



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE
DETECCIÓN, LOCALIZACIÓN Y SEGUIMIENTO EN TIEMPO
REAL DE NIÑOS EN LOS INTERIORES DE CENTROS
EDUCATIVOS UTILIZANDO LA TÉCNICA DE FINGERPRINTING
CON TECNOLOGÍA WI-FI**

PRESENTADA POR

GUSTAVO EDUARDO CHOCOS TORRES

RODRIGO JOSÉ SILVA ALEGRÍA

ASESORES

FERNANDO MAURICIO JIMENEZ MOTTE

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO

LIMA – PERÚ

2016



**Reconocimiento - No comercial – Compartir igual
CC BY-NC-SA**

Los autores permiten transformar (traducir, adaptar o compilar) a partir de esta obra con fines no comerciales, siempre y cuando se reconozca la autoría y las nuevas creaciones estén bajo una licencia con los mismos términos.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE
DETECCIÓN, LOCALIZACIÓN Y SEGUIMIENTO EN TIEMPO
REAL DE NIÑOS EN LOS INTERIORES DE CENTROS
EDUCATIVOS UTILIZANDO LA TÉCNICA DE
FINGERPRINTING CON TECNOLOGÍA WI-FI**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
ELECTRÓNICO**

PRESENTADA POR

**CHOCOS TORRES, GUSTAVO EDUARDO
SILVA ALEGRÍA, RODRIGO JOSÉ**

LIMA - PERÚ

2016

Dedicatoria

A la vida, por darnos la oportunidad y a nuestros padres y familiares por creer en nosotros y apoyarnos en todo momento durante este trayecto profesional y personal.

Agradecimiento

Expresamos nuestro agradecimiento a la Universidad San Martín de Porres por apostar en el desarrollo de la educación del país y a nuestros asesores por guiarnos durante el proceso con su conocimiento y experiencia.

ÍNDICE

	Página
RESUMEN	IX
ABSTRACT	X
INTRODUCCIÓN	XI
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	17
1.1. Antecedentes	17
1.2. Bases teóricas	18
1.3. Definición de términos básicos	55
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	56
2.1. Material	56
2.2. Métodos	62
CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL PROYECTO	76
3.1. Especificaciones de diseño	76
3.2. Diseño de la obtención de las variables RSSI	76
3.3. Diseño de plano arquitectónico en AUTOCAD	80
3.4. Diseño del vector de distancias euclidianas	82
3.5. Diseño de la obtención del cuadrante estimado	84
3.6. Diseño de entorno visual del aplicativo de localización	86
CAPÍTULO IV: PRUEBAS Y RESULTADOS	88
4.1. Simulación inicial, mediciones y resultados	88
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN Y APLICACIÓN	93
5.1. Discusión	93
5.2. Aplicación	93
CONCLUSIONES	95
RECOMENDACIONES	97
GLOSARIO	98
FUENTES DE INFORMACIÓN	99
ANEXOS	102

Lista de tablas

	Página
Tabla 1 Comparación de algunos métodos	22
Tabla 2 Comparación de algunas tecnologías	23
Tabla 3 Comparación de atenuación en materiales	37
Tabla 4 Atenuación en espacio libre	39
Tabla 5 Exponente "path-loss" en distintos entornos	39
Tabla 6 Potencia Vs Distancia	43
Tabla 7 Canales y regulación	44
Tabla 8 Parámetros obtenidos del modelamiento	54
Tabla 9 Especificaciones técnicas de Access Point DAP2360	56
Tabla 10 Especificaciones técnicas	59
Tabla 11 Relación de RSSI con distintas medidas	62
Tabla 12 Ejemplo de muestreo de medidas RSSI en dBm	64
Tabla 13 Vector SSactual demostrativo	65
Tabla 14 Base de datos Fingerprint demostrativa	67
Tabla 15 Muestra de puntos referenciales	71
Tabla 16 Puntos vecinos más cercanos (K=2)	72
Tabla 17 Puntos vecinos más cercanos (K=2)	73
Tabla 18 Margen de error de un determinado punto referencial	74
Tabla 19 Cuadro con valores y descripción de OID	78
Tabla 20 Puertos SNMP	79
Tabla 21 Matriz SSL (Base de datos <i>fingerprint</i>)	82
Tabla 22 Coordenadas en pixeles de cada punto referencial	84
Tabla 23 Retardos experimentales de todo el proceso	89
Tabla 24 Resultados del margen de error realizado	90

Lista de figuras

	Página	
Figura 1	FiLIP 2 Dispositivo GPS	17
Figura 2	Diagrama pictórico de la solución	19
Figura 3	Diagrama del estado de arte	21
Figura 4	Método TOA	31
Figura 5	Hipérbola	32
Figura 6	Estimación por ángulos	32
Figura 7	Estimación de trilateración por el método pitagoriano	34
Figura 8	Posicionamiento basado en <i>Fingerprinting</i>	34
Figura 9	Polaridad en antena	35
Figura 10	Cobertura simulada referencial realizada	36
Figura 11	Propagación de una antena omnidireccional	38
Figura 12	Punto de acceso utilizado	41
Figura 13	Relación entre dBm y mW	42
Figura 14	Canales traslapados	45
Figura 15	Canales 1, 6, y 11	45
Figura 16	Máscara de espectro transmitida para IEEE 802.11b	46
Figura 17	Estimación por trilateración	46
Figura 18	Diagrama de bloques de la estimación	48
Figura 19	Fase de entrenamiento fuera de línea	50
Figura 20	Efectos del incremento de k	52
Figura 21	Diagrama de bloques del modelamiento	53
Figura 22	AP DAP 2360 Vista posterior	58
Figura 23	Equipo móvil celular compatible con la tecnología WiFi	58
Figura 24	Equipo smartwatch compatible con la tecnología WiFi	58
Figura 25	Equipo wearables glasses compatible con WiFi	59
Figura 26	Vista posterior, <i>Switch</i> modelo TL-SF1008P	60
Figura 27	Computadora de escritorio	61
Figura 28	Cable UTP categoría 5E	61
Figura 29	Relación de RSSI con distintas medidas	63
Figura 30	Vectores de distancias Euclidianas a clúster 3, 6 y 9	68

Figura 31	Tamaño del plano de la aplicación de localización	70
Figura 32	Diagrama de bloques de la obtención del valor – RSSI	77
Figura 33	Descripción de valor OID referente al RSSI	78
Figura 34	Algoritmo C# para obtención de RSSI	80
Figura 35	Diseño del plano en AutoCAD del pabellón	81
Figura 36	Líneas de comando para hallar el vector deu (propietario)	83
Figura 37	Algoritmo propietario para hallar las 3 menores distancias	85
Figura 38	Algoritmo para hallar (XE, YE) con la técnica de los k vecinos	86
Figura 39	Plano emergente del aplicativo de localización	86
Figura 40	Entorno visual del aplicativo propietario de localización	87
Figura 41	Retardos experimentales de todo el proceso	89
Figura 42	Porcentaje de aciertos del prototipo	92
Figura 43	Entorno visual del aplicativo propietario de localización	94

Lista de anexos

	Página
Anexo 1 Líneas de comando del aplicativo propietario	103
Anexo 2 Plano del pabellón de la fia – usmp en autocad	113

RESUMEN

El presente prototipo de localización y seguimiento de niños en los interiores de centros educativos utilizando la tecnología WiFi tiene como objetivo detectar y ubicar cualquier artefacto compatible que esté llevando el infante. Esto incluye desde teléfonos móviles, laptops, *tablets* hasta los “*wearables*” como los relojes inteligentes.

Dicho objetivo se logrará utilizando el método de *fingerprinting*, basado en la distancia euclidiana y aplicando rigor matemático y científico para estimar la ubicación. Se dará enfoque al hallazgo y seguimiento de algún niño en un escenario de extravío en interiores para dar tranquilidad al padre o encargado quien podrá tener la seguridad de que hay un sistema que está constantemente localizando al infante. La solución recae en un arreglo de equipos de red conocidos como puntos de acceso (APs) que se centralizarán en un aplicativo propietario que mostrará de manera pictórica el entorno abarcado como también la posición actual.

El resultado ha sido un diseño capaz localizar y seguir el movimiento de un dispositivo con un procesamiento en tiempo real y arrojando un margen de error menor a los 5 metros.

Se concluye que este prototipo muestra el alcance que tiene el método *fingerprinting* sumado a la tecnología WiFi para ubicar y seguir dispositivos electrónicos compatibles de una forma rápida con bajo margen de error.

Palabras claves: Método *fingerprinting*, tecnología WiFi, localización, seguimiento.

ABSTRACT

The thesis' objective is to design and implement a prototype in charge of detecting and localizing in real time any artifact WiFi compatible in an interior environment. This includes from mobile phones, laptops, tablets to wearables.

All this using the fingerprinting method based on Euclidian distance to estimate the position and also using an access point array that maintains constant communication with the non-invasive child's gadget. All this information will be gathered on an application that will show the coverage area and the kid's position. We will focus on child's indoor tracing so parents can be certain that there's a system that is constantly supervising their kids.

Our results is a prototype capable of localize and follow the movement from a compatible gadget with a real time processing and an error range bellow 5 meters.

As a conclusion we have the capabilities of the *fingerprinting* methodology with Wi-Fi technology to follow and locate compatible electronic gadgets in a fast and precise way.

Keywords: fingerprinting method, WiFi technology, localization, tracing.

INTRODUCCIÓN

La inseguridad ciudadana se ha vuelto un objeto de estudio muy necesario. Se ha realizado una serie de trabajos que toman como eje a esta problemática y se ha elaborado varios reportes acerca de esta situación que aqueja a la capital. Uno de ellos sugiere que la inseguridad ciudadana puede ser medida a través de tres instrumentos: la percepción de inseguridad, entendida como la posibilidad de que ocurra tales hechos o el temor de ser víctima de estos; la victimización, que es la ocurrencia real de hechos de violencia o despojo; y la segurabilidad, la cual está referida a la percepción que tienen los ciudadanos sobre los recursos institucionales que se disponen para prevenir las amenazas a la seguridad y protegerse de estas. (López, 2014)

Los niveles de victimización se han visto acompañados por un aumento en la percepción de inseguridad ciudadana. Para el 2013, 5 de cada 10 habitantes de Lima afirmaba sentirse inseguro (López, 2014) y para el 2016 la percepción de inseguridad fue del 90.4% (IDL, 2016), esto quiere decir que 9 de cada 10 personas temían ser víctimas de un delito. En lo que respecta al secuestro, presenta un incremento en el 4.4%, pues subió de 12.8% en 2014 a 17.2% en 2016 (IDL, 2016).

Esto sugeriría una correlación entre el crecimiento de victimización y el crecimiento de la inseguridad a nivel de Lima Metropolitana. La cual se hace muy presente cuando se trata de niños.

Todo esto conlleva a una necesidad de seguridad y resguardo que no ha sido pasado por alto por las nuevas tecnologías. Se tiene por ejemplo a la video vigilancia; a los sensores de movimiento, infrarojos y de movimiento; al RTLS, entre otros.

Si bien el RTLS no es exclusivo para la seguridad, presenta una buena opción de solución para aliviar la percepción de inseguridad de los padres o

encargados del niño. Pues cubre la necesidad de rastrear y monitorear de forma precisa. Es por ello que diversas soluciones RTLS aparecieron en el mercado cada una enfocada a alguna necesidad, desplegando todas sus posibilidades. Algunos se fueron por el lado de los hospitales y el seguimiento de pacientes, otros se fueron por el lado del rastreo de maquinaria, mercancía u objetos y otros a la localización de niños.

Para esto la tecnología WiFi ya estaba vigente e implementada en la gran mayoría de lugares como hospitales, colegios, centros comerciales, parque de diversiones, centro de convenciones, etc. Esto sumado a la creciente demanda de RTLS, forma a los sistemas de localización basados en tecnología WiFi, que es justamente el fondo de esta tesis.

La presente investigación está estructurada en 5 capítulos:

En el capítulo I, se muestra todo el entorno que rodea a esta solución que será descrita en el estado del arte, como también los antecedentes y el porqué de la necesidad de desarrollar e implementar este tipo de soluciones. Ya con la alternativa de solución y habiendo descrito y mencionado a la paleta de posibilidades, se defenderá el uso de la tecnología elegida y por qué es que hoy por hoy es la alternativa más fiable, también se detallará todo el rigor matemático y parámetros que se requieren para el desarrollo del método por *Fingerprinting*.

En el capítulo II se detalla el análisis y métodos descritos en el capítulo 1 realizando los cálculos necesarios de los parámetros obtenidos.

En el capítulo III, se mostrará las especificaciones de diseño que darán pie al desarrollo de cada bloque de diseño del prototipo.

El capítulo IV, se realizará simulaciones y comparaciones; donde se mostrará los resultados de las pruebas realizadas. Donde se puede ver mediante gráficas y tablas el comportamiento de la solución.

Finalmente, en el capítulo V, se discutirá la solución presentada y se dará mención a la aplicación del diseño como también las diferentes alternativas de uso que puede optar.

1. Planteamiento del problema

Los centros educativos, hoy por hoy no son ajenos a la inseguridad que se vive en el país. Se han registrado secuestros y violaciones y una de las causantes ocurre cuando un niño es perdido de vista por la persona que lo supervisa. Si bien hay distintos métodos que buscan solventar el problema, la verdadera problemática es la sensación que perciben los padres o encargados ante tanta inseguridad.

Por ese último motivo, se busca dar tranquilidad y confianza de que existe un sistema que está constantemente localizando y siguiendo a un determinado niño.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

El objetivo general de esta tesis es diseñar un prototipo funcional, con bajo tiempo de respuesta y eficaz para detectar y localizar a aquel que porte el dispositivo móvil compatible con la tecnología WiFi dentro de un área pre establecida, utilizando el método de *fingerprinting*.

2.2 Objetivos específicos

- a) Capturar la variable RSSI referente al dispositivo a localizar de cada uno de los puntos de acceso utilizados.
- b) Desarrollar un aplicativo propietario en C# capaz de adquirir la variable RSSI para luego ser procesada por un algoritmo.
- c) Obtener el cuadrante bidimensional estimado y representarlo de manera pictórica.
- d) Lograr que el sistema presente un tiempo de respuesta máxima de 400 ms.
- e) Lograr que el margen de error esté dentro del rango de 1 a 5 metros.

3. Justificación

2.1 Justificación tecnológica

Basado en un informe estadístico en Madrid realizado por GOWEX (compañía líder en la creación de ciudades con conectividad WiFi), en el año 2013 el tráfico de las redes inalámbricas WiFi llegó a representar un 52% de la cuota total del tráfico en internet y dada la penetración de los dispositivos móviles, esta cuota muy probablemente seguirá aumentando. Entre otros datos del informe, se tiene que más del 90% de las conexiones en las calles se realizan a través de dispositivos móviles. (De Luz, 2013)

Como se observa, la tendencia apunta a incremento cada vez mayor del uso del WiFi utilizando dispositivos móviles.

2.2 Justificación económica financiera

Basado en un reporte que analiza el mercado de sistemas RTLS, el uso de estos debe aumentar a una tasa anual del 37% hasta el 2018 (Frost & Sullivan, 2013).

En este mismo reporte Nandini Bhattacharya, analista senior de investigación, identificación automática y recolección de datos, concluye que La necesidad de rastrear y monitorear de forma precisa los activos y el personal en el ambiente competitivo de negocios de hoy conlleva a una alta demanda de soluciones RTLS en todo el mundo. RTLS es la opción preferida ya que muestra información crítica para el negocio de forma precisa y en tiempo real. (Frost et al., 2013)

Como se observa el uso de RTLS seguirá aumentando dado el incremento de la necesidad lo que conllevará a un mercado más competitivo con mayor demanda y mejores precios.

2.3 Justificación socio ambiental

En la nota descriptiva de la OMS (Organización mundial de la salud) se encuentra que la principal consecuencia de la interacción entre la energía radioeléctrica y el cuerpo humano es el calentamiento de los tejidos. Referente a las frecuencias utilizadas por los teléfonos móviles, la mayor parte de la energía es absorbida por la piel, de modo que el aumento de la temperatura en el cerebro u otros órganos del cuerpo es insignificante. (Organización Mundial de la Salud, 2014)

Ante la pregunta: ¿Tiene los móviles efectos en la salud? Se encuentra que en los dos últimos decenios se han realizado grandes cantidades de estudios para determinar si los móviles pueden plantear riesgos para la salud; sin embargo, hasta la fecha no se ha confirmado ningún efecto perjudicial. (Organización Mundial de la Salud, 2014)

4. Limitaciones

El prototipo se limita a un ambiente de interiores con un máximo de 3 puntos de acceso con coordenadas fijas. En referencia al aplicativo, este solo correrá en el computador predispuerto para esta función.

El resultado final presentará un determinado margen de error en cuanto a la ubicación y existirá un cierto retardo al momento de mostrarla.

5. Alcances

- Cobertura del tercer piso del pabellón de laboratorios de la FIA
- Tiempo de respuesta no mayor a 400 ms
- Margen de error no mayor a los 5 metros

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes

A lo largo de los años, se han ido desarrollando dispositivos encargados de mantener cierto control y prevención ante cualquier extravío de un niño. Se sabe por conversaciones y experiencias, que no hay peor sensación que perder a un niño que venías cuidando. Ya de por sí, dicha tarea, es una labor difícil dada la gran energía y movilidad del infante.



Figura 1: FILIP 2 Dispositivo GPS

Fuente: Google Imágenes

Es por eso que se encuentra en el mercado, dos clases de dispositivos. Los primeros que alertan el alejamiento de un niño pasada cierta distancia previamente estatuada y los que, gracias al auge del GPS, logran determinar la posición del dispositivo llevado por el niño en un mapa que puede ser visualizado por el padre o encargado.

En septiembre de 2014 la marca FILIP lanzó su modelo FILIP 2, un localizador GPS que a la vez es teléfono móvil que funciona tanto para Android como iOS con una apariencia agradable a modo de reloj. Sin embargo sufre por su poca exactitud y carencia de tiempo real, pues envía la localización cada 15 minutos. Similares al FILIP 2, se encuentra a TINITELL, HEREO, entre otros. Para las soluciones sin GPS, se halla a BELUVV GUARDIAN, MY BUDDY TAG, LINEABLE que utiliza bluetooth para alertar

ante un alejamiento en un radio a la redonda previamente estipulado. (The SafeWise Report, 2015).

Viendo estas soluciones, se puede notar dos puntos importantes. Número uno, que muchos se basan en GPS, tecnología que, si bien es muy útil para entornos abiertos, carece de exactitud cuándo se está en un ambiente cerrado de interiores. Y número dos que los dispositivos de proximidad previenen el alejamiento, pero no muestran una solución cuando se sale de rango. Además, la distancia calculada es muy vulnerable a los entornos cerrados como paredes y puertas.

Si bien todas estas soluciones difieren con el diseño presentado, se mostrará la cantidad de dispositivos que existen para tratar una problemática que es cada vez más y más común dado el crecimiento de la población en la ya saturada metrópolis.

1.2. Bases teóricas

1.2.1 Propuesta de la solución

La solución presentada toma en consideración un área cerrada en la que se le ubican 3 puntos de acceso ubicados en sitios previamente definidos. Las coordenadas de estos 3, no deberán ser cambiadas pues se utilizarán de referencia por el propio algoritmo. Una red cableada Ethernet conectará a los APs con el computador y, dada las configuraciones necesarias, habrá perfecta conectividad entre ellos.

El aplicativo de localización desarrollado, estará instalado en el computador y contendrá todos los procesos necesarios desde la toma de datos hasta la representación pictórica de la ubicación deseada, en cuanto a los APs, mantendrán una comunicación constante tanto con el dispositivo móvil a ubicar como con la PC.

La respuesta del aplicativo propietario de localización mantendrá tiempos de respuesta aceptables como márgenes de error bajos.

Como se parecía en la figura 2 las líneas punteadas rojas serían el cableado Ethernet que une los puntos de acceso con el computador, los puntos a lo largo del pabellón son los puntos referenciales en los cuales se deberá tomar medidas RSSI para luego ser almacenados en una matriz en el aplicativo propietario de localización.

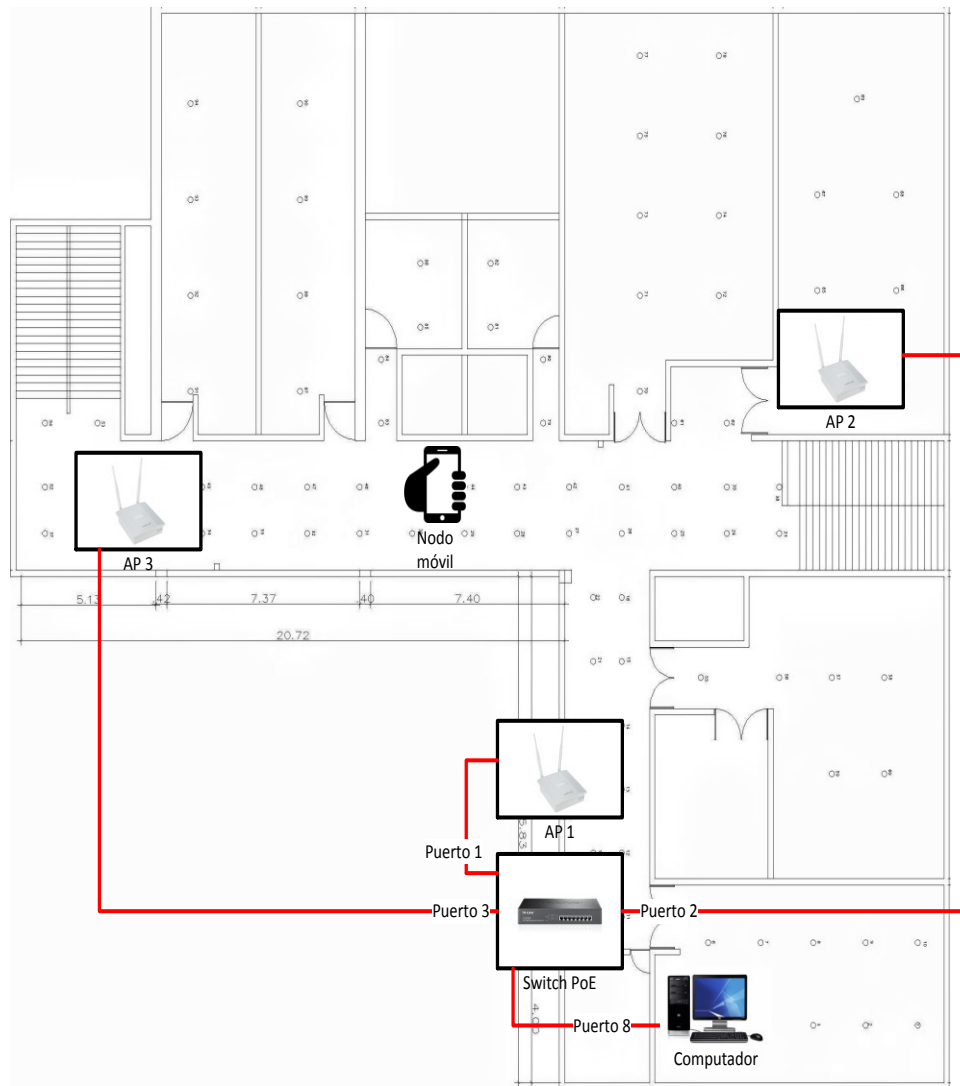


Figura 2: Diagrama pictórico de la solución propuesta (Imagen referencial)

Fuente: Propia

1.2.4 Estado del arte global

Dando mención a los sistemas de localización y seguimiento, se puede encontrar una gama de alternativas que en cierto aspecto presentan una solución a la problemática dada mostrando ventajas, desventajas y particularidades que se observarán a lo largo del capítulo.

