	X	X
Redes neuronales	X	X		X		X	X	X
Máquinas de soporte Vectorial	X	X		X		X	X	X
Métodos probabilísticos	X	X	X	X		X	X	X

Tabla 1. Comparación técnicas y tecnología de localización en interiores

Técnica Variable	Trilateración	Triangulación	KNN	<i>Fingerprinting</i>	Redes neuronales	Máquinas de soporte Vectorial	Métodos probabilísticos
TOA	X	X	X	X	X	X	X
AOA			X	X	X	X	X
TDOA	X	X	X	X	X	X	X
RSSI	X	X	X	X	X	X	X

Tabla 2. Comparación técnicas y variables de localización en interiores

Durante este capítulo se han explicado las ventajas y desventajas de las principales tecnologías y técnicas existentes para la localización de interiores, debido a la importancia que tiene una buena elección, en el capítulo de desarrollo se evalúa y explica brevemente la tecnología y la técnica escogida.

3 Objetivo del Proyecto

Se desarrolló un aplicativo móvil funcional, que implementa un modelo de localización en interiores para estimar la ubicación de una persona a través de las señales Wi-Fi presentes en el ambiente, el aplicativo permite ubicar al usuario con buena precisión en tiempo real en zonas del edificio de Ingeniería de la Pontificia Universidad Javeriana, esto fue posible gracias al trabajo de exploración de las diferentes tecnologías y técnicas utilizadas para localización en lugares cerrados, seleccionando las que se consideraron más viables y efectivas para desarrollar el modelo, y que se pusieron a prueba a través de experimentos que permitieron determinar la exactitud y precisión del aplicativo.

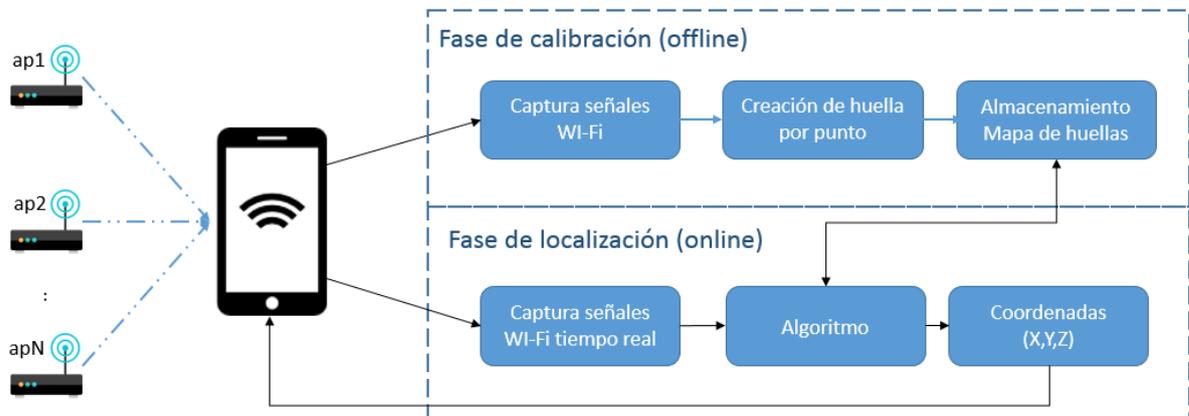
4 Desarrollo

Después de analizar las tecnologías presentadas en el marco teórico de este documento, se concluye que la mejor opción para diseñar el modelo de localización es utilizar la tecnología Wi-Fi, esto teniendo en cuenta que se dispone de una variedad de señales procedentes de la red inalámbrica del campus de la universidad y que no se requiere ninguna implementación adicional de hardware, ya que actualmente existen gran variedad de dispositivos que disponen de una tarjeta de Wi-Fi integrada, lo que permite integrarlos a la red sin necesidad de instalar software o tener que manipular hardware, por lo tanto, en términos económicos es viable.

Entre las técnicas mencionadas anteriormente, la que mejor se adapta al entorno por la disponibilidad de redes presentes en el campo universitario y por la simpleza de no tener la necesidad de utilizar relojes con muy buena sincronización en los dispositivos (como es necesario en los métodos TOA, AOA, TDOA), es la técnica de reconocimiento de patrones *Fingerprinting*, basada en las medidas de intensidad de potencia. También se consideró los casos de éxito y trabajos de investigación adjuntos en el anexo, donde se ha demostrado que este tipo de técnica ha tenido buenos resultados con un fácil despliegue y un bajo costo.

4.1 *Fingerprinting* utilizando Wi-Fi

La técnica de *Fingerprinting* se basa en la recepción de la intensidad de potencia RSS de las diferentes señales que hay en ubicaciones del edificio para almacenarlas en una base de datos y con ayuda de algunos algoritmos, compararlas con las mediciones en tiempo real para estimar la ubicación del usuario. Esta técnica utiliza dos fases: la **fase de calibración** y la **fase de localización**, descritas en el siguiente numeral. El diagrama de bloques se muestra en la Figura 6.



	punto1	punto2	punto3	...	puntoN
Mac1	rss11	rss21	rss31	...	rssN1
Mac2	rss12	rss22	rss32	...	rssN2
Mac3	rss13	rss23	rss33	...	rssN3
Mac4	rss14	rss24	rss34	...	rssN4
Mac5	rss15	rss25	rss35	...	rssN5
⋮	⋮	⋮	⋮	...	⋮
MacM	rss1M	rss2M	rss3M	...	rssNM

Figura 7. Mapa de huellas fase de calibración *Fingerprinting*

Para crear las *huellas* del modelo *Fingerprinting* se tomó como base la idea propuesta en [17], que consiste en realizar un aplicativo, que facilite el proceso de adquisición de datos en la fase calibración y el proceso de estimación de posición en la fase de localización.

4.1.2 Aplicativo de adquisición de datos

Se desarrolló un aplicativo de adquisición de datos permite cargar el plano del edificio a modelar, junto con la información de sus dimensiones, una vez cargado el plano se aplica un algoritmo que segmenta la superficie con el objetivo de generar los puntos del *mapa de huellas* (Figura 8).

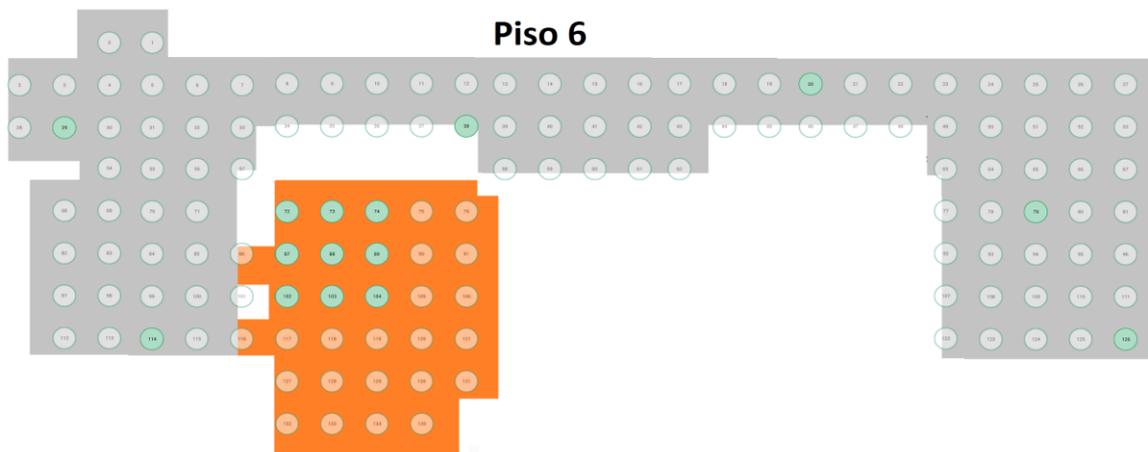


Figura 8. Mapa de huellas Piso 6 del edificio de Ingeniería

Para capturar las intensidades de potencia de las redes Wi-Fi presentes en cada punto generado, se ubica al usuario en la posición deseada, se selecciona el punto correspondiente a la posición y se escogen la cantidad de muestras que se quieren tomar para realizar la captura de la información.

Una vez tomadas las muestras de los valores RSS en un punto, se cambia el color del punto en el mapa del aplicativo a verde para indicar que los datos en ese punto fueron tomados, al seleccionar de nuevo el punto se despliega una ventana con una gráfica de barras de las intensidades de potencia para cada una de las redes capturadas, se muestran las coordenadas de ese punto y se permite tomar las medidas de la *huella* nuevamente (Figura 9).

Al capturar las muestras de los valores RSS en los diferentes puntos del *mapa de huellas*, se notó que existen redes con el mismo nombre de red o SSID, lo que indica que los APs que se utilizan en la universidad pueden transmitir diferentes señales al mismo tiempo y que se utiliza el mismo nombre de red en diferentes APs. Para identificar las redes fue necesario relacionarlas con su dirección de tarjeta de red (MAC).

Por otro lado, se observa que los valores RSS para algunas redes procedentes de puntos de accesos lejanos, no eran captados por el celular o solo se captaban en algunos instantes de tiempo, por lo cual

fue necesario reemplazar el valor de 0, correspondiente a la ausencia de la señal por -95 dBm, valor considerado como el menor registrado en el *mapa de huellas*.

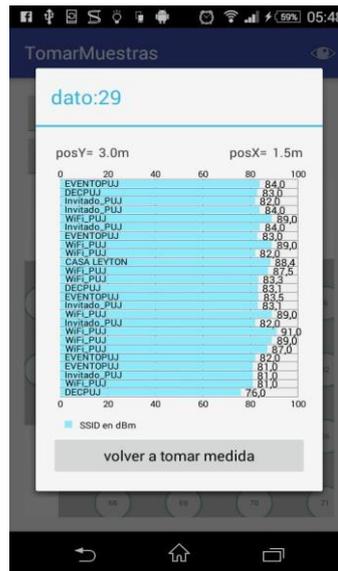


Figura 9. SSID captadas por el aplicativo

4.1.3 Almacenamiento

Los datos capturados son guardados en el dispositivo móvil en archivos planos, la información se encuentra separada por *tokens*³, para identificar los datos y permitir cargarlos fácilmente a otra herramienta como Excel o Matlab.

A continuación, se muestran los 3 tipos de reportes que son generados en el aplicativo:

- **Huella de punto:** Archivo que contiene las n-muestras de los SSID presentes en el punto con su correspondiente MAC. Se tiene 1 archivo para cada punto del mapa.
- **Mapa de huella:** Archivo que contiene el promedio de las n-muestras de los valores RSSI de cada una de las redes y cada uno de los puntos.
- **Coordenadas:** Archivo que relaciona el ID del punto con las coordenadas XY del plano.

4.1.3.1 Fase de localización:

También conocida como fase *Online*, en esta fase se comparan los nuevos valores de intensidad de las señales con el *mapa de huellas*, para estimar la localización de un objeto mediante comparación de las medidas obtenidas en tiempo real con las previamente recolectadas en la fase anterior.

4.1.4 Aplicativo de localización

Durante la fase de localización se diseñó un aplicativo que utiliza los tres tipos de archivos nombrados anteriormente para estimar la posición del usuario con base en dos algoritmos que pueden ser seleccionados por el usuario.

Al igual que el aplicativo de adquisición de datos, este aplicativo contiene el plano de las zonas donde se creó el *mapa de huellas*. El aplicativo marca las burbujas probables con diferentes colores tal como se muestra en la Figura 10, indicando las que tienen mayor probabilidad de que el usuario se encuentre en alguna de ellas, además, el aplicativo marca con un punto rojo la posición final, calculado utilizando el método KNN, descrito en la siguiente sección.

³ Un *token* es un carácter utilizado en programación para separar información.



Figura 10. Aplicativo fase localización

4.1.5 KNN (*K Nearest Neighbors*)

Para el modelo de localización se propone utilizar el algoritmo de los K vecinos más cercanos, para estimar la posición del usuario a partir de sus K ubicaciones más probables obtenidas con los algoritmos de distancia euclidiana o distribución probabilística que se describen en 4.1.6. Este algoritmo utiliza un método de clasificación de datos para estimar la probabilidad de que un elemento pertenezca a un conjunto de datos y se fundamenta en el supuesto de que la clase a la cual corresponde un objeto es la misma a la que pertenecen sus vecinos más cercanos [18]. La ilustración de este método se muestra en la Figura 11.

El método KNN utiliza las medidas de los valores de RSS tomados con el celular en tiempo real o en la fase *Online* para buscar y seleccionar las K equivalencias más cercanas a las localizaciones almacenadas en el *mapa de huellas* en la fase de calibración o fase *Offline*.

Este método compara las medidas tomadas con el celular en tiempo real contra todas las *huellas* de las bases de datos y dependiente del algoritmo de clasificación, otorga un valor a cada una de las *huellas* indicando el valor de proximidad entre ambas muestras. Una vez se tienen los valores de proximidad calculados de las muestras en tiempo real contra todas las muestras de cada uno de los puntos del *mapa de huellas*, se selecciona el K o las K ubicaciones con menor distancia o mayor probabilidad dependiendo el algoritmo.

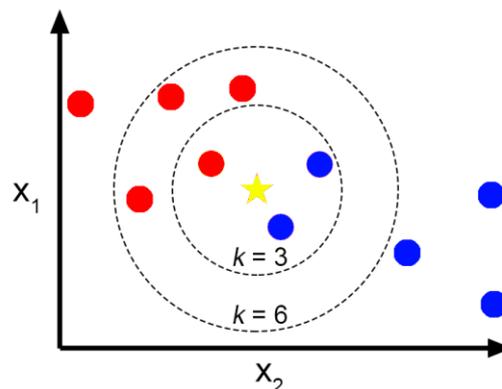


Figura 11. Clasificación de conjunto de datos a través de KNN

Al tener K ubicaciones posibles surge la pregunta de cuál de estas considerar, si tomar la de mejor valor de proximidad o tener en cuenta las otras ubicaciones. Con el fin de mejorar la precisión de localización se propone usar el método de KNN basado en pesos [18], Este método tiene en cuenta los K vecinos seleccionados, pero dándoles un valor o peso diferente correspondiente a la inversa del valor de proximidad, donde el vecino más cercano es el que el mayor peso aporta, de esta manera se pueden obtener las coordenadas de la ubicación estimada partir de las K ubicaciones probables con sus pesos, la ecuación que relaciona este método se muestra en la Ecuación 3.

$$w = \sum_{i=1}^k \left(\frac{1}{d_{xi}}, \frac{1}{d_{yi}} \right) \quad (x', y') = \frac{1}{w} \sum_{i=1}^k \left(\frac{x_i}{d_{xi}}, \frac{y_i}{d_{yi}} \right)$$

Ecuación 3. Posición estimada método KNN basado en pesos

w : peso de proximidad
 k : número de vecinos probables
 (x_i, y_i) : Coordenadas reales de cada huella
 (d_{yi}, d_{xi}) : Valor de proximidad
 (x', y') : coordenadas promedio dónde se encuentra el usuario

Debido a que la precisión del algoritmo puede verse afectada por la presencia de *huellas* que arrojan valor de proximidad con ruido o irrelevantes, se ha considerado realizar una prueba experimental donde se analice cómo cambian los resultados de estimación de la ubicación variando el parámetro K .

El criterio de proximidad se establece con base a dos técnicas que serán explicadas más adelante, la primera determinística utilizando la distancia euclidiana y la segunda probabilística basándose en el teorema de Bayes.

