



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES
Y REDES

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE
SISTEMA DE POSICIONAMIENTO INDOOR BASADO EN
TECNOLOGÍAS IEEE 802.15.4F Y 802.11B PARA LA UNIDAD
EDUCATIVA ESPECIALIZADA “DR. LUIS BENAVIDES”

Trabajo de titulación presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA TELECOMUNICACIONES Y
REDES

AUTORES: ISRAEL ISAAC QUILLAY GUARACA
JESSICA JOHANA MACAS CARRASCO
TUTOR: ING. OSWALDO MARTINEZ

RIOBAMBA – ECUADOR

- 2016 -

AGRADECIMIENTO

A Dios por su protección y guía durante toda nuestra vida.

A nuestros padres por su apoyo, amor, perseverancia y por sus ganas de querer vernos superar en el ámbito personal y profesional.

A nuestros profesores en especial al Ing. Oswaldo Martínez e Ing. Edwin Altamirano por su valiosa guía y asesoramiento en el desarrollo de esta tesis.

A todos nuestros familiares por su paciencia, palabras de aliento y confianza brindada día a día.

A nuestros amigos por su ayuda, consejos y risas, que siempre los han caracterizado.

Al personal docente y administrativo de la Unidad Educativa Especializada “Dr. Luis Benavides”, por abrirnos las puertas de tan noble institución.

A la Ing. Johana Ortega por sus sugerencias.

Jessica e Israel

DEDICATORIA

A Dios por brindarme la oportunidad de vivir, por guiarme hacia el camino correcto, brindándome las fuerzas necesarias para no rendirme ante los problemas suscitados, y en especial por regalarme una maravillosa familia.

A mis padres por su apoyo incondicional, consejos, comprensión, amor, recursos, sin importar las diferencias de opiniones entre nosotros, y sobre todo por la formación en valores como persona que ahora soy.

A mis Hermanas y Sobrinas por ser ese apoyo extra que Dios me regaló, por ser las personas que han estado siempre presentes en cada día de mi vida. En especial a mi hermana Miryam ya que gracias a su fuerza de voluntad así como de sus ganas de verme superar ha logrado que yo me encuentre donde estoy, por ser mí preciada segunda mamá.

Jessica

A mi padre que con su arduo trabajo y sacrificio ha sido ejemplo a seguir, y que con su apoyo he podido salir adelante en todos los aspectos de mi vida.

A mis hermanos que de una u otra manera me han brindado su apoyo durante este proceso y que además han sabido cuidar de mi a lo largo de toda mi vida.

Israel

FIRMAS DE RESPONSABILIDAD

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA TELECOMUNICACIONES Y
REDES

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de investigación: Diseño e Implementación de un prototipo de Sistema de Posicionamiento Indoor basado en tecnologías IEEE 802.15.4F Y 802.11B para la Unidad Educativa Especializada “Dr. Luis Benavides”, de responsabilidad de los señores: Jessica Johana Macas Carrasco e Israel Isaac Quillay Guaraca, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, quedando autorizada su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Miguel Tasambay PhD. DECANO FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA.	_____	_____
Ing. Franklin Moreno. DIRECTOR DE ESCUELA ING. EN ELECTRÓNICA TELECOMUNICACIONES Y REDES.	_____	_____
Ing. Oswaldo Martínez DIRECTOR DE TESIS.	_____	_____
Ing. Edwin Altamirano MIEMBRO DEL TRIBUNAL.	_____	_____
NOTA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	_____	

Nosotros, **JESSICA JOHANA MACAS CARRASCO** e **ISRAEL ISAAC QUILLAY GUARACA**, somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis, y el patrimonio intelectual de la misma pertenece a la **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**.

Jessica Johana Macas Carrasco

Israel Isaac Quillay Guaraca

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ACRÓNIMO	DESCRIPCIÓN
A:	
ACK	Acknowledgement /Acuse de Recibo.
ADT	Android Develooment Tools /Herramientas de Desarrollo Android.
AES	Advanced Encryption Estándar /Estándar de Encriptación Avanzada.
AFH	Adaptative Frecuency Hopping /Salto de Frecuencia Adaptativa.
A-GPS	Assisted GPS / GPS Asistido.
AM	Amplitud Modulada.
AOA	Angle of Arrival / Ángulo de Arribo.
AP	Access Point / Punto de Acceso.
API	Application Programming Interface / Interfaz de Programación de Aplicaciones.
APS	Application Support.
B:	
BLE	Bluetooth Low Energy / Bluetooth de Baja Energía.
BS	Base Station / Estación Base.
BSD	Berkeley Software Distributio / Distribución de Software Berkeley.
BWA	Broadband Wireless Access.
C:	
CDMA	Code Division Multiple Acess / Multiplexación por División de Código.
COM	Puerto Serial COM.
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance / Acceso Múltiple con escucha de portadora y evasión de colisiones.
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection / Acceso Múltiple con escucha de portadora y detección de colisiones.
D:	
DSS	Decisión Support System / Sistema de Soporte de Desiciones.
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum / Espectro Ensanchado por secuencia directa

E:

E1	Trama E1
EDR	Enhanced Data Rate

F:

FDD	Feature Driven Development / Desarrollo basado en Funcionalidades
FDMA	Frequency División Multiple Access / Acceso Múltiple por División de Frecuencia.
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum / Espectro Ensanchado por Salto de Frecuencia.

G:

GNSS	Global Navigation Satellite System / Sistema Global de Navegación por Satélite.
GPS	Global Positioning System / Sistema de Posicionamiento Global.
GSM	Global System for Mobile Communications / Sistema Global para comunicaciones móviles.
GUI	Graphical User Interface / Interfaz Gráfica de Usuario.

H:

HF	High Frequency / Alta Frecuencia.
-----------	-----------------------------------

I:

I/O	Entrada/Salida.
IDE	Integrated Development Environment / Entorno de desarrollo integrado.
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers / Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.
ISM	Industrial, Scientific and Medical / Banda ISM.

J:

JVM	Java Virtual Machine / Máquina Virtual de Java.
------------	---

K:

KNN	K-Nearest Neighbor / K vecino más cercano.
------------	--

L:

LAN	Local Area Network / Red de Área Local.
LF	Low Frequency / Banda de Baja Frecuencia.
LLC	Logical Link Control / Control de Enlace Lógico.
LPS	Local Position System / Sistema de Posicionamiento Local.

M:

MAC	Media Access Control / Control de Acceso al Medio.
MAN	Metropolitan Area Network / Red de Área Metropolitana.
MBPS	Megabit por segundo
MCS	Modulation and Coding Scheme / Esquema de Modulación y Codificación.
MHZ	Megahercio.

O:

OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing / Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales.
OSI	Open System Interconnection / Modelo de Interconexión de Sistemas Abiertos.

P:

PC	Personal Computer / Computador Personal.
PHP	Hypertext Preprocessor.
PLCP	Physical Layer Convergence Protocol / Protocolo de Convergencia de Capa Física.
PMD	Physical Layer Medium Dependent / Capa Física Dependiente del Medio.
PPM	Pulse Position Modulation / Modulación por Posición de Pulso.
PPS	Precise Positioning Service / Servicio de Posicionamiento Preciso.

R:

RADAR	Radio Detection and Ranging.
RFD	Reduced Function Device / Dispositivo de Funciones Reducidas en redes Zigbee.
RFID	Radio Frequency Identification / Identificación por Radiofrecuencia.
RSS	Really Simple Syndication

RSSI	Received Signal Strength Indicator / Indicador de Fuerza de Señal Recibida.
S:	
SDK	Software Development Kit / Kit de Desarrollo de Software.
SGBD	Sistema de Gestión de Base de Datos.
SPS	Standar Positioning Service / Servicio de Posicionamiento Estándar
SQL	Structured Query Language / lenguaje declarativo de acceso a bases de datos relacionales
SSID	Service Set Identifier / Identificador de Conjunto de Servicios.
T:	
TCP	Transmission Control Protocol / Protocolo de Control de Transmisión.
TDOA	Time Difference of Arrival / Tiempo Diferencial de Arribo.
TOA	Time of Arrival / Tiempo de Arribo.
U:	
UDP	User Data Protocol / Protocolo de Datagrama de Usuario.
UHF	Ultra High Frequency / Frecuencia Ultra Alta.
USB	Universal Serial Bus / Bus Universal Serial.
UWB	Ultra Wide Band.
W:	
WIFI	Wireless Fidelity
WIMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access / interoperabilidad mundial para acceso por microondas
WKNN	WeightK-Nearest Neighbor / K vecino más cercano basado en pesos.
WLAN	Wireless Local Area Network / Red de Área Local Inalámbrica.
WORM	Write Once, Read Many / Tags de una única escritura y múltiples lecturas.
WPAN	Wireless Personal Area Network / Red Inalámbrica de Área Personal.
Z:	
ZDO	Zigbee Device Object

ÍNDICE GENERAL

PORTADA

AGRADECIMIENTO	i
DEDICATORIA	ii
FIRMAS DE RESPONSABILIDAD	iii
RESPONSABILIDAD DEL AUTOR	iv
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	v
ÍNDICE GENERAL	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE TABLAS	xv
ÍNDICE DE ANEXOS	xvi
RESUMEN	xvii
SUMMARY	xviii
INTRODUCCIÓN	xix

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	
1.1 Sistemas de Localización	1
1.2. Sistemas de Localización Outdoor	2
1.2.1. Sistema de Posicionamiento Global (GPS)	2
1.2.1.1. Descripción de los Componentes del Sistema Navstar/GPS	4
1.2.1.2. Servicios proporcionados	6
1.2.1.3. Aplicaciones del sistema GPS	7
1.2.2. Sistema de Localización GLONASS	8
1.2.2.1. Constelación Glonass	8
1.2.2.2. Modo de Funcionamiento	9
1.2.3. Sistema de Navegación GALILEO	10
1.3. Sistemas de Localización Indoor	11
1.3.1. Tecnologías Inalámbricas	12
1.3.1.1. Estándar IEEE 802.11	12
1.3.1.1.1. Estándar IEEE 802.11b	16

1.3.1.2.	<i>Bluetooth</i>	17
1.3.1.2.	<i>Zigbee</i>	19
1.3.1.3.	<i>Tecnología RFID</i>	23
1.3.1.4.	<i>Infrarrojos</i>	30
1.3.1.5.	<i>Ultrasonido</i>	30
1.3.1.6.	<i>Ultra Wideband (UWB)</i>	31
1.3.1.7.	<i>WIMAX</i>	31
1.3.2.	<i>Técnicas de Localización</i>	32
1.3.2.1.	<i>Triangulación</i>	32
1.3.2.1.1.	<i>TOF (Tiempo de Vuelo)</i>	32
1.3.2.1.2.	<i>TOA (Tiempo de Arribo)</i>	32
1.3.2.1.3.	<i>TDOA (Diferencia de Tiempo de Arribo)</i>	33
1.3.2.1.4.	<i>AOA (Ángulo de Arribo)</i>	34
1.3.2.1.5.	<i>RSSI (Receive Signal Strength Indication)</i>	35
1.3.2.2.	<i>Fingerprint o Método de Huellas</i>	36
1.3.3.	<i>Algoritmos de Localización</i>	37
1.3.3.1.	<i>Teorema de Bayes</i>	37
1.3.3.2.	<i>Redes Neuronales</i>	37
1.3.3.3.	<i>Método KNN o K vecinos más cercanos</i>	38
1.3.4.	<i>Sistemas de Localización Indoor enfocados en beneficio de las personas con Discapacidad Visual</i>	39

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODLOGICO	
2.1.	Plataformas de Desarrollo del Sistema	41
2.2.	Análisis del Sistema de Localización Indoor	43
2.3.	Diseño del Prototipo de Sistema de Localización Indoor WIFI-RFID	43
2.3.1.	<i>Descripción General del Sistema</i>	43
2.3.2.	<i>Características de los Usuarios</i>	45
2.3.3.	<i>Requerimientos Funcionales</i>	46
2.3.4.	<i>Diseño de la Lógica de Medición</i>	47
2.3.4.1.	<i>Cliente de Localización</i>	48
2.3.4.2.	<i>Servidor de Localización</i>	51
2.3.4.2.1.	<i>Algoritmo de Localización</i>	54
2.3.4.3.	<i>Aplicación Muestras</i>	55
2.3.4.4.	<i>Base de Datos</i>	56

2.3.5.	<i>Diseño de la Interfaz Gráfica</i>	58
--------	--	----

CAPÍTULO III

3. MARCO DE PRUEBAS Y RESULTADOS

3.1.	Configuración de dispositivos.....	63
3.1.1.	<i>Access Points</i>	63
3.1.2.	<i>Terminal Móvil (Cliente)</i>	65
3.2.	Simulación Cobertura WIFI.....	66
3.3.	Toma de Medidas.....	68
3.4.	Pruebas y Resultados.....	69
3.4.1.	<i>Escenarios de Pruebas</i>	69
3.4.1.1.	<i>Pruebas de error en la distancia de localización</i>	70
3.4.1.1.1.	<i>Pruebas de error en la distancia de localización WIFI</i>	70
3.4.1.1.2.	<i>Pruebas de error en la distancia de localización WIFI-RFID</i>	79
3.4.1.2.	<i>Pruebas de tiempo de respuesta del sistema</i>	88
3.4.1.2.1.	<i>Pruebas de tiempo de respuesta del sistema WiFi</i>	88
3.4.1.2.2.	<i>Pruebas de tiempo de respuesta del sistema WIFI-RFID</i>	91
3.4.1.3.	<i>Pruebas en un punto utilizando WIFI y WIFI-RFID</i>	94
3.5.	Resultados.....	97
3.6.	Limitaciones.....	98