Tal como comenta Michael Liard (2012) del VDC Research Group, Inc: Un RTLS está en la capacidad del traqueo de bienes; sin embargo, no todos los sistemas de traqueo de bienes son RTLS. La diferencia cae en la continua comunicación entre el sistema y el objeto que está siendo traqueado. Sistemas de traqueo de bienes (Asset Tracking Systems) no podrán ser considerados como RTLS a menos que sean configurados con un reporte continuo y automático.

Muchos sistemas y tecnologías se han desarrollado a lo largo de los años para provisionar la ubicación de personas o bienes. Hoy por hoy esto se puede lograr utilizando, cámaras de video, infrarrojo, ultrasonido, bluetooth, WiFi, RFID, ZigBee, GPS, red celular, entre otras. (Malik, 2009)

Dados los objetivos del diseño se dará un enfoque más cerrado en los sistemas de posicionamiento en interiores (IPS por sus siglas en inglés), por tal motivo, las soluciones descritas se acotan para finalmente encontrar soluciones ópticas, de radio y acústicas. Si bien puede que existan otras soluciones, se dará mención a las más utilizadas y comercialmente implementadas.

Se basan, a diferencia de los satélites en el GPS, en nodos próximos con una posición conocida y planificada dentro de la arquitectura del lugar que se quiere monitorizar.

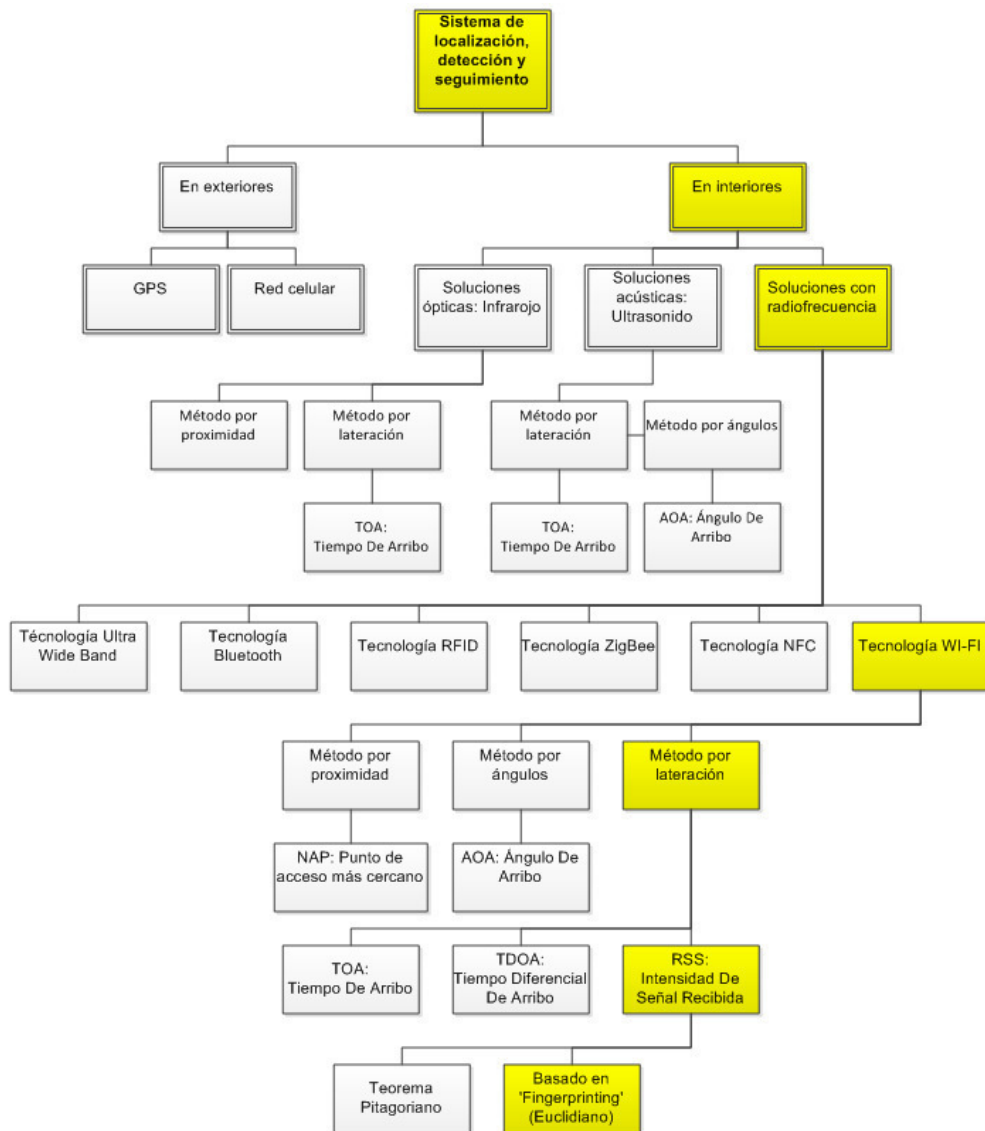


Figura 3: Diagrama del estado del arte de los sistemas de localización.

Fuente: Propia

La figura 3 muestra la ruta seleccionada con fondo color amarillo.

En la tabla 1 y tabla 2 se mostrarán comparaciones tanto de métodos como tecnologías que luego serán descritos con más detalle.

Tabla 1: Comparación de algunos métodos en los sistemas de localización

Método	Tipo de medida	Precisión en interiores	Cobertura	Línea de vista (LOS) / Sin línea de vista (NLOS)	Afectado por el multipath	Costo	Notas
Proximidad	Tipo de señal	Baja a alta	Buena	Ambas	No	Bajo	La precisión depende del tamaño de las celdas
Dirección AoA	Angulo de arribo	Media	Buena	LOS	Sí	Alto	La precisión depende de las propiedades angulares de la antena. La localización de la antena deberá ser especificada
Tiempo ToA, TDoA	Diferencia de tiempo de arribo	Alta	Buena	LOS	Sí	Alto	Necesita sincronización precisa La localización de la antena deberá ser especificada
<i>Fingerprinting</i>	Intensidad de la señal recibida	Alta	Buena	Ambas	No	Medio	Requiere una buena calibración No requiere una localización de la antena especificada

Fuente: (Mahamod & Zahid, 2013)

Tabla 2: Comparación de algunas tecnologías en los sistemas de localización

sistema	Precisión (mts)	Principalmente utiliza	Cobertura	Consumo de energía	Costo	Notas
Infrarojo	1 – 2	Proximidad, ToA	Interiores	Bajo	Medio	Detección de corto alcance No afectado por multipath
WiFi	1 - 5	Proximidad, ToA, TDoA, RSSI <i>Fingerprinting</i>	Interiores / Exteriores	Alta	Bajo	Infraestructura disponible en la mayoría de lugares Ligeramente susceptible al multipath
Ultrasonido	0.03 - 1	ToA, TDoA	Interiores	Bajo	Medio	Susceptible al entorno No afectado por multipath
RFID	1 - 2	Proximity, ToA	Interiores	Bajo	Bajo	Tiempo de respuesta alto
Bluetooth	2 - 5	RSSI <i>Fingerprinting</i>	Interiores	Bajo	Alto	Alta tasa de transferencia de datos Limitaciones en movimiento
ZigBee	3 - 5	RSSI <i>Fingerprinting</i>	Interiores	Bajo	Bajo	Baja tasa de transferencia de datos

Fuente: (Zahid et al., 2013)

1.2.4.1. Soluciones basadas en óptica (infrarojo)

Como todas las soluciones IPS, en las basadas en infrarojo se dejan ubicados la cantidad de lectores de IR como se vean necesarios para la infraestructura a la cual se le está implementando el sistema. La persona u objeto deberá llevar un dispositivo que emita señales IR hasta alcanzar lectores estratégicamente ubicados. Posee precisión, pues dicha señal no puede atravesar paredes, lo que le asegura que el sensor está dando lectura a un emisor dentro de la misma habitación. Sin embargo, el IR posee sus limitantes como la necesidad de línea de vista. Esto quiere decir que, si el dispositivo que emite la señal es tapado por alguna prenda o sábana, difícilmente podrá ser identificado.

1.2.4.2. Soluciones basadas en acústica (ultrasonido)

Compañías elaboradoras de esta solución mencionan que las ondas de sonido pueden determinar con mayor precisión a personas y objetos que las mismas ondas de radio, pues las segundas pueden ser recibidas por múltiples sensores, haciendo difícil encontrar la proximidad exacta de un objeto en particular para un determinado sensor. (Greenemeier, 2008).

El ultrasonido es detectado por micrófonos ubicados en cuartos donde el traqueo será realizado. La ventaja es que tanto las paredes como las puertas confinan las mismas ondas a un determinado cuarto. La empresa SONITOR, empresa que brinda esta clase de solución, está trabajando para mejorar la precisión de su ultrasonido, ajustando la sensibilidad de sus detectores para crear sub zonas.

Se ha encontrado algunas declaraciones del jefe de tecnología de SONITOR donde menciona que con ultrasonido se tiene mucho mejor control sobre la fuerza de la señal y un micrófono puede ser diseñado para ser más sensible a una dirección en particular. (Booij, 2014). Esto quiere decir que sus detectores o sensores con micrófonos pueden recoger una señal específica de un doctor o paciente.

Cabe mencionar, que no se trabaja con ondas de radio, debido a que la solución con ultrasonido no interfiere con ningún equipo médico, es por eso que SONITOR viene siendo instalada en decenas de hospitales de los EEUU. Son alrededor de 20 Hospitales al día de la fecha de la publicación. (Greenemeier, 2008).

El método mayormente utilizado por los sistemas basados en ultrasonido es el TOA que si bien será mencionado posteriormente en este capítulo, es un método que calcula la distancia a raíz del tiempo que demora en llegar la señal del emisor hasta el receptor, que usualmente son los nodos fijos instalados en el techo de la edificación que a su vez se comunican con un computador central que realiza el algoritmo. (Legarretaetxebarria, 2011)

1.2.4.3. Soluciones basadas en radiofrecuencia

Sin duda la solución más empleada por su relativo bajo costo y disponibilidad en la mayoría de lugares, son los sistemas basados en ondas de radio. De entre las soluciones más conocidas y utilizadas se encuentran: Bluetooth, RFID, ZigBee, UWB (*Ultra Wide Band*) y WiFi.

a) Ultra Wide Band

Como su nombre lo menciona, este sistema se denomina de aquel modo por su amplio espectro utilizado (Canales de >500 Mhz). Tiene como ventajas no interferir con las ondas tradicionales tales como WiFi o Bluetooth y hace uso de un espectro recientemente legalizado. UWB puede usar frecuencias que van desde 3.1 GHz hasta 10.6 GHz (Cracovski, 2007).

Es mayormente utilizado en WPAN (Wireless Personal Area Network) para grandes cantidades de intercambio de información en poco tiempo como para el WUSB, *Wireless Universal Serial Bus*.

Soluciones de localización con UWB para IPS, al igual que técnicamente todas las demás soluciones mencionadas, necesitan nodos o lectores ya posicionados y “tags” que serán llevados por la persona u objeto a rastrear.

Un algoritmo de RTLS deberá ser utilizado a igual que todas las demás alternativas.

Los métodos utilizados por las compañías como UBISENSE y TIMEDOMAIN, que utilizan UWB, son una combinación de TDOA y AOA, por lo que el algoritmo necesitará mediciones de tanto de tiempo como del ángulo de arribo. El pulso deberá ser muy corto ($<1\text{ns}$) pero el espacio entre ellos, largo. La razón es que dado que se utiliza TDOA la medida será más precisa si la señal llega en su totalidad al mismo tiempo y no deberá recibir los pulsos simultáneamente. (Legarretaetxebarria, 2011).

UWB es aún un mercado pequeño dentro de los RTLS. (AT&T Intellectual Property, 2014). Lo que significa que por ser un grupo reducido es tecnología difícil de conseguir y poco comercial.

b) Bluetooth

Originalmente desarrollado por Nokia el 2006 con el nombre de Wibree, el estándar tal y como se conoce dio su aparición el 2010 con la adopción de *Bluetooth Core Specification Versión 4.0*. Siendo un sistema robusto, de bajo consumo y costo.

Bluetooth es también utilizado en las soluciones IPS. Sin embargo, posee un corto alcance de hasta 10 metros por lo que, en las soluciones para los sistemas de localización, se termina integrando con WiFi u otros transductores. Cabe mencionar que justamente para estas soluciones se desarrolló el BLE (*Bluetooth Low Energy*), las razones, pues como su nombre lo dice, fueron la necesidad de bajar el consumo de energía para hacerlo una solución más fiable.

Se encuentra la solución de posicionamiento bluetooth TOPAZ, que compone tres elementos: El servidor de posicionamiento, los puntos de acceso y las etiquetas; sin embargo, posee un retardo de 15 a 30 segundos y está basado en el método con RSSI. Si bien su rendimiento mejora en un

nuevo modelo TOPAZ, este adiciona sensores infrarojos y otros transductores junto con el bluetooth. (Legarretaetxebarria, 2011).

c) RFID

Radio Frequency identification por sus siglas en inglés, es un sistema de almacenamiento y recuperación de datos remoto que utiliza RFID *tags* (etiquetas o tarjetas). La idea principal del sistema es transmitir un número de identidad único mediante ondas de radio. Los denominados *tags* pueden ser adheridos fácilmente y poseen antenas que les permiten recibir y responder a peticiones de un emisor y receptor RFID (lector).

Algunos sistemas de localización utilizan *tags* RFID pasivos para localizar objetos. En esta clase, un lector envía una señal, la potencia transmitida de la misma es utilizada por el *tag* para energizarse. Dado que son pasivos, únicamente pueden ser censados cuando son detectados por una lectora. Es ahí que la ubicación del *tag* es deducida, dando así con un tiempo y posición. Sin embargo, poseen muy corta distancia de lectura de máximo 10 cm. a comparación de sus hermanos los *tags* activos por lo que la solución claramente posee sus limitantes.

En cambio, los *tags* activos poseen su propia fuente de alimentación por lo que alcanzan distancias de lectura de 10 hasta 100 metros, por lo que lo hace más fiable a ser un sistema de localización.

Un sistema de localización que utiliza RFID activo es SPOTON y se basa en el análisis de la potencia de las señales de radio (RSS) al igual que el sistema LANDMARC con lo que logran dar con la posición de las etiquetas. (Legarretaetxebarria, 2011).

d) ZigBee

ZigBee ha sido diseñado como un lenguaje inalámbrico para proporcionar un alto rendimiento de datos en aplicaciones en las que el ciclo de trabajo es bajo y el bajo consumo de energía es una consideración importante.

Opera sobre la especificación física de radio IEEE 802.15.4 en las bandas de 2.4 Ghz, 900 Mhz y 868 Mhz.

Efectivo, seguro, de bajo costo y de bajo consumo, Zigbee está siendo utilizado en automatización de hogares, control industrial, periféricos de PC, sensores médicos entre otros. Soporta topologías como estrella, árbol, punto a punto y malla.

La implementación de sistemas de localización requiere un coordinador ZigBee y luego conectar y grabar las posiciones tipo malla de los *routers* (nodos fijos) Zigbee. Estos últimos serán mapeados y asociados con posiciones conocidas en un plano de una determinada planta. Otro *router* ZigBee programado con un software de traqueo, se conectará con la red y transmitirá paquetes cada pocos segundos. Finalmente un algoritmo determinará la posición basándose en la variabilidad de la RF. (Gregoria Tech, 2004)

El algoritmo mayormente utilizado por ZigBee es el basado en RSS, con lo que pueden realizar estimaciones de localización sin necesidad de hardware adicional. No se utiliza el TOA, pues este se basa en tiempo y, a diferencia del UWB, el ancho de banda de las señales IEEE 802.15.4 es pequeño. (Legarretaetxebarria, 2011).

e) NFC

NFC (*Near field communication*) es una tecnología inalámbrica de conectividad de bajo alcance, tan solo unos pocos centímetros. Permite una simple interacción en dos sentidos sobre equipos electrónicos, lo que permite hacer transacciones y acceso a contenido digital con un simple toque. (AT&T Intellectual Property, 2014)

NFC puede ser utilizado para un sistema de registro de lugar y hora, en donde un operario acerca su móvil a un *tag* NFC indicándole al sistema el lugar donde se encuentra, hora a la que ha llegado, etc.

No se eligió a esta solución, pues depende de registro a pocos centímetros del operario ante un *tag* NFC, Sin embargo, es una tecnología con mayor grado de seguridad que junta a alguna otra como WiFi podrían generar una alternativa con un mayor rango de posibilidades.

f) WiFi

Sin duda la tecnología más comercial de las mencionadas, es utilizado por la mayoría de establecimientos de cualquier categoría y es la más fácil de conseguir en el mercado. Esta es el WiFi.

WiFi es una marca de la WI-FI Alliance, la misma que certifica que los equipos cumplan con la norma 802.11 relacionados a redes inalámbricas de área local. (Fundéu BBVA, 2011).

Para soluciones IPS, se utiliza la señal WiFi de un dispositivo para obtener su ubicación aproximada a través de múltiples puntos de acceso (APs).

Al utilizar WiFi se ofrece la posibilidad de ser integrado sin mayor problema a la infraestructura inalámbrica de puntos de acceso ya establecidos. Por ende se reducen los costos de integración y mantenimiento y permite ser implementado sin tener de adicionar cableado y adicionando una cantidad reducida de equipos de verse necesario. (Lewter, Moshell, & Wirth, 2015).

Por tales motivos, es que se ha decidido optar por la solución con WiFi, pero se dará mención a que las grandes compañías tecnológicas que brindan el servicio de RTLS utilizan más de una tecnología para sus soluciones puesto que, sumando sus características, pueden ofrecer una solución óptima.

Dado que el diseño presentado utiliza la tecnología WiFi, se irá detallando y profundizando sus características, parámetros y técnicas de localización a lo largo del libro.

1.2.4.4. Técnicas o métodos de localización

Existen un sinnúmero de técnicas de localización y cada una requiere características especiales que se irán mencionando. A continuación, se muestra, según el estado del arte, son las más utilizadas para las soluciones a la problemática ya mencionada.

a) NAP: punto de acceso más cercano (Proximidad)

Sin duda una de las soluciones más simples que hay, se caracteriza por su respuesta "SÍ" o "NO" (booleano), pues indica si el nodo móvil está o no dentro de un rango preestablecido por un determinado punto de acceso. Por ende, no muestra un cuadrante muy certero. (Lewter et al., 2015)

Si bien podría ser suficiente para un requerimiento de localizar objetos inalámbricos, no es considerado como un RTLS.

b) TOA y TDOA

En cuanto al TOA, tiempo de arribo, se basa en la medida del tiempo que tarda la señal en llegar al receptor desde el dispositivo móvil. La distancia entre estos dos es directamente proporcional al tiempo de propagación entre ambos. Si esto se replica en dos receptores más; es decir tres receptores en total, es factible calcular la posición del terminal móvil. Sin embargo, hay que tener en cuenta que se requiere de una perfecta sincronización y habrá que incluir la data del instante en que se transmite dentro de la propia trama. (Legarretaetxebarria, 2011).

Se observa lo descrito en la siguiente imagen:

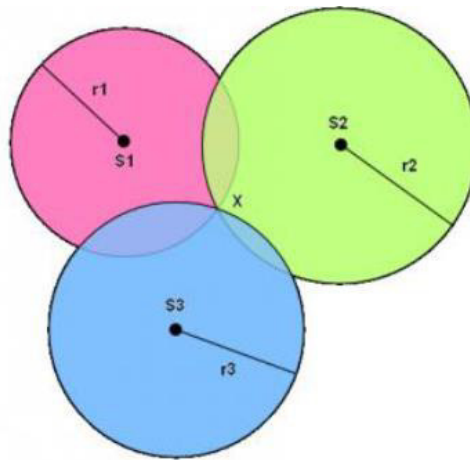


Figura 4: Método TOA

Fuente: Google fotos

Basado en el TOA, el TDOA posee un principio semejante, solo que en este caso basan el cálculo de las distancias de forma relativa, pues manejan la diferencia entre unas señales y otras. Cada uno de los nodos fijos emite una señal al mismo tiempo y aquel que esté más próximo al receptor móvil, hará que este inicie un contador para calcular la diferencia del resto de nodos fijos, que dependiendo de las distancia, tardarán un poco más en llegar. (Legarretaetxebarria, 2011).

Estas diferencias se aplican a la ecuación de la hipérbola que es un lugar geométrico de los puntos de un plano cuya diferencia de distancias a los focos es un valor constante. El valor de esa constante es la distancia entre los vértices. $|d_1 - d_2| = 2a$ (Universo Formulas, 2015)

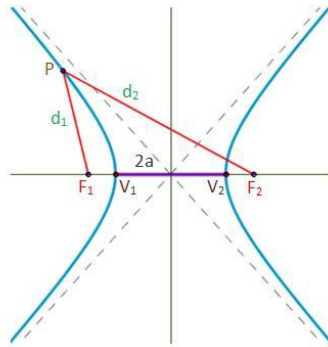


Figura 5: Hipérbola

Fuente: (Universo Formulas, 2015)

Entonces, por cada diferencia de tiempo tomada, se generará una hipérbola. La posición final será el cálculo de la intersección de todas las hipérbolas. (Legarretaetxebarria, 2011).

c) AOA: Ángulo de Arribo

Es una estimación trigonométrica basada en dos ángulos y la distancia entre ellos. Como se observa en la Figura 6, las distancias dr deben ser constantes ya medidas y establecidas en la memoria del sistema. Ambos ángulos alfa (1 y 2) son medidos entre la línea base y la línea formada por el nodo fijo con el móvil. (Pu, Pu, & Lee, 2011)

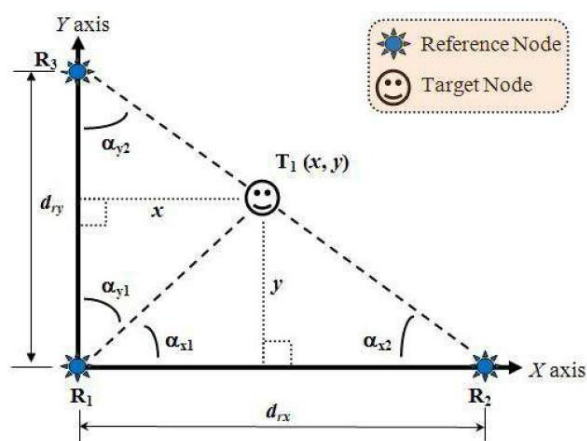


Figura 6: Estimación por ángulos

Fuente: (Pu et al., 2011)

El cuadrante del nodo móvil puede ser hallado usando la combinación de R1 con R3 para el cuadrante 'x' y R1 con R2 para encontrar 'y' utilizando la siguiente fórmula:

$$x = \frac{d_{ry} \sin(\alpha_{y1}) \sin(\alpha_{y2})}{\sin(\alpha_{y1} + \alpha_{y2})}$$

$$y = \frac{d_{rx} \sin(\alpha_{x1}) \sin(\alpha_{x2})}{\sin(\alpha_{x1} + \alpha_{x2})}$$

La estimación de los ángulos puede ser obtenida con antenas directivas o algún arreglo de estas; sin embargo, presenta la desventaja de que un hardware costoso es requerido, a veces de gran tamaño y los daños por los obstáculos y el efecto mutitrayecto son significativos. (Legarretaetxebarria, 2011).

d) Intensidad de señal recibida

Es factible estimar la distancia pues todas las ondas electromagnéticas tienen una relación cuadrática inversa entre la potencia recibida con la distancia. Es decir, a mayor distancia menor será la potencia recibida y eso se verá reflejado en la variable RSSI. (Pu et al., 2011).