4.1.6 Algoritmos de estimación de posición

4.1.6.1 Algoritmo Distancia Euclidiana

La distancia euclidiana permite comparar la similitud de una muestra a otra, a través de una medida de proximidad hallada con la Ecuación 1 Ecuación 4. Si el valor de distancia es grande indica que el conjunto de muestras tomadas en tiempo real y el conjunto de muestras de una *huella* son diferentes, mientras que si es pequeña quiere decir que las muestras son similares.

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

Ecuación 4. Distancia Euclidiana

Durante la fase de calibración se construyó el *mapa de huellas* tomando medidas de los valores de intensidad de potencia medidos para cada punto. Cada *huella* puede ser expresada a través de un vector con los valores de RSS de las MACS de cada AP y de manera general el *mapa de huellas* será una matriz con los vectores de *huellas* para cada punto, tal como se muestra a continuación:

$$Rhuella = \{RSSP1, RSSP2, RSSP3, \dots, RSSPN\}$$

$$mapa huella = \begin{bmatrix} Rhuella_{11} & Rhuella_{21} & \dots & Rhuella_{m1} \\ Rhuella_{12} & Rhuella_{22} & \dots & Rhuella_{m2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Rhuella_{1n} & Rhuella_{2n} & \dots & Rhuella_{mn} \end{bmatrix}$$

Ecuación 5. Vector huella y matriz de huellas

En la fase de localización se creó un vector de los valores de intensidad de potencia en tiempo real, este vector llamado Q es comparado con cada uno de los vectores de las R *huellas* de cada punto, obteniendo

un valor de distancia euclidiana para cada uno de ellos; el menor valor de distancia euclidiana obtenido de este proceso es el punto que mayor valor de proximidad tiene. Si el vector Q no contiene valores de RSS para algunas AP, estas serán remplazadas por el valor de -95 dBm.

$$Q = \{RSS_1, RSS_2, RSS_3, \dots, RSS_n\}$$

Ecuación 6. Vector valores RSS en tiempo real

La fórmula resultante del proceso de cálculo de distancia euclidiana para hallar los valores de proximidad se muestra en la Ecuación 7.

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

Ecuación 7. Distancia euclidiana para Fingerprinting

n: cantidad de MACs en el mapa de huellas.

$d_E(R, Q)$: distancia euclidiana entre el mapa de huellas y muestra en tiempo real.

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

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

4.1.6.2 Algoritmo de Probabilidad

Los métodos probabilísticos están basados en modelos matemáticos usados cuando se tiene un conjunto de datos con comportamientos aleatorios. Debido a la naturaleza que presentan la red inalámbrica Wi-Fi es posible abarcar el problema de localización valiéndonos de la probabilidad.

Con el objetivo de generar un modelo probabilístico del comportamiento de las señales Wi-Fi, específicamente de los valores RSS tomados en la fase de calibración al momento de crear el *mapa de huellas*, no se consideró un único valor para cada SSID cómo se realiza en el método de distancia euclidiana, sino que se tuvieron en cuenta 500 muestras (tomadas consecutivamente) del valor de intensidad de potencia para cada red en cada punto, es decir que ahora cada punto del *mapa de huellas* será una matriz que contiene las SSID leídas en el celular con sus respectivas 500 muestras. De tal manera que se pueda considerar el valor promedio de las intensidades de potencia y sus variaciones.

De esta manera es posible considerar el conjunto de 500 muestras como una función de distribución normal (Figura 12), siendo posible a través de la función de distribución acumulativa calcular la probabilidad de encontrar los valores de intensidad de potencia de cada SSID de la muestra en tiempo real, en cada uno de los puntos del *mapa de huella*, para obtener la mayor probabilidad de que la muestra en tiempo real sea parecida a uno de los puntos del *mapa de huellas* y así obtener la ubicación estimada. Es importante tener en cuenta que se trata de una aproximación ya que realmente las muestras de datos no cumplen con las características propias de una distribución normal, y no cualquier función matemática es útil para caracterizar una variable aleatoria, por el contrario, las funciones de densidad y de distribución acumulada deben reunir una serie de propiedades para que sea posible asignar probabilidades a los eventos de las mismas.

estimada con la posición real de referencia, por otro lado, la *precisión* se define como la “proximidad entre las indicaciones o los valores medidos obtenidos en mediciones repetidas de un mismo objeto, o de objetos similares, bajo condiciones especificadas”, es decir que tanto difieren las medidas estimadas entre ellas, lo cual representa la desviación estándar en el error de la medida.

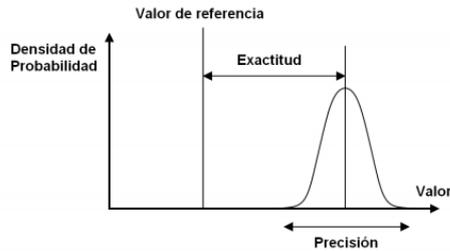


Figura 13. Ilustración exactitud y precisión

Teniendo en cuenta lo anterior definimos para estas pruebas, la *precisión* como el grado de certeza que tiene la tolerancia asociada a la estimación real, es decir, la distribución del error entre la localización real y la estimada.

Se indicará una tolerancia T en metros con una cierta probabilidad, como se muestra en la Figura 14, cuando se estime la posición para el punto $P1(x1, y1)$, se garantiza que el punto real se encuentra contenido del círculo de radio R cuyo centro es el punto estimado $P2(x2, y2)$ con una probabilidad P .

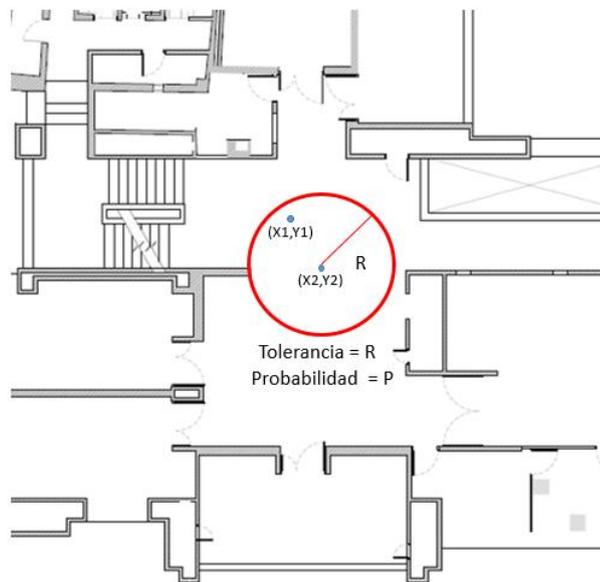


Figura 14. Ilustración error ubicación estimada

Entonces el modelo de localización en interiores será mejor en cuanto menor tolerancia tenga y mayor certeza se tenga de esta tolerancia.

Para hallar el error de la ubicación estimada por los algoritmos de se calcula la distancia geométrica que existe entre la ubicación real con la ubicación estimada, la distancia que se obtiene es el error de exactitud del algoritmo.

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

Ecuación 8. Distancia entre dos puntos

Por otro lado, también definiremos el término de *ubicaciones fiables*, que utilizaremos para referirnos a ubicaciones en las que se tiene un mayor grado de certeza de que se obtengan resultados de estimación

más exactos y más precisos, esto teniendo en cuenta el conjunto de redes y sus intensidades obtenidas en las ubicaciones.

5.2 Captura de Datos

Para la adquisición de datos se utiliza el mismo mecanismo utilizado para crear el *mapa de huellas*, es decir, un *smartphone* Sony Xperia M2 con la tarjeta de red inalámbrica por defecto que viene integrada con el celular.

Las pruebas se realizarán con dos *mapas de huellas* diferentes, el primer mapa es el mapa completo que cuenta con más de 500 SSID de diferentes MACs, correspondiente a las señales emitidas por los diferentes APs en el campus universitario, mientras que en el segundo *mapa de huellas* es el simplificado, el cual contiene alrededor de 200 SSID de diferentes MACs, obtenidas al seleccionar las SSID con sus respectivos valores de RSS de los APs más cercanos.

5.3 Algoritmos a probar

Se utilizarán algoritmos pertenecientes al método de KNN (*K* vecinos más cercanos), que se describen en el capítulo anterior, estos algoritmos utilizan el promedio de las *K* posiciones más probables como una estimación de la ubicación de un usuario móvil, los algoritmos son:

Algoritmo 1: Distancia euclidiana, calcula las *K* ubicaciones probables teniendo en cuenta la distancia euclidiana que existe entre los valores de RSS de cada punto del *mapa de huellas* y los de la muestra en tiempo real.

Algoritmo 2: Distribución probabilística, calcula las *K* ubicaciones probables teniendo en cuenta la probabilidad de encontrar las señales de la muestra en tiempo real en puntos del *mapa de huellas*.

5.4 Prueba 1 - Variabilidad de señal Wi-Fi

Este experimento consiste en tomar 9.000 muestras de los valores de RSS que emite un único AP a lo largo del tiempo, para esto se identificará una MAC de un AP ubicado en el 5 piso y se tomarán muestras consecutivas de los valores de RSS presentes en una ubicación cercana y en una ubicación lejana del AP elegido.

Esta prueba tiene el objetivo de comprobar y evaluar la variabilidad de la señal Wi-Fi del AP en el tiempo, se espera tener variaciones más grandes de la señal para el punto lejano y menos variaciones para el punto cercano al AP.

Las ubicaciones seleccionadas se muestran en la Figura 15, el punto X representa la ubicación del AP, el punto 1 corresponde a la ubicación cercana y el punto 2 corresponde a la ubicación lejana.

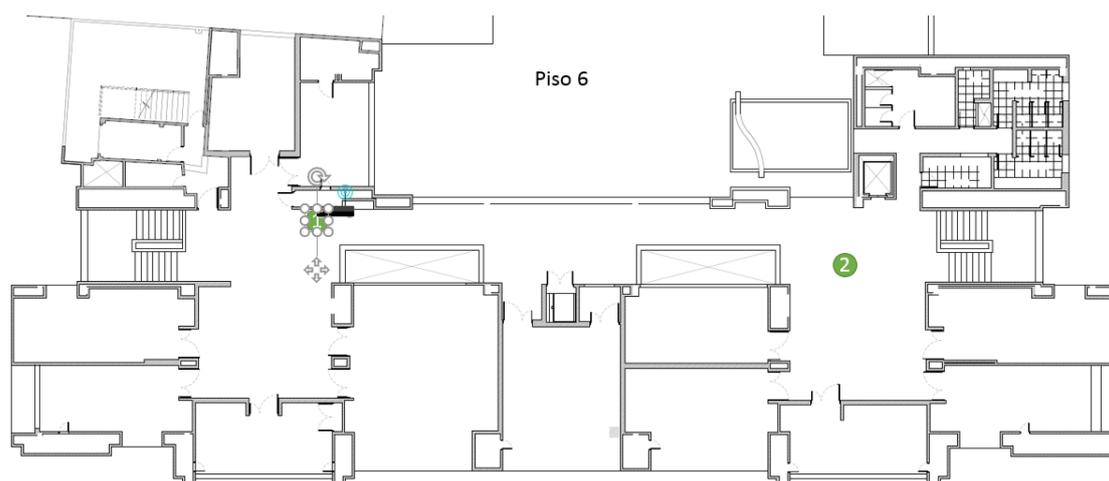


Figura 15. Ubicaciones seleccionadas prueba variabilidad de la señal Wi-Fi

5.5 Prueba 2 - Variación de parámetro KNN

Para este experimento se variarán los K vecinos desde 1 hasta 10, se eligió el punto 5 y el punto 0 mostrados en la Figura 16. Esta prueba se realizará con el objetivo de evaluar el método KNN con los dos algoritmos que trabajan con esta técnica y como su rendimiento puede cambiar dependiendo del K definido.

5.6 Prueba 3 - Identificación de zonas y precisión

El objetivo de esta prueba es evaluar si el aplicativo de localización en interiores es acertado ubicando al usuario en la zona en la que él se encuentra, es decir, si es capaz de identificar piso, laboratorios y corredores, también se comparará el error expresado en metros de la posición estimada por los dos algoritmos, utilizando los dos tipos de mapas mencionados anteriormente. Con estos resultados, se espera obtener una exactitud y precisión aproximada del modelo diseñado de localización en interiores.

Para este experimento se seleccionarán diez posiciones de referencia para el quinto piso y siete posiciones para el sexto piso mostradas en la Figura 16 y Figura 17, estas medidas se realizarán para cinco instantes de tiempo diferentes con el fin de tener en cuenta la precisión del aplicativo.

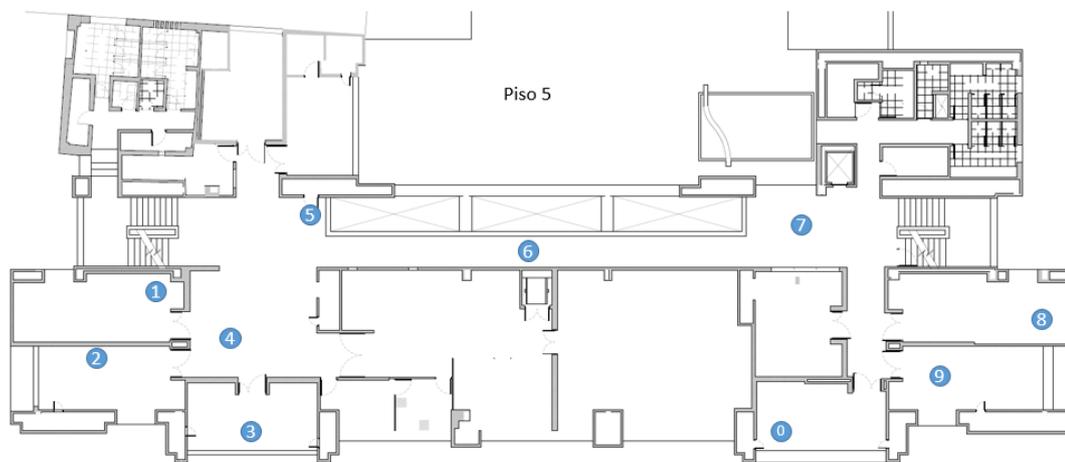


Figura 16. Ubicaciones seleccionadas prueba piso 5

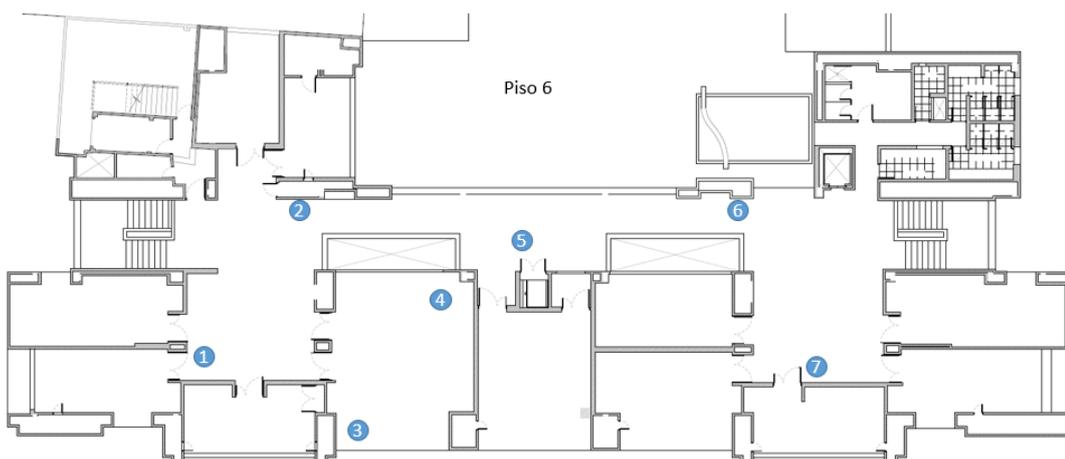


Figura 17. Ubicaciones seleccionadas prueba piso 6

6 Análisis de Resultados

Durante el desarrollo de las pruebas se logró evidenciar diferentes factores los cuales serán descritos a continuación:

6.1 Resultados - Variabilidad de la Señal Wi-Fi

La captura de las 9.000 muestras se realizó en el piso 6 del departamento de ingeniería electrónica en un horario donde se encontraban gran cantidad de personas, por lo que se esperaba que las variaciones de potencia de la señal fueran significativas.