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1.	Funcionamiento de un GPS diferencial.....	3
Figura 2-1.	Constelación de satélites NAVSTAR/GPS.....	3
Figura 3-1.	Satélite GPS.....	4
Figura 4-1.	Posición de las estaciones de seguimiento y control.....	5
Figura 5-1.	Receptor móvil GPS (celular).....	6
Figura 6-1.	Estado de GLONASS, Febrero 2010.....	9
Figura 7-1.	Constelación Galileo.....	11
Figura 8-1.	Arquitectura 802.11.....	13
Figura 9-1.	Modelo OSI y el protocolo IEEE 802.11.....	14
Figura 10-1.	Disposición de equipos bajo la norma 802.11b.....	17
Figura 11-1.	Modelo de conectividad Bluetooth.....	18
Figura 12-1.	Campos de aplicación Zigbee.....	20
Figura 13-1.	Pila de protocolos y arquitectura de capas Zigbee.....	21
Figura 14-1.	Comunicación entre tag, lector y host.....	24
Figura 15-1.	Lector fijo y móvil RFID.....	25
Figura 16-1.	Esquema de un Middleware.....	26
Figura 17-1.	Modelos de tags RFID.....	27
Figura 18-1.	Comparativa de las características asociadas a cada banda de frecuencia.....	30
Figura 19-1.	Localización por TOA.....	33
Figura 20-1.	Método de Estimación TDOA.....	34
Figura 21-1.	Esquema de posicionamiento AOA.....	35
Figura 1-2.	Interfaz de Visual Studio 2013.....	41
Figura 2-2.	Interfaz de Android Studio.....	42
Figura 3-2.	Entorno PostgreSQL.....	42
Figura 4-2.	Topología del sistema de localización WIFI-RFID.....	44
Figura 5-2.	Plano total de la Escuela Luis Benavides.....	45
Figura 6-2.	Bloque de aulas a implementar el sistema (Área de Localización).....	45
Figura 7-2.	Área de localización mallada.....	47
Figura 8-2.	Establecimiento de la comunicación entre el Cliente y el Servidor.....	49
Figura 9-2.	Variación de la señal de los 3 puntos de acceso con respecto al tiempo.....	51
Figura 10-2.	Diagrama de bloques de los procesos del servidor.....	52
Figura 11-2.	Visualización del punto en el mapa.....	54
Figura 12-2.	Íconos de las aplicaciones Muestras y Cliente.....	56
Figura 13-2.	Mapa del área de localización con el número de entradas a ponderar.....	58
Figura 14-2.	Ventana principal del sistema.....	59

Figura 15-2. Menús de la opción configuración de búsqueda.....	60
Figura 16-2. Localización WIFI.....	60
Figura 17-2. Localización y salida del punto de ubicación del usuario en el mapa (WIFI)....	61
Figura 18-2. Detección del RFID por parte del servidor.....	61
Figura 19-2. Localización y salida del punto de ubicación del usuario en el mapa (WIFI-RFID).....	62
Figura 1-3. Configuración SSID Luis Benavides (AP Huawei).....	64
Figura 2-3. Configuración SSID Luis Benavides 2 (AP D-Link).....	64
Figura 3-3. Configuración SSID Luis Benavides 3 (AP D-Link).....	65
Figura 4-3. Configuración de la dirección IP del dispositivo móvil.....	66
Figura 5-3. Cobertura del Router 1 (SSID Luis Benavides).....	67
Figura 6-3. Cobertura del Router 2 (SSID Luis Benavides 2).....	67
Figura 7-3. Cobertura del Router 3 (SSID Luis Benavides 3).....	67
Figura 8-3. Ejemplo de toma de medidas.....	68
Figura 9-3. Ubicación de los APs y Lector RFID en el plano.....	69
Figura 10-3. Ubicación de los puntos usados para las pruebas de error de distancia WIFI....	70
Figura 11-3. Ubicación del voluntario en el punto de prueba 1 (WIFI).....	71
Figura 12-3. Salida en pantalla del punto de ubicación 1 (WIFI).....	72
Figura 13-3. Ubicación del voluntario en el punto de prueba 2 (WIFI).....	73
Figura 14-3. Salida en pantalla del punto de ubicación 2 (WIFI).....	73
Figura 15-3. Ubicación del voluntario en el punto de prueba 3 (WIFI).....	74
Figura 16-3. Salida en pantalla del punto de ubicación 3 (WIFI).....	75
Figura 17-3. Ubicación del voluntario punto de prueba 4 (WIFI).....	76
Figura 18-3. Salida en pantalla del punto de ubicación 4 (WIFI).....	76
Figura 19-3. Ubicación del voluntario en el punto de prueba 5 (WIFI).....	77
Figura 20-3. Salida en pantalla del punto de ubicación 5 (WIFI).....	78
Figura 21-3. Ubicación de los puntos usados para las pruebas de error de distancia (WIFI-RFID).....	79
Figura 22-3. Ubicación del voluntario en el punto 1 (WIFI-RFID).....	80
Figura 23-3. Salida en pantalla del punto 1 (WIFI-RFID).....	80
Figura 24-3. Ubicación del voluntario en el punto 2 (WIFI-RFID).....	81
Figura 25-3. Salida en pantalla del punto 2 (WIFI-RFID).....	82
Figura 26-3. Ubicación del voluntario en el punto 3 (WIFI-RFID).....	83
Figura 27-3. Salida en pantalla del punto 3 (WIFI-RFID).....	83
Figura 28-3. Ubicación del voluntario en el punto 4 (WIFI-RFID).....	84
Figura 29-3. Salida en pantalla del punto 4 (WIFI-RFID).....	85
Figura 30-3. Ubicación del voluntario en el punto 5 (WIFI-RFID).....	86

Figura 31-3. Salida en pantalla del punto 5 (WIFI-RFID).....	86
Figura 32-3. Tiempo de ejecución del punto 1 (WIFI).....	88
Figura 33-3. Tiempo de ejecución del punto 2 (WIFI).....	89
Figura 34-3. Tiempo de ejecución del punto 3 (WIFI).....	89
Figura 35-3. Tiempo de ejecución del punto 4 (WIFI).....	90
Figura 36-3. Tiempo de ejecución del punto 5 (WIFI).....	90
Figura 37-3. Tiempo de ejecución del punto 1 (WIFI-RFID).....	91
Figura 38-3. Tiempo de ejecución del punto 2 (WIFI-RFID).....	92
Figura 39-3. Tiempo de ejecución del punto 3 (WIFI-RFID).....	92
Figura 40-3. Tiempo de ejecución del punto 4 (WIFI-RFID).....	93
Figura 41-3. Tiempo de ejecución del punto 5 (WIFI-RFID).....	93
Figura 42-3. Ubicación del voluntario en el punto de muestra 100.....	94
Figura 43-3. Localización del usuario en el punto de muestra 100 (WIFI).....	95
Figura 44-3. Localización del usuario en el punto de muestra 100 (WIFI-RFID).....	96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Extensiones de los estándares IEEE 802.11.....	15
Tabla 2-1. Características del estándar 802.11b.....	16
Tabla 3-1. Comparación de técnicas de localización.....	36
Tabla 4-1. Ejemplo de base de datos o radio-map.....	38
Tabla 1-2. Vectores con las posiciones en X e Y.....	54
Tabla 2-2. Nuevos vectores X e Y.....	55
Tabla 3-2. Modelo de base de datos con las medidas de 6 puntos.....	57
Tabla 1-3. Resultados pruebas de error de distancia en la localización WIFI.....	79
Tabla 2-3. Resultados pruebas de error de distancia en la localización WIFI-RFID.....	87
Tabla 3-3. Resultados pruebas de tiempo de respuesta del sistema WIFI.....	91
Tabla 4-3. Resultados pruebas de tiempo de respuesta del sistema WIFI-RFID.....	94

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: Descripción de los dispositivos empleados en el sistema

ANEXO B: Coordenadas de ubicación en el plano de los puntos muestreados

ANEXO C: Código de Configuración de la Aplicación Servidor

ANEXO D: Código de Configuración de la Aplicación Cliente

ANEXO E: Código de Configuración de la Aplicación Muestras

ANEXO F: Código de Creación de la Base de Datos

ANEXO G: Certificación de la Unidad Educativa Dr. Luis Benavides

RESUMEN

En el siguiente trabajo de titulación se analizaron las tecnologías WIFI y RFID para diseñar e implementar un prototipo de sistema de posicionamiento Indoor en la Unidad Educativa Especializada “Dr. Luis Benavides”. El sistema consta de una etiqueta RFID con su respectivo lector, tres access point, un dispositivo móvil con las aplicaciones cliente y toma de muestras instaladas y por último un computador con el servidor de localización y la base de datos. El servidor de localización realiza la petición de búsqueda del usuario y para obtener un resultado emplea el algoritmo WKNN que compara los niveles de potencia previamente almacenados en una base de datos recogidos por la aplicación toma de muestras con los emitidos en ese momento por el dispositivo móvil que lleva el usuario en conjunto con una tarjeta RFID que nos permite disminuir parámetros de búsqueda como tiempo y espacio físico dentro del sistema, de esta manera es posible escoger entre los niveles más parecidos entre ambos y mostrar el punto de ubicación del portador de los dispositivos. Se empleó la técnica de toma de huellas o fingerprint por su bajo nivel de complejidad, además de los lenguajes de programación Visual C# y Android Studio, así como el uso de PostgreSQL para la elaboración de la base de datos. Con la implementación del prototipo se logró validar el sistema mediante pruebas de funcionamiento llegándose a determinar que al utilizar WIFI y RFID en conjunto el nivel de precisión del cálculo del posicionamiento es relativamente mayor que al usarlas aisladamente, obteniéndose una exactitud promedio de 0,658 m con respecto a la posición real del usuario. Se concluye que es posible el uso en conjunto de las dos tecnologías mencionadas por lo que se recomienda su implementación en la institución educativa, debido a su bajo costo y resultados favorables.

Palabras clave: <SISTEMA DE POSICIONAMIENTO> <LOCALIZACIÓN EN INTERIORES> <CLIENTE-SERVIDOR> <WIFI [WIRELESS FIDELITY]> <RFID [RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION]> <WKNN [WEIGHTK-NEAREST NEIGHBOOR]> <NIVEL DE POTENCIA DE LA SEÑAL> <TELECOMUNICACIONES>

SUMMARY

In the following research WIFI (Wireless Fidelity) and RFID (Radio Frequency Identification) technologies were analysed in order to design and implement a prototype system for indoor positioning at Unidad Educativa Especializada “Dr. Luis Benavides”. The system consist of a RFID label with its respective reader, three access points, a mobile device with client application and sampling collection installed, and finally a computer with the location server and the database. The location server makes a request of user search in order to obtain a result uses the WKNN (K-Nearest Weight Neighbor) algorithm which compares the power levels previously stored in a database collected by the application of sample collection issued at that time by the mobile device which is carried by the user with a RFID card that allows reducing search parameters such as: time and physical space within the system. Thus, it is possible to choose from similar levels among them and show the location point of the device carriers. A taking fingerprint technique was applied because of its lows level of complexity with Visual C# and Studio Android programming languages, as well as the use of PostgreSQL in order to develop of the database. With the implementation of the prototype was possible to validate the system through test runs determining that the use of both RFID and WIFI the level of calculation accuracy of positioning is relatively higher obtaining an average of 0,658 m related to the real position of the user. It is concluded that it is possible the use of both technologies mentioned above, thus, it is recommended its implementation in the institution because of its low cost and positive results.

Keywords: <POSITIONING SYSTEM> <LOCATION INDOORS> <CLIENT-SERVER>
<WIFI [WIRELESS FIDELITY]> <RFID [RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION]>
<WKNN [WEIGHT K-NEAREST NEIGHBOOR]> <POWER LEVEL SIGNAL>
<TELECOMMUNICATIONS>

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de localización en los últimos años se han consolidado en una tecnología de gran utilidad tanto a nivel empresarial como en la vida cotidiana, existe una variedad considerable de actividades que emplean su uso, dentro de los sistemas de localización outdoor de mayor popularidad se pueden citar GPS, GLONASS, GALILEO, los que constituyen herramientas que en la mayoría de casos son aplicadas para el rastreo de personas u objetos, pero al hablar de espacios interiores resultan imprecisos para el mismo fin, lo que genera un gran vacío tecnológico debido a que la mayoría de las actividades son realizadas en estos entornos.