En vista de que se usa distancias en vez de ángulos, el término utilizado sería trilateración en vez de triangulación que es utilizado en el segundo caso.

Cabe mencionar que otro método de trilateración serían los ya descritos TOA y TDOA pues se basan también en distancias.

Cada nodo fijo generará una distancia con el dispositivo móvil. Es por eso que el principio básico de la trilateración por el método pitagoriano es ubicar el cuadrante estimando la intersección de un mínimo de 3 puntos fijos. Una cantidad de 2, generaría una intersección con dos cruces lo que generaría una medida inexacta.

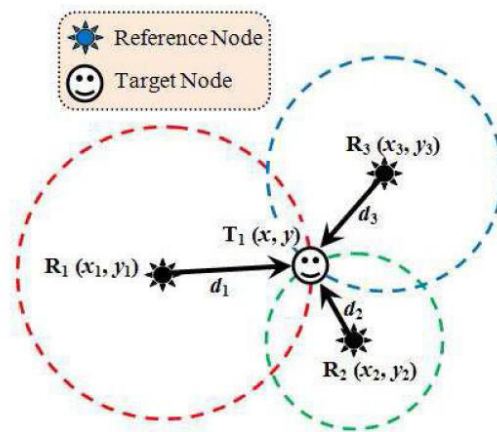


Figura 7: Estimación de trilateración por el método pitagoriano

Fuente: (Pu et al., 2011)

Sin embargo, existe una variante que también utiliza RSS que se conoce como localización en interiores basado en *Fingerprinting*. Gran parte de sistema de localización adoptan *Fingerprinting* que consta en recolectar medidas de los alrededores en cada punto del área de interés y así formar una base de datos *Fingerprint*. La ubicación del objeto es determinada gracias a la comparación de la medida actual con la base de datos. (Mahamod & Zahid, 2013)

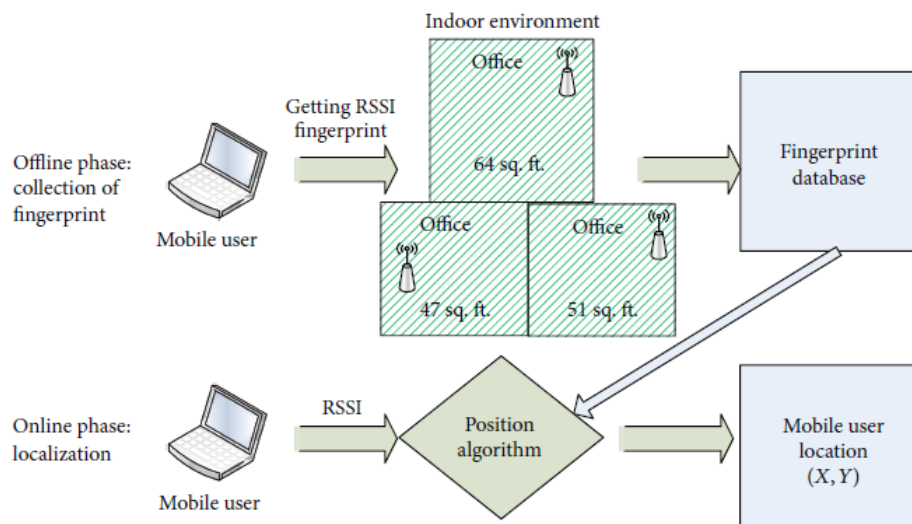


Figura 8: Posicionamiento basado en *Fingerprinting*

Fuente: (Mahamod et al, 2013)

Dado que *Fingerprinting* es el método que finalmente elegido para el desarrollo del prototipo, más detalles se irán mostrando a lo largo del libro.

1.2.5 Modelamiento

Ahora se detallará toda la física que encierra tanto la tecnología WiFi y sus características por ser radio frecuencia, como la matemática, que estará inmersa en toda la técnica de RSS.

Se detallarán los puntos más relevantes enfrentados contra el título de la tesis; es decir, enfocándonos en el diseño que se está presentando.

1.2.5.1 Modelamiento del plano eléctrico y cobertura de los puntos de acceso utilizados

a) Polaridad de las antenas utilizadas

Un punto a tener en cuenta es la polaridad generada por la antena de los puntos de acceso utilizados. Esta presenta dos planos, el plano H (magnético) y el plano E (eléctrico), el cual se orienta en el mismo sentido que la antena, a diferencia del magnético, que está en forma perpendicular. (Coleman & Westcott, 2006)



Figura 9: Polaridad en antena

Fuente: (Coleman et al., 2006)

Por tal motivo para la solución las antenas deberán estar en posición vertical. Y con respecto a la cobertura se usará como referencia el análisis que realizó el software WiFi *planner* Pro de D-LINK en donde se le coloca el mismo modelo que se utilizará en la solución.

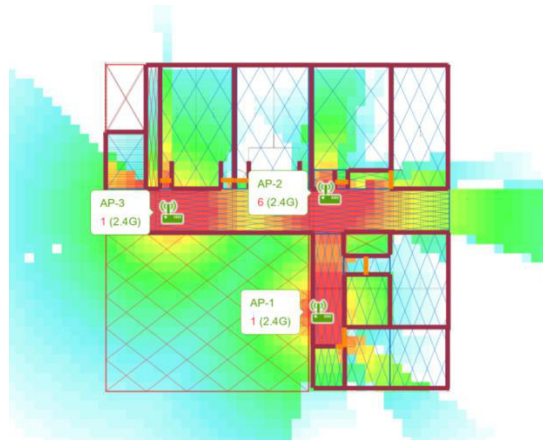


Figura 10: Cobertura simulada referencial realizada por el WiFi Planner Pro

Fuente: WiFi Planner Pro

Si bien es una imagen referencia, será utilizado como un aproximado a las posiciones que deberán tener los 3 puntos de acceso.

1.2.5.2 Modelamiento de la atenuación

a) Causante de atenuación: Absorción

La atenuación se describe como el decremento de la amplitud de la intensidad de la señal.

Se considera absorción cuando la señal no ha rebotado, no ha rodeado el objeto ni lo ha atravesado. En dicho caso la absorción ha ocurrido. La mayoría de materiales absorberán alguna cantidad de señal RF en diferentes proporciones. Por ejemplo tanto ladrillos como el agua tienen un alto índice de absorción, en cambio el *drywall* posee un índice bastante menor. La absorción puede ser una causante de la atenuación que será presentado más adelante. (Coleman et al., 2006)

A continuación, se muestra una tabla de los diferentes grados de absorción de diferentes materiales que afectan a una señal de 2,4 Ghz.

Tabla 3: Comparación de atenuación en materiales

Material	2.4 Ghz
Muro de contención	-15 dB
Ladrillo, concreto	-15 dB
Elevador u obstáculo de metal	-10 dB
Rack de metal	-6 dB
Drywall	-3 dB
Puertas y ventanas de vidrio (sin laminar)	-3 dB
Puerta de madera	-3 dB
Cubículos de oficina	-2 dB

Fuente: (Coleman et al., 2006)

b) Ley cuadrática inversa

La ley cuadrática inversa fue desarrollada inicialmente por Isaac Newton, la cual indica que la variación en la potencia es igual a uno dividido entre el cuadrado del cambio en distancia. (Coleman et al., 2006).

Si se recibe una potencia a una distancia 'd', y se duplica la distancia (2d), entonces la nueva potencia variará una razón de $1/(2d)^2$

$$P_{id} = \frac{1}{(id)^2} \times P_d$$

Donde i es el factor de cambio. Si se duplica la distancia sería 2, d es la distancia y P_d es la potencia que se recibía a una distancia d.

c) Atenuación en espacio libre

Una señal electromagnética sufrirá atenuación así no se le presente absorción ni obstrucción en el camino debido a sus mismas leyes físicas. A esto se le denomina atenuación en espacio libre y se presenta de manera logarítmica. Por ejemplo, una señal de 2.4 Ghz cambiará su potencia alrededor de los 80 dB luego de los primeros 100 metros pero solo se reducirá otros 6 dB en los siguientes 100. (Coleman et al., 2006)

Se considera una antena isotrópica (aquella que emite señal de manera uniforme en todas las direcciones) ubicada en donde ningún otro material o señal está presente, puede denominarse propagación de la señal en espacio libre. Aquí la potencia de la señal a una distancia 'd' de la antena es proporcional a P_0/d^2 , donde P_0 es la potencia a una distancia cero. (Farahani, 2008)

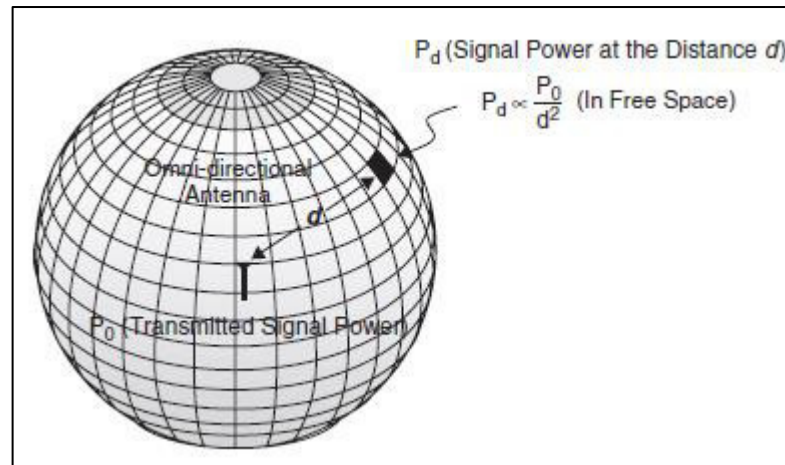


Figura 11: Propagación de una antena omnidireccional en el espacio libre

Fuente: (Farahani, 2008)

La potencia de la señal a una distancia 'd' varía también en función de la frecuencia. En el espacio libre, la potencia a una distancia 'd' puede ser calculada por la *path-loss equation*:

$$P_d = P_0 - 10 \times 2 \times \text{Log}_{10}(f) - 10 \times 2 \times \text{Log}_{10}(d) + 27.56$$

P_d (dBm) es la potencia a una distancia 'd', P_0 (dBm) es la potencia a una distancia cero de la antena, f es la frecuencia (Mhz) y d es la distancia en metros.

Una manera simple de estimar la atenuación en el espacio libre es usando la regla de los 6 dB y se define en que cuando se duplica la distancia se atenuará la amplitud en unos 6 dB.

Tabla 4: Atenuación en espacio libre

Distancia (Km)	Atenuación (dB)	
	2.4 Ghz	5 Ghz
1	100.4	106.4
2	106.4	112.4
4	112.4	118.5
8	118.5	124.5

Fuente: (Coleman et al., 2006)

En escenarios reales, la ecuación anterior no será certera pues, como se ha venido observando, existen factores de absorción en los materiales y más adelante se verá el tema de la multitrayectoria. Todos estos incidentes cambiarán la potencia de la señal. Por ende y basado en varios experimentos, la variante de la ecuación se presenta a continuación:

$$P_d = P_0 - 10 \times n \times \text{Log}_{10}(f) - 10 \times n \times \text{Log}_{10}(d) + 30 \times n - 32.44$$

Tabla 5: Exponente "path-loss" en distintos entornos

N	Entorno
2.0	Espacio libre
1.6 – 1.8	Dentro de una construcción con línea de vista
1.8	Tienda de abarrotes o supermercados
1.8	Fábrica de cereal o papel
2.09	Salón de conferencias (15x7.6 mts) con mesas y sillas
2.2	Tienda por departamentos
2 – 3	Dentro de una fábrica sin línea de vista
2.8	Interiores de una residencia
2.7 – 4.3	Interiores de una oficina sin línea de vista

Fuente: (Farahani, 2008)

El valor de 'n' de la tabla 5 se determina experimentalmente.

d) EIRP: Potencia isotrópica radiada equivalente

EIRP es la mayor potencia de la señal transmitida por una antena en particular. Tener en cuenta que la ganancia de una antena dipolo de media onda que es la que usan los puntos de acceso y es de 2,14 dBi. (Coleman et al., 2006)

En general, la fórmula del EIRP sería de la siguiente forma:

$$EIRP_{dBm} = Ganancia_Antena_{dBi} - Perdidas_Hasta_Antena_{dBm}$$

Esto está implícito al momento en que sea considerado a P_0 como una potencia medida a una distancia “cero”, pues así ya se está considerando la ganancia de la antena como también la pérdida que ha sufrido la señal dentro del punto de acceso hasta que llegó a su antena.

e) Fenómeno de propagación: Multitrayectoria

Fenómeno de propagación que resulta en dos o más caminos que toma la señal para arribar a la antena receptora casi al mismo tiempo (nanosegundos de diferencia entre una y la otra). Los efectos pueden ser tanto constructivos o destructivos, siendo los segundos más comunes. Dada la diferencia en las fases, las señales combinadas pueden atenuar, cuando están fuera de fase entre los 121 y 179 grados; amplificar, cuando poseen la prácticamente la misma fase; anular, cuando está fuera de fase en 180 grados con la señal principal y corromper, cuando el receptor tiene problemas al demodular la señal RF por los bits traslapados, comúnmente llamado interferencia Intersimbólica (ISI). (Coleman et al., 2006)

Afortunadamente la estación de recepción detectará los errores a través del CRC definido en el 802.11, pues no dará el ACK una trama de haya fallado en CRC, por lo que la misma deberá ser retransmitida.

f) Diversidad de antena

Se sabe que el multitrayecto de las señales es el fenómeno que se debe tener más en cuenta, para ayudar a combatirlo se emplea la diversidad de antena (*Antenna Diversity*) que se implementa en puntos de acceso cuando estos llevan dos antenas. Dado que la longitud de onda de las redes inalámbricas 802.11 es menor de 5 pulgadas, las antenas pueden ser colocadas bastante cerca entre sí. Cuando el AP censa una señal RF, la compara entre sus dos antenas y utiliza la que tenga mayor potencia de

recepción. Al momento de responder, el AP utilizará la última antena que utilizó para recibir. (Coleman et al., 2006).



Figura 12: Punto de acceso utilizado

Fuente: Google fotos

1.2.5.3 Modelamiento de la transformación del RSSI a potencia de recepción en dBm

El RSSI o indicador de intensidad de señal recibida es un parámetro opcional del 802.11 que contempla un valor de 0 a 255. A pesar de ser opcional, ya la mayoría de fabricantes lo implementan; sin embargo, cada uno de ellos elige el rango que sería desde 0 hasta un valor menor o igual a 255 comúnmente conocido como RSSI_Max. (Coleman et al., 2006).

Si bien el RSSI_Max varía para cada fabricante, se dará enfoque en el que ha sido elegido en el diseño, que es un D-Link DAP 2360. En la literatura, se puede encontrar que la NIC (*chipset*) de dicho modelo es Atheros.

Atheros utiliza un RSSI_Max de 60. Por lo que su RSSI tendrá un rango entero entre 0 y 60. Dada las limitantes del RSSI, se debe tener en cuenta que no todos los niveles de potencia podrán ser representados por los valores enteros del RSSI. (Bardwell, 2002)

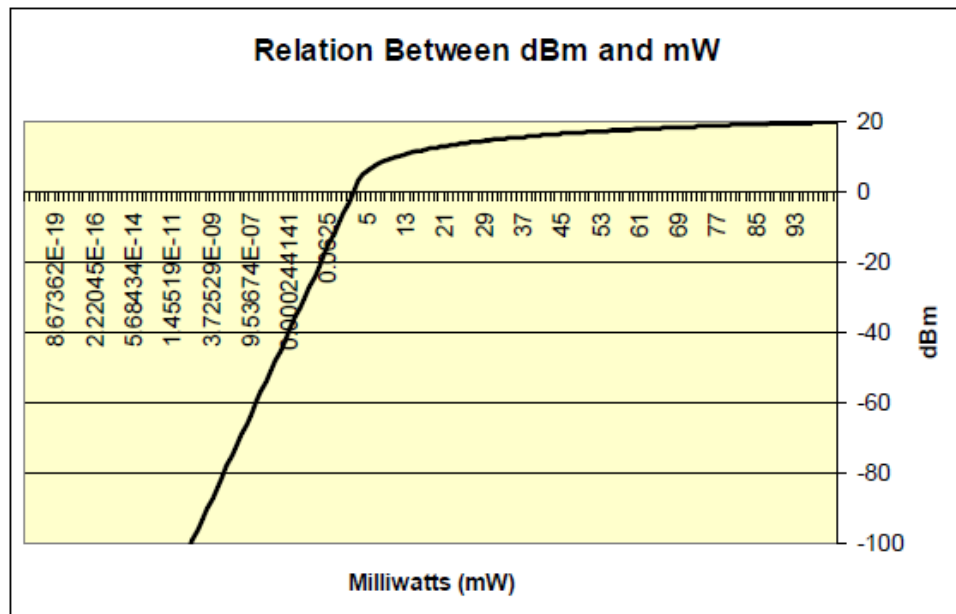


Figura 13: Relación entre dBm y mW

Fuente: (Bardwell, 2002)

Se observa en la Figura 13, no hay mucha variación en los valores en dBm sobre los 5 mW. Adicionalmente, se denota que la variación por debajo de los 5 mW es casi lineal. Los rangos de potencia medida por el RSSI suelen iniciar en o debajo de los -10dBm (un valor considerado bajo sabiendo que la potencia de salida es +20dBm en un punto de acceso regular) pues nótese que la gráfica sufre una curva muy pronunciada en valores por encima de los -10 dBm. (Bardwell, 2002).

Otro valor importante a tener en cuenta es la sensibilidad en recepción. Vendría a ser el límite inferior de potencia recibida que suele estar entre los -96 dBm. Las NIC 802.11 no podrá diferenciar entre ruido y señal para valores menores a dicha potencia. (Bardwell, 2002).

Para poder conocer el rango de mejor medición para el RSSI, se muestra el siguiente ejemplo:

Tomando en consideración que la medida de potencia es 100 mW a una pulgada de distancia de la antena del AP y basado en la atenuación en espacio libre (basada en la ley cuadrática inversa que se detallará más adelante), se tiene:

Tabla 6: Potencia Vs Distancia

Pulgada	mW	dBm	Metros
1	100	20	
2	25	13.9	
4	6.25	7.9	
8	1.56	1.9	
16	0.39	-4.08	
32	0.097	-10.1	0,8128
64	0.024	-16.1	1,6256
128	0.006	-22.2	3,2512
256	0.0015	-28.2	6,5024

Fuente: (Bardwell, 2002)

Consecuentemente, las mediciones representadas por RSSI que se sabe hacen referencia a valores menores -10dBm son razonables y prácticas. (Bardwell, 2002)

En cuanto a ATHEROS, ya se sabe que tiene un RSSI_Max de 60 y que el valor en que se muestra el RSSI va de 0 a 100%. Por ende, primero habrá que transformar el valor porcentual y luego sustraerle 95 para obtener el dBm:

$$RSSI_{dBm} = \frac{(RSSI_{\%} \times 60)}{100} - 95$$

Nótese que para ATHEROS el rango medible por su RSSI es de -35 dBm (para el 100%) a -95 dBm (para el 0%). Datos que hay que tener en cuenta para el futuro análisis.

a) Regla De 10s y 3s Para Estimación Rápida

Una manera rápida de estimar la relación entre las potencias en dBm y mW es de la siguiente manera:

- Si aumentas 3 dBms, se deberá multiplicar los mW por 2.
- Si sustraes 3 dBms, se deberá dividir los mW entre 2.
- Si aumentas 10 dBms, se deberá multiplicar los mW por 10
- Si sustraes 10 dBms, se deberá dividir los mW entre 10.

Como se mencionó, no es una manera exacta y si así se deseara se deberá usar las fórmulas:

$$dBm = 10 \log_{10}(P_{mW})$$

$$P_{mW} = 10^{P_{dBm} \div 10}$$

1.2.5.4 Modelamiento de la selección de canales para 802.11/b/g

El estándar divide la banda de 2.4Ghz en 14 diferentes canales, sin embargo, el ente regulador designa cuales pueden ser usados. El canal se designa por su frecuencia central, cada uno ocupa 22 Mhz y debe estar separado por 5 Mhz. Por lo que claramente algunos canales se traslapan. Los canales 1, 6 y 11 son los más comúnmente utilizados pues cumplen con una separación de 5 canales o 25 Mhz entre sus frecuencias centrales:

Tabla 7: Canales y regulación

Channel ID	Center Frequency (GHz)	U.S. (FCC)	Canada (IC)	Europe (ETSI)	Japan (MKN)	Spain	France
1	2.412	X	X	X	X		
2	2.417	X	X	X	X		
3	2.422	X	X	X	X		
4	2.427	X	X	X	X		
5	2.432	X	X	X	X		
6	2.437	X	X	X	X		
7	2.442	X	X	X	X		
8	2.447	X	X	X	X		
9	2.452	X	X	X	X		
10	2.457	X	X	X	X	X	X
11	2.462	X	X	X	X	X	X
12	2.467			X	X		X
13	2.472			X	X		X
14	2.484						

X = supported channel

Fuente: (Coleman et al., 2006)

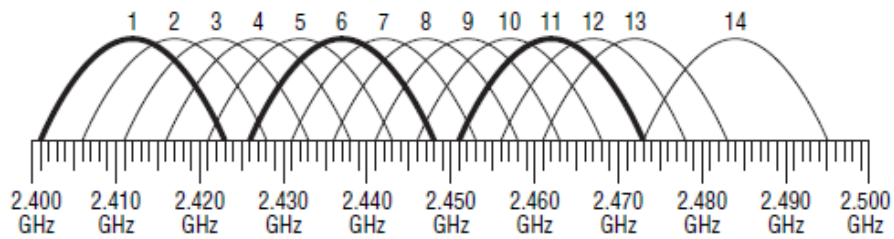


Figura 14: Canales traslapados

Fuente: (Coleman et al., 2006)

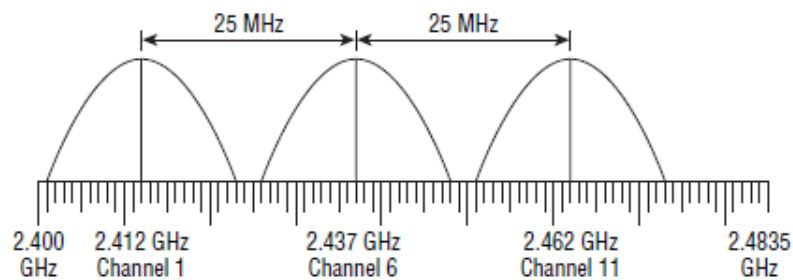


Figura 15: Canales 1, 6, y 11

Fuente: (Coleman et al., 2006)

La forma de arco de la señal es netamente simbólica, pero no es una verdadera representación. Adicionalmente al lóbulo principal, se generan lóbulos laterales de menor dimensión. La IEEE define una máscara que especifica que el primer par de lóbulos laterales va entre ± 11 MHz hacia los ± 22 MHz de la frecuencia central y debe ser por lo menos 30 dB menor que el lóbulo principal. Cualquier lóbulo adicional (± 22 MHz de la frecuencia central) debe ser por lo menos 50 dB menor que el lóbulo principal. La siguiente imagen aclarará el panorama:

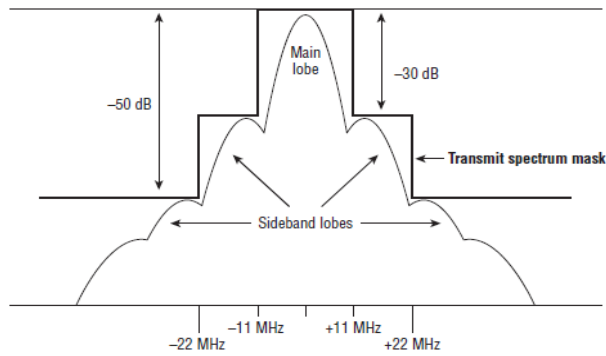


Figura 16: Máscara de espectro transmitida para IEEE 802.11b

Fuente: (Coleman et al., 2006)

1.2.5.5 Modelamiento de la estimación por trilateración Pitagoriana

A diferencia de la triangulación que utiliza ángulos, la trilateración utiliza distancias entre cada uno de los puntos de referencia y el punto que se desea ubicar y puede ser considerado como radios de varios círculos en donde los centros vendrían a ser los nodos fijos. Entonces, la posición desconocida vendría a ser la intersección de cada esfera tal como se muestra: (Pu et al., 2011).