Los resultados para la ubicación cercana al AP se muestran en la Figura 18 **Error! Reference source not found.**, en el histograma se observa que la intensidad de la señal se mantiene constante en -33 dBm con más de 8.000 ocurrencias, también se observan alrededor de 10 variaciones bruscas con un valor de -51 dBm, correspondiente a los desvanecimientos a pequeña escala mencionados en el marco teórico.

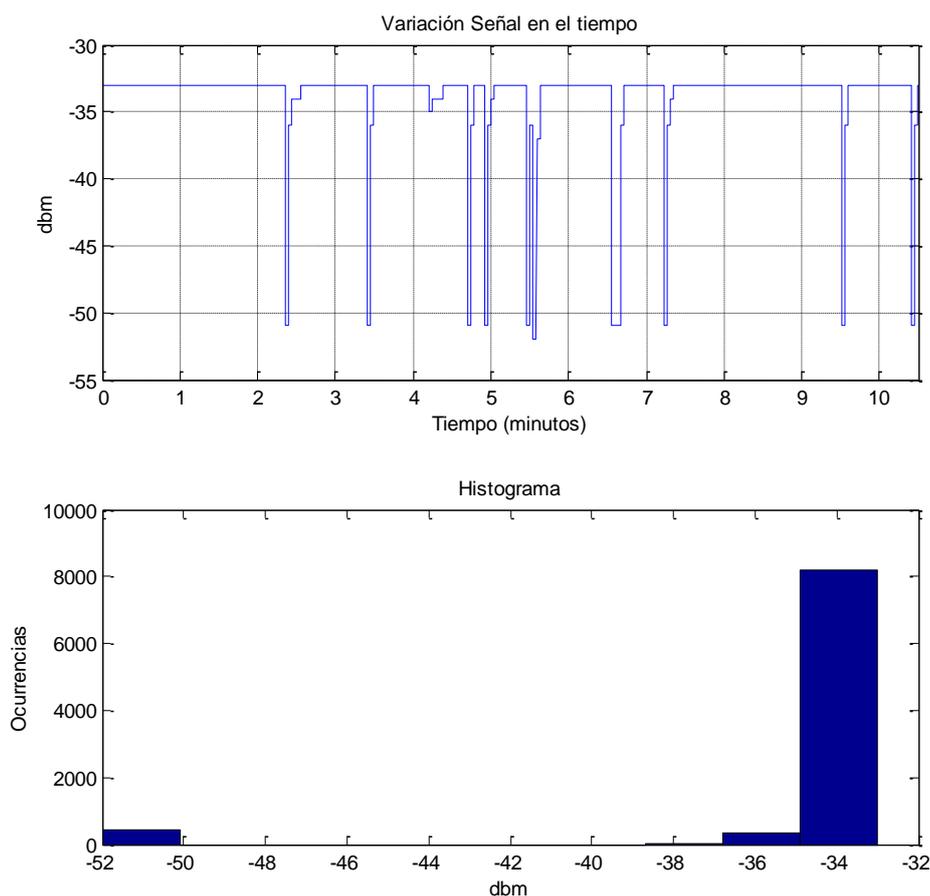


Figura 18. Variación en el tiempo e Histograma señal Wi-Fi punto cercano

Para el punto lejano al AP se tiene una distribución diferente de la ubicación cercana (Figura 19), iniciando con un valor predominante de -77 dBm con alrededor de 2.000 ocurrencias, le sigue un valor de -79 dBm y uno de -76 dBm con alrededor de 1.500 ocurrencias cada una. A diferencia del punto lejano en esta gráfica se pueden ver grandes variaciones tanto a lo largo del tiempo, como en valores diferentes de intensidad de potencia, la señal fluctúa entre valores de -83 dBm y -74 dBm, con un rango de casi 10 dBm de diferencia, este es el efecto de desvanecimiento a gran escala causado por los obstáculos presentes en el trayecto.

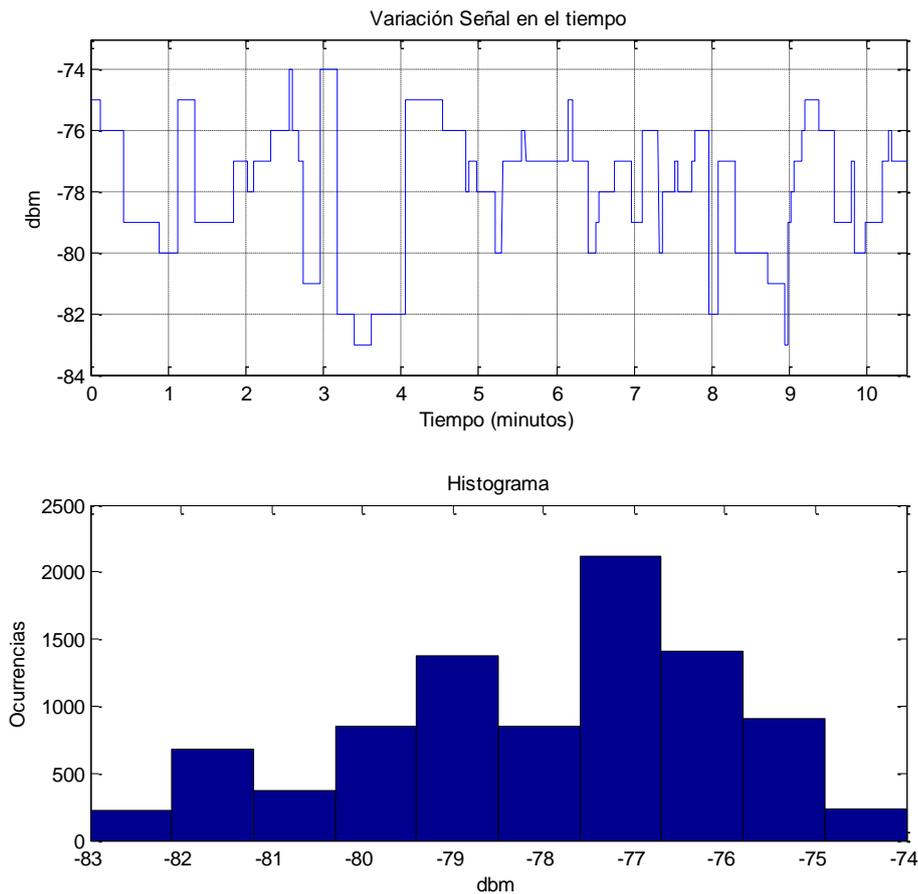


Figura 19. Variación en el tiempo e Histograma señal Wi-Fi punto lejano

La Tabla 3 muestra el resumen de medidas de dispersión para ambas ubicaciones.

	Punto Cercano	Punto Lejano
Media	-34,02	-77,94
Varianza	14,88	4,88
Moda	-33,00	-77,00

Tabla 3. Comparación medidas de dispersión punto cercano y lejano al AP

Se puede observar que a pesar de que para el punto cercano la varianza es mayor que para el punto lejano, para este último sus variaciones en los valores de intensidad son mayores y tienen mayor ocurrencia a lo largo del tiempo, esto se debe principalmente a los multitrayectos que se generan por los obstáculos que hay desde el emisor hasta el receptor, siendo mayor para el punto lejano, mientras que para el punto cercano tiene línea de vista directa con el AP.

La media y la moda para cada punto son prácticamente iguales, sin embargo, esto no pasaría si se consideran intervalos de tiempo menores, tal como puede ocurrir en la creación del *mapa de huellas*, donde estas variaciones pueden afectar la *huella*, generando problemas en el momento de estimar la posición.

Se evidencia una gran variación de la señal Wi-Fi, debido por los desvanecimientos a pequeña y a gran escala originados por los multitrayectos que presenta la señal, especialmente en el punto lejano donde los efectos de los obstáculos son notorios.

6.2 Resultados - Elección K en la técnica K vecinos cercanos

Para el experimento de analizar cómo afectan los resultados de la ubicación estimada por los algoritmos variando el parámetro K de la técnica de KNN, se tomaron medidas de los valores de RSS en dos ubicaciones mostrados en la Figura 15, una medida para una *ubicación fiable*, donde que se ha comprobado que se tiene buena precisión y exactitud en la estimación de la distancia y una medida para una ubicación que muestran resultados poco precisos, esto con el objetivo de considerar las diferentes ubicaciones del piso, ya que algunas se encuentran al lado de algún AP y otras más alejadas. Para cada uno de los puntos elegidos se realizó el promedio de 5 medidas para tener en cuenta picos de variaciones de la señal y evitar tener mediciones erradas.

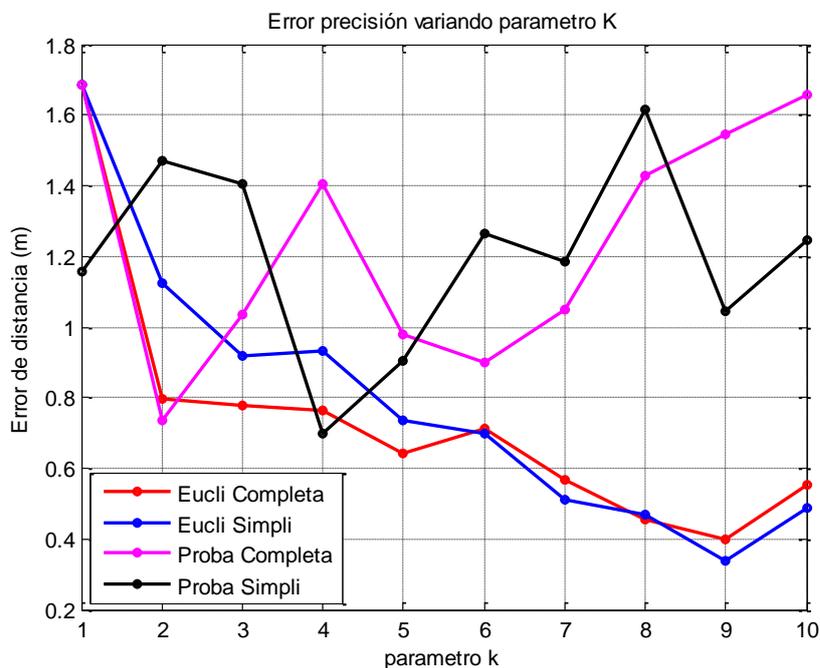


Figura 20. Error promedio distancia estimada variando K - Ubicación fiable

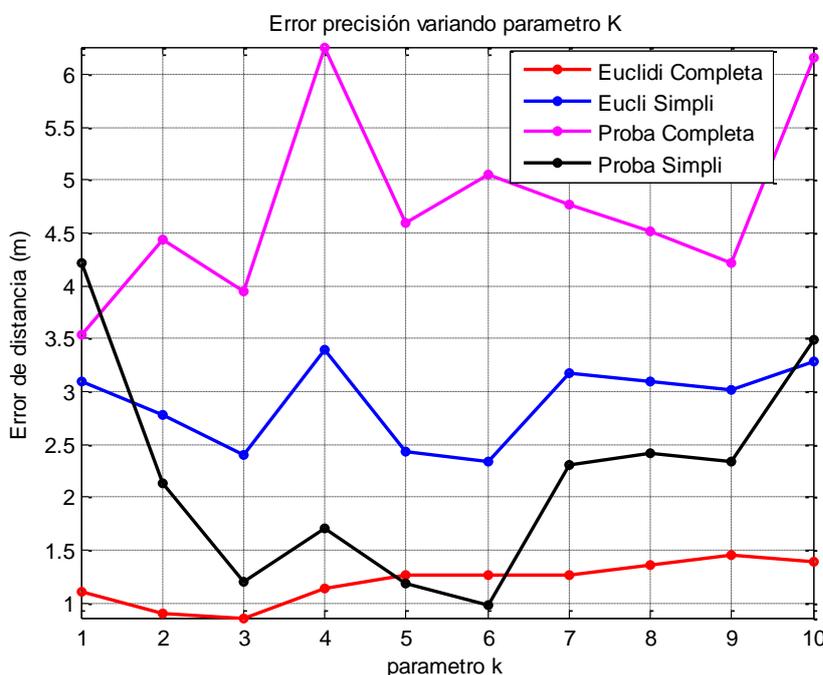


Figura 21. Error promedio distancia estimación variando K - Ubicación No fiable

Lo primero que se observa de las Figura 20 **Error! Reference source not found.** y Figura 21, para ambos puntos y para todos los métodos es que con $K = 1$ la precisión no es buena, este resultado es el esperado, ya que solo considerar la primera ubicación del método KNN obtenida con algunos de los algoritmos es más susceptible al error, siendo posible que el celular no haya captado todos los valores del RSS de los AP en tiempo real o simplemente los algoritmos arrojen ubicaciones erradas debido a la similitud del conjunto de valores de RSS del *mapa de huellas* con la muestras.

Otra característica común de ambas gráficas y de ambos métodos es que cuando $K = 9$ el error aumenta, de igual forma que en el análisis anterior es congruente con lo esperado ya que si estamos considerando muchas ubicaciones probables se están abarcando puntos que seguramente son erróneos; para el algoritmo de probabilidad con el *mapa de huellas* completo y el *mapa de huellas* simplificado se observa que esto ocurre con K aun menores.

La tendencia de todas la gráficas es creciente, el error en la medida parece aumentar a medida que aumenta el parámetro K , sobretodo en el método de probabilidad que tiene un mayor aumento, sin embargo, se puede observar que en general desde $K = 2$ hasta $K = 6$, se encuentra una disminución del error en los dos métodos para ambos mapas; valores de K que podrían ser tenidos en cuenta para utilizarlos en el aplicativo final de localización, aunque cabe resaltar, que con el método de distancia euclidiana no existe claridad, ya que en el punto lejano del AP, el error cambia poco, y en punto cercano al AP, el error parece disminuir al aumentar el valor de K , esto puede explicarse teniendo en cuenta que al ser un punto con *ubicación fiable*, los K puntos probables obtenidos con el método KNN, son cercanos a la ubicación real, por lo tanto al utilizar el *promedio con pesos*, no va verse afectado el error en comparación con el punto no fiable, donde sí se ve afectado posiblemente por las mismas condiciones de poca certeza.

Los resultados son más drásticos en los métodos probabilísticos, posiblemente se debe a la lógica con la que está implementado el algoritmo, lo que hace que sea más estricto el proceso de asignar los valores de proximidad para los puntos del *mapa de huellas*, teniendo los K puntos probables más dispersos que en el método de distancia euclidiana y por lo tanto su variación tiene un mayor efecto.