Actualmente existen sistemas que tratan de resolver este problema, la mayor parte de ellos se basan en tecnologías de radiofrecuencia para poder localizar a un determinado objetivo, dentro de los cuales podemos nombrar sistemas de localización basados en WIFI, Bluetooth, Zigbee, UWB, infrarrojos y RFID, sistemas que han logrado diferentes resultados de acuerdo a la tecnología aplicada, todos ellos con similares características y un alto grado de aceptación.

El objetivo de este trabajo es generar un prototipo de sistema de localización INDOOR, el cual combine dos de las tecnologías mencionadas anteriormente verificando su posibilidad e intentando de esta manera mejorar los logros alcanzados hasta el momento, escogiendo para este fin las tecnologías RFID y WIFI. Esta elección se la hizo debido a que RFID constituye la tecnología de localización indoor más empleada por su facilidad de implementación, mientras que WI-FI representa costos bajos gracias al empleo de la misma infraestructura de conexión a internet.

Para la implementación del sistema se ha escogido como escenario de aplicación a la Unidad Educativa Especializada “Dr. Luis Benavides” ubicada en la ciudad de Riobamba en las calles Manuel Elicio Flor y Princesa Cori, en donde se educan alrededor de 17 niños con discapacidad visual, entorno en el que será de gran ayuda para el monitoreo de las personas con mayor grado de vulnerabilidad a accidentes o desapariciones dentro de la infraestructura.

El trabajo está estructurado en tres capítulos. El primer capítulo se detalla información de los sistemas de localización tanto para entornos OUTDOOR como INDOOR centrándonos en los segundos, así como las tecnologías y técnicas empleadas en el proceso de localización y

posicionamiento para de esta manera lograr un mayor enfoque hacia el trabajo realizado. En el segundo capítulo se puntualiza en el análisis y diseño requerido para proceder a desarrollar el sistema de localización, en el diseño se citan aspectos importantes como la combinación de las tecnologías, el algoritmo de localización utilizado y la estructuración del software con el que se administrará el sistema, por último en el tercer capítulo se describe la implementación del prototipo de sistema para lo cual se define la programación de los equipos, la forma como se interconectaron físicamente, así como las pruebas y resultados pertinentes para la validación del sistema.

ANTECEDENTES

Debido al auge de los sistemas de posicionamiento en interiores en las últimas décadas se han incrementado el número de soluciones relativas a este problema, sin embargo ninguna de éstas soluciones constituyen un método global y extendido como es el caso del GPS utilizado para el mismo fin pero en entornos exteriores. Sin embargo al hablar de localización de personas u objetos dentro de hospitales, edificios y entornos parecidos se torna difícil el poder aplicar las mismas técnicas, es ahí donde nace el concepto de sistemas de posicionamiento local (LPS) con el cual se logra el mismo objetivo debido a que sistemas satelitales como GPS o GLONASS no son útiles para establecer una ubicación exacta en el ámbito indoor ya que las microondas que transmiten son atenuadas por los techos, paredes y demás objetos que podemos encontrar en el interior de un edificio. (Rodríguez, 2010, p. 60).

Los sistemas de posicionamiento indoor han tenido un rápido desarrollo, se destaca entre los más importantes SnapTrack de Qualcomm Comp., el cual es pionero del GPS asistido (A-GPS), con una exactitud de 5,50 metros indoor, ATmel, y U-blox que anunciaron la disponibilidad de Supersense una tecnología con la que es posible navegar en el interior de edificios y accidentes geográficos muy pronunciado con una sensibilidad del sistema de -158dBm4 y Locata Corp., que dispone de su propia tecnología de localización, llamada Locata, apto tanto para interiores como para exteriores. (González, 2013, pp. 125-126). Estos sistemas además utilizan diferentes tecnologías para el intercambio de información como lo son WIFI, GSM, RFID, entre otras, razón por la que operan de distinta manera de acuerdo al entorno.

El avance de la tecnología en cuanto a localización en interiores ha hecho que se puedan utilizar técnicas que antes eran restringidas para este propósito en equipos de nueva generación, lo cual ha desatado el desarrollo de aplicaciones en distintos campos como sistema de transporte inteligente, facturación dependiendo de la localización, servicios de información dependientes

de la ubicación o del seguimiento del usuario, las cuales requieren de una precisión muy alta tanto en exteriores como en interiores. (Ruíz, 2012, p. 5). Sin embargo se puede señalar que el uso de UWB como técnica de transmisión de la información hará que se tenga un rendimiento mayor en cualquier tipo de aplicación que utilice estos sistemas.

Los sistemas de posicionamiento indoor tienen un gran alcance debido a las aplicaciones actuales y futuras en las que se los utilizará, lo cual supone un gran impacto en distintas áreas como en la sociedad al poder ser utilizados como ayuda para personas con capacidades especiales y evitar en algunos casos su desaparición. En el mundo tecnológico, como se ha visto se desarrollan y seguirán desarrollando diferentes aplicaciones que se sustentan en el funcionamiento de estos sistemas e impacto en el medio ambiente ya que no existe radiación de señales en espacios abiertos porque son utilizados en interiores.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Es posible diseñar un sistema de posicionamiento INDOOR basado en tecnologías 802.15.4f y 802.11b para la unidad educativa especializada Dr. “Luis Benavides”?

SISTEMATIZACIÓN

¿Por qué es necesario un sistema de localización indoor si existe el GPS u otros sistemas de localización ampliamente extendidos a nivel mundial?

¿Existe una técnica fija que satisfaga completamente las necesidades de localización indoor?

¿Cuáles son las características que debe poseer un sistema de localización indoor basado en WIFI-RFID?

¿Debido a qué es conveniente utilizar las tecnologías WIFI-RFID en proyectos de localización indoor?

¿Qué beneficios puede proporcionar a las personas con capacidades especiales un sistema de posicionamiento indoor?

¿Este prototipo podrá ser utilizado para satisfacer otras necesidades?

JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO DE TESIS

Justificación Teórica

La presente investigación se fundamenta en la utilidad y aplicabilidad de la tecnología WIFI-RFID en entornos de posicionamiento indoor, enfocada hacia la ayuda de personas con

capacidades especiales o en situación de emergencia, cabe recalcar la existencia de estudios similares como: Implementación y desarrollo de un sistema de localización en interiores mediante RFID desarrollado por Alexandra Ruber Royo de la Universidad de Zaragoza, Localización personal en entornos interiores con tecnología RFID de los autores Fernando Seco, Katherina Koutsou, Francisco Ramos y Antonio Jiménez publicado por la Revista Iberoamericana de Autonomía e Informática Industrial RIAL o el Sistema de Localización de personas y recursos para recintos cerrados, basado en WI-FI cuyo autor es Rodrigo Felipe Vera Barreraperteneciente a la Universidad de Chile, en todos los estudios mencionados se plantean soluciones y métodos para el monitoreo y control de personas dentro de una infraestructura empleando tecnologías RFID o WIFI, sin embargo nuestra propuesta difiere en el empleo en conjunto de tecnologías WIFI y RFID que poseen los equipos para tratar de obtener un mejor nivel de respuesta.

Los sistemas de posicionamiento Indoor, actualmente están cobrando gran importancia en cuanto al rastreo de personas o bienes, ya que nos permiten conocer la ubicación de cualquier objeto o individuo en tiempo real con un nivel elevado de precisión, sin embargo poseen inconvenientes a tal punto de que todavía no exista un método único de funcionamiento. Actualmente existen múltiples retos en cuanto a localización y posicionamiento en espacios interiores los cuales radican en el hecho de que la señal proveniente de los satélites de GPS tiende a dispersarse y atenuarse al tratar de atravesar las paredes de las edificaciones produciéndose un efecto multitrayecto de la misma.

La tecnología RFID o de Identificadores por Radio Frecuencia consta de un lector y varios tags, el primero interroga a las etiquetas de su entorno y estas responden con su propio y único código de identificación. Las etiquetas pueden ser pasivas (sin alimentación) o activas (con alimentación) y son equivalentes en funcionalidad al código de barras de un producto de consumo, pero con la ventaja que se pueden leer varias etiquetas al mismo tiempo y a larga distancia (0 a 10 m, dependiendo de las frecuencias utilizadas). Con una etiqueta sobre cada persona y colocando varios lectores por el entorno, es posible conocer de forma simbólica por donde circula la persona o cualquier otro objeto de interés. Un ejemplo de sistema de localización es el denominado Landmarc. (Jiménez et al., 2005, pp. 7-8).

Con el estudio a realizar se pretende generar un sistema piloto de posicionamiento con un grado bajo de error en la predicción de la ubicación de una persona, el mismo que se implementará en la unidad educativa especializada Dr. Luis Benavides la cual constituye un centro de formación fiscal para niños con discapacidad visual ubicada en las calles Av. Manuel Elicio Flor 40-50 y Princesa Cori de la parroquia Lizarzaburu en la ciudad de Riobamba, esta unidad cuenta con una

infraestructura de una planta la cual alberga en la actualidad a un total de 17 niños que acuden regularmente a la institución, bajo la dirección del Dr. Miguel Granja. Este trabajo además puede servir de modelo aplicativo para cualquier entorno sea este un hospital, escuela, guardería, etc., los resultados obtenidos pueden ser de utilidad en el rastreo de personas que hayan sufrido algún accidente, niños, adultos mayores o individuos que se encuentren incomunicados siendo difícil su ubicación.

Justificación Aplicativa

El sistema de localización constará básicamente de una etiqueta RFID con su respectivo lector, tres Access Point, un dispositivo móvil en que se ejecutará la aplicación cliente y un computador que contendrá al servidor de localización y la base de datos.

El dispositivo móvil por medio de la aplicación cliente enviará valores de las potencias de señal WIFI de los Access Point captadas en ese instante, los mismos que serán almacenadas previamente en una base de datos con el fin de una comparación posterior, estas potencias serán asociadas a un lector RFID dependiendo de si están o no dentro de su rango de cobertura, de esta manera se pretende disminuir el tiempo de búsqueda en la base.

El servidor es el que se encarga de ejecutar el algoritmo de posicionamiento y de realizar la petición de localización y la comparación entre las muestras almacenadas previamente y las que se obtendrán al momento de realizar dicha petición, además después de encontrar al individuo ubica su posición en un mapa del sitio que será desplegado en pantalla, para de ésta manera conocer todos los puntos de desplazamiento de la persona, así como la ubicación en el instante del monitoreo. Al emplear en forma conjunta la tecnología RFID por medio de los tags y lector, y la tecnología WI-FI empleando los Access Point, se pretende lograr mayor precisión del punto de salida y mejor tiempo de respuesta.

Para tener una perspectiva previa a la instalación se utilizará el software HeatMapper Ekahau con el cual se trazará un mapa de cobertura indicando la potencia de señal transmitida por los Access Point, esto con el objeto de observar el comportamiento del sistema en cuanto a señal WIFI. Una vez concretados los puntos anteriores se procederá a instaurar la topología en las instalaciones de la Unidad Educativa y con la ayuda de un voluntario se determinará su ubicación dentro de la instalación al otorgarle un dispositivo móvil.

Al poner en funcionamiento el sistema de posicionamiento en interiores con tecnología WIFI-RFID será necesario tomar pruebas de su rendimiento para así determinar cuán eficiente resultó

el diseño empleado, éste método de localización y posicionamiento puede ser empleado no solo para personas con capacidades especiales como ha sido concebido originalmente, sino también para cualquier usuario que en determinado instante requiera conocer su paradero ya sea por una emergencia o por obtener información del lugar.

OBJETIVOS

Objetivo General

Analizar las tecnologías WIFI y RFID para diseñar e implementar un prototipo de sistema de posicionamiento indoor para la Unidad Educativa Especializada “Dr. Luis Benavides”

Objetivos Específicos

- Analizar la forma en la que operan los sistemas de posicionamiento y sus características generales, centrandolo en los sistemas INDOOR basados en WIFI y RFID.
- Plantear el esquema físico y lógico de un sistema de posicionamiento indoor basado en WIFI-RFID acoplado al escenario de aplicación (Unidad Educativa Especializada Dr. “Luis Benavides”).
- Simular el escenario del sistema de localización dentro de un espacio cerrado con el fin de verificación del funcionamiento del mismo.
- Implementar el esquema planteado en el campo de estudio, el cual se encuentra conformado por etiquetas y lector RFID, puntos de acceso, servidor y cliente de posicionamiento, además de un programa de aplicación de usuario.
- Validar el sistema mediante pruebas de funcionamiento, determinando de esta manera el grado de error existente tanto de equipos como de software de posicionamiento.
- Ayudar en el proceso de movilidad e integración a las personas con capacidades especiales específicamente a aquellas que poseen discapacidad visual.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEORICO REFERENCIAL

1.1. Sistemas de Localización

Un sistema de posicionamiento o sistema de localización es una herramienta tecnológica útil para reconocer y visualizar la ubicación de un objeto o persona dentro de un escenario específico, básicamente un sistema de localización está formado por:

- Un conjunto de nodos que se encargan de emitir una señal al medio, y cumplen con la función del direccionamiento.
- Dispositivos que reciben la señal emitida
- Un proceso donde se evalúan una serie de parámetros, con el objetivo de calcular la posición de una persona u objeto partiendo del conocimiento de la posición de los nodos existentes.