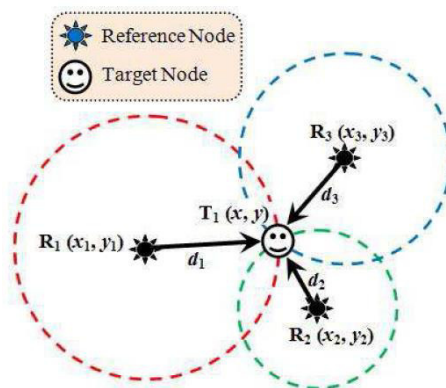


Figura 17: Estimación por trilateración

Fuente: (Pu et al., 2011)

En la Figura 177, T1 posee las coordenadas que se desean determinar, los radios de los círculos son d_1 , d_2 y d_3 y los puntos de referencia con coordenadas previamente establecidas son R_1 , R_2 y R_3 . Una solución se puede dar empleando el teorema Pitagoriano:

$$d_1^2 = (x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2$$

$$d_2^2 = (x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2$$

$$d_3^2 = (x_3 - x)^2 + (y_3 - y)^2$$

Acomodando, quedaría así:

$$X_E = \frac{AY_{32} + BY_{13} + CY_{21}}{2(x_1Y_{32} + x_2Y_{13} + x_3Y_{21})}$$

$$Y_E = \frac{AX_{32} + BX_{13} + CX_{21}}{2(y_1X_{32} + y_2X_{13} + y_3X_{21})}$$

Donde:

$$A = x_1^2 + y_1^2 - d_1^2$$

$$B = x_2^2 + y_2^2 - d_2^2$$

$$C = x_3^2 + y_3^2 - d_3^2$$

$$X_{32} = (x_3 - x_2)$$

$$X_{13} = (x_1 - x_3)$$

$$X_{21} = (x_2 - x_1)$$

$$Y_{32} = (y_3 - y_2)$$

$$Y_{13} = (y_1 - y_3)$$

$$Y_{21} = (y_2 - y_1)$$

Las distancias d_1 , d_2 y d_3 pueden ser halladas por la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** Para ello se tendría que hallar experimentalmente un valor de 'n' propio.

El diagrama de bloques para la trilateración por el método pitagoriano sería de la siguiente forma:

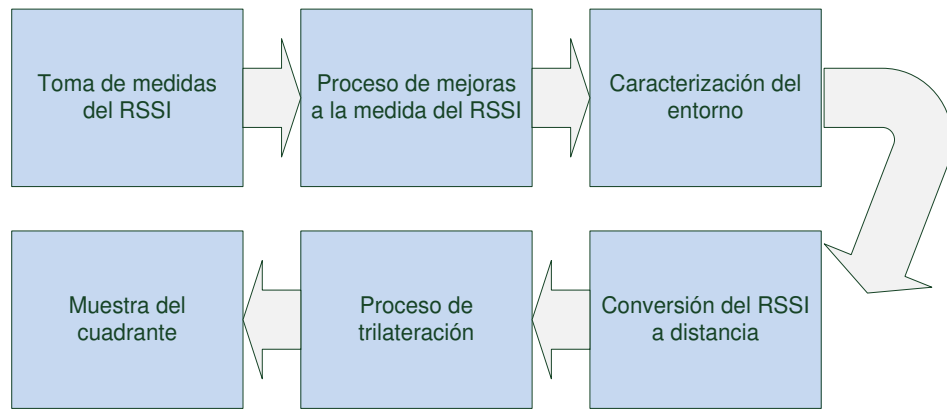


Figura 18: Diagrama de bloques de la estimación por trilateración Pitagoriana

Fuente: Propia

Se desestima utilizar este método pues requiere valores de potencia bastante precisos para la etapa de conversión a distancia en metros. Dicha precisión no es entregada por la variable entera RSSI que se obtiene tal y como se ve en el modelamiento de la transformación del RSSI a potencia de recepción en dBm. Por ende, se requiere un método que no necesite alterar el valor de RSSI entregado y que no se vean tan afectado por el entorno. Dicho método es la estimación de la localización basada en *Fingerprinting*.

1.2.5.6 Modelamiento del filtro estadístico para el estudio de la dispersión de las mediciones de RSSI

Se propone realizar un filtro estadístico para estudiar la dispersión e inestabilidad de las mediciones de RSSI. El criterio es fijar un umbral superior en el análisis de desviación estándar realizado sobre las mediciones de RSSI para cada una de las señales de los puntos de acceso medibles en cada punto referencial del área estipulada. (Gomez & Perez, 2015)

Si $\sigma_{i,j} \geq 3.0$ la muestra será descartada
Si $\sigma_{i,j} < 3.0$ la muestra será usada para la calibración

$$\sigma_{i,j} = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Donde σ es la desviación estándar, x es el valor de la potencia (RSSI en dBm), \bar{x} es la media aritmética de todos los valores de la muestra, j representa cada AP e i representa el punto referencial.

La muestra es un conjunto de valores de potencia RSSI en dBm de n cantidad de muestras de un determinado AP (j) en la posición i .

Se usa 3 porque si ocurre una caída de 3 dBm significa que la potencia en mW ha caído a la mitad.

Con lo anterior, se hace un muestreo para la calibración del *fingerprinting* y se descartarán las señales de las muestras que, según el criterio de desviación estándar expuesto, sean más dispersas. Referente a las muestras aceptadas, se calcula el promedio y se obtiene así un único valor de potencias RSSI para cada AP en cada punto referencial. (Gomez et al., 2015)

Esto se realiza hasta completar la base de datos *fingerprinting* también conocido como *radio map*.

1.2.5.7 Modelamiento de la estimación de la localización basado en “Fingerprinting”

La estimación basada en la localización por *fingerprinting* consta de dos fases, la primera requiere un entrenamiento fuera de línea con lo que se genera una base de datos de medidas de los valores RSSI de cada uno de los nodos fijos los cuales serían cada uno de los puntos de acceso en determinados puntos del área en donde se implementará el sistema. La segunda fase en tiempo real comparará las medidas RSSI actuales obtenidas del nodo móvil con las correspondientes ubicadas en la base de datos de la fase anterior. (Farahani, 2008)

Los nodos fijos tienen cobertura traslapada para la grilla (cada uno de los puntos del área a implementar).

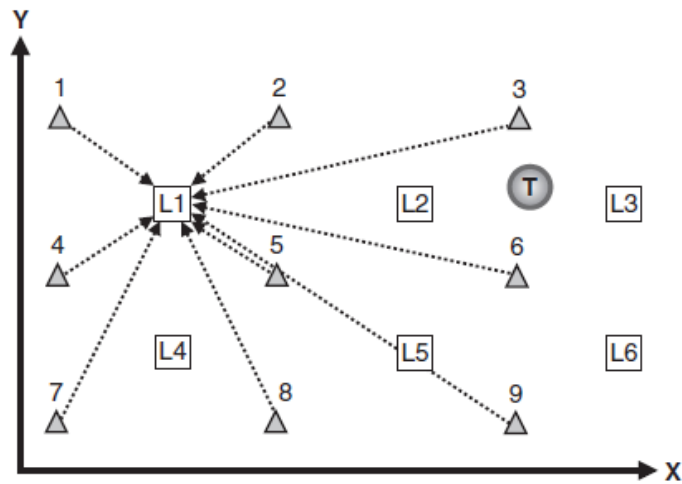


Figura 19: Fase de entrenamiento fuera de línea para la estimación basada en fingerprinting

Fuente: (Farahani, 2008)

Para el ejemplo de la Figura 19, se tiene del 1 al 9 que vienen a ser los nodos fijos; L1, L2, L3, L4, L5, L6 son los puntos geográficos en donde se harán las medidas de la fase fuera de línea y 'T' es el nodo móvil.

Las medidas serán almacenadas en un vector distinto para cada uno de los puntos (L1, L2, ..., L6).

$$SS_{L1} = [SS_{L1-1} SS_{L1-2} SS_{L1-3} \dots SS_{L1-9}]$$

Esta base de datos que contiene las medidas de la RSSI referente a cada uno de los puntos en donde se midió, es referida como el *radio map* (Farahani, 2008)

Luego de completar la primera fase, se armará un vector en tiempo real con las medidas RSSI del punto actual en donde se está posicionando el nodo móvil.

$$SS_{actual} = [SS_{actual-1} SS_{actual-2} SS_{actual-3} \dots SS_{actual-9}]$$

La distancia euclidiana puede ser usada para determinar la distancia o diferencia entre el vector de medidas RSSI actual y el vector de medidas de cada uno de los puntos geográficos que se tomaron en la fase de entrenamiento. (Farahani, 2008)

$$d_{eu}(SS_{actual}, SS_{L1}) = \sqrt{\sum_{i=1}^9 (SS_{actual-i} - SS_{L1-i})^2}$$

Este vector de distancias euclidianas, dado que está comparando los valores enteros del RSSI, no será propiamente una distancia en alguna unidad de medida, simplemente son valores referenciales resultantes de dicha comparación. Es por ello que este método resulta más eficiente, pues se le resta todo el error que resulta de transformar las medidas del RSSI en su valor entero a P_d en valor en dBm) y finalmente a distancia d en valor en metros.

a) Técnica de solo un vecino más cercano

El cuadrante del nodo o dispositivo móvil será estimado al igualarlo a alguna de las posiciones conocidas (de L1 a L6) en donde el vector de distancia euclidiana posea su menor valor.

b) Técnica de los K-vecinos más cercanos

Para mejorar la estimación, se puede utilizar este método que en vez de usar un punto, utiliza k puntos conocidos más cercanos en donde el arreglo SS_L tiene la menor distancia con el SS_{actual} . La posición entregada será el promedio de estos k vecinos más cercanos. (Farahani, 2008)

$$X_E = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k X_i$$

$$Y_E = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k Y_i$$

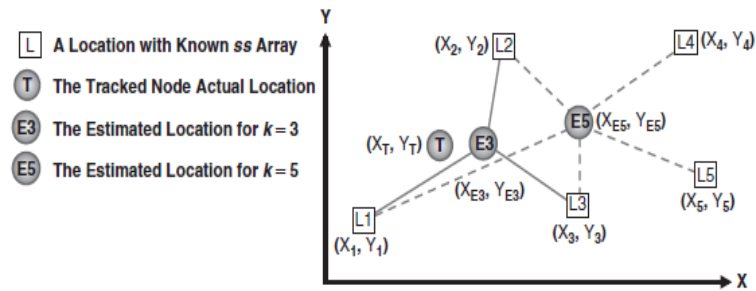


Figura 20: Efectos del incremento de k en la técnica de los k vecinos más cercanos

Fuente: (Farahani, 2008)

En Figura 20 se observa que cada punto del L1 al L6 posee cuadrantes previamente establecidos y conocidos. (X_{E3}, Y_{E3}) son los cuadrantes estimados al final de todo el proceso utilizando $k = 3$ y (X_{E5}, Y_{E5}) , con $K = 5$. Lo que se observa es que no necesariamente un mayor índice en K resulta en un menor margen de error en la estimación. (Farahani, 2008)

Con la técnica de un solo vecino, el cuadrante resultante sería el del L1 y con la técnica de los k vecinos más cercanos con $k=3$, el cuadrante sería E3 y para $K=5$, sería E5.

c) Técnica de los K-vecinos más cercanos con pesos

Para la técnica anterior, los k vecinos son tratados con la misma prioridad al promediarlos, sin importar la distancia euclidiana que tengan con el arreglo SS_{actual} . Para corregir aquello, la distancia euclidiana del arreglo SS_L asociado a cada k vecino más cercano del vector SS_{actual} es tomado en cuenta:

$$X_E = \frac{1}{D} \sum_{i=1}^k \frac{1}{d_{eu}(SS_{Li}, SS_{actual}) + d_0} X_i$$

$$Y_E = \frac{1}{D} \sum_{i=1}^k \frac{1}{d_{eu}(SS_{Li}, SS_{actual}) + d_0} Y_i$$

$$D = \sum_{i=1}^k \frac{1}{d_{eu}(SS_{Li}, SS_{actual}) + d_0}$$

Dado que es posible que la distancia euclidiana arroje el valor de cero, se le está sumando un valor despreciable d_0 .

Finalmente se obtiene un cuadrante bidimensional (X_E, Y_E) que deberá ser representado en el plano a escala del aplicativo de localización a desarrollar. Dicho plano representará el pabellón de laboratorios de la FIA.

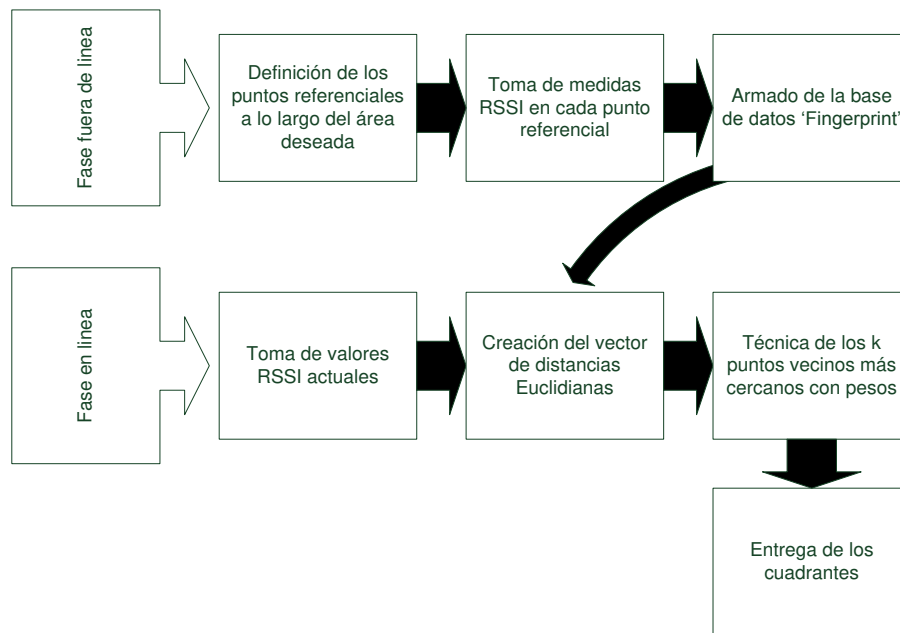


Figura 21: diagrama de bloques del modelamiento de la estimación de la localización basado en *Fingerprinting*

Fuente: Propia

1.2.5.8 Modelamiento del retardo de todo el proceso de prototipo (R)

El primer retardo que se menciona es el retardo de dispersión, el cual es el retardo entre la señal principal y la reflejada. Si dicho retardo no es lo suficientemente largo, la señal reflejada interferirá con la data de la siguiente señal principal conocida como interferencia intersimbólica. (Coleman et al., 2006)

No obstante, este retardo no representa un valor significativo el diseño, pues, por ejemplo, para el caso del estándar 802.11g, el retardo de dispersión se encuentra en valores cercanos a 150 nanosegundos.

Los valores significativos son: el retardo de la entrega del valor RSSI por parte del AP luego de la solicitud y el retardo del proceso computacional del aplicativo propietario de localización. Dado que estos retardos son experimentales serán detallados en la etapa de análisis y diseño.

Habrá que tener en consideración la recomendación ITU-T G.114 que proporciona información útil relativa al retardo en un sentido como un parámetro en sí mismo. La cual se detalla como 150 ms. También establece un límite superior de 400 ms. (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2004)

1.2.5.9 Tabla de parámetros

Tabla 8: Parámetros obtenidos del modelamiento

TABLA DE PARÁMETROS					
1	Pd	Potencia de Recepción a una distancia d	DBm	De -35 a -95 dBm	Rango o valores que se pueden medir con el RSSI
2	P0	Potencia a una distancia d0	dBm	-35 dBm	Rango o valores que se pueden medir con el RSSI
3	d	Distancia entre el nodo fijo y el nodo móvil	Metros	De 0 a 20 mts	20 mts es un aproximado del alcance de los Aps más comunes
4	c	Canal	Entero	De 1 al 11	
5	f	Frecuencia	Mhz	De 2412 a 2484 Mhz	
6	d0	Distancia referencial	Metros	De 0 a 1 mts	
7	RSSI	Indicador de la intensidad de la señal recibida	Entero	De 0 a 100	
8	n	Exponente de pérdida en el espacio	dBm/m	Valor experimental	
9	E	Margen de error del prototipo	Metros	De 1 a 5 mts	Rango extraído del estado del arte cuando se usa WiFi
10	XE	Cuadrante estimado en eje X	Pixeles	De 0 a 800 pixeles	Largo del plano del pabellón

11	YE	Cuadrante estimado en eje Y	Pixeles	De 0 a 600 pixeles	Alto del plano del pabellón
12	deu	Distancia Euclidiana	diferencia de valores	De 0 a 173.2	
13	R	Retardo de todo el proceso del prototipo	Segundos	Menor a 400 ms	
14	K	Número de puntos vecinos tomados	Entero	Mínimo 2	
15	σ	Desviación estándar	dBm	Menor a 3 dBm	

Fuente: Propia

1.2 Definición de términos básicos

a) RTLS (“Real-time Locating Systems”)

Se le denomina así a los sistemas de localización en tiempo real.

b) IPS (“Indoor Positioning system”)

Se le denomina así a los sistemas de posicionamiento en interiores.

c) RSSI (“Received Signal Strength Indicator”)

Es una variable entera que representa la intensidad de la señal recibida.

d) “Radio map” o base de datos fingerprint

Se le denomina a todos los valores obtenidos RSSI en los distintos puntos referenciales que previamente se han establecido a lo largo del área deseada en forma de matriz.

e) Distancia Euclidiana

Distancia ante la comparación de dos puntos o, para este caso, ante la comparación de dos vectores o arreglos.

CAPÍTULO II

METODLOGÍA

2.1 Material

Para este proyecto se emplearon los siguientes materiales:

- Access point (puntos de acceso)
- Dispositivo móvil compatible con la tecnología WiFi
- *Switch* PoE de sobremesa con 8 puertos a 10/100 Mbps
- Computador central para el proceso del aplicativo
- Cables UTP cat 5e.

A continuación, se detallada cada uno de los materiales.

a) Access point (puntos de acceso) D-Link

Especificaciones técnicas:

Tabla 9: Especificaciones técnicas de Access Point DAP2360

Información de la versión	
Marca	Dlink
Nombre del Producto	DAP-2360 Wireless N PoE Access Point
Versión del Producto	Versión B1 y Versión A1
Versión de firmware	FW 2.06(versión B1) y FW 1.12 (versión A1)
Características de red	
Estándares	<ul style="list-style-type: none"> • IEEE 802.11n • IEEE 802.11g • IEEE 802.3ab • IEEE 802.3af • IEEE 802.3u • IEEE 802.3
Administración	<ul style="list-style-type: none"> • telnet – Secure(SHH) • web browser interface • HTTP – Secure HTTP • Central WiFiManager • SNMP Support • AP Array
Seguridad	<ul style="list-style-type: none"> • WPA™ – Personal • WPA - Enterprise • WPA2™ – Personal • WPA2 – Enterprise • 64/ 128 – bit WEP • SSID Broadcast Disable • MAC Address Access Control

	<ul style="list-style-type: none"> Rogue AP Detection
VLAN/ SSID soporte	<ul style="list-style-type: none"> 802.1q/ Multiple SSID support for up to 8 VLANs
Características físicas	
Interfaz de conectividad	<ul style="list-style-type: none"> 802.11 b/g/n wireless Gigabit PoE Ethernet LAN port
Wireless rango de frecuencia	<ul style="list-style-type: none"> 2.4 Ghz to 2.4835 Ghz
Modo de operación	<ul style="list-style-type: none"> Access Point (AP) WDS with AP WDS/Bridge (No AP Broadcast) Wireless Client
Ganancia antena dipolo	<ul style="list-style-type: none"> 5 dbi @ 2.4 GHz
Energía máxima de emisión	<ul style="list-style-type: none"> 26 dbm @ 2.4 GHz
LEDs	<ul style="list-style-type: none"> Power LAN 2.4 GHz
Energía máxima de consumo	<ul style="list-style-type: none"> With PoE: 7.9 watts Without PoE: 6.5 watts
Voltaje de Operación	<ul style="list-style-type: none"> 12V / 1A 802.3af PoE
Temperatura	<ul style="list-style-type: none"> Operación: 32 hasta 104 °F (0 to 40 °C) En almacenamiento: -4 hasta 149 °F (-20 to 65°C)
Humedad	<ul style="list-style-type: none"> Operación: 10% hasta 90%(Sin condensación) En almacenamiento: 5% hasta 95% (Sin condensación)
Certificaciones	<ul style="list-style-type: none"> FCC Class B UL 2043 IC WiFi®
Dimensiones del Producto	
Access Point Longitud	118 milímetros
Access Point Ancho	166 milímetros
Access Point Altura	37 milímetros
Access Point Peso	689 gramos (1.52 lb)

Fuente: Datasheet Access Point DAP2360



Figura 22: AP DAP 2360 Vista posterior

Fuente: Google fotos

b) Dispositivo móvil compatible con la tecnología WiFi

El dispositivo móvil puede ser de tipo celular, smartwatch, wearables y cualquier otro dispositivo que sean compatibles con la tecnología WiFi.