A pesar que en los puntos que se consideran como *ubicaciones fiables*, al aumentar K la precisión aumenta, esto no ocurre con la *ubicación no fiable* donde pasa lo contrario, por esto se considera que la mejor opción es un valor intermedio y en vista de que los resultados tienen un bajo error en ambos algoritmos y para ambos puntos en $K = 5$ se seleccionó este valor como el utilizado en el aplicativo.

6.3 Resultados - Identificación de zonas y precisión

Utilizando el aplicativo móvil, se tomaron 5 muestras de los valores RSS en diferentes tiempos para las ubicaciones mostrados en la Figura 16 y Figura 17.

En las Tabla 4 y Tabla 5, se muestran el porcentaje de aciertos obtenidos por el aplicativo de identificación zonas con el algoritmo de distancia euclidiana y el algoritmo probabilístico, con el mapa completo y el mapa simplificado de *huellas*.

Los resultados indican que el algoritmo que mejor se comportó para el piso 5 fue distancia euclidiana, utilizando el *mapa de huellas* simplificado con un porcentaje de acierto del 96% y distribución probabilística para *mapa de huellas* completo con un acierto de 86%, mientras que para el piso 6 el algoritmo que mejor se comportó fue distribución probabilística utilizando el *mapa de huellas* simplificado y completo con un porcentaje de 94.28% y de 85.71% respectivamente.

Piso 5					
punto	Zona	simplificado		completo	
		euclidiano	distribución	euclidiano	distribución
2	Salón 510	100%	60%	40%	100%
3	Salón 515	100%	40%	60%	100%
4	Ala Occidente	100%	80%	80%	80%
1	Salón 508	100%	100%	80%	40%
5	Ala Occidente	100%	100%	100%	100%
6	corredor	100%	100%	100%	100%
7	Ala Oriente	100%	100%	80%	80%
8	Salón 501	60%	40%	100%	60%
9	Salón 503	100%	0%	0%	100%
0	Salón 505	100%	0%	0%	100%
total		96%	62%	64%	86%

Tabla 4. Resultados identificación zonas - piso 5

Piso 6					
Punto	Ubicación	simplificado		completo	
		euclidiano	distribución	euclidiano	distribución
7	Ala Oriente	100%	100%	100%	100%
6	Pasillo Oriental	60%	60%	100%	0%
5	Pasillo Centro	80%	100%	40%	100%
2	Pasillo Occidental	80%	100%	100%	100%
1	Ala Occidente	100%	100%	60%	100%
3	Salón 611	40%	100%	60%	100%
4	Salón 611	100%	100%	60%	100%
total		80%	94.28%	74.28%	85.71%

Tabla 5. Resultados identificación zonas - piso 6

En términos generales los algoritmos lograron identificar correctamente un buen porcentaje de zonas, teniendo en común que dos algoritmos o más coincidían en no identificar correctamente la ubicación, esto posiblemente se debe a que estos lugares que tienen características específicas en el entorno como puertas, muros, estantes que hacen que el algoritmo tenga errores en medidas de proximidad de las K ubicaciones probables. Por otro lado, la mayoría de las ubicaciones que presentaron un acierto del 100% en la estimación de la zona se tratan de *puntos fiables*, es decir puntos que se encuentran muy cerca a puntos de acceso Wi-Fi.

En esta prueba no solo se tuvo en cuenta la identificación de las zonas, si no también, la exactitud y precisión (medida en metros), de los algoritmos estimando la ubicación para cada las medidas realizadas en los 10 puntos, en la Tabla 6 se muestra un ejemplo para el algoritmo probabilístico con *mapa de huellas* simplificado.

Punto	Zona	Posición (m)		Error de Distancia (m)					Promedio (m)	Varianza (m)
		X Real	Y Real	m1	m2	m3	m4	m5		
1	Salón 510	2.6	6.8	0,43	0,94	1,37	1,39	0,8	0,99	0,16
2	Salón 515	5.6	6.19	4,35	1,16	1,23	1,17	0,9	1,76	2,11
3	Ala Occidente	7.6	6.0	0,85	0,63	1,13	1,69	1,21	1,1	0,16
4	Salón 508	3.6	6.6	0,72	0,72	0,54	1,28	1,36	0,92	0,14
5	Ala Occidente	8.3	4.4	0,62	1,28	1,27	0,9	0,53	0,92	0,12
6	corredor	13.9	4.8	1,8	1,61	0,5	0,24	4,21	1,67	2,47
7	Ala Oriente	25.0	4.0	0,47	1,04	0,47	0,6	1,1	0,73	0,1
8	Salón 501	28.4	6.4	0,65	0,7	1,2	0,52	0,54	0,72	0,08
9	Salón 503	9.6	6.4	0,08	1,15	0,04	1,17	0,54	0,6	0,3
0	Salón 505	6.8	5.4	0,56	1,3	1,03	1,97	1,97	1,37	0,38

Tabla 6. Error estimación de distancia método probabilístico con mapa simplificado piso 5

La Figura 22 resume la tabla anterior e incluye los demás algoritmos.

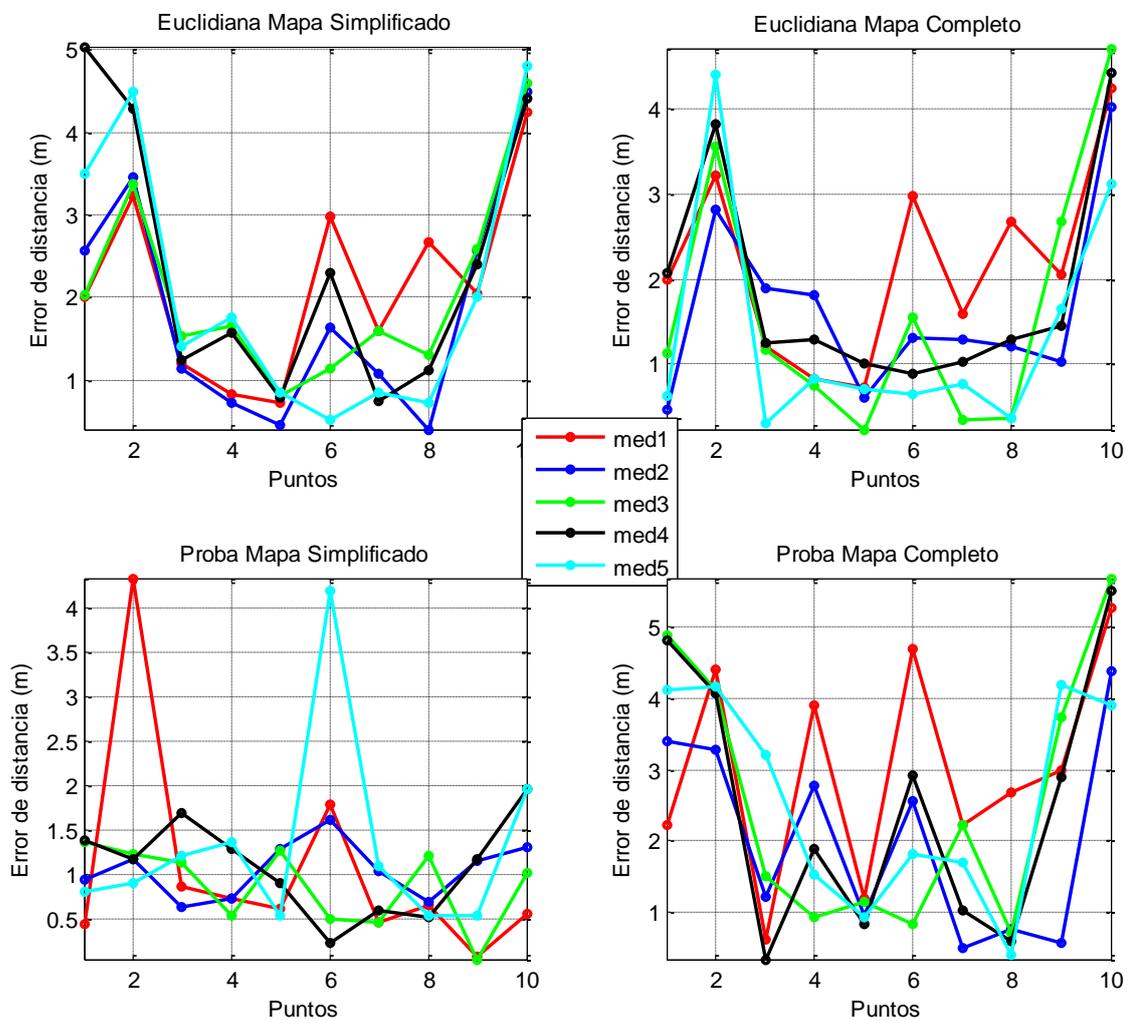


Figura 22. Error estimación de distancia de los algoritmos para cada punto del piso 5

Para estas medidas, el método que presenta mejor precisión y exactitud para casi todos los puntos es el método probabilístico con mapa simplificado de *huellas* con una precisión de 0,03 metros con una exactitud media de 1,16 metros para el punto 2, el método que presenta la peor precisión y exactitud fue el método probabilístico con mapa completo de *huellas*, con una precisión de 2,04 metros y una exactitud media de 2,56 metros para el punto 6.

En los dos algoritmos el punto en el que se tuvieron los peores resultados es el punto 0, correspondiente al salón 505 del piso 5, también se observa que para este piso los algoritmos tuvieron resultados precisos y exactos. Más adelante se revisarán los valores de RSS medidos en esos puntos para identificar a que se deben estos resultados.

Euclidiana Mapa Completo										
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P0
Media	1,10	3,75	1,24	1,28	0,62	1,50	0,75	1,20	1,36	4,04
Varianza	0,41	0,37	0,36	0,26	0,08	0,94	0,18	0,91	0,93	0,37
Euclidiana Mapa Simplificado										
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P0
Media	3,02	3,76	1,30	1,31	0,72	1,71	1,17	1,24	2,32	4,51
Varianza	1,62	0,34	0,03	0,24	0,03	0,93	0,16	0,77	0,08	0,04
Probabilidad Mapa Completo										
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P0
Media	3,88	4,01	1,39	2,20	1,02	2,56	1,54	1,03	2,87	4,94
Varianza	1,21	0,18	1,26	1,32	0,02	2,04	0,58	0,87	1,95	0,59
Probabilidad Mapa Simplificado										
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P0
Media	0,99	1,16	1,10	0,92	0,92	1,08	0,73	0,72	0,60	1,37
Varianza	0,16	0,03	0,16	0,14	0,12	0,47	0,10	0,08	0,30	0,38

Tabla 7. Resultados Precisión y exactitud por puntos – Piso 5

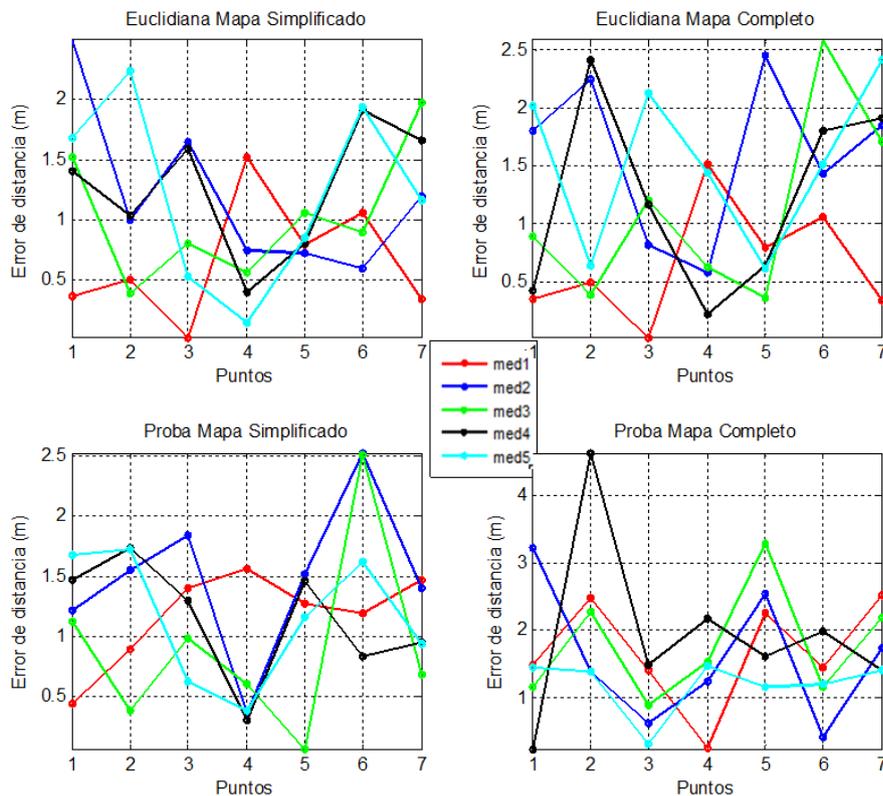


Figura 23. Error estimación de distancia de los algoritmos para cada punto del piso 6

En las medidas tomadas en el piso 6, de nuevo el método que presenta mejor precisión y exactitud para la mayoría de los puntos es el método de probabilidad con mapa simplificado de *huellas*, sin embargo, el método de distancia euclidiana tiene resultados similares. Por otro lado, el método de probabilidad con mapa completo de *huellas* sigue teniendo el mayor error de precisión y exactitud.