(Núñez, 2009, p. 4).

Las tecnologías de localización se emplean en un sistema sea este para espacios abiertos (OUTDOOR) o en interiores de edificaciones (INDOOR) con el fin de lograr la ubicación de un objetivo, estas tecnologías están compuestas por hardware y software, el hardware son todos los elementos físicos que componen el sistema como por ejemplo satélites, antenas, Access Point, etiquetas, etc. y el software lo conforman las técnicas o algoritmos utilizados para precisar la posición. Dependiendo de la tecnología aplicada, los sistemas presentan diferentes ventajas e inconvenientes en cuanto a velocidad, capacidad, error dentro del sistema, entre otros.

Para lograr el posicionamiento dentro de un entorno OUTDOOR se emplean básicamente tres sistemas empleados a nivel mundial los cuáles son Galileo, GLONASS y GPS en base a los cuales se han desarrollado un sin número de aplicaciones de localización como lo son Google Maps, Google Earth, etc., además de un sin fin de aplicaciones de software libre debido a que la mayoría de Smartphones están basados en Android y utilizan GPS para su funcionamiento.

Dentro de los sistemas de localización INDOOR, se utiliza cualquier tipo de tecnología inalámbrica debido a que no existe un protocolo estándar para su implementación, dentro de estas tecnologías encontramos: infrarrojos, ultrasonidos, WLAN, WIMAX, Bluetooth, ZigBee, UWB, RFID, con cada una de éstas se han obtenido resultados distintos. (Pereira & Polo, 2015, p. 27).

1.2. Sistemas de Localización Outdoor

Estos sistemas son utilizados para la ubicación de un objetivo en espacios abiertos, por lo general los nodos con los que trabajan estos sistemas son satélites, razón por la que es necesaria la existencia de línea de vista entre el nodo que emite la señal utilizada para el posicionamiento y el dispositivo que la recibe.

1.2.1. Sistema de Posicionamiento Global (GPS)

El sistema global de posicionamiento global GPS fue desarrollado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, se encarga de proporcionar estimaciones precisas de posición, velocidad y tiempo las 24 horas del día, bajo cualquier condición climatológica y en cualquier parte del globo terráqueo.

Los receptores GPS calculan la posición mediante información que reciben desde determinados satélites de un conjunto de 24 que se encuentran orbitando alrededor de la Tierra, la información recibida consta de un grupo de números y letras que determinan un punto sobre la superficie terrestre.

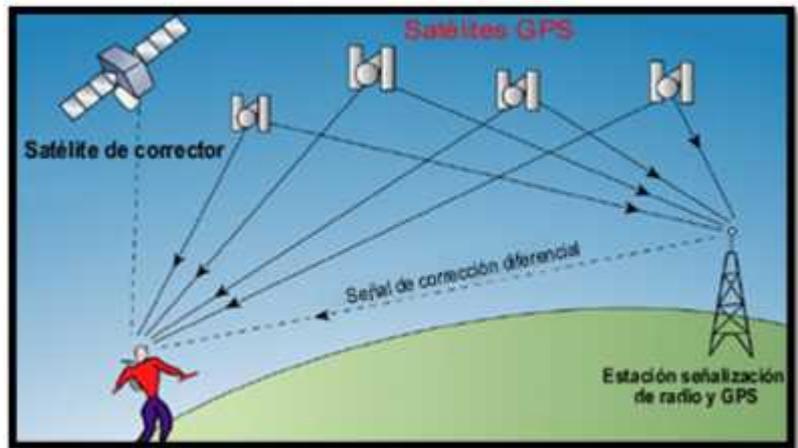


Figura 1-1. Funcionamiento de un GPS diferencial

Fuente:<https://www.fing.edu.uy/inco/proyectos/butia/mediawiki/index.php/Utilizaci%>

Pese a los grandes beneficios que nos provee GPS existen también limitaciones ya que las señales de radio emitidas por los satélites no poseen la capacidad de atravesar rocas, edificios, bosques o selvas frondosas, accidentes geográficos, etc., razón por la cual no existirá cobertura GPS en estos sitios, además en determinadas áreas remotas y a ciertas horas del día puede existir cobertura tan solo del mínimo de satélites necesarios para obtener una posición, también la ubicación exacta de un punto en el mapa va a depender de la sensibilidad de la antena del receptor. (Letham, 2001, p. 5).



Figura 2-2. Constelación de satélites NAVSTAR/GPS

Fuente:<http://www.xatakaciencia.com/tecnologia/fundamentos-del-gps>

Para realizar el proceso de trilateración el sistema GPS realiza el cálculo de la posición de un punto cualquiera en función de las coordenadas (x,y,z), el cálculo de la distancia de un punto a la red de satélites NAVSTAR/GPS se lo realiza con un mínimo de 3 satélites cuya posición es conocida, ésta distancia se mide por medio de la multiplicación del tiempo de vuelo de la señal satelital emitida por su velocidad de propagación, para esta medición es necesaria la sincronización de los relojes satelitales con los receptores, pues ambos deben generar el mismo código. Sin embargo debido a la alta precisión de los relojes satelitales en contraste con los de cuarzo que generalmente forman parte de un receptor GPS, se llegan a generar errores de sincronismo (pseudodistancias), para evitar estos problemas se considera necesario un mínimo de cuatro satélites para estimar la posición correcta. (Letham, 2001, p. 6).

1.2.1.1. Descripción de los Componentes del Sistema Navstar/GPS

Se encuentra compuesto de tres segmentos:

- ***Segmento del Espacio:***

Se encuentra conformado por 6 planos con rotación de 55° distribuidos uniformemente en el plano del Ecuador, en cada plano se encuentran ubicados 4 satélites. Los satélites se encuentran ubicados a una altura de 20200 km de la superficie terrestre con velocidad angular de 12 horas es decir una revolución cada 12 horas. Esta constelación de satélites fue concebida con el objetivo de proporcionar cobertura en cualquier parte del mundo, las 24 horas del día, siete días a la semana. (Peñañiel, 2001, p. 27). .

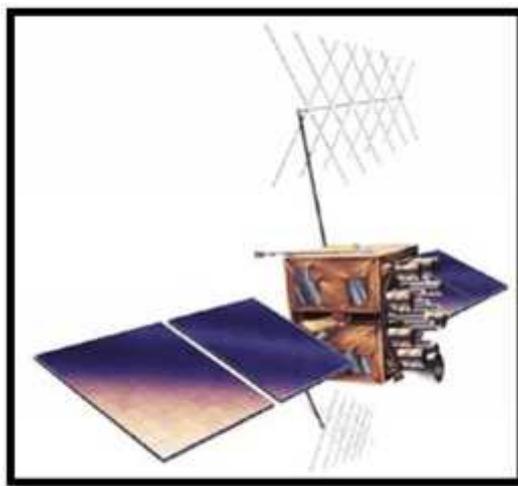


Figura 3-1. Satélite GPS

Fuente: <http>

Los satélites de Rockwell International, pertenecen a tres diferentes bloques: I, II y IIR.

Satélites del bloque I.- Este bloque fue experimental, se encuentra conformado por los prototipos iniciales de satélites que todavía se encuentran en servicio parcial. El tiempo de vida promedio de estos satélites es de 4.5 años, mientras que los del bloque II es de 7.5 a 10 años.

Satélites del bloque II.- Para este grupo de satélites el acceso es restringido en comparación con los del bloque I. Una variación de estos satélites constituyen los del bloque IIA que incorporan Anti-Spoofing, que es una técnica de encriptación de la señal.

Satélites del bloque IIR.- Reemplazarán a los anteriores bloques mediante un Máster de Hidrógeno, logrando precisión mayor que los osciladores de rubidio y cesio.

- **Segmento de Control:**

Es el encargado del funcionamiento y operatividad del sistema GPS, posee una estación principal de control llamada MCS ubicada en Colorado Springs y otras cuatro estaciones distribuidas a lo largo del planeta, las 5 estaciones desarrollan funciones de monitoreo, con el objetivo de recibir señales satelitales, capturar datos meteorológicos, y transmitir datos a la estación maestra de control para el cálculo de las efemérides y correcciones de los relojes de los satélites GPS. La estación principal tiene la responsabilidad de realizar posibles maniobras orbitales o sustitución de satélites GPS.

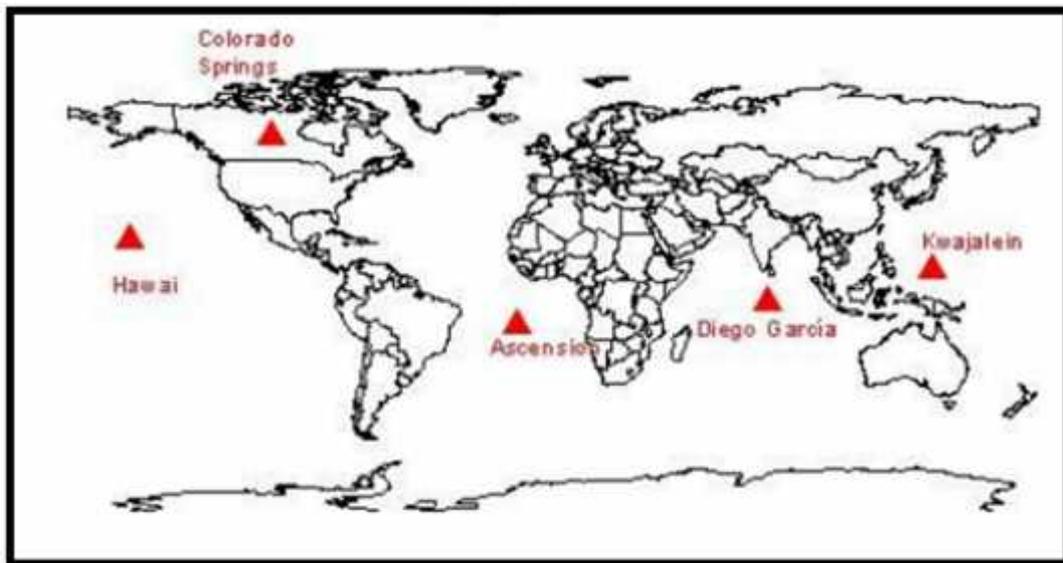


Figura 4- 1. Posición de las estaciones de seguimiento y control

Fuente: <http://www.aag.org/galleries/mycoe-files/modulo2.pdf>

- **Segmento del usuario:**

Lo constituyen los receptores civiles y militares de señal GPS, localizados en cualquier parte del planeta, se encargan de recibir y procesar señales de satélites de la constelación NAVSTAR de forma simultánea o secuencial. El diseño de estos equipos receptores dependerá de la forma de aplicación del mismo ya que puede emplearse en la navegación aérea, marítima, espacial estableciendo escalas de tiempo, geodesia y geofísica.



Figura 5-1. Receptor móvil GPS (celular)

Fuente: <http://www.taringa.net/post/celulares/18503990/Sabias-que-tu-Celular>

Un receptor GPS consta de elementos como: preamplificador, procesador de la señal recibida con su correspondiente software de aplicación, dispositivos de almacenamiento de datos, sensores meteorológicos y oscilador atómico interno o externo. (Berrocoso et al., 2003, pp. 8-9 y 16-17).

1.2.1.2. Servicios proporcionados

GPS proporciona dos tipos de posicionamiento: Posicionamiento Preciso (PPS) y Posicionamiento Estándar (SPS), siendo el primero de libre acceso a la población civil, mientras que PPS es usado por el ejército de Estados Unidos de Norteamérica.

PPS

Constituye un sistema muy preciso, su error de posición es de 21 m en horizontal y 27,7 m en vertical, su precisión respecto a la hora es de 100 nanosegundos. Las señales PPS son transmitidas en frecuencias L1 y L2 las cuales poseen un código de precisión P, si éste código se encuentra encriptado se lo denominada Código Y, al momento de transmitir el código Y se pone en funcionamiento la modalidad Anti-Spoofing o Anti-Engaño, mientras que la señal de frecuencia L2 determina el retraso introducido por las capas de la ionósfera.

Poseen acceso a este tipo de sistema solo el Ejército de los Estados Unidos y sus aliados, el gobierno estadounidense y ciertos civiles que poseen autorización especial, algunos usuarios que no pertenecen a los grupos anteriores pueden acceder a este sistema en caso de que su trabajo sea de interés para los EEUU o el uso de SPS o GPS diferencial no constituya un medio viable de uso, además el usuario debe asegurar el respeto hacia un nivel de seguridad impuesto.

SPS

La diferencia con el sistema PPS se basa en una pequeña modificación por parte del ejército del valor reloj del satélite por medio de un generador pseudoaleatorio con el objeto de proteger la seguridad de los Estados Unidos, también el ejército Norteamericano se reserva el derecho de modificar cualquier información emitida por los satélite.

El margen de error es inferior a 100 m en horizontal, 156 m en vertical, así como una precisión de 340 nanosegundos en cuanto a la hora estimada. Las señales SPS son transmitidas en una sola frecuencia L1 que contiene el código de adquisición y los mensajes de navegación. (Correia, 2002, pp. 13 y 4).