Figura 23: Equipo móvil celular compatible con la tecnología WiFi

Fuente: Google fotos



Figura 24: Equipo smartwatch compatible con la tecnología WiFi

Fuente: Google fotos



Figura 25: Equipo wearables glasses compatible con WiFi

Fuente: Google fotos

c) **Switch PoE de sobremesa con 8 puertos a 10/100 Mbps TP-Link**

Tabla 10: Especificaciones técnicas de *Switch*, modelo TL-SF1008P, marca TP Link

Características de hardware	
Interfaces	<ul style="list-style-type: none"> • 8 puertos RJ45 a 10/ 100 Mbps • Negociación automática, MDI/ MDIX automático
Medios de red	<ul style="list-style-type: none"> • 10BASE-T: cable UTP categoría 3, 4, 5 (100 metros máximo) • EIA/ TIA-568 100Ω STP (100 metros máximo) • 100BASE-TX: cable UTP categorías 5, 5e (100 metros máximo s) • EIA/TIA-568 100Ω STP (100 metros máximo)
Dimensiones	<ul style="list-style-type: none"> • 6,7x3,9x1,1 pulgadas (171x98x27 mm)
Consumo de potencia	<ul style="list-style-type: none"> • Máximo (PoE on): 60.2W (220V/50Hz) • Máximo (PoE off): 3.2W (220V/50Hz)
Fuente de alimentación externa	<ul style="list-style-type: none"> • Fuente externa de alimentación (salida: 48 V DC / 1,25 A)
Puertos PoE (RJ45)	<ul style="list-style-type: none"> • Standard: 802.3 af • PoE Ports: Port1- Port4 • Power Supply: 57W
Tabla de Dirección MAC	<ul style="list-style-type: none"> • 2K
Consumo	<ul style="list-style-type: none"> • 2.3 W (máximo sin ningún dispositivo conectado) • 59.3W (máximo con dispositivos conectados con un consumo de 57 W)
Factores ambientales	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura de funcionamiento: 0°C hasta 4°C (32°F hasta10°F) • Temperatura de almacenamiento: -4°C hasta 7°C (-40°F hasta 15°F) • Humedad de funcionamiento: 10% hasta 90% sin condensación • Humedad de almacenamiento: 5% hasta 90%

	sin condensación
Características de software	
Certificaciones	<ul style="list-style-type: none"> • FCC • CE • RoHS
Contenido del Paquete	<ul style="list-style-type: none"> • TL-SF1008P, Adapter de corriente, Manual de usuarios.
Funciones Avanzadas	<ul style="list-style-type: none"> • Soporta dispositivos compatibles con el estándar IEEE 802.3af • Función de prioridad • Aprendizaje y caducidad automáticas de direcciones MAC (Auto-Learning y Auto-aging) • Control de flujo IEEE 802.3x en modo Full Duplex y Back-Pressure en modo Half Duplex

Fuente: Datasheet *Switch* modelo TL-SF1008P marca TP Link



Figura 26: Vista posterior, *Switch* modelo TL-SF1008P

Fuente: Google fotos

d) Computador central para el proceso del aplicativo

La computadora central puede ser de escritorio, servidor y/o laptop que cumplan los siguientes requisitos para correr el aplicativo desarrollado en base a la plataforma de Visual studio C# (Csharp).

Requisitos de Hardware

- Procesador de 1.6 GHz o superior
- 1 GB de RAM (1.5 GB si se ejecuta en una máquina virtual)
- 4 GB de espacio disponible en el disco duro
- Unidad de disco duro de 5400 RPM
- Tarjeta de video compatible con DirectX 9 que funcione con una resolución de pantalla de 1024 x 768 o superior

Sistemas operativos compatibles

- Windows 10
- Windows 8 o 8.1
- Windows 7 Service Pack 7
- Windows Server 2012 R2
- Windows Server 2012
- Windows Server 2008 R2 SP1



Figura 27: Computadora de escritorio

Fuente: Google fotos

e) Cables UTP cat 5e

Se requiere cable UTP cat 5e con sus respectivos conectores RJ45 para interconectar la red LAN entre los APs, *Switch* y el computador central de acuerdo a la topología establecida.



Figura 28: Cable UTP categoría 5E

Fuente: Google fotos

2.2 Métodos

2.2.1 Análisis de la relación entre la variable entera RSSI y la distancia en metros

El valor más importante es el RSSI obtenido. Sin embargo, no es necesariamente el más exacto. Pues se vio en el capítulo anterior, el RSSI en ATHEROS solo puede representar entre -35 dBm y -95 dBm.

Basada en la ecuación antes vista:

$$P_d = P_0 - 10 \times n \times \text{Log}_{10}(f) - 10 \times n \times \text{Log}_{10}(d) + 30 \times n - 32.44$$

Y

$$P_0 = \frac{(RSSI_{\%} \times 60)}{100} - 95$$

Y tomando un P_0 de las especificaciones técnicas del AP (26dBm), se tiene la siguiente tabla:

Tabla 11: Relación de RSSI con distintas medidas de distancia en metros

d (metros)	Pd (dBm) //n=2	Pd (dBm) //n=2.5	Pd (dBm) //n=3	RSSI (%) //n=2	RSSI (%) //n=2.5	RSSI (%) //n=3
1.00	-14.04	-15.95	-17.85	100.00	100.00	100.00
2.00	-20.06	-23.47	-26.88	100.00	100.00	100.00
3.00	-23.59	-27.87	-32.16	100.00	100.00	100.00
4.00	-26.09	-31.00	-35.91	100.00	100.00	98.49
5.00	-28.02	-33.42	-38.82	100.00	100.00	93.64
6.00	-29.61	-35.40	-41.19	100.00	99.33	89.68
7.00	-30.95	-37.07	-43.20	100.00	96.55	86.33
8.00	-32.11	-38.52	-44.94	100.00	94.13	83.43
9.00	-33.13	-39.80	-46.47	100.00	92.00	80.88
10.00	-34.04	-40.95	-47.85	100.00	90.09	78.59
11.00	-34.87	-41.98	-49.09	100.00	88.37	76.52
12.00	-35.63	-42.92	-50.22	98.95	86.79	74.63
13.00	-36.32	-43.79	-51.26	97.79	85.34	72.89
14.00	-36.97	-44.60	-52.23	96.72	84.00	71.28
15.00	-37.57	-45.35	-53.13	95.72	82.75	69.78
16.00	-38.13	-46.05	-53.97	94.79	81.59	68.38
17.00	-38.65	-46.71	-54.76	93.91	80.49	67.07
18.00	-39.15	-47.33	-55.50	93.08	79.45	65.83
19.00	-39.62	-47.91	-56.21	92.30	78.48	64.65
20.00	-40.06	-48.47	-56.88	91.56	77.55	63.54

21.00	-40.49	-49.00	-57.51	90.85	76.67	62.48
22.00	-40.89	-49.51	-58.12	90.18	75.82	61.47
23.00	-41.28	-49.99	-58.70	89.54	75.02	60.50
24.00	-41.65	-50.45	-59.25	88.92	74.25	59.58
25.00	-42.00	-50.89	-59.78	88.33	73.51	58.69
26.00	-42.34	-51.32	-60.30	87.76	72.80	57.84
27.00	-42.67	-51.73	-60.79	87.21	72.12	57.02
28.00	-42.99	-52.12	-61.26	86.69	71.46	56.23
29.00	-43.29	-52.51	-61.72	86.18	70.82	55.47
30.00	-43.59	-52.87	-62.16	85.69	70.21	54.73
31.00	-43.87	-53.23	-62.59	85.21	69.62	54.02
32.00	-44.15	-53.57	-63.00	84.75	69.04	53.33
33.00	-44.41	-53.91	-63.40	84.31	68.49	52.66
34.00	-44.67	-54.23	-63.79	83.88	67.95	52.02
35.00	-44.93	-54.55	-64.17	83.46	67.42	51.39

Fuente: Propia

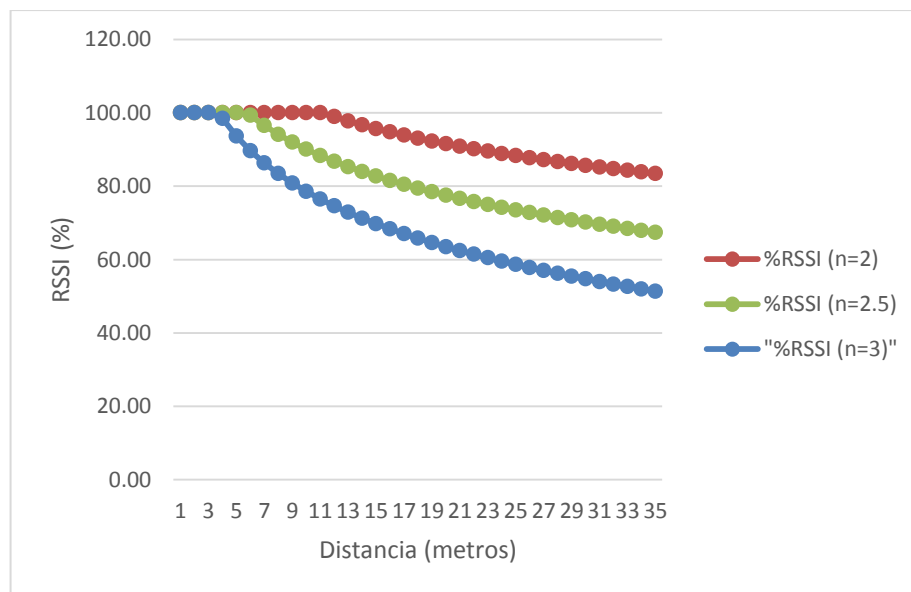


Figura 29: Relación de RSSI con distintas medidas de distancia en metros

Fuente: Propia

Estos son los distintos resultados que arroja con las distintas medidas de distancia.

De la tabla se puede concluir que dado que ATHEROS solo otorga valores en RSSI de -35 dBm hasta -95 dBm, recién a partir de los 11 metros en

adelante se considerarán válidas las medidas para un exponente $n=2$; para $n=2.5$, 5 metros y para $n=3$, 3 metros.

Considerando que durante el proceso de localización, habrá momentos en que el AP tenga línea de vista con el dispositivo móvil, por ende el exponente 'n' estará con valores cercanos a 2 por lo que no se podrá confiar en el resultado si se encuentra a menos de 11 metros del punto de acceso. Gracias a este análisis, se puede desestimar el uso de la estimación por trilateración por el método pitagoriano.

2.2.2 Análisis del filtro estadístico para el estudio de la dispersión de las mediciones de RSSI

Basada en la siguiente muestra de un determinado AP en un determinado punto:

Tabla 12: Ejemplo de muestreo de medidas RSSI en dBm

Número de muestra	Valor de muestra (dBm)
1	-88
2	-82
3	-81
4	-75
5	-79
6	-76
7	-81
8	-75
9	-75
10	-78

Fuente: (Gomez et al., 2015)

El primer paso sería hallar la media aritmética de la siguiente forma:

$$\bar{x} = \frac{-88-82-81-75-79-76-81-75-75-78}{10} = -79$$

Luego la desviación estándar:

$$\sigma_{i,j} = \sqrt{\frac{(-88+79)^2 + (-82+79)^2 + (81+79)^2 + (75+79)^2 + (79+79)^2 + (76+79)^2 + (81+79)^2 + (75+79)^2 + (75+79)^2 + (78+79)^2}{9}}$$

$$\sigma_{i,j} = 4.16$$

Se observa que el valor es superior a 3dBm, lo que significa que habrá que eliminar alguna medida. En este caso en específico, se eliminaría el valor de -88 dBm resultando así una desviación estándar de $\sigma(i,j)=2.87$. Siendo este menor a 3, se promedia los valores restantes obteniendo así un único resultado.

Todo este proceso, se repite para cada uno de los puntos de acceso en cada uno de los puntos referenciales marcados en el área de interés.

2.2.3 Análisis de la distancia euclidiana con 3, 6 y 9 puntos de acceso

A mayor número de puntos referenciales que se tomen para la base de datos *fingerprint* mayor será el tamaño del vector resultante de distancias euclidianas sin alterar a la ecuación como tal. Sin embargo si se aumenta el número de puntos de acceso, por ende, se aumenta una columna más de valores RSSI obtenidos, se estaría afectando directamente a la ecuación antes vista:

$$d_{eu}(SS_{actual}, SS_{L1}) = \sqrt{\sum_{i=1}^9 (SS_{actual-i} - SS_{L1-i})^2}$$

Es decir si se utilizan 3 puntos de acceso, se tendrá 3 columnas, por lo que la sumatoria irá desde $i=1$ hasta $i=3$, para el caso de 6 irá hasta $i=6$ y para nueve, hasta $i=9$.

Tomando como referencia 30 puntos aleatorios (30 filas para la matriz SS_L), se mostrará una gráfica de la distancia euclidiana a 3, 6 y 9 columnas. Al vector SS_{actual} se le colocará valores muy cercanos a la posición o punto 5 (fila SS_{L5}) por propósitos netamente demostrativos:

Tabla 13: Vector SS_{actual} demostrativo

Vector RSSI en tiempo real (Vector SS_{actual})								
RSSI 1	RSSI 2	RSSI 3	RSSI 4	RSSI 5	RSSI 6	RSSI 7	RSSI 8	RSSI 9
69.00	64.00	27.00	75.00	38.00	30.00	65.00	30.00	17.00

Fuente: Propia

Haciendo el cálculo de dicho vector SS_{Actual} enfrentado a la fila 5 de la matriz *fingerprint* (SS_{L5}):

Para clúster a 3:

$$d_{eu}(SS_{actual}, SS_{L5}) = \sqrt{(69 - 67)^2 + (64 - 62)^2 + (27 - 25)^2} = 3.46$$

Para clúster a 6:

$$d_{eu}(SS_{actual}, SS_{L5}) = \sqrt{(69 - 67)^2 + (64 - 62)^2 + (27 - 25)^2 + (75 - 73)^2 + (38 - 39)^2 + (30 - 32)^2} = 4.58$$

Para clúster a 9:

$$d_{eu}(SS_{actual}, SS_{L5}) = \sqrt{(69 - 67)^2 + (64 - 62)^2 + (27 - 25)^2 + (75 - 73)^2 + (38 - 39)^2 + (30 - 32)^2 + (65 - 62)^2 + (30 - 28)^2 + (17 - 19)^2} = 6.16$$

Se observan los tres resultados arrojan valores bastante cercanos con una diferencia entre ellos mucho menor que para los otros resultados del vector de distancias euclidianas. Es natural pues el menor valor para los 3 casos presentados deberá estar en la posición 5.

Tabla 14: Base de datos Fingerprint demostrativa

		Base de datos Fingerprint								
	Puntos	RSSI 1	RSSI 2	RSSI 3	RSS 4	RSSI 5	RSSI 6	RSSI 7	RSSI 8	RSSI 9
Vector SSL1	1	87.00	28.00	25.00	79.00	25.00	25.00	50.00	19.00	25.00
Vector SSL2	2	76.00	15.00	32.00	73.00	22.00	36.00	67.00	22.00	32.00
Vector SSL3	3	59.00	22.00	32.00	73.00	22.00	28.00	67.00	36.00	25.00
Vector SSL4	4	59.00	50.00	25.00	56.00	39.00	22.00	42.00	39.00	22.00
Vector SSL5	5	67.00	62.00	25.00	73.00	39.00	32.00	62.00	28.00	19.00
Vector SSL6	6	70.00	53.00	32.00	79.00	45.00	42.00	91.00	22.00	32.00
Vector SSL7	7	90.00	42.00	32.00	67.00	45.00	28.00	56.00	32.00	42.00
Vector SSL8	8	90.00	45.00	32.00	90.00	19.00	28.00	67.00	25.00	25.00
Vector SSL9	9	79.00	22.00	28.00	76.00	25.00	32.00	73.00	22.00	28.00
Vector SSL10	10	56.00	22.00	25.00	73.00	15.00	28.00	56.00	15.00	25.00
Vector SSL11	11	100.00	92.00	62.00	100.00	98.00	76.00	100.00	96.00	59.00
Vector SSL12	12	100.00	98.00	67.00	98.00	96.00	67.00	100.00	97.00	79.00
Vector SSL13	13	100.00	98.00	62.00	100.00	98.00	76.00	100.00	98.00	73.00
Vector SSL14	14	100.00	98.00	59.00	100.00	90.00	56.00	100.00	98.00	70.00
Vector SSL15	15	100.00	97.00	70.00	100.00	95.00	45.00	100.00	91.00	70.00
Vector SSL16	16	100.00	100.00	70.00	100.00	100.00	56.00	100.00	92.00	67.00
Vector SSL17	17	100.00	98.00	59.00	98.00	100.00	56.00	100.00	95.00	59.00
Vector SSL18	18	96.00	100.00	79.00	95.00	100.00	56.00	100.00	95.00	73.00
Vector SSL19	19	91.00	97.00	73.00	100.00	92.00	70.00	100.00	100.00	73.00
Vector SSL20	20	92.00	95.00	70.00	100.00	98.00	70.00	92.00	95.00	59.00
Vector SSL21	21	59.00	98.00	84.00	70.00	100.00	70.00	94.00	93.00	70.00
Vector SSL22	22	73.00	100.00	73.00	53.00	100.00	92.00	92.00	96.00	90.00

Vector SSL23	23	59.00	100.00	76.00	62.00	100.00	79.00	59.00	90.00	95.00
Vector SSL24	24	56.00	98.00	94.00	93.00	92.00	95.00	95.00	100.00	95.00
Vector SSL25	25	50.00	95.00	98.00	53.00	95.00	100.00	28.00	70.00	79.00
Vector SSL26	26	36.00	96.00	79.00	45.00	98.00	97.00	32.00	87.00	91.00
Vector SSL27	27	50.00	93.00	92.00	62.00	98.00	94.00	53.00	92.00	79.00
Vector SSL28	28	70.00	98.00	98.00	67.00	100.00	100.00	62.00	92.00	87.00
Vector SSL29	29	70.00	76.00	92.00	73.00	95.00	96.00	67.00	93.00	97.00
Vector SSL30	30	93.00	93.00	91.00	70.00	91.00	79.00	50.00	92.00	57.00

Fuente: Propia

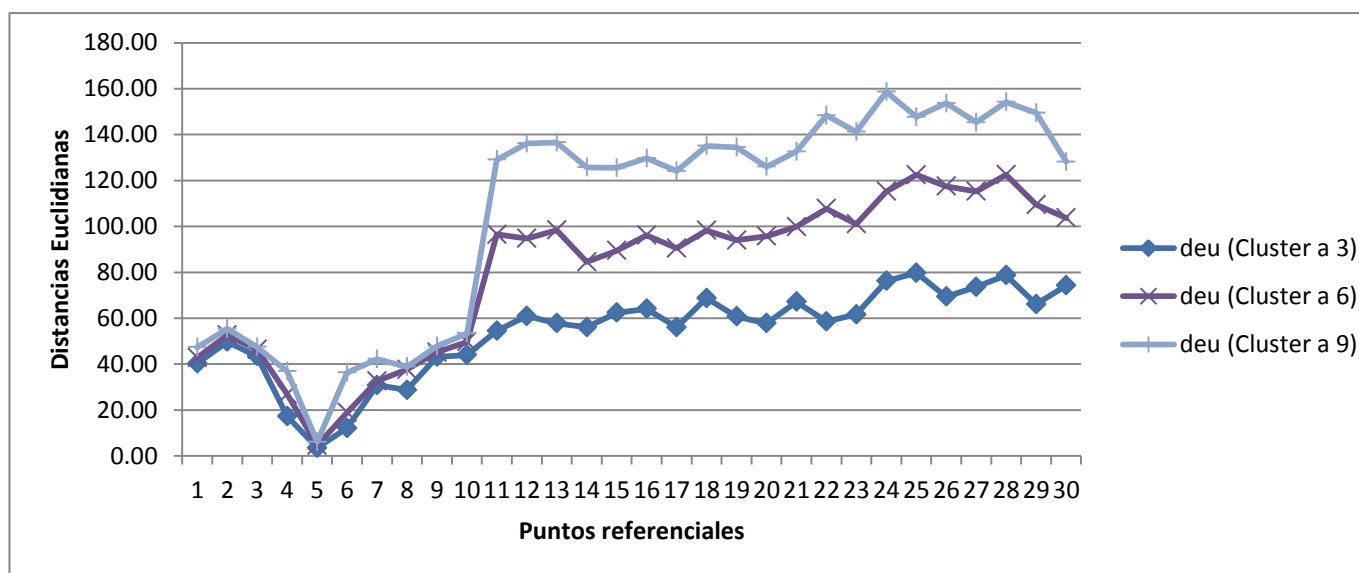


Figura 30: Vectores de distancias Euclidianas a clúster 3, 6 y 9

Fuente: Propia

Se puede percibir, al agregarle más columnas de valores RSSI con un mayor cluster, que aumentan todos los valores del vector de distancias euclidianas de ese cluster; sin embargo, y dado se ha llenado el vector SS_{actual} con valores intencionalmente cercanos al de la fila SS_{L5} , se concluye que un mayor número de clusters no favorece al resultado matemático deseado. Es decir, el menor valor del vector de distancias euclidianas, que es parte de lo que se requiere para el sistema de localización, no se ve afectado al incremento en el número de columnas del vector SS_{actual} y de la matriz SS_L .

2.2.4 Análisis de escala y relación de centímetros y pixeles

Cada posición real del nodo móvil en el pabellón posee una coordenada en el eje X e Y en metros que deberá ser representada en una coordenada X e Y en pixeles. Por tal motivo es necesario calcular la relación que existe entre ellos.

Antes que nada hay que conocer los puntos por pulgada (PPP) en la resolución que se tiene al mostrar el plano en la pantalla del computador. Se toma el valor de PPP = 111,648 (valor aproximado tomado de la resolución del aplicativo propietario). Luego se define el tamaño del plano que se quiere pero en pixeles. En este caso se acota en 800x600. Finalmente se calcula:

$$\frac{800_{\text{pixeles}} \times (2.54)}{111.648} = 18.20\text{cm} \text{ (Eje X)}$$

$$\frac{600_{\text{pixeles}} \times (2.54)}{111.648} = 13.65\text{cm} \text{ (Eje Y)}$$

El valor de 2.54 es una constante para convertir las pulgadas a centímetros.