Euclidiana Mapa Completo							
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Media	1,13	1,72	1,58	0,71	1,18	1,68	2,23
Varianza	0,55	1,27	0,53	0,20	0,82	0,34	0,40
Euclidiana Mapa Simplificado							
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Media	1,49	1,03	0,92	0,67	0,85	1,28	1,27
Varianza	0,58	0,53	0,49	0,27	0,02	0,37	0,38
Probabilidad Mapa Completo							
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Media	1,51	2,44	0,95	1,33	2,17	1,25	1,86
Varianza	1,17	1,77	0,26	0,49	0,68	0,33	0,24
Probabilidad Mapa Simplificado							
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Media	1,19	1,26	1,23	0,65	1,10	1,74	1,09
Varianza	0,22	0,36	0,21	0,28	0,35	0,58	0,11

Tabla 8. Resultados Precisión y exactitud por puntos – Piso 6

Los resultados del error en la estimación de la distancia junto con el histograma del error de las 50 muestras para los dos métodos y los dos *mapas de huellas* del piso 5 se muestran de manera consecutiva en las siguientes imágenes:

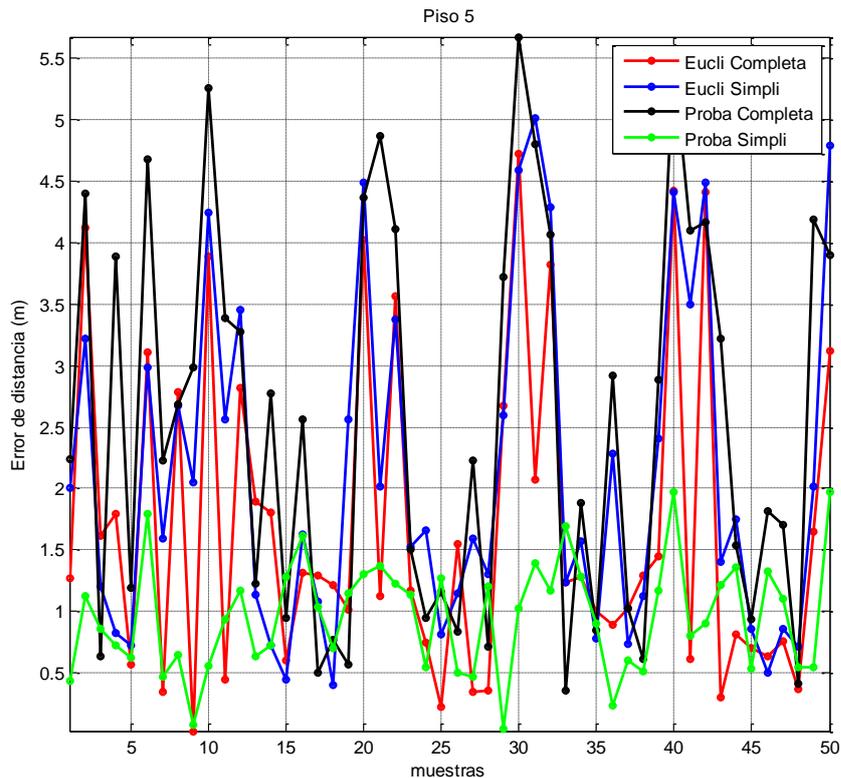


Figura 24. Errores de medición muestras - piso 5

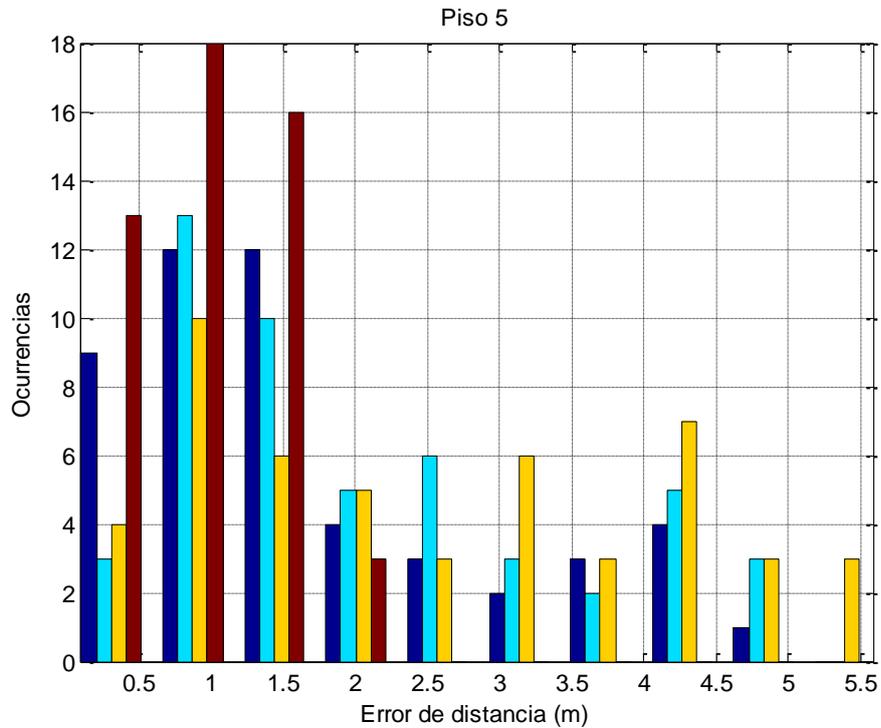


Figura 25. Histograma del error - Piso 5

En la Figura 24 y Figura 25, se confirma que del total de mediciones tomadas en el piso 5, el método que fue más efectivo para todos los puntos fue el método probabilístico con el *mapa de huellas* simplificado, presentando un error máximo de 2 metros con un valor de error medio de 0,95 metros, y una varianza de 0.20 metros, lo cual indica que fue el algoritmo que tuvo mejor rendimiento, mejor precisión y mejor exactitud.

El método menos efectivo fue el de probabilidad con el *mapa de huellas* completo, presentando un error máximo de un poco más de 6 metros, con un error medio de 2,54 metros y una varianza de 2,54 metros. Estos datos se muestran en la Tabla 9, y se pueden ver de manera gráfica en el histograma del error en la Figura 25.

	Mapa Completo		Mapa Sencillo	
	Euclidiana	Probabilidad	Euclidiana	Probabilidad
Media	1,6835	2,544	2,1067	0,957
Varianza	1,7123	2,5411	1,8132	0,2059

Tabla 9. Resultados Precisión y exactitud total – Piso 5

Los resultados del error en la estimación de la distancia de las 35 muestras para los dos métodos y los dos *mapas de huellas* del piso 6 se muestran de manera consecutiva en la siguiente imagen:

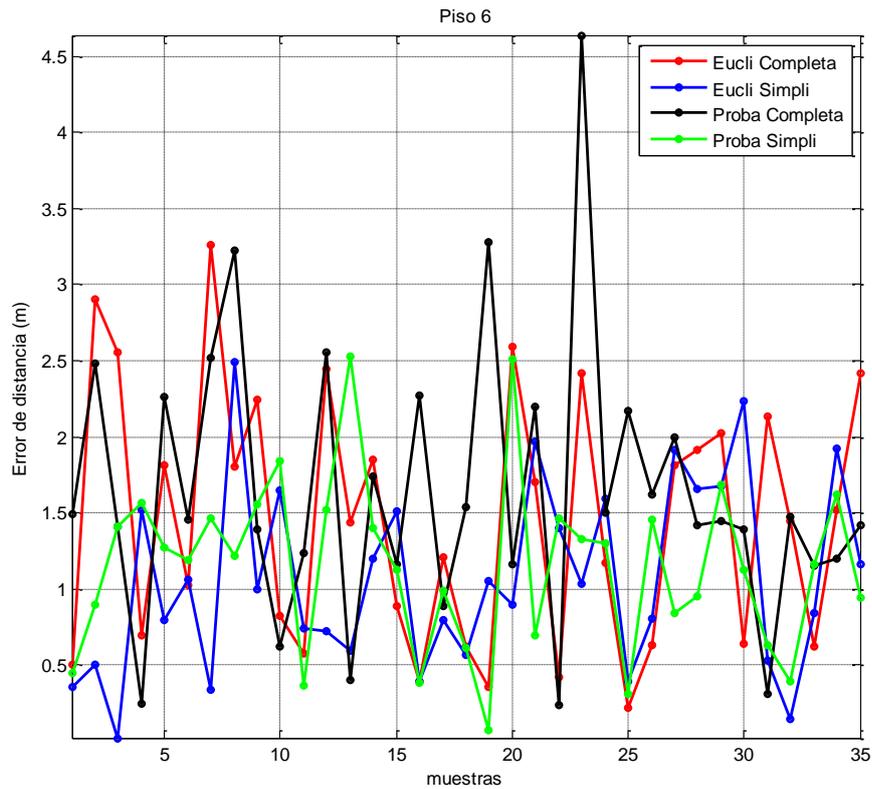


Figura 26. Errores de medición muestras - piso 6

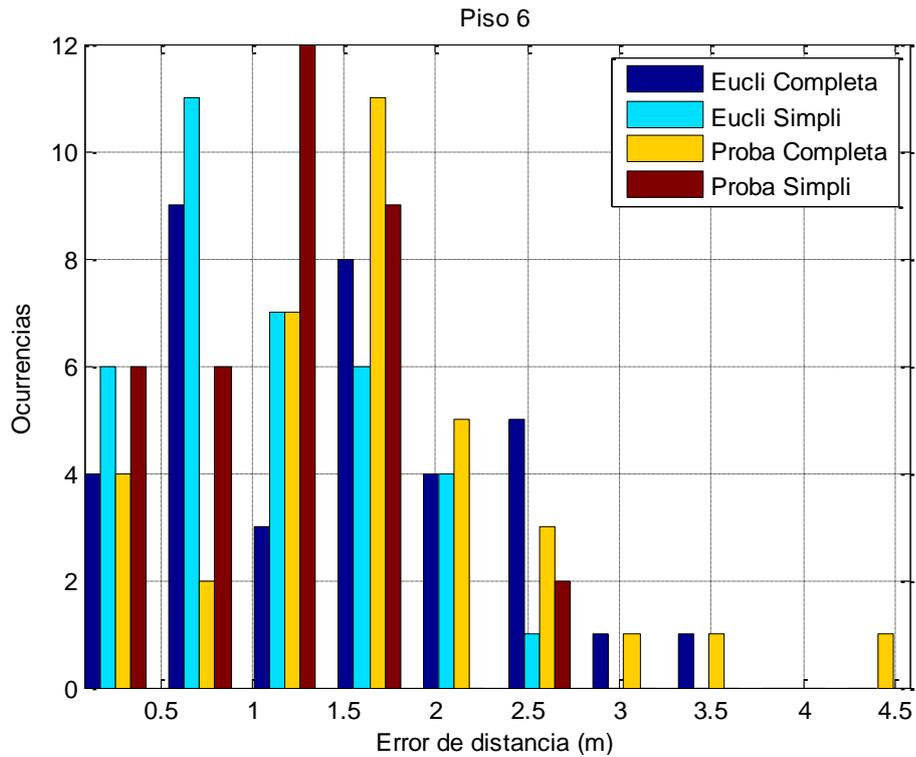


Figura 27. Histograma del error - Piso 6

A pesar de las similitudes de resultados de dos algoritmos se observa que del total de mediciones tomadas en el piso 6, el método que fue más efectivo para todos los puntos fue el método de distancia euclidiana con el *mapa de huellas* simplificado, el cual presenta un error máximo 2,5 m con un valor de error medio

de 1,07 metros, y una varianza de 0,383 metros, sin embargo, con una diferencia de solo algunas décimas del método de distancia euclidiana con mapa simplificado.

De igual forma que en los resultados anteriores, los algoritmos que utilizaron los mapas completos mostraron los peores resultados, se pueden contrastar los resultados en el histograma de error de la Figura 27 y en la Figura 26.

	Mapa Completo		Mapa Sencillo	
	Euclidiana	Probabilidad	Euclidiana	Probabilidad
Media	1,4606	1,6438	1,072	1,183
Varianza	0,7015	0,8321	0,383	0,323

Tabla 10. Resultados Precisión y exactitud total – Piso 6

Se promediaron las 5 medidas de error de estimación obtenidas por los algoritmos para cada uno de los 10 puntos, esto para ver de una forma más clara el error en la estimación de la distancia para cada punto para cada algoritmo.

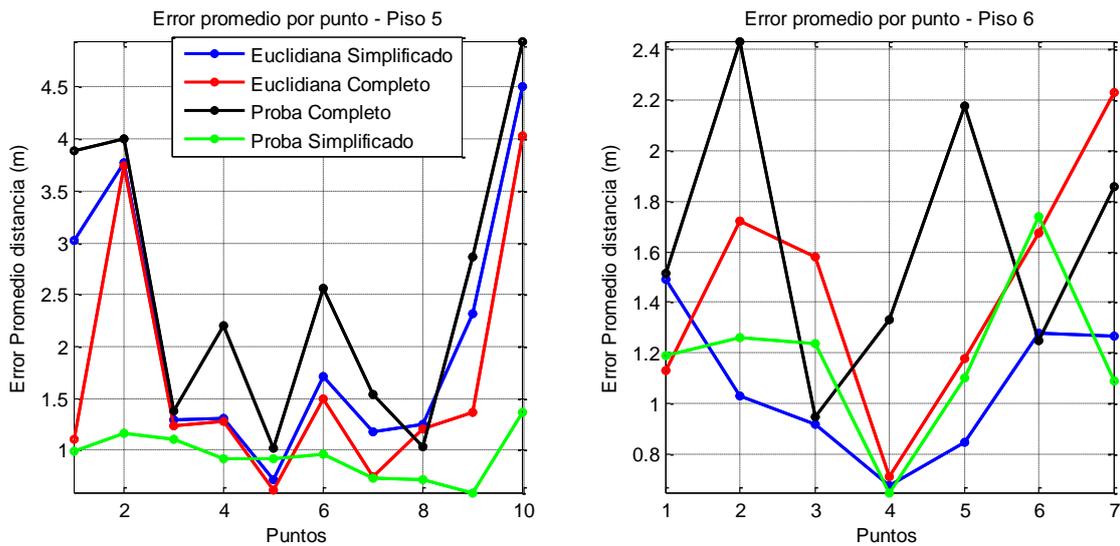


Figura 28. Error promedio por punto - piso 5 y piso 6

El algoritmo que tiene el mejor rendimiento evidenciado en los resultados de la Figura 28, para cada uno de los puntos del piso 5 y piso 6, es el algoritmo de probabilidad con el *mapa de huellas* simplificado, sin embargo para el mapa completo es el de menor rendimiento, como ambos trabajan con el mismo algoritmo, nos indica que el exceso de SSID del *mapa de huellas* completo, está insertando ruido en la estimación de la ubicación, ocurriendo lo mismo con el método de distancia euclidiana pero afectándolo en menor medida, ya que para ambos mapas el algoritmo de distancia euclidiana presenta un rendimiento similar.

Con el objetivo de entender por qué se tiene un mayor error en la mayoría de algoritmos para algunos puntos, a continuación, se muestra el histograma de los valores de RSS para el punto 5 (burbuja 10) con buena exactitud y puntos 1 y 0 con mala exactitud y precisión (burbuja 98 y burbuja 134 respectivamente).

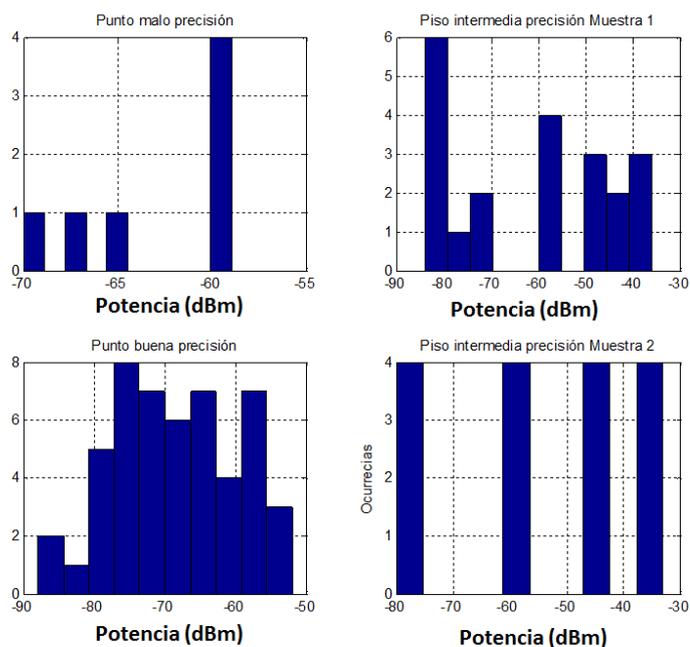


Figura 29. Histograma valores RSS de puntos a evaluar

El punto con buena exactitud y buena precisión mostrado en el histograma de la Figura 29, es el que consideramos como una *ubicación fiable*, ya que presenta una gran cantidad de valores RSS, pertenecientes a diferentes SSID, a diferencia como ocurre con el punto de mayor error, que solo tiene 7 valores RSS diferentes, o los puntos de intermedia precisión que tiene 21 valores para la muestra 1, y 16 valores para la muestra 2, estos últimos tiene valores que van desde -36 dBm hasta -83 dBm, lo que indica el punto se encuentra muy cerca de un AP .