1.2.1.3. Aplicaciones del sistema GPS

Existen diversos campos de aplicación en los que es necesario conocer nuestra posición, entre las principales áreas de aplicación se encuentran:

Posicionamiento.- Mediante el GPS es posible determinar nuestra posición con un nivel bajo de error, bajo cualquier circunstancia y lugar del planeta.

Navegación.- Es útil para calcular posiciones en cualquier momento y de forma reiterada, debido a esto si conocemos dos puntos se puede determinar un recorrido o la mejor ruta entre ellos.

Rastreo.- Una persona, vehículo, objeto o animal puede ser monitoreado desde una central de rastreo por medio de la adaptación del GPS a sistemas de comunicación.

Topografía.- Los topógrafos cuentan con esta herramienta para determinar puntos de referencia, accidentes geográficos, infraestructuras, etc., permitiéndoles disponer de información topográfica precisa, libre de errores y actualizable.

Sincronización.- Gracias a la opción de medición de tiempo se pueden usar los receptores GPS para prever eventos que sucederán o suceden en determinado momento, a los cuales se los puede sincronizar, unificar horarios, etc. (Gutiérrez, 2005, pp. 164 y 165)

1.2.2. Sistema de Localización GLONASS

Se considera como la única alternativa al sistema GPS que actualmente se encuentra completa y operativa. El sistema funciona oficialmente desde el 24 de septiembre de 1993, por decreto de Boris Yeltsin, Presidente de la Federación Rusa y experimentó varios cambios hasta 1996, cada satélite que conforma éste sistema está ubicado a 19100 Km y una órbita de 25510 Km en referencia a la superficie terrestre, inclinación de 64,8 grados y un periodo orbital de 11 horas y 15 minutos.

1.2.2.1. Constelación GLONASS

Contiene 24 satélites en total, 21 activos y 3 de reserva los cuales están ubicados en 3 planos orbitales separados 120°, con lo cual es posible ver al menos cuatro satélites continuos desde el 97% del globo terráqueo, cada plano orbital tiene ocho satélites. Para tener un resultado eficiente el sistema GLONASS ocupa periódicamente 21 de los 24 satélites, teniendo en reserva 3, si uno de los satélites activos falla, el rendimiento del sistema baja al 94,7%. El sistema empezó en 1982 con los primeros satélites enviados, sin embargo empezó a ser funcional apenas desde 1996, en 2002 tenía 8 satélites operativos, en el 2007, 21 satélites y desde el 8 de diciembre de 2011 funciona completamente con 24 satélites en órbita.

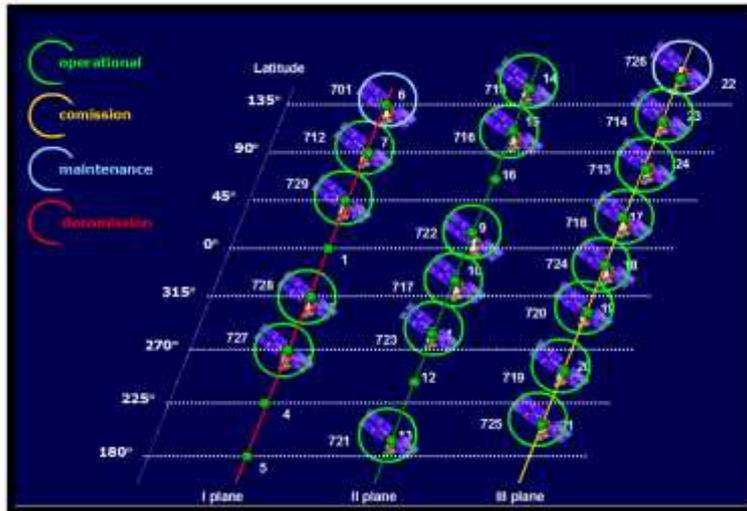


Figura 6-1. Estado de GLONASS, Febrero 2010

Fuente: <http://www.positum.com/gnss/labels/GLONASS.html>

1.2.2.2. Modo de Funcionamiento.

Cada satélite emite continuamente dos tipos de señales de radio frecuencia, L1 que es una señal de precisión estándar y L2 una señal de alta precisión que utilizan como método de acceso FDMA por lo que cada satélite transmite en su propia frecuencia, que está definida por un identificador dado a cada satélite que envía la señal siguiendo la siguiente fórmula matemática:

$$\text{---}$$

$$\text{---}$$

Al igual que GPS, GLONASS tenía un dispositivo controlado por militares para restringir la precisión del posicionamiento de civiles en los casos que los consideraran necesarios, hasta el año 2007 que se anuló esta característica con el objetivo de promover el uso del sistema. En la actualidad existen dispositivos que admiten para su funcionamiento señales de GPS, señales de GLONASS o señales de ambos sistemas simultáneamente. (Olmedillas, 2012, pp. 92-93).

1.2.3. Sistema de Navegación GALILEO

Galileo es un sistema de navegación por satélite moderno que opera bajo control de la Unión Europea que a diferencia de los sistemas existentes fue creado con fines totalmente civiles, desde su concepción existieron varias críticas en cuanto a el presupuesto que se invertiría en el proyecto y la viabilidad comercial tomando en cuenta que debe competir con los sistemas GPS y GLONASS ya existentes, sin embargo como puntos a favor se pueden mencionar que el sistema promete a los usuarios mayor precisión en el posicionamiento y su construcción ha generado movimiento en la industria espacial europea y el aumentado de fuentes laborales en las empresas de ingeniería.

Galileo estará operativo al 100% en el año 2018 con una constelación compuesta de 30 satélites, 24 operativos y los demás en reserva distribuidos en tres planos que contarán con 10 satélites distribuidos uniformemente en cada uno, varias estaciones terrestres ubicadas alrededor del mundo que se encargarán de recibir la información desde los satélites para luego enviarlas a los centros de control en Europa, y 15 estaciones de enlace ascendente con las cuales se comunicaran las estaciones terrestres con los satélites. Los servicios que ofrece el sistema Galileo son:

- **Servicio abierto:** Disponible gratuitamente para todo aquel que posea un receptor adecuado
- **Búsqueda y salvamento:** Se podrán enviar mensajes de socorro a través de este sistema a los organismos de emergencia nacionales en tiempo real, el posicionamiento con pocos metros de error para acudir en su ayuda.
- **Servicio público regulado:** Que será dirigido para entidades que necesiten continuidad y fiabilidad (policía, ambulancias, etc.) y que estará disponible aun cuando el servicio común esté deshabilitado.
- **Servicio comercial:** combinará dos señales para obtener mayor precisión para su uso en el ambiente industrial.
- **Servicio para la seguridad de la vida humana:** participará en los sistemas de control de integridad para la seguridad de la vida humana, por ejemplo en transporte aéreo o marítimo, en condiciones meteorológicas no favorables.

De estos servicios, los tres primeros se encuentran disponibles en la actualidad, los dos restantes se espera que puedan ser puestos a disposición con la constelación completa en el 2018. (Cohnen, 2011, p.10).

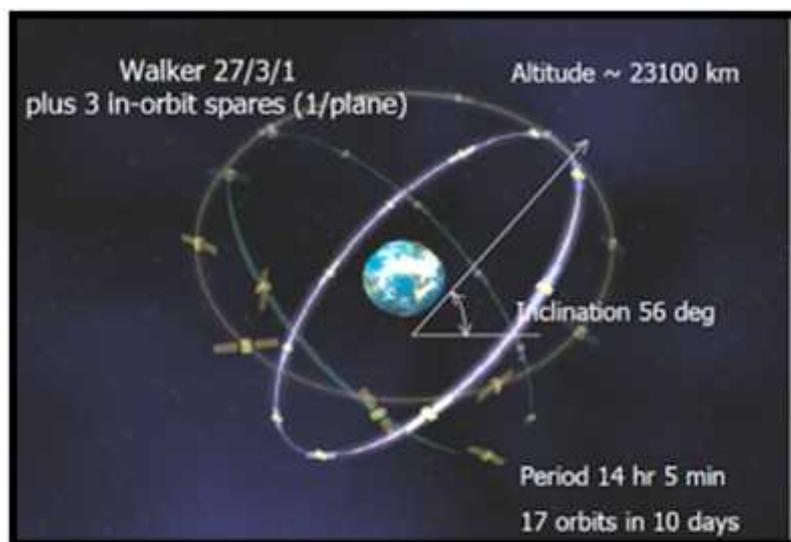


Figura 7-1. Constelación Galileo.

Fuente: <http://danielmarin.naukas.com/2011/10/21/primer-lanzamiento-de-un-soyuz>

Los satélites se encuentran posicionados a una distancia de 22322 Km de la superficie terrestre, una inclinación de 56° con respecto al ecuador y un período de 14 horas con 15 minutos, utiliza para la transmisión de señales, tres frecuencias denominadas E1, E5 y E6 utilizando como método de acceso CDMA, las bandas de frecuencia son compartidas por los satélites y la señal es modulada por códigos digitales, la señal E1 se transporta en la frecuencia de 1575,42 MHz y sus códigos digitales tienen una tasa de 1023 Mbps por lo que tiene un ancho de banda de 4 MHz. La señal E5 es transportada en la frecuencia de 1191,795 MHz y posee un ancho de banda de 51 MHz y la portadora E6 es de tipo comercial por lo que su señal es encriptada y es transmitida en la frecuencia central de 1278,750 MHz. (López, 2014, pp. 2 y 3).

1.3. Sistemas de Localización Indoor

Los sistemas de localización INDOOR tienen como principal característica la restricción del uso de las señales de posicionamiento global dentro del proceso de determinar la posición de una persona u objeto en espacios interiores y son sistemas que se están desarrollando recientemente.

1.3.1. Tecnologías Inalámbricas

A continuación se detallan características importantes sobre algunas de las tecnologías utilizadas en sistemas INDOOR, con el objetivo de entender como son empleadas para el proceso de localización.

1.3.1.1. Estándar IEEE 802.11

Al hablar de WIFI se hace referencia a la WI-FI Alliance que es una organización sin fines de lucro que comprende de un cuantioso grupo de fabricantes reunidos con el objetivo de impulsar el empleo de la tecnología inalámbrica en redes LAN, además de asegurar la compatibilidad de la tecnología y equipos entre distintos fabricantes. Debido al uso erróneo de términos, el nombre del estándar es confundido con el de la certificación, por tal motivo una red WIFI es una red que cumple con el estándar 802.11.

WIFI o WLAN IEEE 802.11 constituye un conjunto de estándares para redes inalámbricas WLAN (Wireless Local Area Network) utilizado en redes de PC y periféricos, basado en especificaciones del Instituto de Ingenieros en Electricidad y Electrónica (IEEE). Fue concedido para sustituir los dos niveles más bajos del modelo OSI (capa física y enlace de datos) del estándar IEEE 802.3 llamado también Ethernet. (Andrade et al., 2008, p.11)

La transmisión de datos se da en modo bidireccional, utiliza el protocolo CSMA/CD para evitar colisiones monitoreando el nivel de la señal. WI-FI se ha establecido como la tecnología dominante en el acceso inalámbrico debido a sus indiscutibles ventajas tales como abaratamiento y facilidad de implementación en redes LAN, desarrollo de múltiples aplicaciones para dispositivos móviles, espacios con disponibilidad de conectividad inmediata, movilidad de usuarios, entre otras, así como el bajo costo de la infraestructura de implantación.

Arquitectura IEEE 802.11

La estructura de la red WIFI está compuesta básicamente de 4 componentes: Estaciones, Puntos de Acceso AP, Medio Inalámbrico, Sistema de Distribución.

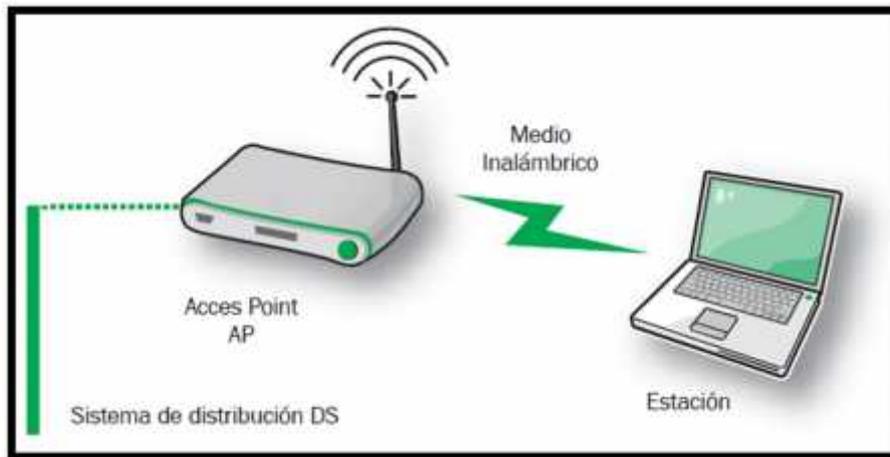


Figura 8-1. Arquitectura 802.11

Fuente: http://www.cnc.gob.ar/multimedia/bibliotecas/archivos/biblioteca_16398.pdf

- **Estaciones:** Es considerada una estación todo dispositivo electrónico capaz de traducir el estándar 802.11, estos dispositivos electrónicos poseen interfaces inalámbricas capaces de transferir datos a través de la red, ejemplos de estaciones los constituyen laptops o computadoras de mano.
- **Punto de Acceso (Access Point AP).**- Constituyen elementos puente que permiten la conexión entre los dispositivos inalámbricos y las redes fijas.
- **Medio Inalámbrico.**- El proceso de transmisión de datos se realiza por medio inalámbrico y con la ayuda de métodos de modulación.
- **Sistema de Distribución.**- Su función consiste en proporcionar mayor área de cobertura dando mayor movilidad a las estaciones, los APs se encuentran conectados a este sistema con la finalidad de proveer los servicios de éste a las estaciones. (Andrade et al., 2008, pp. 15-16).