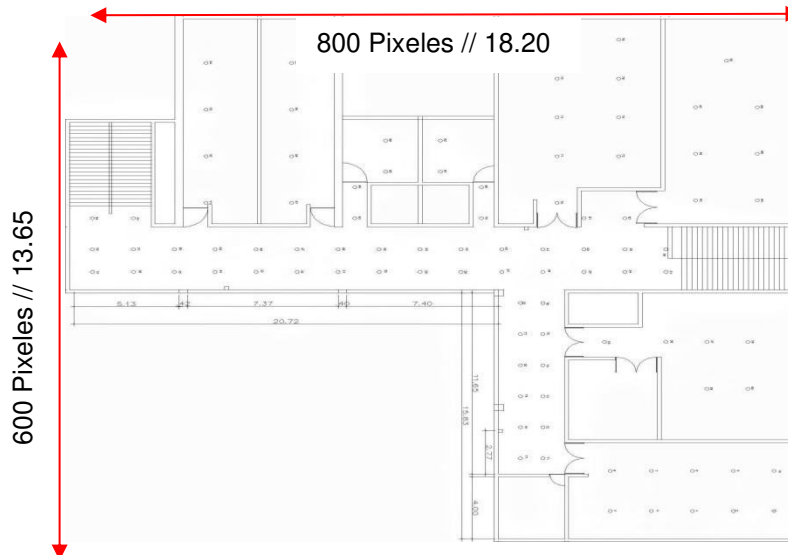


Figura 31: Tamaño del plano de la aplicación de localización en pixeles y en centímetros

Fuente: Propia

Con este cálculo ya se tiene la relación entre la imagen proyectada en pantalla medida en centímetros con su medida en pixeles. Ahora solo queda hallar la escala para cada eje:

$$\frac{3346cm}{18.20cm} = 183.85; \text{Escala 1: } 183.85 \text{ para el eje X}$$

$$\frac{3539cm}{13.65cm} = 259.27; \text{Escala 1: } 259.27 \text{ para el eje Y}$$

Entonces, imaginando que el nodo móvil está ubicado en el cuadrante 100x100 cm del pabellón (considerando el cuadrante 0,0 la esquina superior izquierda):

$$\frac{100}{183.85} = 0.54 \text{ cm} \rightarrow \frac{0.54 \times 111.648}{2.54} = 23.74 \rightarrow 24 = X$$

$$\frac{100}{259.27} = 0.39 \text{ cm} \rightarrow \frac{0.39 \times 111.648}{2.54} = 17.14 \rightarrow 17 = Y$$

La representación en pixeles de su ubicación en el plano mostrado en el monitor deberá estar en el cuadrante (24,17).

Se toman 30 puntos referenciales reales y sus coordenadas respectivas ya pasadas a pixeles para utilizarlas en el análisis siguiente.

Tabla 15: Muestra de puntos referenciales con medidas en metros y en pixeles

Punto	X (mts)	Y (mts)	X (Pixel)	Y(Pixel)
1	32.29	33.33	772	565
2	30.45	33.33	728	565
3	28.61	33.33	684	565
4	26.77	33.33	640	565
5	24.93	33.33	596	565
6	24.93	30.61	596	519
7	26.77	30.61	640	519
8	28.61	30.61	684	519
9	30.45	30.61	728	519
10	32.29	30.61	772	519
11	21.75	29.79	520	505
12	21.75	27.66	520	469
13	21.75	25.54	520	433
14	21.75	23.42	520	397
15	21.75	21.29	520	361
16	21.75	19.17	520	325
17	20.70	29.79	495	505
18	20.70	27.66	495	469
19	20.70	25.54	495	433
20	20.70	23.42	495	397
21	20.70	21.29	495	361
22	20.70	19.17	495	325
23	27.35	17.22	654	292
24	25.51	17.22	610	292
25	23.63	17.22	565	292
26	21.75	17.22	520	292
27	19.87	17.22	475	292
28	17.99	17.22	430	292
29	16.10	17.22	385	292
30	14.22	17.22	340	292
...

Fuente: Propia

La tabla muestra el cálculo descrito líneas anteriores para los primeros 30 puntos referenciales y así obtener su equivalencia en pixeles que es finalmente lo que requiere el aplicativo propietario de localización.

2.2.5 Análisis de la técnica de los K-vecinos más cercanos con pesos

Para calcular el cuadrante XE, YE (X e Y estimados), se deberá contemplar que valor de K se asignará. El valor de K representa el número de puntos tomados para ser promediados y hallar la posición estimada.

Recordando las ecuaciones:

$$X_E = \frac{1}{D} \sum_{i=1}^k \frac{1}{d_{eu}(SS_{Li}, SS_{actual}) + d_0} X_i$$

$$Y_E = \frac{1}{D} \sum_{i=1}^k \frac{1}{d_{eu}(SS_{Li}, SS_{actual}) + d_0} Y_i$$

$$D = \sum_{i=1}^k \frac{1}{d_{eu}(SS_{Li}, SS_{actual}) + d_0}$$

Considerar K=1 significaría simplemente que tu (XE, YE) sea la coordenada del punto con distancia euclidiana menor.

Para K=2 tomando en consideración que el nodo móvil está posicionado exactamente en el punto 5. Se tendría:

$$SS_{Actual} = [67, 62, 25]$$

$$d_{eu} = [0, 9.98]$$

El vector de distancias euclidianas arrojará la misma cantidad de valores como la cantidad de puntos que se tomaron. Dado que se toma en cuenta K=2, se tomará los dos menores de dicha cantidad, que son 0 y 9.98 con sus respectivos puntos referenciales 5 y 7.

Tabla 16: Puntos vecinos más cercanos (K=2)

Punto	X (mts)	Y (mts)	X (Pixel)	Y(Pixel)
5	24.93	33.33	596	565
7	26.77	30.61	640	519

Fuente: Propia

$$D = \frac{1}{0+0.01} + \frac{1}{9.98+0.01} = 100.10$$

$$XE = \frac{1}{100.10} \left(\frac{1}{0+0.01} \times 596 + \frac{1}{9.98+0.01} \times 640 \right) = 596.04 \rightarrow 596$$

$$YE = \frac{1}{100.10} \left(\frac{1}{0+0.01} \times 565 + \frac{1}{9.98+0.01} \times 519 \right) = 564.95 \rightarrow 565$$

En el caso de K=3:

$$d_{eu} = [0, 9.98, 15.18]$$

Tabla 17: Puntos vecinos más cercanos (K=2)

Punto	X (mts)	Y (mts)	X (Pixel)	Y(Pixel)
5	24.93	33.33	596	565
7	26.77	30.61	640	519
4	26.77	33.33	640	565

Fuente: Propia

$$D = \frac{1}{0+0.01} + \frac{1}{9.98+0.01} + \frac{1}{15.18+0.01} = 100.17$$

$$XE = \frac{1}{100.17} \left(\frac{1}{0+0.01} \times 596 + \frac{1}{9.98+0.01} \times 640 + \frac{1}{15.18+0.01} \times 640 \right) = 596.04 \rightarrow 596$$

$$YE = \frac{1}{100.17} \left(\frac{1}{0+0.01} \times 565 + \frac{1}{9.98+0.01} \times 519 + \frac{1}{15.18+0.01} \times 565 \right) = 564.93 \rightarrow 565$$

Se observa que el cuadrante estimado tanto para K=2 como para K=3 es exactamente igual al real (596, 565). Si se sigue elevando el número de K, el resultado seguirá siendo el mismo pues el mayor peso se le da al valor más cercano mientras que el punto más alejado tendrá un valor casi despreciable para la ecuación.

El parámetro del error en la estimación, dependerá del vector SS_{Actual} obtenido durante las pruebas y resultados, por lo que no es posible obtenerlo en este capítulo. Lo que sí se puede concluir es que no afecta en significativamente aplicar un valor de K mayor a 3. Por ende, en el diseño, se fijará el parámetros K en 3.

2.2.6 Análisis del margen de error del prototipo (E)

Se ha calculado la relación que existe entre las coordenadas en pixeles y las coordenadas reales del pabellón. Entonces, para el cálculo del margen de

error que entrega el prototipo se comparará la posición estimada entregada contra la posición real de la siguiente forma:

Tabla 18: Margen de error de un determinado punto referencial

PUNTO	PIXEL		METROS		PIXEL		METROS		METROS	
	X	Y	X	Y	XE	YE	XE	YE	ERROR	ACIERTO
6	596	519	24.93	30.61	613	496	25.64	29.26	1.53	SI

Fuente: Propia

Para el caso de que el dispositivo móvil se encuentre en el punto referencial 6; es decir, en la coordenada (24.93, 30.61) se obtendrá del aplicativo propietario de localización una coordenada estimada en pixeles. Como ejemplo se usará (613, 496) que pasado a metros sería (25.64, 29.26).

Finalmente el error en metros será el cálculo de la distancia entre dos coordenadas bidimensionales:

$$Error = \sqrt{(25.64 - 24.93)^2 + (29.26 - 30.61)^2} = 1.53 \text{ metros} \quad (2.25)$$

Para este ejemplo en particular, el margen de error del prototipo arrojó 1.53 metros.

Dicho procedimiento será realizado con distintos puntos referenciales en la fase de pruebas y resultados.

2.2.7 Análisis del retardo de todo el proceso del prototipo (R)

Bajo la recomendación UIT-T G.114 (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2004) se sabe que el prototipo deberá tener un retardo menor a 400 ms. Entonces:

$$Retardo \text{ Solicitud RSSI} + Retardo \text{ computacional algoritmo} \leq 400ms$$

El retardo de la solicitud del RSSI que se le hace al punto de acceso es un tiempo que no es posible manejar pues involucra al fabricante de los equipos (APs). Dicho tiempo se tiene medido y es de 38 a 71 ms. Esto ya incluye a los 3 equipos que se poseen.

Entonces, en el diseño del algoritmo propietario, se asegurará que el tiempo de cómputo sea menor a:

$$\textit{Retardo computacional algoritmo} \leq 400 - 71 \leq 392 \textit{ ms}$$

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1 Especificaciones de diseño

- El prototipo deberá tener un margen de error (E) de hasta 5 metros.
- El prototipo deberá tener un retardo (R) máximo de 400 ms.
- Se deberá utilizar 3 Access Point (Puntos de Acceso)
- EL prototipo se implementará en un área preestablecida. Como ejemplo práctico se elegirá el Piso 3 del pabellón de laboratorios.
- El sistema estará implementado en su propia LAN.
- Se observará en tiempo real en la pantalla del computador el resultado de la estimación (XE, YE) de la localización de manera pictórica.
- Se utilizará el método de estimación *fingerprinting* basado en distancias euclidianas (deu).
- Se tomará 3 puntos para la técnica de los k vecinos más cercanos (K=3).
- El aplicativo de localización se desarrollará en lenguaje C# mediante Visual Studio.
- El plano pictórico del aplicativo de localización tendrá una medida de 800 por 600 pixeles.

3.2 Diseño de la obtención de las variables RSSI para el armado del vector SS_{Actual}

El presente diseño se enfoca en la obtención y captura de la intensidad de señal (RSSI) del Access point, para este diseño se eligió el Access point de la marca DLINK modelo DAP 2360 descrito en los materiales, que a comparación de otras marcas de su misma gama – semi empresarial, posee la característica más importante requeridas como el Management Information Base o MIB, que es el lenguaje base del AP. Este servirá para obtener el valor del RSSI sumado al protocolo SNMP insertado en el aplicativo propietario de localización desarrollado en C#.

A continuación se muestra un diagrama de bloques del proceso de obtención del valor de la intensidad de señal recibida.

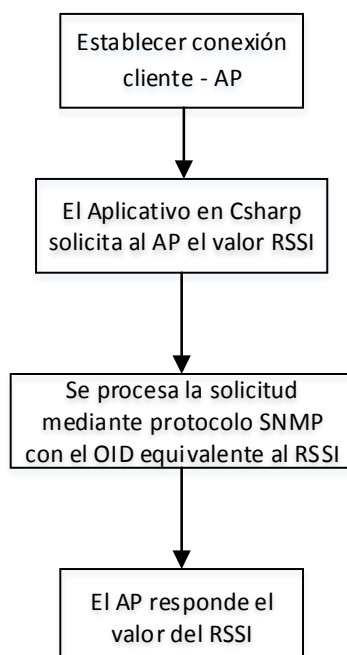


Figura 32: Diagrama de bloques de la obtención del valor – RSSI

Fuente: Propia

En el primer bloque se tiene que establecer la conectividad del AP con el dispositivo móvil en la red LAN. Luego, el computador central, por medio del aplicativo C#, solicita al AP el valor del RSSI en su equivalente lenguaje máquina que posee su código OID.

El Identificador de objeto (OID) es una secuencia de números que se asignan jerárquicamente y que permite identificar objetos de red, estos identificadores de objetos se utilizan con una gran variedad de protocolos, en este caso, es el SNMP (Nacional, 2015).

Los valores de OID vienen pre establecidos por cada agencia registradora, marca de dispositivo que asignan según el comando que se requiera.

En la siguiente se muestra descripción y valores de OID respecto a las MIB del AP – DLINK modelo DAP 2360.

Tabla 19: Cuadro con valores y descripción de OID

ClientMacAddress	.1.3.6.1.4.1.171.10.37.50.2.1.3.3.4.2.1.2
ClientRSSI	.1.3.6.1.4.1.171.10.37.50.2.1.3.3.4.2.1.5
ClientBand	.1.3.6.1.4.1.171.10.37.50.2.1.3.3.4.2.1.3
SSIDIndex	1.3.6.1.4.1.171.10.37.50.2.1.3.3.4.2.1.7
ClientTxBytesCount	.1.3.6.1.4.1.171.10.37.50.2.1.3.3.4.2.1.11
ClientRxBytesCount	.1.3.6.1.4.1.171.10.37.50.2.1.3.3.4.2.1.12
ClientTxRate	.1.3.6.1.4.1.171.10.37.50.2.1.3.3.4.2.1.13
ClientSignalStrength	.1.3.6.1.4.1.171.10.37.50.2.1.3.3.4.2.1.14

Fuente: Propia

En la siguiente figura se muestra el orden jerárquico y significado de cada número en la nomenclatura de los OID con respecto al RSSI

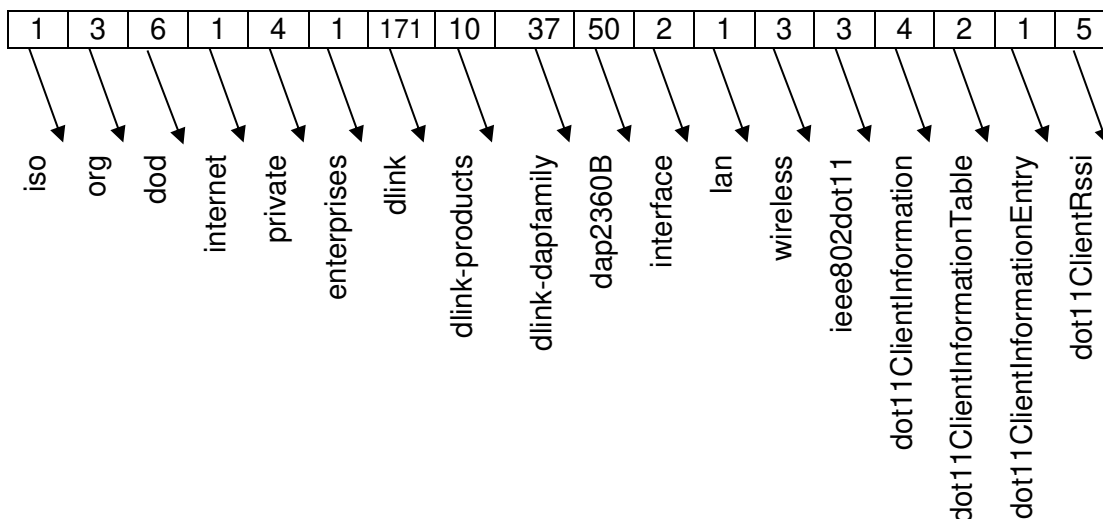


Figura 33: Descripción de valor OID referente al RSSI

Fuente: Propia

Continuando con el tercer bloque, se procesa la solicitud mediante protocolo SNMP con el valor de OID equivalente al RSSI.

El Protocolo Simple de administración de Red o SNMP es un protocolo en la etapa de aplicación (capa 7 del modelo OSI) que facilita el intercambio de información de administración entre dispositivos de red, las versiones de SNMP más utilizadas son SNMP versión 1 (SNMPv1) y SNMP versión 2 (SNMPv2).

Los dispositivos administrados son supervisados y controlados usando cuatro comandos SNMP básicos: lectura, escritura, notificación y operaciones transversales.

Mensajes SNMP es para realizar las operaciones básicas de administración anteriormente nombradas, el protocolo SNMP utiliza un servicio no orientado a la conexión (UDP) para enviar un pequeño grupo de mensajes (PDUs) entre los administradores y agentes. Los puertos comúnmente utilizados para SNMP se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 20: Puertos SNMP

Número	Descripción
161	SNMP
162	SNMP-trap

Fuente: Propia

Los mensajes más recurrentes son:

- *GetRequest*; solicita al agente retornar el valor de un objeto de interés mediante su nombre.
- *GetNextRequest*; este mensaje es usado para recorrer una tabla de objetos una vez usado el *GetRequest*.
- *SetRequest*; Este mensaje es usado para solicitar a un agente modificar valores de objetos.
- *GetResponse*; Este mensaje es usado por el agente para responder un mensaje *GetRequest*, *GetNextRequest* o *SetRequest*.
- *Trap*, es generado por el agente para reportar ciertas condiciones y cambios de estado a un proceso de administración.

Finalmente se obtiene el valor RSSI del dispositivo móvil por medio del AP, con el cual se puede utilizar los modelamientos matemáticos para estimar la ubicación.

En la Figura 34 se muestra líneas de comando para obtener el RSSI (GNU Lesser General Public License, 2007) utilizando el protocolo SNMP.

```

static void Main(string[] args)
{
    // SNMP nombre de comunidad
    OctetString community = new OctetString("public");

    // define clase de parametros
    AgentParameters param = new AgentParameters(community);
    // Elje la version del SNMP
    param.Version = SnmpVersion.Ver2;
    IPAddress agent = new IPAddress("XXX.XXX.XXX.XXX");
    // Apunta la direccion IP del AP

    // construye el vector de la solicitud
    UdpTarget target = new UdpTarget((IPAddress)agent, 161, 2000, 1);

    // Usa la clase de PDU para los requerimiento
    Pdu pdu = new Pdu(PduType.Get);
    //valor del OID equivalente al RSSI
    pdu.VbList.Add("1.3.6.1.4.1.171.10.37.50.2.1.3.3.4.2.1.5");

    // Prepara el requerimiento SNMP
    SnmpV2Packet result = (SnmpV2Packet)target.Request(pdu, param);

    //Devuelve el resultado en el vector VbList

    result.Pdu.VbList[0].Value.ToString();
}

```

Figura 34: Algoritmo C# para obtención de RSSI que utiliza la DLL SnmpSharpNet

Fuente: (Free Software Foundation, Inc, 2007)

Al final de este proceso se armará el vector ya antes visto SS_{Actual} con los 3 valores obtenidos (uno por cada punto de acceso).

3.3 Diseño de plano arquitectónico en AUTOCAD.

Para que sea más didáctico y tenga gran impacto visual, se eligió realizar la simulación del prototipo de detección, localización y seguimiento de niños en los ambientes del Piso 3 de laboratorio de la universidad, por tal motivo, se tuvo que realizar un levantamiento de todo el metrado del Piso 3 con sus respectivas distribuciones de los distintos salones y áreas comunes como pasadizos y servicios higiénicos. Una vez obtenida todas las medidas se tuvo que plasmar en un plano realizado con la herramienta de diseño CAD Diseño asistido por computadora.

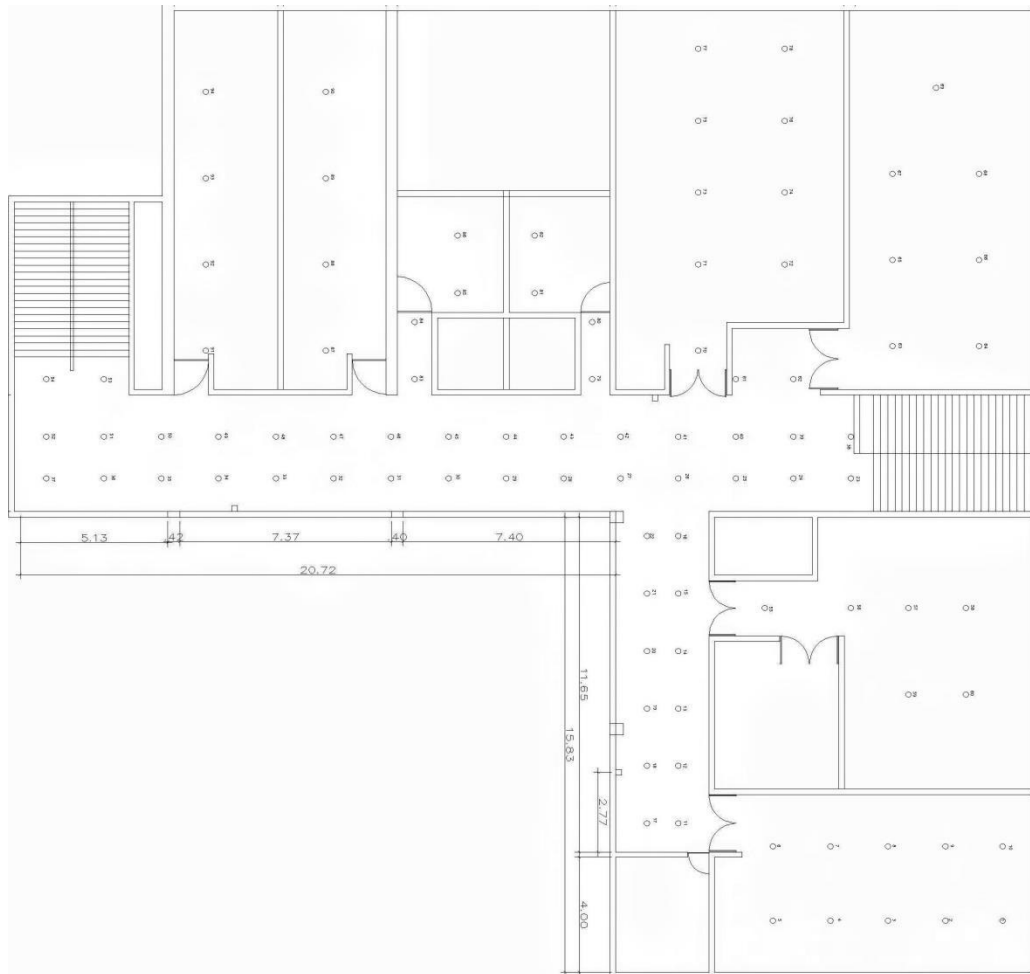


Figura 35: Diseño del plano en AutoCAD del pabellón

Fuente: Propia

Se puede observar en la Figura 35 se tiene un plano a escala del piso 3 de laboratorio donde están los diferentes ambientes que se utilizarán como referencia para hacer el análisis del diseño y simulación del prototipo.

Se observa a lo largo del plano una serie de puntos. Estos son los puntos referenciales y hay que tener la coordenada de cada uno de los 94 que se obtuvieron. Para esto, el plano es de mucha ayuda pues genera una escala y una manera más fácil de tener la medida de cada uno de los puntos que ya han sido marcados en el pabellón. No es necesario tener una separación igual para cada uno de ellos, lo más importante es tener el cuadrante de cada uno. Sin embargo, se ha optado por darle una separación de 2 metros entre cada punto en la medida de lo posible solo para fines prácticos.

3.4 Diseño del vector de distancias euclidianas (d_{eu}) para clúster a 3 con filtro estadístico para el estudio de la dispersión de las mediciones de RSSI (σ)

Para esta etapa, primero se necesitará generar una base de datos *fingerprint*. Para ello se deberá tomar medidas RSSI en cada uno de los puntos detallados en el pabellón representados en el plano en autoCad.