A pesar de que un punto se encuentra cerca de un AP, y que por esta razón tiene un valor de proximidad alto en el método de KNN , no es suficiente razón para tener una buena estimación de la ubicación, esto puede deberse a la implementación de los algoritmos, donde se consideró que si no existía una SSID en la muestra tomando en tiempo real, este se asumía con un valor de -95 dBm y por esta razón pueden existir ruido en las K ubicaciones probables, o puede que existan algunas ubicaciones que se parezcan a este conjunto de valores RSS.

Se puede afirmar que si se tiene información reducida de valores de RSS en un punto, los algoritmos tendrán mayor error calculando la posición estimada.

6.4 Localización Vertical

Como se menciona el capítulo de desarrollo, las bases de datos de los *mapa de huellas* de los pisos modelados se crearon por separado, es por esto que para la localización vertical es necesario identificar a cuál de los *mapa de huellas* pertenece la estimación de la ubicación, para esto se aplica alguno de los algoritmos de estimación de distancia, ya sea el de distancia euclidiana o de distribución gaussiana sobre ambos *mapa de huellas* (piso 5 y 6), posteriormente se evalúa cuál mapa tuvo mejores valores en la técnica de los k vecinos cercanos y se elige este para realizar la estimación de las coordenadas del piso.

Debido al alto consumo de procesamiento y el tiempo que requiere realizar este proceso se ha tenido en cuenta otra alternativa, es por esto que como prueba de concepto se ha utilizado el sensor de presión que traen algunos teléfonos inteligentes para obtener el piso basado en rangos definidos. Los rangos de presión atmosférica tenidos en cuenta para la selección de piso son los siguientes:

Rangos		
Piso5	743.6 hPA	743.8 hPA
Piso6	743.3 hPA	743.5 hPA

Figura 30. Rangos de presión atmosférica para pisos del modelo de localización

Las pruebas de localización vertical se realizaron para los mismos puntos que la localización horizontal, los resultados utilizando tanto el barómetro o reconociendo el piso a través de los algoritmos fueron exitosos obteniendo un acierto del 100% en todas las ubicaciones seleccionadas.

piso 5			piso 6		
punto	algoritmo	barómetro	punto	algoritmo	barómetro
2	100%	100%	124	100%	100%
3	100%	100%	23	100%	100%
4	100%	100%	59	100%	100%
1	100%	100%	31	100%	100%
5	100%	100%	112	100%	100%
6	100%	100%	132	100%	100%
7	100%	100%	76	100%	100%
8	100%	100%	total	100%	100%
9	100%	100%			
0	100%	100%			
total	100%	100%			

Tabla 11. Resultados ubicación vertical utilizando barómetro y técnica

La siguiente imagen muestra la prueba del barómetro desde el dispositivo móvil

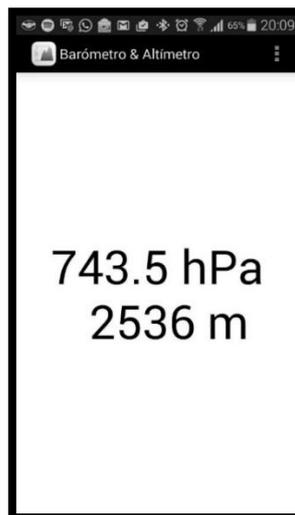


Figura 31. Aplicativo móvil aplicando localización vertical

Es importante resaltar que la exactitud y precisión hallada en este documento para los algoritmos presentados, solo son los resultados obtenidos de la prueba estadística, que buscan tener una aproximación del rendimiento del aplicativo, estos resultados no representan la exactitud y precisión real del modelo de localización desarrollado y pueden cambiar en diferentes mediciones y para diferentes ubicaciones.

6.5 Aplicativo de localización en diferentes celulares

Se consideró realizar una prueba adicional para verificar el rendimiento del aplicativo de localización en interiores, utilizando tres diferentes celulares (Sony Xperia M2, Samsung Galaxy s3 mini y Samsung Galaxy s5), para esto, se eligieron los puntos mostrados en la Figura 32 y la Figura 33 del piso 5 y piso 6 respectivamente del departamento de ingeniería electrónica, donde con ayuda del aplicativo se tomará una única muestra para estimar la posición y comparar el error de las ubicaciones obtenidas por cada celular. Esta prueba se realizó para observar como difieren los resultados de estimación de posición, utilizando celulares con hardware diferente.

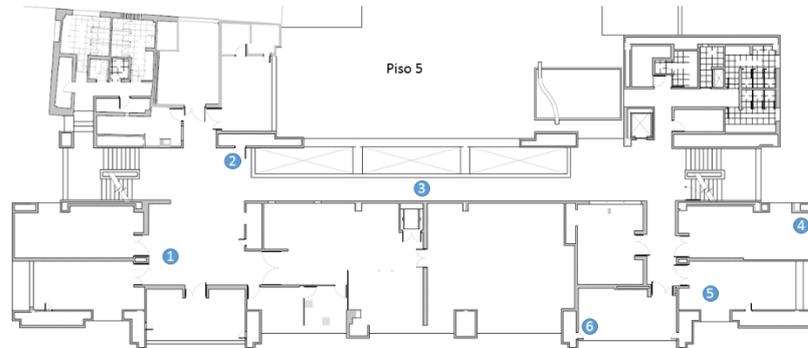


Figura 32. Ubicaciones elegidas para pruebas con diferentes celulares – piso 5



Figura 33. Ubicaciones elegidas para pruebas con diferentes celulares – piso 6

Se estimó la ubicación en los 6 puntos elegidos del piso 5 utilizando el algoritmo de distancia euclidiana y de distribución probabilística, los resultados del error para cada uno de los puntos se muestran en la Figura 34.

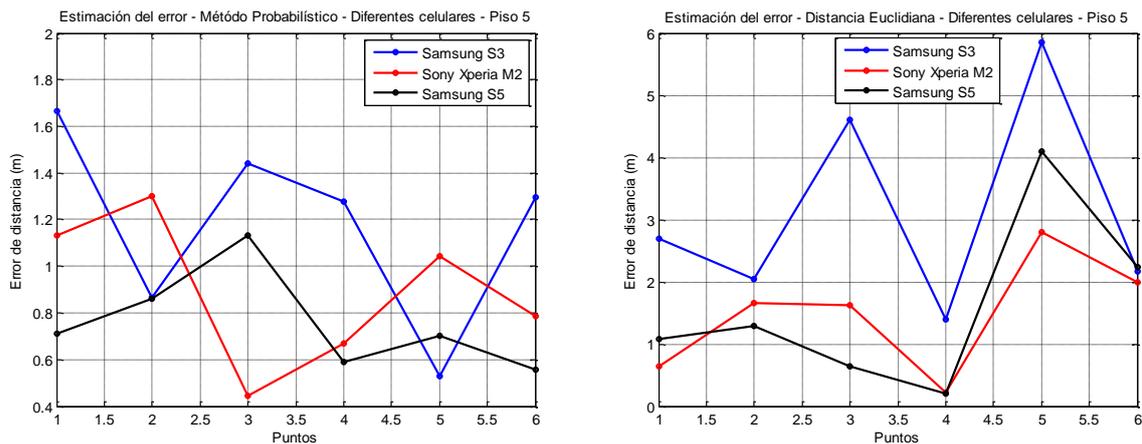


Figura 34. Comparación error de ubicación diferentes celulares - piso 5

De igual forma para el piso 6 se estimó la ubicación en los 4 puntos elegidos, utilizando ambos algoritmos, los resultados del error para cada uno de los puntos se muestran en la Figura 35.

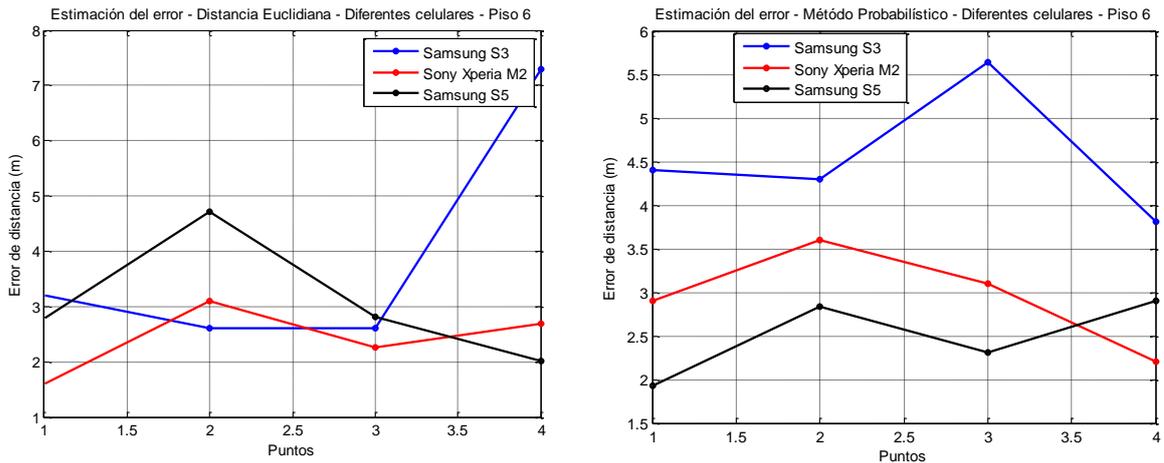


Figura 35. Comparación error de ubicación diferentes celulares - piso 6

Se muestra que existe una gran diferencia en la estimación de la posición entre los diferentes dispositivos móviles, llegando a tener para algunas ubicaciones diferencias de 3 metros. Para ambos pisos y para ambos algoritmos el celular Samsung S3 fue el que mayor error tuvo estimando la posición, este resultado es el esperado ya que este es el celular es el de menor gama de los tres por lo que es muy posible que este celular cuente con el hardware más antiguo de los tres.

En la Figura 36 se muestra el histograma del error estimando la posición de los tres celulares, en la cual se muestra que Sony Xperia M2 y Samsung S5 tuvieron comportamientos muy similares y que el Samsung s3 fue el que tuvo las mediciones más alejadas de las reales.

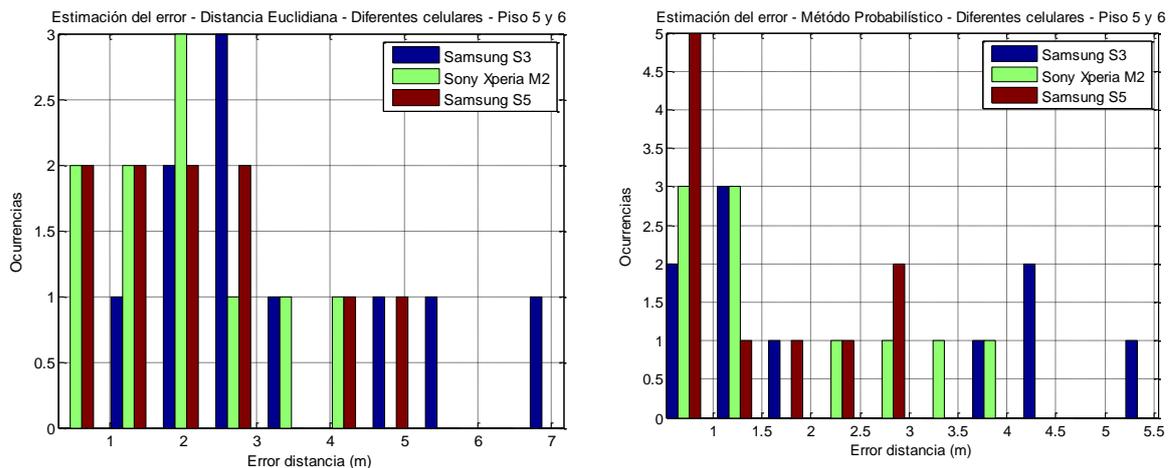


Figura 36. Histograma del error - comparación diferentes celulares

Las diferentes propiedades del hardware de los dispositivos tienen impacto directo en el valor de potencia medido por el dispositivo, variando posiblemente los valores de proximidad obtenidos del algoritmo de distancia euclidiana o del algoritmo de distribución probabilística, afectando las K ubicaciones probables y por lo tanto las coordenadas finales.

Para observar como difieren las medidas de potencia adquiridas por los celulares, en la ubicación 1 de la Figura 33, se tomaron aproximadamente 12.000 muestras de potencia emitidas por un punto de acceso Wi-Fi, al mismo tiempo con los tres celulares, los resultados se muestran en la

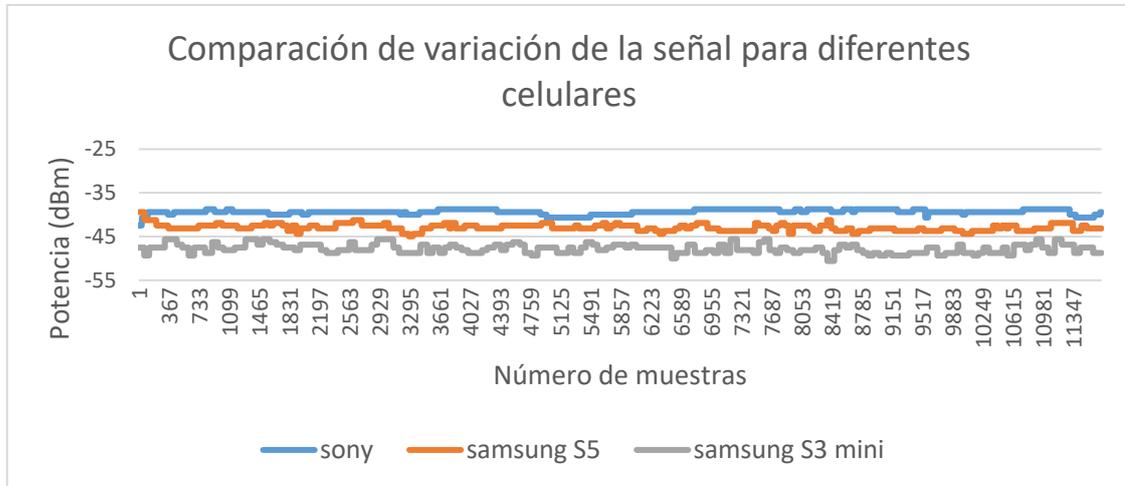


Figura 37. Variación en el tiempo de la señal wifi en varios equipos

Las variaciones de potencia medidas por los diferentes celulares son considerables, llegando a tener una diferencia de casi de 9 dBm entre los valores de potencia del Samsung s3 mini y Sony Xperia. De igual forma que en la estimación de la posición el celular que presento mayor diferencia en sus valores, fue el Samsung S3, mientras que para los celulares Samsung S5 y Sony Xperia las medidas fueron similares con una diferencia aproximada de 3 dBm.

La variación de los valores de RSS en los diferentes celulares se debe principalmente al diseño de las antenas, las ganancias que manejan y su ubicación en el dispositivo, además también debe tenerse en cuenta el hardware adicional y los controladores que cada celular utiliza.