Modelo de Referencia

Al igual que toda la familia 802, el estándar 802.11 sigue la misma arquitectura de capas que consiste de capa física y capa de enlace.

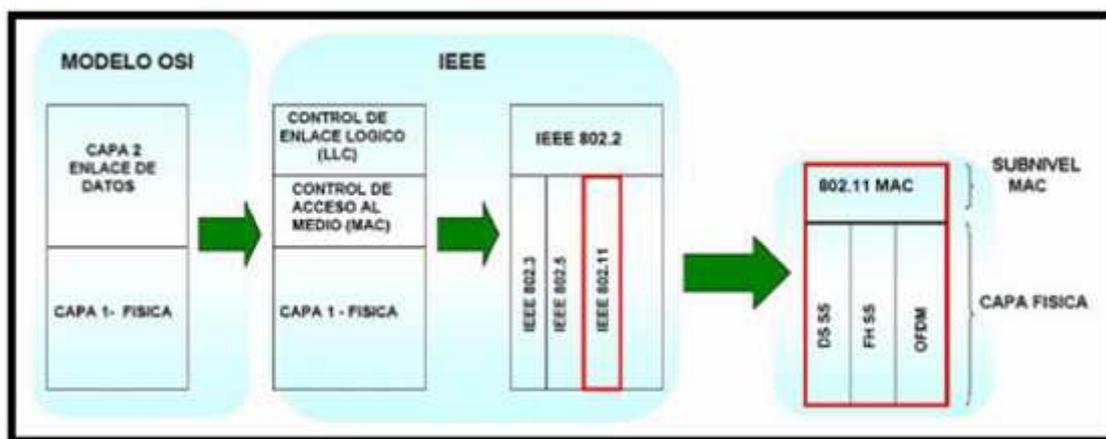


Figura 9-1. Modelo OSI y el protocolo IEEE 802.11.

Fuente: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=k3JuVG2D9IMC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Redes+WLAN>

Capa Física.- Se subdivide en dos capas:

- Subcapa inferior PMD (Capa Física Dependiente del Medio), comprende las especificaciones de los sistemas de transmisión: Infrarrojos, FHSS, DSS o OFDM, a nivel físico.
- Subcapa superior PLCP (Procedimiento de Convergencia de Capa Física), realiza la adaptación de las especificaciones de la subcapa PMD a la subcapa MAC superior inmediata.

Capa de Enlace.- Posee dos subcapas:

- Subcapa MAC (Control de Acceso al medio), se encarga de establecer el protocolo de acceso al medio, envío de acuses de recibo (ACK), capacidad de fragmentación de tramas, establecimiento de mecanismos de encriptación, etc.
- Subcapa LLC (Control de enlace lógico), constituye una subcapa en común entre los estándares IEEE 802, su función consiste en proporcionar un único transporte para todas las tecnologías utilizadas. (Anguís, 2008, p. 30).

Enmiendas IEEE 802.11

Las enmiendas de la familia de estándares IEEE 802.11 más aceptadas son 802.11a, 802.11b y 802.11g, se les ha sido asignadas las bandas ISM 902-928 MHz, 2.400 -2.4835 GHz, 5.725-5.850 GHz respectivamente, 802.11b alcanza velocidades entre 1 y 11 Mbps, mientras que 802.11a/g alcanzan velocidades hasta de 54 Mbps, estos estándares han logrado expandirse masivamente en el mercado gracias a los productos a bajo costo desarrollados en base a ellos.

Existen otro tipo de enmiendas tales como: c, f, h, j, n y s, que básicamente representan correcciones, actualizaciones o extensiones de los estándares anteriores.

Tabla 1-1. Extensiones de los estándares IEEE 802.11.

ESTÁNDAR	DESCRIPCIÓN
802.11a	Su misión es crear un estándar de WLAN en la banda de 5 GHz, capaz de alcanzar tasas de hasta 54 Mbps. Se publicó en el 1999.
802.11b	Ofrece un rendimiento total máximo de 11 Mbps. Utiliza el rango de frecuencia de 2,4 GHz con tres canales de radio disponibles.
802.11c	Constituye una versión modificada del estándar 802.1d que permite combinar el 802.1d con dispositivos compatibles 802.11 (en el nivel de enlace de datos).
802.11d	El estándar 802.11d es un complemento del estándar 802.11 que está pensado para permitir el uso internacional de las redes 802.11 locales
802.11e	El estándar 802.11e está destinado a mejorar la calidad del servicio en el nivel de la capa de enlace de datos.
802.11f	El 802.11f es una recomendación para proveedores de puntos de acceso que permite que los productos sean más compatibles.
802.11g	El estándar 802.11g ofrece un ancho de banda elevado con un rendimiento total máximo de 54 Mbps el rango de frecuencia de 2,4 GHz, es compatible con 802.11b.
802.11h	El estándar 802.11h tiene por objeto unir el estándar 802.11 con el estándar europeo (HiperLAN 2, de ahí la h de 802.11h).
802.11i	El estándar 802.11i está destinado a mejorar la seguridad en la transferencia de datos (al administrar y distribuir claves, y al implementar el cifrado y la autenticación).
802.11r	El estándar 802.11r se elaboró para que pueda usar señales infrarrojas. Este estándar se ha vuelto tecnológicamente obsoleto.
802.11j	El estándar 802.11j es para la regulación japonesa lo que el 802.11h es para la regulación europea

Fuente:<http://es.kioskea.net/contents/789-introduccion-a-wi-fi-802-11-o-wifi>

1.3.1.1.1. Estándar IEEE 802.11b

La revisión 802.11b fue la primera del estándar original 802.11, aprobada en 1999, opera en la banda de 2.4 GHz, define el protocolo CSMA/CA como método de acceso al medio posee una velocidad de transmisión máxima de 11 Mbit/s, pero debido a la codificación del protocolo CSMA/CA en la práctica alcanza velocidades máximas de 5.9 Mbit/s sobre TCP y 7,1 Mbit/s sobre UDP, además un gran porcentaje de la capacidad del canal es sacrificado en función del incremento de la seguridad en las transmisiones de datos debido al uso de CSMA/CA.

Tabla 2-1. Características del estándar 802.11b.

<i>Frecuencia de operación</i>	2.4 GHz ISM
<i>Tasa de transferencia (teórica)</i>	1, 2, 5.5, 11 Mbps
<i>Tasa de transferencia (Tx de Ix)</i>	4 Mbps (promedio)
<i>Mecanismo</i>	DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)
<i>Canales disponibles</i>	11 (3 no traslapados)
<i>Rango máximo</i>	90 m (promedio)

Fuente: <http://repository.unilibre.edu.co/bitstream/10901/6373/1/TangarifeMedinaAndresMauricio2012.pdf>

Al ser 802.11b una extensión directa de la modulación DSSS (modulación en espectro ensanchado para la transmisión de señales digitales sobre ondas radiofónicas) definida en el estándar original, los productos basados en 802.11b se expandieron de manera acelerada en el mercado, además los equipos ya existentes como chips fueron capaces de ser actualizados a este nuevo estándar. Su rápida aceptación a nivel mundial así como sus costos relativamente bajos lograron que este estándar se sitúe como la tecnología Wireless LAN definitiva.

IEEE 802.11 se la utiliza comúnmente en configuraciones punto y multipunto, tal es el caso de los AP que se comunican con los clientes que se encuentran a su alrededor por medio de una antena omnidireccional, el rango de cobertura en interiores es de 32 metros a 90 metros con velocidades de 11 Mbit/s a 1 Mbit/s. Con el objetivo de reemplazar los costosos equipos de comunicaciones microondas o líneas, se utilizan antenas de alta ganancia externas dispuestas en

arreglos fijos punto a punto que llegan a cubrir rangos extensos entre 8 km e incluso 80 km a 120 km siempre y cuando haya línea de vista. (Yunquera, 2015, p. 41).

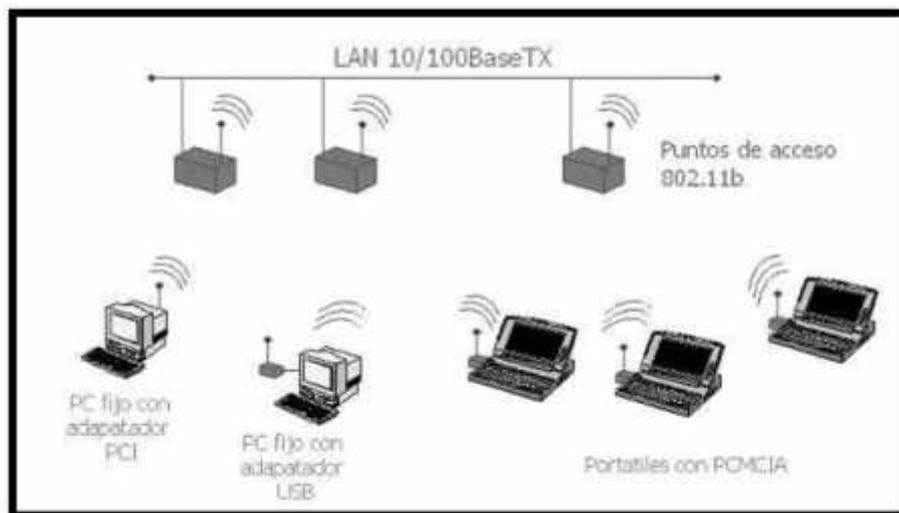


Figura 10-1. Disposición de equipos bajo la norma 802.11b.

Fuente:<http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/221/4/Capitulo%203.pdf>

Con el uso de este estándar los datos tienden a ser menos susceptibles a sufrir alteración por atenuación o interferencia de la señal, debido a que las tasas de baja transferencia de información usan algoritmos menos complejos y más redundantes. Existen extensiones del protocolo 802.11b para incrementar su velocidad a 22,33 y 44 Mbits/s, sin embargo no han sido ratificadas por la IEEE, estas mejoras son denominadas como 802.11b+, sin embargo son dejadas a un lado por los desarrolladores de 802.11g que posee tasa de transferencia de 54 Mbit/s y compatibilidad total con 802.11b. 802.11b al trabajar en la banda de frecuencia de 2.4 GHz presenta el problema de interferencias con otros de los muchos estándares que trabajan bajo la misma frecuencia. Dentro de los elementos que se encuentran interfiriendo en esta banda se encuentran los hornos microondas, aparatos de telefonía inalámbrica, etc. (Galeon.com, <http://ieeestandards.galeon.com/aficiones1573579.html>).

1.3.1.2. Bluetooth

Su nombre se debe a Harald Blatand traducido al inglés como (Harold Bluetooth) un rey vikingo que se caracterizó por procurar la unificación entre varios reinos, comprende hardware, software y requerimientos de interoperabilidad razón por la cual se han visto inmersas grandes compañías de telecomunicaciones e informática para su desarrollo, tales como Nokia, IBM,

Intel entre otros, por lo que los radios bluetooth ofrecen un enlace universal confiable y compatible con capacidad de formar redes con facilidad de sincronización de datos.

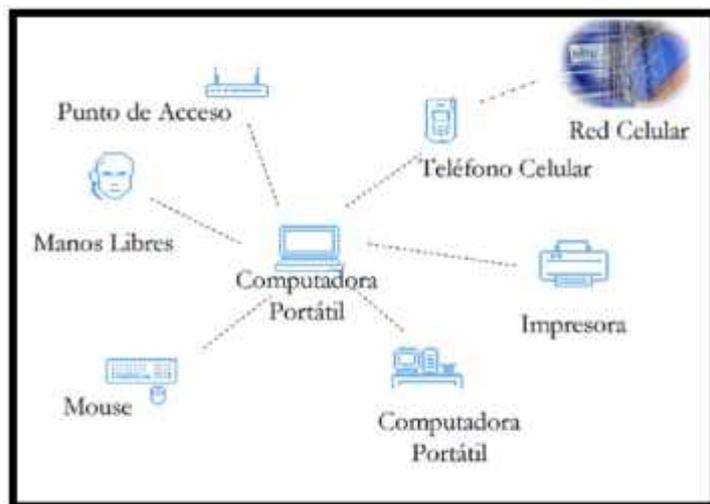


Figura 11-1. Modelo de conectividad Bluetooth.