Por cada punto referencial, se tomarán 10 muestras para cada uno de los puntos de acceso. A esas 10 muestras se les aplicará la desviación estándar y se descartarán valores hasta que su cálculo de $\sigma < 3$ dBm.

Tabla 21: Matriz SSL (Base de datos *fingerprint*)

PUNTO	RSSI AP_1	RSSI AP_2	RSSI AP_3
1	94.9	62	50
2	96.3	35	48
3	93.2	36	45
4	92.1	46	42
5	91.7	51	38
6	98.1	53	53
7	98	47	37
8	93.8	35	38
9	93.3	32	36
10	91.1	26	30
11	100	94	72
12	100	92	70
13	100	92	72
14	100	92	79
15	98.8	90	90
16	96.6	94	98
17	100	93	68
18	100	93	61
19	100	92	74
20	100	92	79
21	97.4	96	90
22	94.7	97	93
23	52.4	100	99
24	65.8	100	100
25	87.9	100	100
26	94.3	100	100
27	91.6	100	100
28	75.4	100	100

29	75.7	100	100
30	74.2	96	100
...
85	29.3	55	93
86	23.2	45	83
87	56	91	97
88	38	60	98
89	29.3	55	93
90	23.2	45	83
91	19.9	56	95
92	22.7	59	97
93	22.3	52	96
94	17.8	47	97
85	29.3	55	93

Fuente: Propia

Se observa en la Tabla 21 que se tiene valores decimales pues las muestras que lograron pasar el filtro estadístico han sido luego promediadas para obtener un único valor.

Ya con la base de datos (matriz SS_L), se puede correr el aplicativo en línea y generar el vector de distancias euclidianas (d_{eu}) haciendo la comparación entre el vector SS_{Actual} y cada una de las filas de la matriz SS_L .

```
private void distancia_Euclidiana()
{
    for (int i = 0; i < 95; i++)
    {
        deu[i] = Math.Sqrt((Math.Pow(SSActual[0] - SSL[i, 0], 2) + (Math.Pow(SSActual[1] - SSL[i, 1], 2)) + (Math.Pow(SSActual[2] - SSL[i, 2], 2))));
    }
}
```

Figura 36: Líneas de comando para hallar el vector deu (propietario)

Fuente: Propia

El vector d_{eu} posee un tamaño del mismo número de puntos referenciales que han sido tomados y siguiendo el mismo orden. Por ende, si la distancia euclidiana menor está en la ubicación 5, la coordenada deseada sería el punto referencial 5.

3.5 Diseño de la obtención del cuadrante estimado (XE, YE) para K=3

Para empezar con esta fase es necesaria una matriz de coordenadas en pixeles basadas en los puntos referenciales que se puede ver en el plano en AutoCAD.

Estas coordenadas representan cada punto del plano del aplicativo propietario.

Tabla 22: Coordenadas en pixeles de cada punto referencial

PUNTO	X	Y	PUNTO	X	Y	PUNTO	X	Y
1	772	565	31	295	292	61	564	231
2	728	565	32	250	292	62	609	231
3	684	565	33	205	292	63	686	210
4	640	565	34	160	292	64	754	210
5	596	565	35	115	292	65	686	157
6	596	519	36	70	292	66	754	157
7	640	519	37	25	292	67	686	104
8	684	519	38	654	266	68	754	104
9	728	519	39	609	266	69	720	51
10	772	519	40	564	266	70	535	213
11	520	505	41	519	266	71	535	160
12	520	469	42	474	266	72	603	160
13	520	433	43	429	266	73	535	115
14	520	397	44	384	266	74	603	115
15	520	361	45	339	266	75	535	70
16	520	325	46	294	266	76	603	70
17	495	505	47	249	266	77	535	25
18	495	469	48	204	266	78	603	25
19	495	433	49	159	266	79	453	231
20	495	397	50	114	266	80	453	195
21	495	361	51	69	266	81	408	178
22	495	325	52	24	266	82	408	142
23	654	292	53	69	231	83	315	231
24	610	292	54	24	231	84	316	195
25	565	292	55	587	372	85	348	178
26	520	292	56	654	372	86	348	142
27	475	292	57	699	372	87	246	213
28	430	292	58	743	372	88	246	160
29	385	292	59	698	425	89	246	107
30	340	292	60	743	425	90	246	54
						91	153	213

	92	153	160
	93	153	107
	94	153	54

Fuente: Propia

Ya fijada la especificación de diseño con K=3, se debe recolectar los 3 valores menos del vector de distancias euclidianas, como también sus posiciones que a su vez corresponden a las posiciones de la matriz de coordenadas.

```
private void K_VecinosCercanos()
{
    for (int i = 0; i < 95; i++)
    {
        if (deu[i] < distEuMenor_1)
        {
            distEuMenor_1 = deu[i];
            distEuPos_1 = i;
        }
    }
    for (int i = 0; i < 95; i++)
    {
        if (deu[i] != distEuMenor_1 & deu[i] < distEuMenor_2)
        {
            distEuMenor_2 = deu[i];
            distEuPos_2 = i;
        }
    }
    for (int i = 0; i < 95; i++)
    {
        if (deu[i] != distEuMenor_1 & deu[i] != distEuMenor_2 & deu[i] < distEuMenor_3)
        {
            distEuMenor_3 = deu[i];
            distEuPos_3 = i;
        }
    }
}
```

Figura 37: Algoritmo propietario para hallar las 3 menores distancias euclidianas y sus posiciones

Fuente: Propia

Ya con esta información es factible realizar la técnica de los k vecinos más cercanos con pesos para obtener la coordenada estimada (XE, YE).

```
////////// K VECINOS CON PESOS ////////////  
  
D = (1 / (distEuMenor_1 + 0.01)) + (1 / (distEuMenor_2 + 0.01)) + (1 / (distEuMenor_3 + 0.01));  
  
XE = (1 / D) * ((1 / (distEuMenor_1 + 0.01)) * cordenada[distEuPos_1, 0] +  
    (1 / (distEuMenor_2 + 0.01)) * cordenada[distEuPos_2, 0] +  
    (1 / (distEuMenor_3 + 0.01)) * cordenada[distEuPos_3, 0]);  
  
YE = (1 / D) * ((1 / (distEuMenor_1 + 0.01)) * cordenada[distEuPos_1, 1] +  
    (1 / (distEuMenor_2 + 0.01)) * cordenada[distEuPos_2, 1] +  
    (1 / (distEuMenor_3 + 0.01)) * cordenada[distEuPos_3, 1]);  
  
txt_XE.Text = Math.Round(XE).ToString();  
txt_YE.Text = Math.Round(YE).ToString();
```

Figura 38: Algoritmo para hallar (XE, YE) con la técnica de los k vecinos más cercanos con pesos
Fuente: Propia

Finalmente se entrega la coordenada estimada a un método que simplemente señala el sector a dicha coordenada perteneciente.

3.6 Diseño de entorno visual del aplicativo de localización

Se ha representado el plano en AutoCAD en un panel visual emergente que lanza el aplicativo de localización. Dicho panel posee 800 x 600 pixeles y se ve de la siguiente forma:

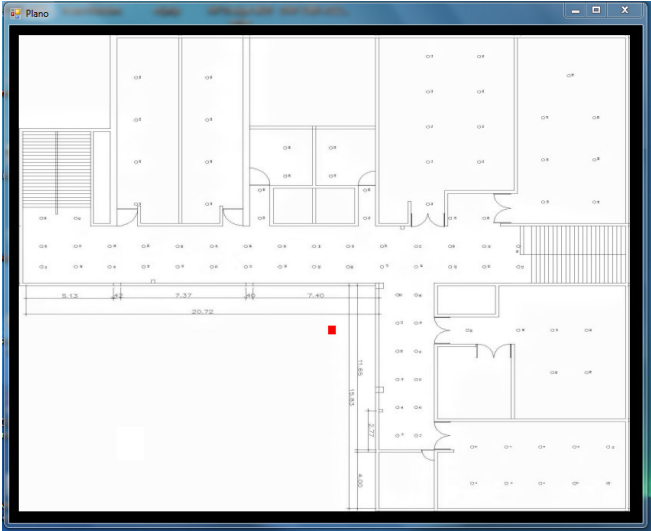


Figura 39: Plano emergente del aplicativo de localización
Fuente: Propia

Conforme la coordenada vaya cambiando, el aplicativo irá coloreando distintos sectores a los que dicha coordenada pertenezca.

En la

Figura 3939 se muestra la ventana emergente que contiene el panel del plano con un tamaño de 800x600 pixeles. El eje de coordenadas de dicho panel inicia en la esquina superior izquierda (0,0).

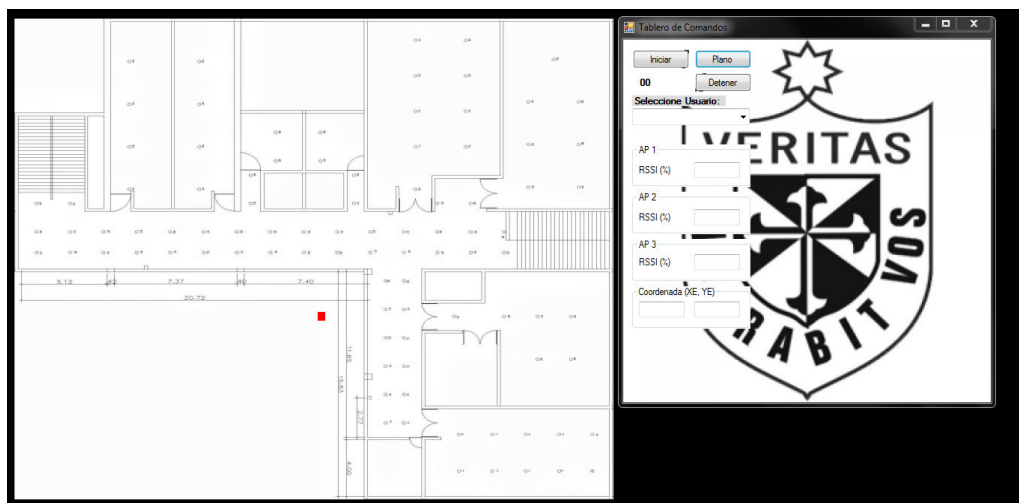


Figura 40: Entorno visual del aplicativo propietario de localización

Fuente: Propia

En la Figura 40 se observan dos ventanas emergentes. La más pequeña es la que comanda el inicio y la parada del proceso de localización como también muestra la captura de RSSI de cada punto de acceso en el tiempo actual. Finalmente dicha ventana presenta la coordenada a modo de texto tanto para el eje X como para el Y en pixeles. Ese resultado es exportado a la ventana más grande y coloca el punto rojo en dicha coordenada resultante.

CAPÍTULO IV

PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1 Simulación inicial, mediciones y resultados

4.1.1 Mediciones

El prototipo de localización en tiempo real posee dos parámetros de suma importancia que han sido medidos cuantitativamente de forma práctica.

El primero es el retardo del proceso, que según el diagrama de bloques, inicia en la solicitud de las variables RSSI y finaliza en la señalización de la coordenada estimada en el plano a escala del aplicativo. El cambio de posición del dispositivo móvil debe estar reflejado en tiempo real en el aplicativo propietario.

La recomendación ITU-T G.114 proporciona información útil relativa al retardo en un sentido como un parámetro en sí mismo. La cual se detalla como 150 ms. También establece un límite superior de 400 ms. (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2004).

El segundo parámetro de suma importancia es el margen de error. Es decir, la diferencia en metros entre la ubicación real y la estimada. Basado en el estado del arte y dado que se utiliza tecnología WiFi, se tiene un máximo de 5 metros de error aceptable.

4.1.2 Resultados

4.1.2.1 Resultados cuantitativos del retardo de todo el proceso (R)

Para dar con los tiempos, se coloca un contador en milisegundos en el mismo momento en que el aplicativo propietario solicita las variables RSSI y se detiene al momento en que ya es mostrado de manera pictórica. Se ha encontrado que la captura de los valores de RSSI tienen un promedio de retardo de 43.86 ms basados en las 7 muestras tomadas. Dicho valor incluye a los 3 puntos de acceso utilizados en el prototipo.

Tabla 23: Retardos experimentales de todo el proceso

Captura de RSSI (ms)	Retardo del todo el proceso [R] (ms)		
39	256	241	
38	241	226	
40	226	226	
71	226	256	
39	256	241	
39	241	256	
41	226	256	
43.86	226	241	
	241	226	
	226	241	
	226	226	
	256	241	
		238.75	

Fuente: Propia

A ese retardo, el cual no es posible modificar, se le suma el algoritmo propietario y se obtiene un retardo promedio total de todo el proceso de 238.75 ms.

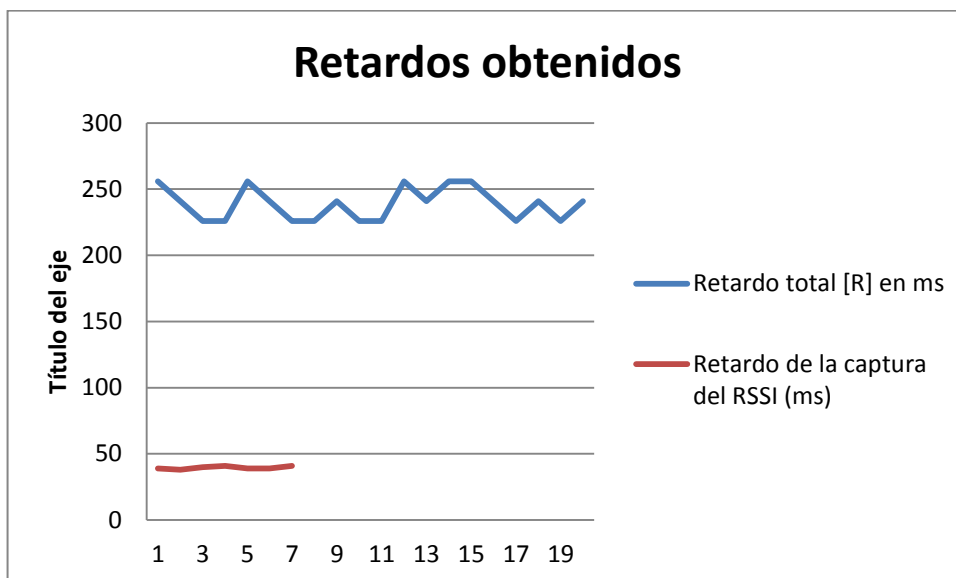


Figura 41: Retardos experimentales de todo el proceso

Fuente: Propia

Dado que no se observa tiempos mayores a 400 ms, se puede considerar que el prototipo presentado posee respuestas bajo la recomendación ITU-T G.114 (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2004). Entonces se puede considerar como un sistema con respuestas en tiempo real.

4.1.2.2 Resultados cuantitativos del margen de error del prototipo (E) entre la ubicación real y la ubicación estimada

Dado el estado del arte, se puede tolerar de 1 a 5 metros en el error establecido entre la posición real contra la estimada cuando se emplea WiFi. (Zahid et al., 2013).

Se observa que el prototipo arroja diferentes niveles de error dependiendo de la ubicación real de la persona que lleva el dispositivo móvil. Se ha obtenido la distancia de error comparando la coordenada real de cada punto referencial con la coordenada estimada arrojada por el prototipo. Es decir, el dispositivo móvil se ubicó en determinados puntos referenciales y se compararon ambas coordenadas, con lo que se obtiene la siguiente tabla de resultados:

Tabla 24: Resultados del margen de error realizado en cada uno de los puntos referenciales

PUNTO	PIXEL		METROS		PIXEL		METROS		METROS		Número de aciertos	
	X	Y	X	Y	XE	YE	XE	YE	ERROR	ACIERTO		
6	596	519	24.93	30.61	613	496	25.64	29.26	1.53	SI	33	12
6	596	519	24.93	30.61	644	496	26.94	29.26	2.42	SI	73%	27%
6	596	519	24.93	30.61	640	495	26.77	29.20	2.32	SI		
8	684	519	28.61	30.61	655	498	27.40	29.37	1.73	SI		
8	684	519	28.61	30.61	613	502	25.64	29.61	3.13	SI		
8	684	519	28.61	30.61	608	500	25.43	29.49	3.37	SI		
9	728	519	30.45	30.61	732	519	30.62	30.61	0.17	SI		
9	728	519	30.45	30.61	732	519	30.62	30.61	0.17	SI		
9	728	519	30.45	30.61	736	519	30.78	30.61	0.33	SI		
12	520	469	21.75	27.66	520	461	21.75	27.19	0.47	SI		
12	520	469	21.75	27.66	513	438	21.46	25.84	1.85	SI		
12	520	469	21.75	27.66	514	442	21.50	26.07	1.61	SI		
21	495	361	20.70	21.29	515	446	21.54	26.31	5.08	NO		
21	495	361	20.70	21.29	512	447	21.41	26.37	5.12	NO		
21	495	361	20.70	21.29	513	443	21.46	26.13	4.89	SI		

56	654	372	27.35	21.94	567	425	23.72	25.07	4.80	SI
56	654	372	27.35	21.94	581	433	24.30	25.54	4.72	SI
56	654	372	27.35	21.94	582	431	24.34	25.42	4.60	SI
60	743	425	31.08	25.07	600	439	25.10	25.89	6.04	NO
60	743	425	31.08	25.07	590	443	24.68	26.13	6.49	NO
60	743	425	31.08	25.07	600	439	25.10	25.89	6.04	NO
38	654	266	27.35	15.69	431	266	18.03	15.69	9.33	NO
38	654	266	27.35	15.69	433	266	18.11	15.69	9.24	NO
38	654	266	27.35	15.69	441	272	18.45	16.04	8.92	NO
40	564	266	23.59	15.69	481	274	20.12	16.16	3.50	SI
40	564	266	23.59	15.69	313	279	13.09	16.46	10.53	NO
40	564	266	23.59	15.69	429	278	17.94	16.40	5.69	NO
44	384	266	16.06	15.69	350	266	14.64	15.69	1.42	SI
44	384	266	16.06	15.69	326	266	13.64	15.69	2.43	SI
44	384	266	16.06	15.69	365	266	15.27	15.69	0.79	SI
31	295	292	12.34	17.22	270	274	11.29	16.16	1.49	SI
31	295	292	12.34	17.22	250	270	10.46	15.93	2.29	SI
31	295	292	12.34	17.22	237	266	9.91	15.69	2.87	SI
48	204	266	8.53	15.69	324	266	13.55	15.69	5.02	NO
48	204	266	8.53	15.69	316	266	13.22	15.69	4.68	SI
48	204	266	8.53	15.69	310	266	12.97	15.69	4.43	SI
50	114	266	4.77	15.69	151	254	6.32	14.98	1.70	SI
50	114	266	4.77	15.69	40	290	1.67	17.11	3.40	SI
50	114	266	4.77	15.69	238	266	9.95	15.69	5.19	NO
37	25	292	1.05	17.22	107	277	4.48	16.34	3.54	SI
37	25	292	1.05	17.22	92	270	3.85	15.93	3.09	SI
37	25	292	1.05	17.22	85	271	3.56	15.98	2.80	SI
53	69	231	2.89	13.63	108	273	4.52	16.10	2.97	SI
53	69	231	2.89	13.63	106	270	4.43	15.93	2.77	SI
53	69	231	2.89	13.63	102	270	4.27	15.93	2.68	SI

Fuente: Propia

Dado que los resultados estimados entregados no son constantes en un mismo punto referencial, se optó por tomar 3 distintas medidas en un mismo lugar tal y como se observa en la tabla.

La distancia en metros de la diferencia entre las coordenadas reales y las estimadas (ya realizada la conversión de pixeles a metros previamente) es considerada como error propio. Si esta sobrepasa los 5 se considerará como un desacierto.

Los puntos referenciales utilizados son un segmento del total de puntos repartidos a lo largo del pabellón. Es así como se observa que hay lugares con un mayor margen de error tal y como lo es el punto 38, arroja un desacierto de más de 8 metros.

Por lo contrario, existen otros puntos referenciales que muestran muy buenos resultados. Este es el caso de la ubicación 9 que tiene un margen de error de menos de un metro en cada una de las 3 tomas realizadas.

Si se promedia todos los márgenes de error, el resultado arroja un valor de 3.73 metros.

Finalmente se obtiene un porcentaje de acierto referente a la muestra tomada el viernes 17 de junio de 2016 mostrada en la Figura 42. Cabe mencionar que el prototipo ha seguido en proceso de mejora continua.

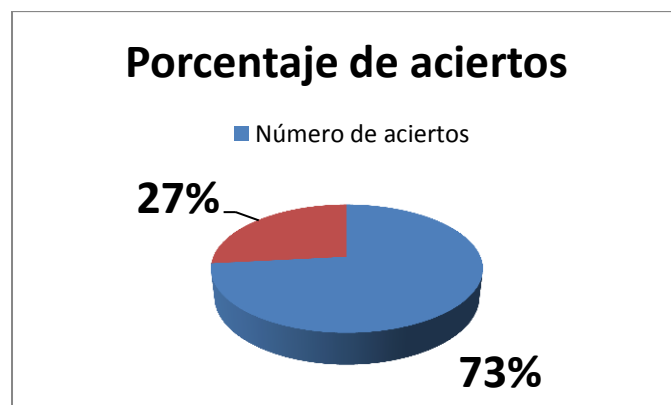


Figura 42: Porcentaje de aciertos del prototipo

Fuente: Propia

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN Y APLICACIÓN

5.1 Discusión

Esta investigación tuvo como propósito la detección, seguimiento y estimación de la localización de un infante en un lugar preestablecido con el método de *fingerprinting*, y se utilizó la tecnología WiFi debido a su compatibilidad con muchos dispositivos que se tienen en el mercado a bajo costo y con la ventaja de que utiliza la infraestructura de puntos de acceso ya existente para su implementación.

Los resultados obtenidos al finalizar el proceso son bastante aceptables con un error promedio de 3.73 metros con referencia al estado del arte que tiene un rango de 1 a 5 metros.

En el transcurso del desarrollo de la tesis se presentaron muchas interrogantes con respecto a cuál será el mejor método para estimar la localización. Debido a que se está trabajando con radiofrecuencia y esta variable es muy sensible a varios factores sobre todo en interiores, se descartó el método pitagoriano y se utilizó el método de *fingerprinting* por sus ventajas explicadas en el desarrollo del proyecto.

5.2 Aplicación

La utilidad de esta aplicación es localizar y dar seguimiento al niño para brindar tranquilidad al padre y/o responsable.

Para ello, se utilizan los siguientes instrumentos:

- 03 Access points: Se utilizó Access point de marca Dlink de la gama semi-empresarial para la obtención del RSSI, su ubicación fue preestablecida según el análisis de cobertura WiFi.
- 01 *Switch* con puertos PoE: Para armar la red LAN con la topología de la solución propuesta y energizar los puntos de acceso mediante el protocolo 802.11 af y así reducir cableado de alimentación.
- Dispositivo móvil, requerido para ser el nodo a ubicar.

- Laptop: Encargada del procesamiento de todo el aplicativo propietario desarrollado en lenguaje C# para estimar la ubicación.
- Dicho aplicativo, como parte final del proceso muestra una interfaz gráfica muy didáctica donde se detalla la ubicación del niño dentro de un área preestablecida como se aprecia en la figura.