7 Conclusiones y recomendaciones

- En el método *Fingerprinting* para localización en interiores, se hace evidente que la fase de calibración es un proceso clave para la localización horizontal, es vital crear un buen *mapa de huellas* para tener éxito en la localización, la señal Wi-Fi es variable en el tiempo, por lo que puede considerarse para futuros trabajos crear el *mapa de huellas* considerando sus fluctuaciones en diferentes días, diferentes horarios y en diferentes condiciones. También es factible, realizar las medidas de las *huellas* con sensores más sensibles, ya que durante este trabajo se observó que con el sensor integrado con el celular SONY XPERIA M2, en algunas muestras la resolución era baja y no era posible captar todas las fluctuaciones de la señal.
- A pesar de que el método *Fingerprinting* ayuda a mitigar los problemas originados por las características propias de las señales Wi-Fi que se presentan en otros métodos de localización, el método exige un proceso riguroso en la creación del *mapa de huellas*, desventaja que toma mayor peso al considerar el tiempo y el esfuerzo de calibración que requeriría crear el modelo en todo el campus universitario, por otro lado también el *mapa de huellas* es susceptible a quedar obsoleto al cambiar los puntos de acceso Wi-Fi.

- El método probabilístico en la técnica de *Fingerprinting*, fue el método que mejores resultados tuvo estimando la ubicación, esto se debe posiblemente a que a diferencia del algoritmo de distancia euclidiana, este tiene en cuenta variaciones de los valores RSS que ocurren en un corto tiempo, aun así, consideramos que podría tener mejores resultados si el *mapa de huellas* hubiera sido tomado teniendo en cuenta la conclusión del numeral uno, de esta forma las muestras podrían aproximarse mejor a una distribución normal y no sería necesario realizar la consideración de tomar la variación de los valores de RSS (*sigma*) como el promedio de las variaciones de los valores RSS de todo el *mapa de huellas* mayores a cero, para el cálculo de evaluar la probabilidad de que la muestra en tiempo real se encuentre en las muestras del *mapa de huellas*.
- En la estimación de la ubicación se tiene como resultado que incluir un exceso de SSIDs además de tener un mayor tiempo de cómputo, puede llevar a tener errores como ocurre en los algoritmos utilizando el *mapa de huellas* completo, es recomendable realizar un filtrado de las MACs para considerar solo un SSID por cada punto de acceso Wi-Fi.
- Para la estimación de la ubicación con el método de *K* vecinos cercanos (KNN), no es suficiente elegir una sola ubicación probable como la definitiva pero tampoco es conveniente elegir muchas ubicaciones probables, a pesar de que en los resultados para las *ubicaciones fiables* el error de medición para *K* altos era bajo, esto no ocurre con todas las ubicaciones, por lo que debe considerarse un valor intermedio, también es posible considerarse la opción de optar por un *K* que cambie dependiendo la información de la muestra en tiempo real.
- El modelo de localización desarrollado en este documento, plantea una alternativa para lograr localizar correctamente una persona en un piso, objetivo que no es cumplido en la mayoría de los documentos estudiados en el estado del arte.
- Se tuvo éxito en un 100% identificando en que piso se encontraba el usuario, no hay duda que el barómetro es una gran herramienta que puede ser utilizada para simplificar la complejidad del modelo de localización vertical en interiores, valiéndose de la relación que existe entre la altura y la presión atmosférica. El único inconveniente es que no todos los celulares cuentan con este sensor, aunque si bien es cierto, cada día se van incorporando en la mayoría.
- Después de analizar los resultados obtenidos y la búsqueda de posibles errores se recomienda replantearse la decisión de reemplazar el valor de 0 dBm (momento en el que se presenta ausencia de la señal) por -95 dBm por un valor más alto o considerar no incluir estos SSID dentro del cálculo del valor de proximidad del método de KNN con el objetivo de reducir errores.
- Los resultados obtenidos demuestran que el uso de WI-FI para localización en interiores permite una estimación precisa sin la necesidad de infraestructura adicional, solo utilizando un teléfono inteligente, el cual hoy en día comúnmente utilizado por muchas personas.
- En caso de necesitar que el aplicativo tenga un funcionamiento similar en diferentes dispositivos, debería tenerse en cuenta algunas características de hardware y software mínimas con el objetivo de garantizar que las propiedades de los dispositivos no afecten en gran medida la resolución en la adquisición de valores de RSS y por lo tanto la estimación de la ubicación.

7.1 Oportunidades

En el presente trabajo se presenta la primera fase de localización en interiores que consiste en identificar la posición aproximada de un usuario, incluyendo el piso. El proceso a seguir se describe como la optimización de los algoritmos de ubicación, tomando en cuenta los resultados obtenidos en este documento, incluyendo la posibilidad de integrar diferentes sensores en el modelo de localización, tales como el acelerómetro, el giroscopio o la brújula, con el fin de simplificar procesos de cómputo y

disminuir el error causado por la variación de la señal Wi-Fi, tal como se demostró en la localización vertical utilizando el barómetro.

Uno de los trabajos futuros relevantes es la fase de desplazamiento, que consiste en guiar personas en su desplazamiento dentro del campus de la Pontificia Universidad Javeriana, encontrar salones o unir personas que se deseen encontrar en determinados lugares. Por otro lado, también es posible el uso del aplicativo como herramienta que puede ser utilizada por administrativos para hacer análisis de la información a través de minería de datos; identificando tendencias del flujo de personas en diferentes horarios, lugares y desplazamientos.

8 Bibliografía

- [1] Sheng-Po Kuo, H.-J. K.-C.-F. (2007). Detecting Movement of Beacons in Location-Tracking Wireless Sensor Networks. IEEE.
- [2] Martínez, O. (2013, 03 11). Localización Indoor Multimodal. valencia.
- [3] Pallarés Gual, S. (2009). sistema de localización para redes inalámbricas de sensores mediante zigbee. universitat jaume i de castellón.
- [4] K. Kaemarungsi y P. Krishnamurthy, «Properties of indoor received signal strength for WLAN location *Fingerprinting*», en The First Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services, 2004. MOBIQUITOUS 2004, 2004, pp. 14-23.
- [5]. Abdelmalik Moujahid, I. I. (n.d.). Retrieved from Universidad del País Vasco: [http://www.sc.ehu.es/ccwbayes/docencia/mmcc/docs/t9KNN .pdf](http://www.sc.ehu.es/ccwbayes/docencia/mmcc/docs/t9KNN.pdf)
- [1-6] Huerga, D. M. (2010). ANÁLISIS DE MEDIDAS DE POTENCIA EN INTERIORES PARA SU APLICACIÓN EN SISTEMAS DE LOCALIZACIÓN BASADOS EN LA TÉCNICA DEL *FINGERPRINTING*.
- [7] Martínez, O. (2013, 03 11). Localización Indoor Multimodal. valencia. [2] L. Letham, GPS fácil. Uso del sistema de posicionamiento global. Editorial Paidotribo, 2001.
- [8] L. Letham, GPS fácil. Uso del sistema de posicionamiento global. Editorial Paidotribo, 2001.
- [9] Garmin. (s.f.). Garmin. Recuperado el 15 de marzo de 2016, de <http://www.garmin.com/es/astro>
- [10] Legarretaetxebarria, A. (2011). Sistema de localización y seguimiento de personas en interiores mediante cámara PTZ basado en las tecnologías Kinect y UbiSense. País Vasco, España.
- [11] Veljo Otsason, Alex Varshavsky, Anthony LaMarca, Eyal da Lara. Accurate GSM Indoor Localization. Conference Ubicomp 2005
- [12] Chico Ciprián, A. (2009, 12). Diseño y desarrollo de un sistema de posicionamiento en interiores basado en Wi-Fi con tecnología Android. España.
- [13] Luis Dias, Ambrona Martínez, O. (2013, 03 11). Localización Indoor Multimodal. valencia.
- [14] Chico Ciprián, A. (2009, 12). Diseño y desarrollo de un sistema de posicionamiento en interiores basado en Wi-Fi con tecnología Android. España.
- [15] Ruiz Cuesta, M. (2012). POSICIONAMIENTO EN INTERIORES BASADO EN DISPOSITIVOS MÓVILES. España.
- [16] Martínez Romero, L. (n.d.). Estudio Experimental de los Errores de Posicionamiento en Interiores Mediante Redes Inalámbricas Ad-Hoc. cataluña, España.
- [17] Gómez C. (2015). Localización en espacios interiores de dispositivos móviles por medio de tecnologías WI-FI, base para el desarrollo de aplicaciones sociales. Encuentro internacional de educación en ingeniería ACOFI, pp. 1-9. Cartagena, Colombia
- [18] Moujahid, A., Inza, I., Larrañaga, P. (2008). Clasificadores k-NN. Departamento de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial. Universidad del País Vasco-Euscal Erriko Unibertsitatea. Recuperado 15/03/2015 [http://www.sc.ehu.es/ccwbayes/docencia/mmcc/docs/t9KNN .pdf](http://www.sc.ehu.es/ccwbayes/docencia/mmcc/docs/t9KNN.pdf)
- [19] Metrología, C. E. (2012). Vocabulario Internacional de Metrología.
- [20] (2009, May). Rev Chilena de Ingeniería, 17, p. 148.

9 Anexos:

En el siguiente link se encuentran los anexos correspondientes a este trabajo de grado, incluyendo los trabajos relacionados.

<https://www.dropbox.com/sh/i0z6rtca1qjkoyj/AABVBMmcSEqYoW2q56pzL-z2a?dl=0>

9.1 Diseño e implementación aplicativo móvil:

El prototipo planteado fue desarrollado en Android Studio 2.1 debido a la complejidad de los algoritmos y la necesidad de acceder a los diferentes sensores del teléfono.

Se desarrollaron dos aplicaciones, la primera para la fase de calibración y la segunda para la fase de localización. A continuación, se muestran los requerimientos, casos de uso y diagramas de flujo que describen las dos aplicaciones.

9.1.1 Fase de calibración

9.1.1.1 Caso de uso

En la Figura 38. Interacción usuario y funcionalidades - Fase de calibración se muestra la interacción que se desea que exista entre el usuario y el sistema.

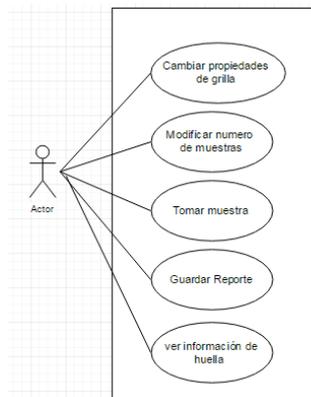


Figura 38. Interacción usuario y funcionalidades - Fase de calibración

A continuación, se describen cada una de las funcionalidades del aplicativo que se desea tener en la fase de calibración.

Nombre:	Cambiar propiedades de la grilla
Autor:	Usuario
Fecha:	12/12/2016
Descripción:	Se debe permitir cambiar el número de pixeles para ajustar la imagen cargada del lugar a modelar, además permite indicar la separación entre las <i>huellas</i> .
Condición:	1) Los valores de los pixeles deben ser enteros. 2) Los valores de metros deben permitir flotantes.
Precondiciones:	El plano debe estar previamente cargado.

Nombre:	Modificar número de muestras
Autor:	Usuario
Fecha:	12/12/2016
Descripción:	Se debe permitir al usuario escoger el número de muestras de RSS a tomara para cada una de las <i>huellas</i> .
Condición:	1) La muestra debe ser un numero entero.
Precondiciones:	El sensor Wi-Fi del celular debe estar encendido.

Nombre:	Tomar muestra
Autor:	Usuario
Fecha:	12/12/2016
Descripción:	Al presionar la <i>huella</i> , el sistema debe capturar el número de muestras de valores de RSS para cada SSID, además se debe mostrar una ventana que le indique al usuario que la tarea se está ejecutando, una vez finalizado el proceso se debe señalar el punto en el mapa con otro color.
Condición:	Presionar la <i>huella</i> donde se deben tomar las muestras.
Precondiciones:	1) El sensor de Wi-Fi debe estar encendido. 2) El mapa debe estar cargado con la grilla creada.

Nombre:	Guardar Reporte
Autor:	Usuario
Fecha:	12/12/2016
Descripción:	Se deben crear 3 tipos de reportes: 1) Reporte de posiciones: Debe relacionar la <i>huella</i> con las coordenadas (x,y,z) del lugar modelado. 2) Reporte de mapa: Debe contener el promedio de potencias de cada SSID para cada una de las <i>huellas</i> . 3) Reporte de huella: Debe crear un reporte por cada <i>huella</i> que contenga las 500 muestras de valores de RSS para cada una de las redes.
Condición:	Deben existir <i>huellas</i> creadas.
Precondiciones:	N/A

Nombre:	ver información de <i>huella</i>
Autor:	Usuario
Fecha:	12/12/2016
Descripción:	Se debe desplegar una ventana que muestre la potencia de cada una de las SSID capturadas, el nombre y las coordenadas (x,y) de la <i>huella</i> , además debe permitir la opción de hacer una nueva lectura.
Condición:	Debe existir la <i>huella</i> creada.
Precondiciones:	1)El sensor de Wi-Fi debe estar encendido. 2)El mapa debe estar cargado con la grilla creada.

9.1.1.2 Aplicativo de adquisición de datos

Este aplicativo nos ayuda a elaborar el mapa de *huellas* de la fase de calibración del lugar a modelar, de esta manera se mide los valores de RSS para cada *huella*, debido a las variaciones de potencia es necesario tomar más de una muestra, mediante un menú el usuario podrá modificar el número de muestras que desea tomar (Figura 39).

Se crea una interfaz que permite la carga del plano del lugar a modelar, con el objetivo de crear una grilla que identifique cada uno de los puntos que se deben tomar. El aplicativo permite al usuario modificar a que distancia desea crear cada uno de estos puntos y su conversión de pixeles a metros (Figura 40. Funcionalidad modificar propiedades de grilla).



Figura 39. Funcionalidad modificar número de muestras - Aplicativo de Adquisición de datos



Figura 40. Funcionalidad modificar propiedades de grilla - Aplicativo de Adquisición de datos

A partir del plano importado y la información de sus dimensiones configuradas, se aplica un algoritmo que segmentan las superficies donde no se tomaran muestras, con el objetivo de crear solo los puntos necesarios. Cada uno de estos puntos permite al usuario capturar una serie de muestras de valores de RSS encontradas en un periodo de tiempo.

Una vez capturadas las muestras de valores de RSS, se almacenaran de forma local, a continuación se deshabilita la opción de tomar un una nueva muestra, evitando duplicidad errónea de datos, al seleccionar nuevamente el punto medido se desplegará una ventana (Figura 41. Visualización información de *huella* que contiene la gráfica de sus valores de potencia para cada red y el nombre del archivo con los datos de las coordenadas (x,y), además es posible volver a capturar la muestra.

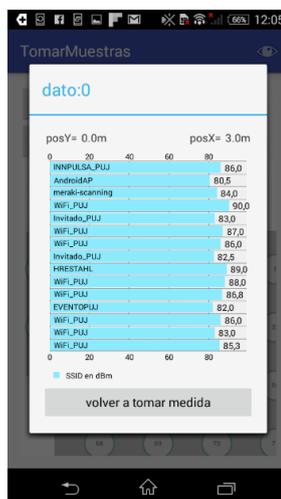


Figura 41. Visualización información de *huella* - Aplicativo de Adquisición de datos

Una vez finalizada la creación del mapa de *huellas*, el aplicativo permite crear 3 reportes, que describen el comportamiento de las señales RSS, a continuación, se describirán cada uno de estos archivos.

- **Huella de punto:** Toma n-muestras en un punto para cada una de las RSS presentes.
- **Plano de huella:** Relaciona el promedio de los puntos para un mismo RSS.
- **Coordenadas:** Indica el punto en que se tomó la medida y las coordenadas XY del mismo.