Fuente: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/valle_i_1f/

Es una tecnología inalámbrica de corto alcance o de área personal WPAN, opera en las frecuencias 2,4 GHz y 2,485 GHz, de la banda ISM (Industria, Científica y Médica) reservada para uso no comercial en cualquier parte del mundo por lo tanto su uso es gratuito, es necesario el emparejamiento para comenzar la comunicación, lo cual hace que sea confiable la transmisión de datos por sus característica de bajo consumo es ideal para la comunicación de datos de dispositivos móviles. Se encuentra definido como el estándar IEEE 802.15.1. (Valle, 2005, pp. 2-3).

Funcionamiento

Utiliza la técnica FHSS en la transmisión, dividiendo al espacio de frecuencia comprendido entre 2,402 GHz y 2,485 GHz en 79 canales con una tasa de 1 Mbps, la comunicación se la realiza mediante serie de canales cuya secuencia es conocida por ambos dispositivos participantes en la conexión, debido al proceso de saltos de frecuencia se evita la interferencia de cualquier tecnología que utilice las mismas frecuencias para su funcionamiento. (Pereira & Polo, 2015, p. 29).

La distancia y la potencia con la cual se puede establecer una comunicación están definida por tres clases:

- **Clase1:** Radio de 30 metros y 100mW a 20dBm de potencia máxima.
- **Clase2:** Radio de 5 a 10 metros y 4,5mW a 4dBm de potencia máxima.
- **Clase 3:** Radio de 1 metro y 1mW a 0dBm de potencia máxima.

Versiones

A continuación se detallan las versiones por las cuales la tecnología Bluetooth ha ido evolucionando:

- V1.0: Tenía problemas de interoperabilidad, velocidad de transmisión de 0,8 a 1 Mbps y un alcance no mayor a diez metros.
- V1.1: Con esta versión se ratificó el estándar Bluetooth corrigiendo la mayoría de errores y añadiéndole soporte para canales no cifrados, e identificador de RSSI.
- V1.1: Incremento de la técnica AFH (Salto de frecuencia adaptativa) mejorando la eficiencia, el cifrado, la velocidad de transmisión y la calidad de voz gracias a la retransmisión de paquetes corruptos
- V2.0: Incorpora EDR (Enhanced Data Rate), mejorando la transmisión de datos y la velocidad de transferencia a 2,1 Mbps, menor consumo de energía y corrige errores de la versión anterior.
- V2.1: Simplificación en el emparejamiento de dispositivos, aumento de la seguridad y disminución en el consumo de energía.
- V3.0: Mejora en la transmisión de datos aumentándola a 24 Mbps debido a la existencia de un enlace a las red WiFi.
- V4.0: Mejora en el consumo de batería creando BLE (Bluetooth Low Energy), que combina versiones anteriores como son el clásico de 2,1 Mbps, el de enlace Wi-Fi de 24 Mbps y el de bajo consumo de energía que facilita conexiones sencillas y rápidas de hasta 24 Mbps. (Torres, 2015, pp. 56-57).

1.3.1.2. Zigbee

Es un estándar de comunicaciones inalámbricas diseñado por la unión de alrededor de 70 compañías, lo que se denomina Alianza Zigbee, con la interoperabilidad de sus distintos dispositivos como objetivo principal y ajustable a diversas aplicaciones, ofrece características de conexión más sofisticadas que los otros estándares inalámbricos, ofreciendo menor consumo de

energía, menor tiempo de conexión y menor coste con tasas de transferencia bajas cubriendo de este modo un amplio mercado no satisfecho por las otras tecnologías de su mismo tipo.

Aplicaciones de Zigbee

La distancia a la cual se puede lograr una comunicación con esta tecnología está entre 10 y 75 metros dependiendo de la aplicación y alimentación requeridas, las frecuencias de operación varían de acuerdo al lugar del mundo en el que se la aplique y de estas frecuencias dependen otros parámetros, así, se utiliza la banda de 868 MHz en Europa con una velocidad de transmisión de 20 Kbps y un canal de comunicación, la de 915 MHz en América y Australia con velocidad de transmisión de 40 Kbps y 10 canales de comunicación y la banda de 2,4 GHz en el resto del mundo con la cual se tiene una velocidad de 250 Kbps y 16 canales para la comunicación, utiliza una topología de red en malla y es aplicado principalmente en el área de la domótica por sus características de baja tasa de transmisión. (Chavarría, 2011, pp. 22-23).



Figura 12-1. Campos de aplicación Zigbee.

Fuente:<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1300/1/CD-2660.pdf>

Tipos de dispositivos Zigbee

Esta tecnología cuenta con los siguientes dispositivos:

- Coordinador

- Ruteador
- Dispositivo Final
- FFD
- RFD

Coordinador: Verifica la cantidad de módulos existentes y sus configuraciones para que sean compatibles, registra los dispositivos, envía balizas a los módulos y los incorpora a la red para lo cual necesita gran cantidad de memoria y capacidad de procesamiento.

Ruteador: Funcionan como repetidores permitiendo extender la distancia de operación de la red cuando la señal es muy débil ya sea por la trayectoria recorrida o por interferencia de obstáculos.

Dispositivo final: Permanecen activos solo cuando se los necesita, razón por la cual los requerimientos de memoria y procesamiento son mínimos, consumiendo menos energía y alargando la vida útil de sus baterías.

FFD (Full Function Device): Este dispositivo puede ser utilizado como coordinador o como ruteador en redes Zigbee por sus características de procesamiento y memoria altas.

RFD: (Reduced fuction Device): Se los utiliza como dispositivos finales por sus capacidades de procesamiento y cantidad de memoria mínimas que ayudan a reducir costos. (Carrera & Prado, 2009, pp. 7-8).

Arquitectura Zigbee

Su estructura es similar a la del modelo OSI, posee cuatro capas Física, Acceso al medio, Red y Aplicación, las dos primeras son determinadas por el estándar IEEE 802.15.4 y las dos superiores están definidas por la alianza Zigbee.

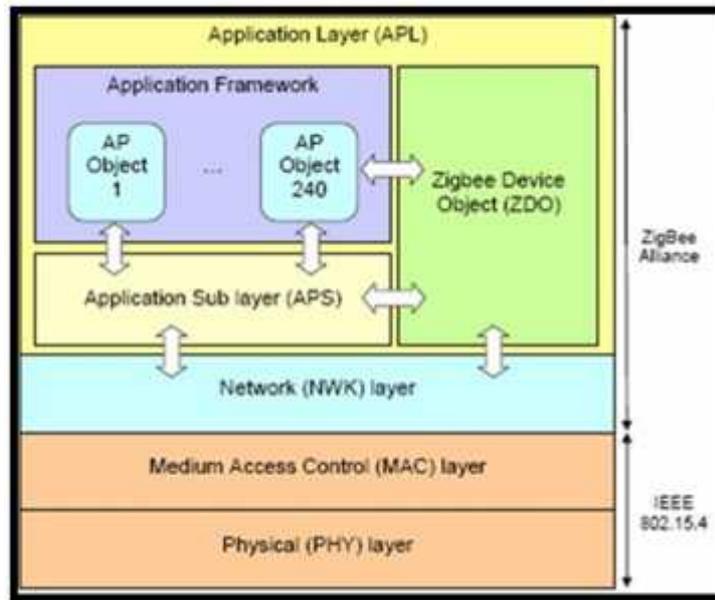


Figura 13-1. Pila de protocolos y arquitectura de capas Zigbee.

Fuente: <http://slideplayer.es/slide/169350/>

Capa física: Se divide en dos subcapas físicas que dependen de la frecuencia utilizada. La primera se aplica en las bandas europea y americana 868 y 915 MHz respectivamente y la segunda utiliza la banda de 2,4 GHz, con modulación DSSS (Modulación De Secuencia Directa De Espectro Ensanchado), entre sus principales funciones tenemos:

- Detección de la energía del receptor
- Indicador de calidad del enlace
- Evaluación del estado del canal
- Activación y desactivación de transceiver
- Transmisión y recepción de datos.

Capa de control de acceso al medio: Es la interfaz entre las capas física y red y cumple funciones como transmisión de tramas, establecimiento de tramas sencillas para ahorro de batería, conexión y de conexión de dispositivos, diferenciación de nodos mediante un identificador de 64b bits, garantiza el uso de slots de tiempo en el acceso al canal como medida de calidad de servicio, define dos niveles de seguridad: seguro mediante encriptación AES y no seguro mediante listas de control de acceso.

Capa de Red: En este nivel se hallan funcionalidades como la agregación de los dispositivos a la red y su respectiva desvinculación, el descubrimiento de rutas y dispositivos cercanos, el enrutamiento, garantía de la comunicación dentro de toda la red, sincronización de dispositivos

usando balizas o encuestas y seguridad. El coordinador puede también definir una nueva red brindando topologías como árbol o malla y las direcciones de cada dispositivo.

Capa de aplicación: En esta capa se establece conexiones seguras entre dispositivos, iniciando y terminando enlaces con un método de seguridad. Se divide en dos subcapas APS (Application Support) y ZDO (Zigbee Device Object).

- **APS:** Establece las conexiones entre dispositivos de acuerdo a sus necesidades y trata de descubrir otros dispositivos que estén operando en su espacio de trabajo.
- **ZDO:** Ayuda a los usuarios a manejar la red mediante aplicaciones específicas para esta labor y por lo tanto no son útiles para transferencia de datos, define si un dispositivo es coordinador o dispositivo final para lograrlo se ayuda de comandos y respuestas para poder localizar un canal, descubrir dispositivos y manejar potencias de transmisión. (Cárdenas & Pacheco, 2015, pp. 2-5).

1.3.1.3. Tecnología RFID

La tecnología RFID permite la identificación basada en radiofrecuencia de una persona u objeto a distancia sin la necesidad de línea de vista, su principal objetivo consiste en almacenar, transportar e identificar datos mediante el empleo de etiquetas y lectores, el proceso realizado con RFID suele asemejarse al utilizado en la identificación por código de barras pero en realidad es muy diferente ya que con el primero es posible cambiar la información que contengan las etiquetas, suelen funcionar sobre entornos cubiertos de polvo, entre otras funciones.

La identificación por radiofrecuencia se realiza en base al objeto, animal o persona que se encuentra unido al chip, etiqueta o circuito impreso RFID, la información única contenida en las etiquetas es identificada por medio de las ondas de radio por donde viaja, el sistema RFID posee la capacidad de recibir, almacenar, recuperar datos remotamente por medio de las antenas tanto en los equipos receptores como transmisores, una vez leída la información contenida en las etiquetas por el lector ésta es transferida a una base de datos.

Hace relativamente poco tiempo se ha mostrado interés en el uso de la tecnología RFID para empresas de salud, gubernamentales, logística, de consumo, etc., en donde es de vital importancia la identificación de objetos de manera rápida y con un nivel de seguridad elevado,

constituyendo RFID una opción conveniente sin embargo la legislación de bandas de trabajo de esta tecnología no es la suficiente. (Ruíz, 2011, pp. 10-11).

Sistema RFID

Un sistema RFID o de Identificación por Radio Frecuencia identifica, almacena y recupera datos de forma remota, mediante el uso de tres componentes: tags, lectores y un sistema de procesamiento de datos. El funcionamiento de este sistema se da cuando el lector que puede ser fijo o móvil, ubicado en una zona estratégica permite la comunicación entre las etiquetas por medio de una antena, el host al comunicarse con la antena almacena y procesa los datos contenidos en las etiquetas que se encuentran integradas por un chip y una antena, estas etiquetas deben estar dentro de la zona de cobertura.

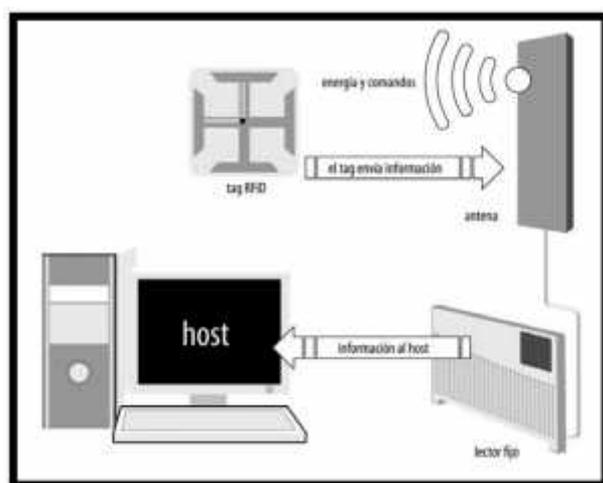


Figura 14-1. Comunicación entre tag, lector y host.

Fuente: <http://es.slideshare.net/guest44be50/introduccion-a-la->

Lector o Transceptor.- Cumple la función de enviar y recibir la información almacenada en las etiquetas, convierte las señales que se comparten en el sistema en cadenas de bits con este proceso transmiten la energía necesaria a los tags. Se encuentra conformado por:

- **Módulo de radiofrecuencia.-** Se encuentra sintonizado a determinada frecuencia, genera una señal de radiofrecuencia para activar y energizar a la etiqueta, envía datos al transpondedor y recibe señales de respuesta del mismo. El resto de componentes deben adaptarse a él debido a que es el componente fundamental del lector.