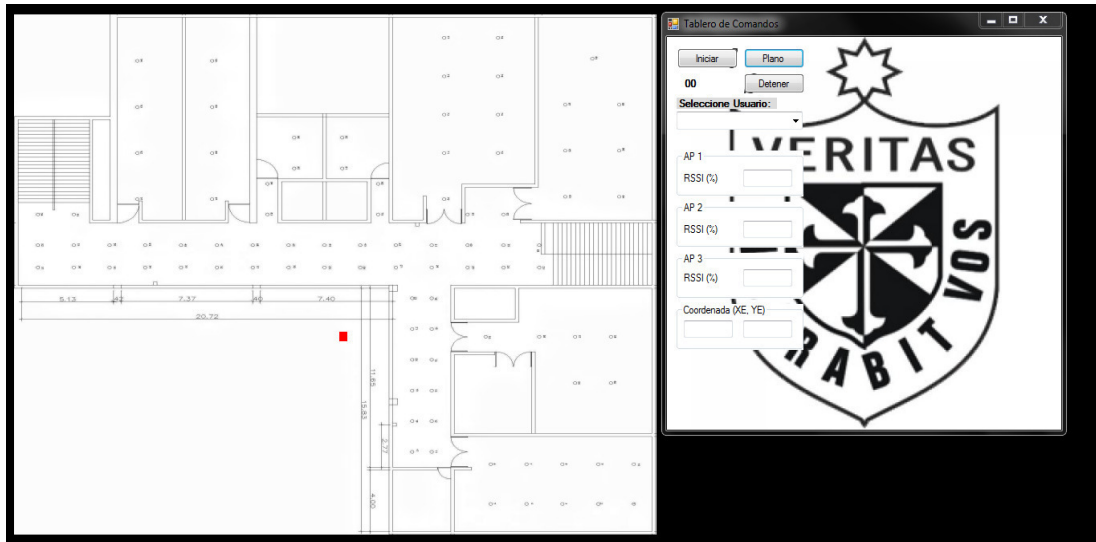


Figura 43: Entorno visual del aplicativo propietario de localización

Fuente: Propia

CONCLUSIONES

- Primera** Se utilizó la tecnología WiFi para esta solución debido a sus grandes ventajas técnicas, bajo costo, facilidad de implementación y compatibilidad con varios dispositivos que se tienen en el mercado.
- Segunda** Que el prototipo tenga su propia LAN basado en una topología en estrella para este diseño.
- Tercera** Se realizó la obtención de la variable RSSI de los 3 *access point* en tiempo real en el instante que se le solicite mediante el protocolo SNMP embebido en el aplicativo propietario de localización.
- Cuarta** Realizar la localización en un área interior preestablecida. Como caso práctico para la simulación, se consideró el piso 3 del pabellón de laboratorios, al cual se le realizó un plano en AutoCAD a escala.
- Quinta** Se eligió el método de *fingerprinting* y el cálculo de la distancia euclidiana para la estimación de la localización y no el método pitagoriano.
- Sexta** El aplicativo propietario desarrollado en el lenguaje C# permite procesar los algoritmos matemáticos, interconectar los dispositivos de red y representar en una interfaz gráfica la obtención del cuadrante bidimensional estimado y representarlo de forma pictórica.
- Séptima** Se obtuvo un tiempo de respuesta menor a 400ms en el sistema de procesamiento, por tal motivo, cumple la recomendación ITU-T G. 114 de tiempo real.

Octava El sistema tiene un margen de error promedio de 3.73 metros según las pruebas y resultados.

RECOMENDACIONES

- Primera** En cuanto a la implementación, usar de un *switch* PoE simplificará el uso de cableado.
- Segunda** Utilizar direccionamiento IP estático para reducir el tiempo de conexión entre el móvil y el punto de acceso.
- Tercera** Desarrollar un aplicativo aparte solo para el llenado de la base de datos Fingerprint y así no tener que tomar los valores a mano.
- Cuarta** Dejar distancias iguales entre cada punto de referencia en la medida de lo posible para evitar confusiones y hacer más sencillo el armado de la base de datos.
- Quinta** Tomar más de una medida en cada punto referencial y promediarlas para la etapa fuera de línea.
- Sexta** Tener a la mano un plano impreso en A2 del área donde se implementará el sistema en donde se visualicen los puntos referenciales y su número correspondiente.

GLOSARIO

- RTLS: Real-time Locating Systems.
- GUI: Graphical User Interface
- IPS: Indoor Positioning system
- IR: Infrarojo
- UWB: Ultra Wide Band.
- WPAN: Wireless Personal Area Network
- WUSB: Wireless Universal Serial Bus
- BLE: Bluetooth Low Energy
- NFC: Near field communication
- AP: Access Point
- RSSI: Received Signal Strength Indicator (Indicador de Intensidad de señal recibida).
- NAP: Nearest Access Point
- TOA: Time of Arrival
- TDOA: Time Diference of Arrival
- AOA: Angle of Arrival
- ISI: Intersymbol Interference
- ACK: Acknowledgment
- CRC: Cyclic Redundancy Check
- EIRP: Equivalent Isotropically Radiated Power
- MIMO: Multiple input – multiple output
- MIB: Management Information
- SNMP: Protocolo simple de administración de red.

FUENTES DE INFORMACIÓN

- AT&T Intellectual Property. (2014). *RTLS Future Technology Trends*. Recuperado de <https://developer.att.com/developer/forward.jsp?passedItemId=1700014>
- Bardwell, J. (2002). *Converting Signal Strength Percentage to dBm Values*. WildPackets, Inc.
- Booij, W. (2014). chief technology officer of Sonitor Technologies.
- Coleman, D., & Westcott, D. (2006). *CWNA Certified Wireless Network Administrator*. Indianapolis, Indiana: Wiley Publishing, Inc.
- Cracovski, J. I. (2007). *Tecnología emergente: banda ultra ancha*. Recuperado de <https://en.wikipedia.org/wiki/Ultra-wideband>
- De Luz, S. (2013). *GOWEX Publica un completo informe sobre el uso de las redes WiFi en el año 2013*. Madrid.
- Ditutor. (2015). *Ditutor*. Recuperado de http://www.ditutor.com/estadistica/desviacion_estandar.html
- Farahani, S. (2008). *Zigbee Wireless Networks and Transceivers*. Elsevier.
- Free Software Foundation, Inc. (2007). Recuperado de www.snmpsharpnet.com
- Frost, & Sullivan. (2013). *Análisis del Mercado de Sistemas de Localización en Tiempo Real (RTLS)*. United States.
- Fundéu BBVA. (2011). *Wifi*. Recuperado de <https://es.wikipedia.org/wiki/Wifi>
- GNU Lesser General Public License. (2007). *SnmpSharpNet*. Estados Unidos: Free Software Foundation.
- Gomez, C., & Perez, A. (2015). *Estudio de errores en la localización en espacios interiores, de dispositivos móviles por medio de tecnologías WiFi*. Universitat Oberta de Catalunya, Catalunya.

- Greenemeier, L. (2008). *A Positioning System That Goes Where GPS Can't*. Recuperado de <http://www.scientificamerican.com/article/indoor-positioning-system/>
- Gregoria Tech. (2004). *Wireless ZigBee Networks for Real-Time Location Systems*. Recuperado de http://www2.ece.gatech.edu/academic/courses/ece4007/11spring/ECE4007L04/da2/ECE4007TRP_Sheng.pdf
- Huerta, J., Schade, S., & Granell, C. (2014). *Connecting a Digital Europe through location and place*. Inspra, Italy: Springer.
- IDL. (2016). *Seguridad Ciudadana*.
- Legarretaetxebarria, A. (2011). *Sistema de localización y seguimiento de personas en interiores mediante cámara PTZ basado en las tecnologías Kinect y Ubisense*. San Sebastián.
- Lewter, B., Moshell, M., & Wirth, J. (2015). *Inexpensive Real Time Location Systems (RTLS) for Event Tracking using Existing WiFi Infrastructures*. Orlando, Florida.
- Liard, M. (Mayo de 2012). *Understanding RTLS What it is, How it's User & What You Need to Know before Deploying*. Recuperado de Zebra Technologies: <https://www.zebra.com/content/dam/zebra/white-papers/en-us/understanding-rtls-vdc.pdf>
- López, N. (2014). *Inseguridad y percepción de inseguridad en Lima, Perú*.
- Mahamod, I., & Zahid, R. (2013). *Recent Advances in Wireless Indoor Localization Techniques*. School of Electrical, Electronics & System Engineering; University Kebangsaan Malaysia (UKM); 43600 Bangi. Selangor, Malaysia: Zahid Farid et al.
- Malik, A. (2009). *RTLS for Dummies*. Indianapolis, India: Wiley Publishing Inc.
- Michael Liard. (2012). *Understanding RTLS What it is, How it's User & What You Need to Know before Deploying*. Recuperado de Zebra

Technologies: <https://www.zebra.com/content/dam/zebra/white-papers/en-us/understanding-rtls-vdc.pdf>

Nacional, R. A. (2015). *Registro de OID*. España: REDIRIS.

Organización Mundial de la Salud. (2014). *Campos electromagnéticos y salud pública: teléfonos móviles*.

Pu, C.-C., Pu, C.-H., & Lee, H.-J. (2011). *Indoor Location Tracking using*. Sunway University College; Taylor's University College; Dongseo University, Malaysia, South Korea.

The SafeWise Report. (2015). *10 Wearable Safety and GPS Devices for Kids*. Recuperado de <http://www.safewise.com/blog/10-wearable-safety-gps-devices-kids/>

Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2004). *UIT-T G.114 Serie G: Sistemas y Medios de Transmisión*. Ginebra, Suiza.

Universo Formulas. (2015). *Hipérbola*. Recuperado de <http://www.universoformulas.com/matematicas/geometria/hiperbola/>

ANEXOS

ANEXO 1

LÍNEAS DE COMANDO DEL APLICATIVO PROPIETARIO DE LOCALIZACIÓN EN TIEMPO REAL

A continuación, se muestra el programa principal del aplicativo propietario de localización. Esto incluye el uso de una librería (dll) open source (Free Software Foundation, Inc, 2007).

```
namespace RTLS
{
    public partial class Comandos : Form
    {

        private Plano planoPabellon;

        //SEGUNDERO//
        int Segundoero = 0;

        //ARREGLOS//
        double[,] SSL;
        int[,] cordenada;
        double[] SSActual = new double[3];
        int[,] SSActualMuestras = new int[5, 3];
        double[] deu = new double[35];

        //VALORES DE DISTANCIAS EUCLIDIANAS//
        double distEuMenor_1 = 1000;
        double distEuMenor_2 = 1000;
        double distEuMenor_3 = 1000;

        //VALORES DE LA POSICIÓN DE LAS DISTANCIAS EUCLIDIANAS
        MENORES//
        int distEuPos_1 = 0;
```

```

int distEuPos_2 = 0;
int distEuPos_3 = 0;

//COORDENADA ESTIMADA//
double XE;
double YE;
double D = 0;

//SNMP//
AgentParameters param_1 = new
AgentParameters(SnmpVersion.Ver2, new OctetString("public"));
AgentParameters param_2 = new
AgentParameters(SnmpVersion.Ver2, new OctetString("public"));
AgentParameters param_3 = new
AgentParameters(SnmpVersion.Ver2, new OctetString("public"));

IpAddress agent_1 = new IpAddress("192.168.1.51");
IpAddress agent_2 = new IpAddress("192.168.1.52");
IpAddress agent_3 = new IpAddress("192.168.1.53");

UdpTarget target_1;
UdpTarget target_2;
UdpTarget target_3;

Pdu pdu_1 = new Pdu(PduType.Get);
Pdu pdu_2 = new Pdu(PduType.Get);
Pdu pdu_3 = new Pdu(PduType.Get);

//UDP//
IPEndPoint ed_1;
IPEndPoint ed_2;
IPEndPoint ed_3;
Socket movil_1;
Socket movil_2;

```

```

Socket movil_3;
int muestra = 0;
public Comandos()
{
    InitializeComponent();
}
private void Comandos_Load(object sender, EventArgs e)
{
}
private void btn_Iniciar_Click(object sender, EventArgs e)
{
    //SNMP//
    pdu_1.VbList.Add("1.3.6.1.4.1.171.10.37.50.2.1.3.3.4.2.1.5.1.1");
    pdu_1.VbList.Add("1.3.6.1.4.1.171.10.37.50.2.1.3.3.4.2.1.2.1.1");

    pdu_2.VbList.Add("1.3.6.1.4.1.171.10.37.40.2.1.3.3.4.2.1.5.1.1");
    pdu_2.VbList.Add("1.3.6.1.4.1.171.10.37.40.2.1.3.3.4.2.1.2.1.1");

    pdu_3.VbList.Add("1.3.6.1.4.1.171.10.37.50.2.1.3.3.4.2.1.5.1.1");
    pdu_3.VbList.Add("1.3.6.1.4.1.171.10.37.50.2.1.3.3.4.2.1.2.1.1");

    target_1 = new UdpTarget((IPAddress)agent_1, 161, 2000, 1);
    target_2 = new UdpTarget((IPAddress)agent_2, 161, 2000, 1);
    target_3 = new UdpTarget((IPAddress)agent_3, 161, 2000, 1);

    //UDP//
    int port_1 = 800;
    int port_2 = 801;
    int port_3 = 802;
    string IPMovil_1 = "192.168.1.101";
    string IPMovil_2 = "192.168.1.102";
    string IPMovil_3 = "192.168.1.103";

    ed_1 = new IPEndPoint(IPAddress.Parse(IPMovil_1), port_1);

```

```

        ed_2 = new IPEndPoint(IPAddress.Parse(IPMovil_2), port_2);
        ed_3 = new IPEndPoint(IPAddress.Parse(IPMovil_3), port_3);

        movil_1 = new Socket(AddressFamily.InterNetwork,
SocketType.Dgram, ProtocolType.Udp);
        movil_2 = new Socket(AddressFamily.InterNetwork,
SocketType.Dgram, ProtocolType.Udp);
        movil_3 = new Socket(AddressFamily.InterNetwork,
SocketType.Dgram, ProtocolType.Udp);
        timer1.Start()
    }
    private void btn_Detener_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        timer1.Stop();
    }
    private void timer1_Tick(object sender, EventArgs e)
    {
        Segundero++;
        lbl_Segundero.Text = Segundero.ToString();
        enviar_UDP();
        SNMP_Get();
        if (muestra == 5)
        {
            timer1.Stop();
            SSActual[0] = (SSActualMuestras[0, 0] + SSActualMuestras[1, 0] +
SSActualMuestras[2, 0] + SSActualMuestras[3, 0] + SSActualMuestras[4,
0])/5.0;
            SSActual[1] = (SSActualMuestras[0, 1] + SSActualMuestras[1, 1] +
SSActualMuestras[2, 1] + SSActualMuestras[3, 1] + SSActualMuestras[4,
1])/5.0;
            SSActual[2] = (SSActualMuestras[0, 2] + SSActualMuestras[1, 2] +
SSActualMuestras[2, 2] + SSActualMuestras[3, 2] + SSActualMuestras[4,
2])/5.0;
            txt_RSSI_AP_1.Text = SSActual[0].ToString();

```

```

txt_RSSI_AP_2.Text = SSActual[1].ToString();
txt_RSSI_AP_3.Text = SSActual[2].ToString();
distancia_Euclidiana();
K_VecinosCercanos();
planoPabellon.pintarPlano(Convert.ToInt32(Math.Round(XE)),
Convert.ToInt32(Math.Round(YE)));

distEuMenor_1 = 1000;
distEuPos_1 = 0;
distEuMenor_2 = 1000;
distEuPos_2 = 0;
muestra = 0;
timer1.Start();
}
}
private void enviar_UDP()
{
Byte[] sendBytes = Encoding.ASCII.GetBytes("H");
movil_1.SendTo(sendBytes, ed_1);
movil_2.SendTo(sendBytes, ed_2);
movil_3.SendTo(sendBytes, ed_3);
}
private void SNMP_Get()
SnmpV2Packet result_1 = (SnmpV2Packet)target_1.Request(pdu_1,
param_1);
SnmpV2Packet result_2 = (SnmpV2Packet)target_2.Request(pdu_2,
param_2);
SnmpV2Packet result_3 = (SnmpV2Packet)target_3.Request(pdu_3,
param_3);

/*
txt_RSSI_AP_1.Text = result_1.Pdu.VbList[0].Value.ToString();
txt_RSSI_AP_2.Text = result_2.Pdu.VbList[0].Value.ToString();
txt_RSSI_AP_3.Text = result_3.Pdu.VbList[0].Value.ToString();

```

```

*/
    SSActualMuestras[muestra, 0] =
Convert.ToInt32(result_1.Pdu.VbList[0].Value.ToString());
    SSActualMuestras[muestra, 1] =
Convert.ToInt32(result_2.Pdu.VbList[0].Value.ToString());
    SSActualMuestras[muestra, 2] =
Convert.ToInt32(result_3.Pdu.VbList[0].Value.ToString());
    muestra++;
}
private void distancia_Euclidiana()
{
    for (int i = 0; i < 35; i++)
    {
        deu[i] = Math.Sqrt((Math.Pow(SSActual[0] - SSL[i, 0], 2)) +
(Math.Pow(SSActual[1] - SSL[i, 1], 2)) + (Math.Pow(SSActual[2] - SSL[i, 2],
2))));
    }
}

private void K_VecinosCercanos()
{
    for (int i = 0; i < 35; i++)
    {
        if (deu[i] < distEuMenor_1)
        {
            distEuMenor_1 = deu[i];
            distEuPos_1 = i;
        }
    }

    for (int i = 0; i < 35; i++)
    {
        if (deu[i] != distEuMenor_1 & deu[i] < distEuMenor_2)
        {

```

```

        distEuMenor_2 = deu[i];
        distEuPos_2 = i;
    }
}
for (int i = 0; i < 35; i++)
{
    if (deu[i] != distEuMenor_1 & deu[i] != distEuMenor_2 & deu[i] <
distEuMenor_3)
    {
        distEuMenor_3 = deu[i];
        distEuPos_3 = i;
    }
}

```

//////// K VECINOS CON PESOS //////////

```

D = (1 / (distEuMenor_1 + 0.01)) + (1 / (distEuMenor_2 + 0.01)) + (1 /
(distEuMenor_3 + 0.01));

```

```

XE = (1 / D) * ((1 / (distEuMenor_1 + 0.01)) * coordenada[distEuPos_1,
0] +
(1 / (distEuMenor_2 + 0.01)) * coordenada[distEuPos_2, 0] +
(1 / (distEuMenor_3 + 0.01)) * coordenada[distEuPos_3, 0]);

```

```

YE = (1 / D) * ((1 / (distEuMenor_1 + 0.01)) * coordenada[distEuPos_1,
1] +
(1 / (distEuMenor_2 + 0.01)) * coordenada[distEuPos_2, 1] +
(1 / (distEuMenor_3 + 0.01)) * coordenada[distEuPos_3, 1]);

```

//////// VECINO UNICO //////////

```

/*
XE = coordenada[distEuPos_1, 0];
YE = coordenada[distEuPos_1, 1];

```

```

*/

txt_XE.Text = Math.Round(XE).ToString();
txt_YE.Text = Math.Round(YE).ToString();

}

private void btnn_Plano_Click(object sender, EventArgs e)
{
    //MATRIZ FINGERPRINT//
    SSL = new double[,]
    {
        /*0*/{ 0, 0, 0 },
        /*23*/{ 69.7, 93.4, 91 },
        /*24*/{ 70, 74.7, 74.5 },
        /*25*/{ 92.7, 86.4, 89.1 },
        /*26*/{ 93.4, 83, 94.7 },
        /*27*/{ 95, 69.7, 93.6 },
        /*28*/{ 80.9, 50.9, 93.7 },
        /*29*/{ 73, 41.3, 94.3 },
        /*30*/{ 67.9, 28.7, 97.7 },
        /*31*/{ 64, 55.4, 98.6 },
        /*32*/{ 78.7, 90.6, 95.3 },
        /*33*/{ 85.5, 59.9, 98.4 },
        /*34*/{ 86.7, 45.4, 100 },
        /*35*/{ 91, 51.8, 100 },
        /*36*/{ 78.1, 42.9, 100 },
        /*37*/{ 69.1, 48, 100 },
        /*38*/{ 81.5, 82.6, 91.8 },
        /*39*/{ 90.9, 89, 79.9 },
        /*40*/{ 91.2, 83.2, 92.7 },
        /*41*/{ 89.8, 71.2, 95.7 },
        /*42*/{ 87, 53.6, 98.1 },
        /*43*/{ 68.2, 46.3, 97.4 },
    }
}

```



```
/*44*/{ 65.8, 46.5, 99.6 },
/*45*/{ 57.1, 55.1, 97.8 },
/*46*/{ 56.6, 47.5, 95.8 },
/*47*/{ 87.6, 87.9, 95.3 },
/*48*/{ 75.4, 79.6, 98.4 },
/*49*/{ 90, 76.3, 100 },
/*50*/{ 89.4, 50.9, 100 },
/*51*/{ 91.5, 42.3, 100 },
/*52*/{ 88.9, 32.4, 100 },
/*53*/{ 86.1, 25.6, 100 },
/*54*/{ 80.4, 57.5, 100 },
/*61*/{ 95, 100, 88.6 },
/*62*/{ 90.4, 95.3, 80.4 }
```

```
};
```

```
//MATRIZ DE COORDENADAS//
```

```
cordenada = new int[,]
```

```
{
```

```
/*0*/{ 0, 0 },
/*23*/{ 654, 292 },
/*24*/{ 610, 292 },
/*25*/{ 565, 292 },
/*26*/{ 520, 292 },
/*27*/{ 475, 292 },
/*28*/{ 430, 292 },
/*29*/{ 385, 292 },
/*30*/{ 340, 292 },
/*31*/{ 295, 292 },
/*32*/{ 250, 292 },
/*33*/{ 205, 292 },
/*34*/{ 160, 292 },
/*35*/{ 115, 292 },
/*36*/{ 70, 292 },
```

```
/*37*/{ 25, 292 },
/*38*/{ 654, 266 },
/*39*/{ 609, 266 },
/*40*/{ 564, 266 },
/*41*/{ 519, 266 },
/*42*/{ 474, 266 },
/*43*/{ 429, 266 },
/*44*/{ 384, 266 },
/*45*/{ 339, 266 },
/*46*/{ 294, 266 },
/*47*/{ 249, 266 },
/*48*/{ 204, 266 },
/*49*/{ 159, 266 },
/*50*/{ 114, 266 },
/*51*/{ 69, 266 },
/*52*/{ 24, 266 },
/*53*/{ 69, 231 },
/*54*/{ 24, 231 },
/*61*/{ 564, 231 },
/*62*/{ 609, 231 }
```

```
};
```

```
    planoPabellon = new Plano();
```

```
    planoPabellon.Show();
```

```
    }
```

```
    }
```

```
    }
```

ANEXO 2

PLANO DEL PABELLÓN DE LA FIA – USMP EN AUTOCAD

A continuación, se adjunta un plano en AutoCAD en A3 para que se pueda observar con mayor claridad los detalles y la numeración de los puntos referenciales.