9.1.1.3 Diagrama de flujo

Los procesos realizados por el aplicativo se representan mediante un diagrama de flujo, y se explica a continuación la funcionalidad de cada uno de los bloques mostrados en la Figura 42. Figura 41

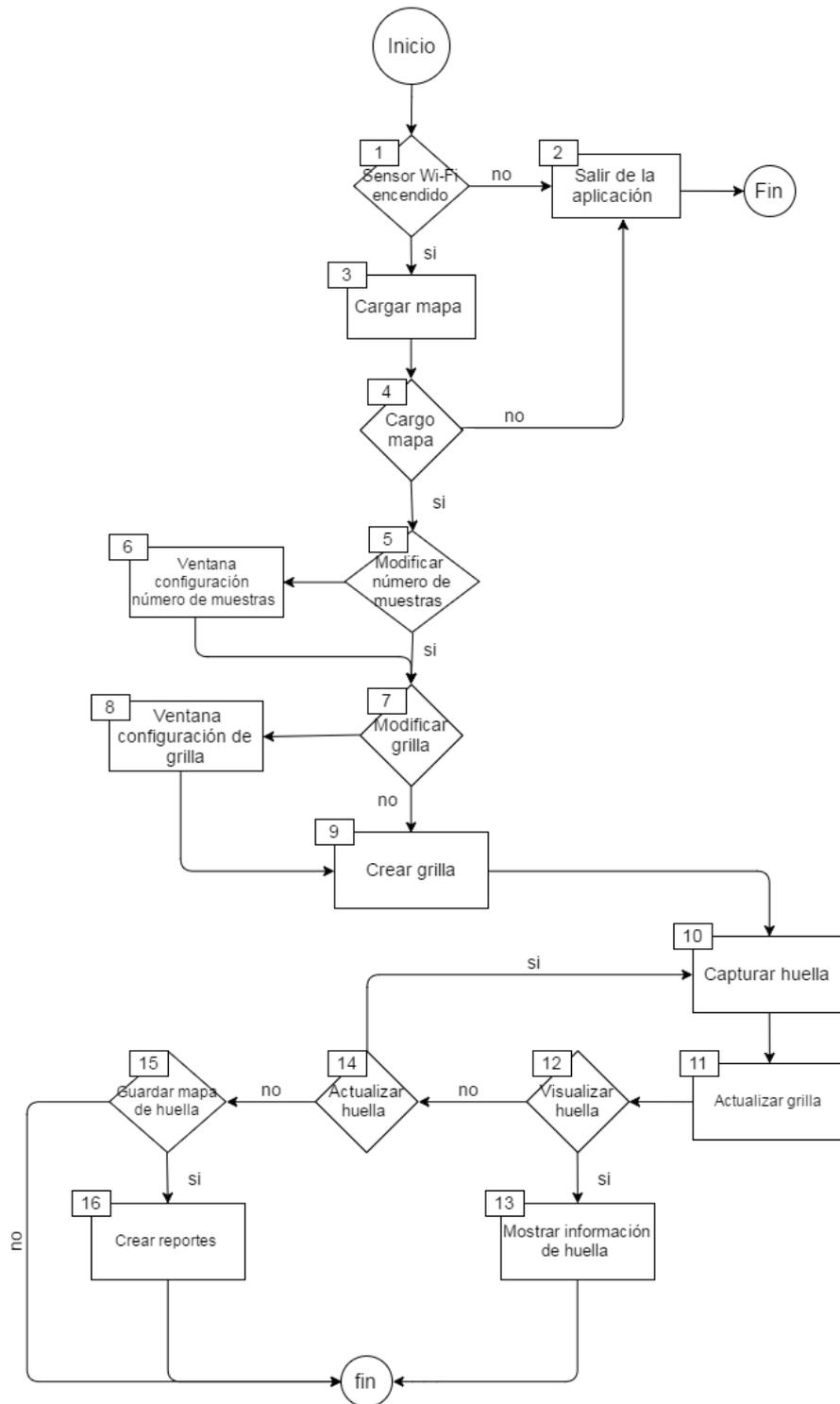


Figura 42. Diagrama de flujo fase de calibración

Paso	Descripción
1	Se valida si el sensor Wi-Fi del dispositivo se encuentra encendido.
2	Se muestra un mensaje de error y se cierra el aplicativo.
3	Se carga el mapa arquitectónico del lugar donde se realizarán las medidas.
4	Se valida que el mapa se haya cargado correctamente.
5	Opción de modificar el número de muestras.
6	Se despliega una ventana que permite modificar la cantidad de muestras a tomar para cada una de las <i>huellas</i> .
7	Opción de modificar configuración de la grilla.
8	Se despliega una ventana que permite modificar el número de píxeles y la distancia de separación de cada una de las <i>huellas</i> .
9	Se crea la grilla con la configuración realizada anteriormente, de no generarse alguna modificación se usarán valores por defecto.
10	El usuario selecciona la <i>huella</i> donde realizara la recolección de la información de cada una de las SSID presentes en el punto y crea un fichero con 500 muestras de valores de RSS para cada una de las redes.
11	Cambia el estado de la <i>huella</i> a muestra capturada.
12	Al seleccionar una <i>huella</i> es posible mostrar la información o actualizar la <i>huella</i> .
13	Muestra una ventana con la información relacionada a la <i>huella</i> , mostrando coordenadas (x,y,z) y el promedio de los valores de RSS capturados.
14	Permite volver a tomar las medidas de una <i>huella</i> .
15	Permite la opción de crear reportes.
16	Se crean 3 ficheros que representan el mapa de <i>huellas</i> .

9.1.2 Fase de localización

9.1.2.1 Caso de uso

En la Figura 43. Interacción usuario y funcionalidades - Fase de localización se representan los casos de uso para la fase de localización.

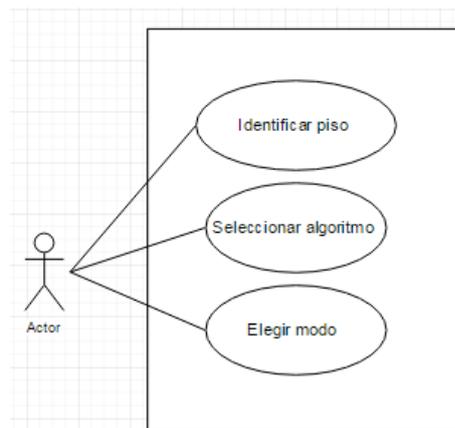


Figura 43. Interacción usuario y funcionalidades - Fase de localización

A continuación, se describen cada una de las funcionalidades del aplicativo que se desea tener en la fase de localización.

Nombre:	Identificar piso
Autor:	Usuario
Fecha:	12/12/2016
Descripción:	

Se debe ejecutar el algoritmo seleccionado por el usuario para cada uno de los mapas, el mapa que tenga el mayor valor de proximidad será el piso donde el usuario se encuentre.

Condición: N/A
Precondiciones: El sensor de Wi-Fi debe estar encendido.

Nombre:	Seleccionar algoritmo
Autor:	Usuario
Fecha:	12/12/2016
Descripción:	Permitir escoger cuál de los algoritmos implementados se quiere usar al momento de estimar la ubicación.
Condición: N/A	
Precondiciones:	El sensor de Wi-Fi debe estar encendido.

Nombre:	Elegir modo
Autor:	Usuario
Fecha:	12/12/2016
Descripción:	Permitir al usuario escoger la modalidad de uso. 1) Uso automático: El algoritmo escogido se repetirá consecutivamente, ubicando y mostrando la ubicación del usuario en tiempo real. 2) Uso manual: El usuario debe presionar un botón, cual mostrará su ubicación una única vez.
Condición: N/A	
Precondiciones:	El sensor de Wi-Fi debe estar encendido.

9.1.2.2 Aplicativo de localización

Este aplicativo toma los reportes generados anteriormente con el aplicativo de adquisición de datos y el reporte creado con Matlab, para estimar la posición del usuario utilizando los algoritmos propuestos. Con el fin de tener una interfaz más intuitiva, se ha creado opciones para diferentes funcionalidades mostradas en la Figura 44. Menú de opciones y descritas a continuación.



Figura 44. Menú de opciones aplicativo de localización

- **Técnica:** Esta opción permite seleccionar el algoritmo utilizado para realizar la estimación de la distancia, los algoritmos que pueden ser seleccionados distancia euclidiana y distribución normal (Figura 45. Funcionalidad selección de algoritmo)
- **Identificar piso:** Permite al usuario identificar el piso, utilizar esta funcionalidad es necesario para lograr detectar el cambio de piso con el algoritmo seleccionado.
- **Modo manual:** Permite al usuario realizar el cálculo de estimación de posición con el algoritmo seleccionada una sola vez.
- **Modo automático:** Permite realizar el cálculo de la estimación de posición en forma automática, es decir, el aplicativo estimara la ubicación con el algoritmo seleccionado de forma consecutiva y en tiempo real, hasta que el usuario pare la aplicación o cambio el modo de estimación de posición.

El aplicativo marca las *huellas* probables con diferentes colores, indicando las que tienen mayor probabilidad de que el usuario se encuentre en alguna de ellas, también marca con un punto rojo la posición final calculada (Figura 46).

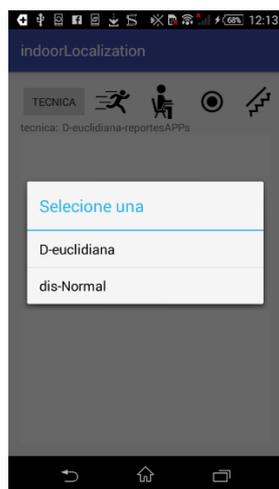


Figura 45. Funcionalidad selección de algoritmo - Aplicativo de localización

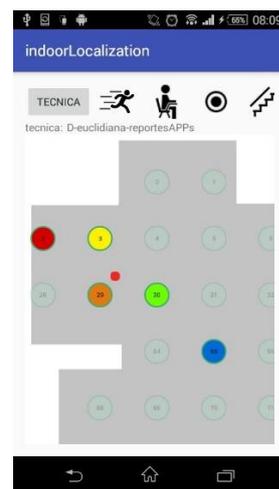


Figura 46. Visualización estimación de posición - Aplicativo de localización

9.1.2.3 Diagrama de flujo

Los procesos realizados por el aplicativo se representan mediante un diagrama de flujo, y se explica a continuación la funcionalidad de cada uno de los bloques mostrados en Figura 47. Diagrama de flujo fase de localización

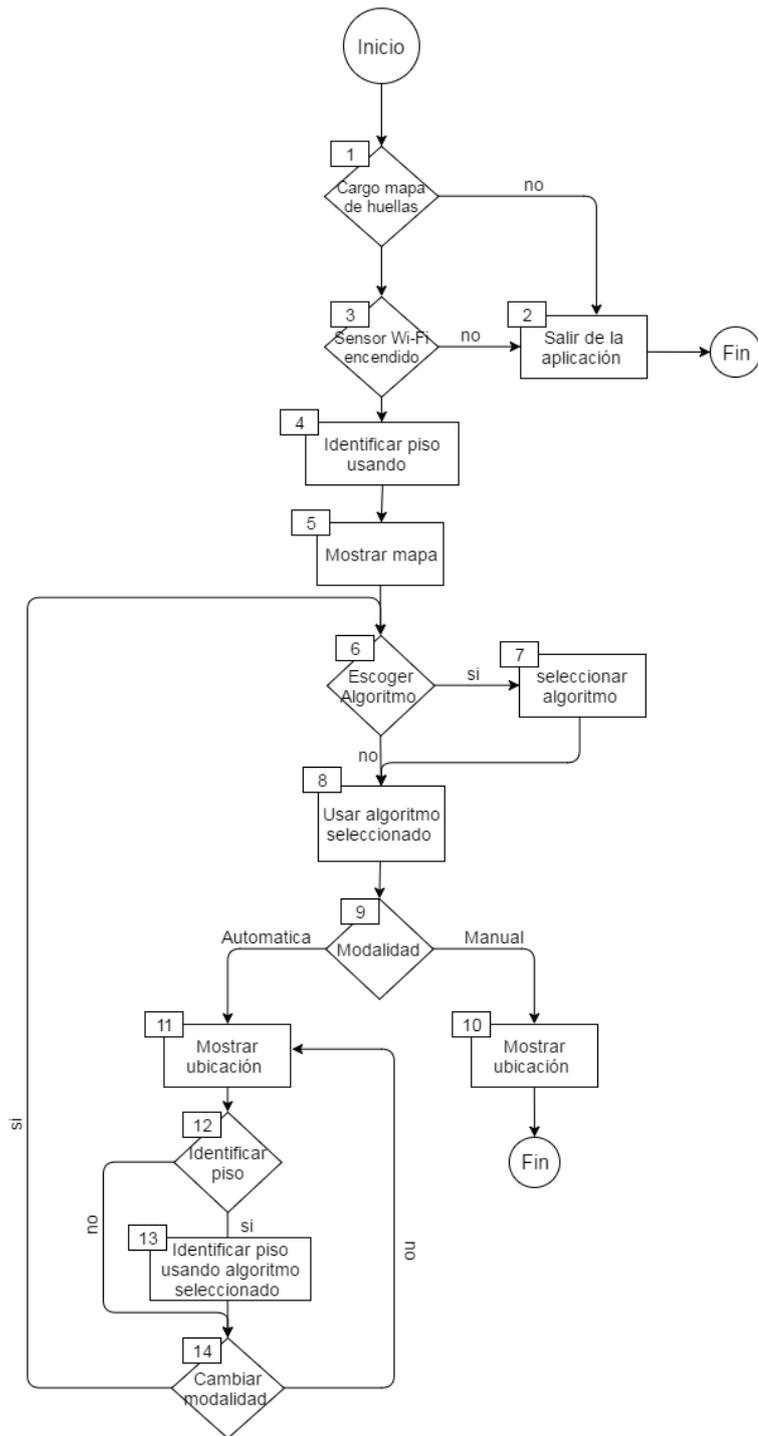


Figura 47. Diagrama de flujo fase de localización

Paso	Descripción
1	Se valida si los archivos de coordenadas (x,y,z), mapa de promedios de RSS y archivos de Matlab han sido cargados correctamente.
2	Se muestra un mensaje de error y se cierra el aplicativo.
3	Se valida si el sensor Wi-Fi del dispositivo se encuentra encendido.
4	Se aplica el algoritmo seleccionado en cada uno de los mapas de <i>huella</i> el mapa para determinar el piso teniendo en cuenta la <i>huella</i> con el mayor valor de proximidad.
5	Muestra el mapa identificado en el paso 4.
6	Opción para cambiar el algoritmo a usar.
7	Muestra una ventana que permite seleccionar el algoritmo utilizado para realizar la estimación de la distancia.
8	Se modifican variables del sistema para para proceder a estimar la posición con el algoritmo seleccionado.
9	Permite seleccionar la modalidad de navegación.
10	Muestra en el mapa la posición calculada con las posibles ubicaciones en diferentes colores dependiendo del valor de proximidad de las ubicaciones.
11	Muestra en el mapa de forma consecutiva la posición calculada con las posibles ubicaciones en diferentes colores dependiendo del valor de proximidad de las ubicaciones.
12	Permite al usuario identificar el piso.
13	Se aplica el algoritmo seleccionado en cada uno de los mapas de <i>huella</i> el mapa para determinar el piso teniendo en cuenta la <i>huella</i> con el mayor valor de proximidad.
14	Posibilidad de cambiar la modalidad.