- **Unidad de control.-** Codifica y decodifica los datos transmitidos y verifica su integridad. La función más crítica que cumple es la comunicación con el sistema de información ya que al usar un canal inalámbrico se pueden presentar interferencias que introducen errores en la información enviada debido a estos problemas es necesario recurrir a métodos de comprobación de integridad de datos como comprobación de bits de paridad o de redundancia cíclica.
- **Antena.-** Su tamaño y forma dependerá de la aplicación para la cual será utilizada, por medio de la antena es posible que las etiquetas se comuniquen con el lector, generalmente las antenas vienen integradas dentro de los lectores. Existen parámetros a considerar para obtener los mejores resultados a la hora de realizar control de acceso, monitoreo de tráfico, detección de objetos, o cualquier actividad que requiera de su uso, estos parámetros son: impedancia, potencia máxima permitida, ganancia, orientación respecto a los tags y sobre todo área de cobertura.
- **Interfaz de comunicación.-** Permite conectar el lector a un procesador de datos mediante un enlace local o remoto el que puede ser: RS232, RS485, Ethernet, RF, WiFi, Bluetooth, entre otros.

Existen tres tipos de lecturas que puede realizar un lector:

Lectura continua: Por medio de aplicaciones el lector interroga de manera constante a los tags dentro de su zona de cobertura.

Lectura periódica: La lectura de los tags o etiquetas se realiza en intervalos de tiempo específicos.

Lectura específica: Este tipo de lectura se da al momento de que el lector detecte la etiqueta, no se realiza una lectura continua, solo se da lectura en casos puntuales.



Figura 15-1. Lector fijo y móvil RFID.

Fuente: <http://www.traza.com/es/rfid.html>

Una bobina del lector genera un campo de radiofrecuencia conmutado normalmente a alta frecuencia, el campo induce una corriente que rectifica y alimenta a la bobina que se encuentra en la etiqueta, el lector detecta los datos transmitidos por la etiqueta como si se trataran de una perturbación de la señal compartida, una señal para ser leída correctamente debe encontrarse a -60 dB de la portadora de transmisión.

El lector al detectar la etiqueta procede a leer o escribir sobre ella o ellas ubicadas dentro del sistema, para realizar esto es necesario utilizar algoritmos como el POR en donde el lector cesa la transmisión una vez realizada, existe también el proceso de sondeo selectivo en el cual se leen únicamente las etiquetas que posean una determinada identificación, una de las opciones más costosas es la utilización de lectores multiplexados. (Torres, 2011, pp. 29-31).

Procesador de Datos o Middleware.- Los sistemas RFID estarán captando datos continuamente, por lo tanto habrá que leer las etiquetas, contextualizarlas y controlarlas, para lo cual se necesita una plataforma de interconexión entre los lectores de tags y los sistemas de gestión RFID, capaz de almacenar, filtrar, manipular y exportar los datos captados por algún hardware RFID.

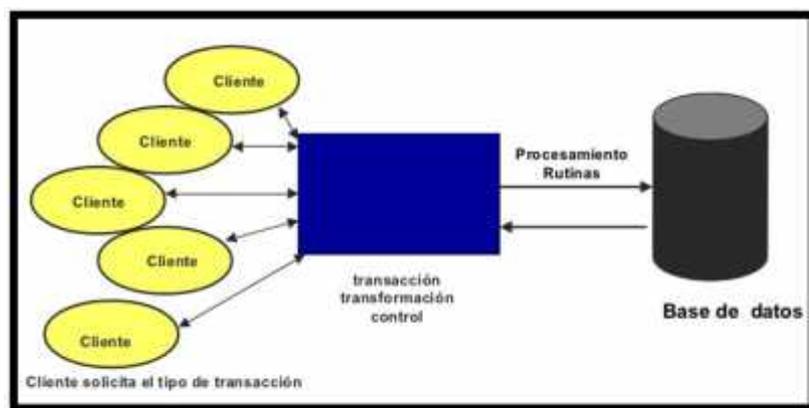


Figura 16-1. Esquema de un Middleware.

Fuente: <http://es.slideshare.net/matiasyimak/middleware-15166587>

Entre las principales funciones de una plataforma o software RFID se encuentran:

- ✓ Controlar todo tipo de dispositivos RFID y capturar los datos de manera rápida y eficiente.
- ✓ Reconocer en tiempo real el punto de ubicación de los tags.
- ✓ Manejar centralizadamente las fuentes de datos RFID internas y externas.
- ✓ Asegurar la coherencia de los datos obtenidos por medio de las diferentes fases del sistema.

- ✓ Siempre y cuando sea necesario se realizará el proceso de envío de información a los dispositivos.
- ✓ Establecer la posibilidad de incorporar servicios de red Wireless unificadas permitiendo centralizar servicios. (Ruíz, 2011, p. 53).

Etiqueta o Tag.- Conocidos también como transpondedores, son aquellos dispositivos que van a permitir la identificación de los objetos a los cuales van a ser adheridos, implantados o asociados, logrando así su monitoreo.

Una etiqueta consta básicamente de una antena conformada por una bobina y un microchip que se encarga de almacenar la información del objeto, existen tags RFID que se los puede vincular con sensores dando seguimiento en tiempo real e informando cambios de parámetros como temperatura, humedad, calor, etc.

Los tags se pueden clasificar según su alimentación en pasivos, activos y semiactivos o semipasivos; según su tipo de memoria en etiquetas de lectura/escritura, de una única escritura y múltiples lecturas, y de sola lectura.



Figura 17-1. Modelos de tags RFID.

Fuente: <http://www.fundakit.org/>

Según el modo de alimentación:

- **Tags Pasivos.-** Las etiquetas no requieren de una batería o fuente de alimentación para funcionar, debido a esto utilizan la energía suministrada por el lector para realizar los procesos internos de funcionamiento. Por medio de modulación AM refleja la onda que transporta los datos y emite una señal de respuesta. Al no poseer batería su alcance es limitado y oscila entre 0.1 a 1 metro, sin embargo su tiempo de vida llegaría a ser ilimitada.

- **Tags Activos.-** No es necesaria una batería para poder transmitir la información, la fuente de alimentación suministra la energía necesaria al microchip y refuerza la señal de respuesta al lector, teóricamente su alcance llegaría hasta los 100 metros. Poseen gran capacidad de memoria, tiempos de procesamiento de datos superiores en comparación con otros tags, pero su tiempo de vida llega a ser limitado por la duración de la batería, algunas de estas etiquetas pueden trabajar en un tiempo promedio de 10 años.
- **Tags Semiactivos o Semipasivos.-** La batería incorporada solo se encarga de la polarización del microchip, debido a esto su tiempo de vida útil se extiende a un promedio de 5 a 7 años, muy cercano al de las etiquetas activas.

Según su tipo de memoria o capacidad de programación:

- **Tags de Lectura/ Escritura.-** Constituyen etiquetas que pueden ser reprogramadas varias veces. Su empleo es ideal en sistemas que requieran reutilización de etiquetas o en objetos que necesiten actualización de la información contenida.
- **Tags de una única escritura y múltiples lecturas.-** Denominados también WORM, es posible reprogramar las etiquetas una sola vez. Una vez escrito en la memoria del tag no es posible modificar la información.
- **Tags solo lectura.-** Las etiquetas son programadas de fábrica y no es posible reprogramarlas, estas etiquetas poseen poca información ya que solo almacenan un número de serie.

Frecuencias de Operación

La elección del tipo de frecuencia a emplear dependerá del tipo de aplicación a desarrollar, para ello es necesario analizarla y determinar las condiciones y exigencias planteadas, así como el rango de lectura y el tamaño del tag. Es necesario tomar en cuenta que mientras mayor sea la frecuencia empleada mayor será la velocidad de transmisión de los datos pero la sensibilidad a las interferencias del medio también incrementará.

Los sistemas RFID trabajan en frecuencias bajas, altas, ultra altas y en la banda de microondas, tal y como se muestran a continuación:

- **Baja Frecuencia (LF):** Los sistemas RFID que pertenecen a este rango operan a 125 KHz en Estados Unidos y 134 KHz en Europa. Suelen emplearse etiquetas pasivas cuya capacidad de datos es baja de alrededor de 64 bits factor que reduce su costo, en el caso de utilizar etiquetas activas estas pueden almacenar hasta 2 kbits. La tasa de transmisión de datos es baja, típicamente se encuentra entre 200 bps y 1 kbps.

Las etiquetas pasivas suelen cubrir un área de alrededor de 0,5 metros aunque este rango puede variar dependiendo de la potencia disponible en las etiquetas, al tratarse de tags activos pueden superar los 2 metros. Esta frecuencia se suele emplear para sistemas que requieran leer poca cantidad de datos a pequeñas distancias, es decir en la identificación de animales, inmovilización de vehículos, gestión de bienes, soporte a la producción y control de acceso.
- **Alta Frecuencia (HF):** Operan en la frecuencia de 13.56 MHz, utilizan etiquetas pasivas con alcance limitado pero con mayor velocidad de transmisión de datos que las etiquetas LF. Los sistemas que operan en esta frecuencia son generalmente los de seguridad y acceso, inventarios de libros y sistemas de monitoreo de equipajes.

Las etiquetas pasivas suelen poseer capacidades típicas desde 512 bits hasta 8 Kbits, la velocidad de transmisión de los datos suele ser de unos 25 Kbps aunque también existen dispositivos con capacidades mayores a 100 Kbps. A esta frecuencia los sistemas RFID poseen la capacidad de leer alrededor de 40 etiquetas por segundo. El rango de cobertura de las etiquetas pasivas suele cubrir aproximadamente 1 metro.
- **Ultra Alta Frecuencia (UHF):** Se emplean etiquetas activas o pasivas, las pasivas operan en 915 MHz en EEUU y en 868 MHz en Europa, mientras que los sistemas activos operan a 315 MHz en Estados Unidos y 433 MHz en Europa. Los sistemas que trabajan en esta frecuencia envían información a velocidad más rápida que los que emplean frecuencias LF y HF ofreciendo el mayor alcance para las etiquetas.

Es posible la lectura de aproximadamente 100 etiquetas por segundo. Las etiquetas UHF pasivas pueden alcanzar de 3 a 4 metros de cobertura, si empleamos etiquetas activas a la frecuencia más baja 433 MHz el rango de cobertura puede alcanzar los 10 metros. Constituye una banda de frecuencias apta para aplicaciones que requieran cubrir distancias superiores a las anteriores bandas, se las emplea en seguimiento de bienes y artículos, trazabilidad, logística y cadena de suministros.
- **Microondas (Microwaves):** Los sistemas RFID de microondas operan en dos tipos de frecuencias que son de 2,45 GHz y 5,8 GHz. Los sistemas de 2,45 GHz se utilizan en

control de acceso de largo alcance, aplicaciones de seguimiento de vehículos y control de acceso a parqueaderos. En Europa se emplea la banda de 5,8 GHz asignada para aplicaciones de control de tráfico y cobro electrónico de peajes.

Los sistemas que trabajan con estas frecuencias alcanzan coberturas entre 1 y 2 metros con elementos pasivos, y 15 metros o más entre dispositivos activos. La banda de microondas es apta para aplicaciones que requieran alta cobertura y velocidades de transmisión elevadas, tal es el caso de automatización en la fabricación, control de accesos, peaje de carreteras, logística de la cadena de suministros y aplicaciones militares. (Portillo et al., 2010, pp. 58,60, 62-63).

<i>Parámetros</i>	<i>Baja frecuencia</i> (~135 KHz)	<i>Alta frecuencia</i> (13,56 MHz)	<i>Ultra alta frecuencia</i> (433 MHz, 860 MHz, 928 MHz)	<i>Frecuencia microondas</i> (2,45 GHz, 5,8 GHz)
Cobertura	Menor	←————→	←————→	Mayor
Tamaño de la etiqueta	Mayor	←————→	←————→	Menor
Velocidad de lectura de datos	Menor	←————→	←————→	Mayor
Lectura en presencia de líquidos o metales	Mejor	←————→	←————→	Peor
Lectura en presencia de interferencias EM	Peor	←————→	←————→	Mejor

Figura 18-1. Comparativa de las características asociadas a cada banda de frecuencia.

Fuente: <http://www.madrid.org/bvirtual/BVCM001808.pdf>

1.3.1.4. Infrarrojos

Una de las primeras tecnologías empleadas para la localización en interiores la constituyen los infrarrojos, aprovechando la emisión de radiación infrarroja en modo radial no en modo punto a punto que es común utilizarla en sistemas de comunicación. El individuo a localizar debe poseer una etiqueta que emite radiación infrarroja, que será leída por sensores fijos, estos sensores son los encargados de determinar la posición.

Su principal desventaja es que la radiación infrarroja no puede atravesar paredes debido a la directividad en la emisión de radiación inducida por el cuerpo que porta el tag, llegando a limitar así su rango en entornos interiores, por lo que es necesario ubicar más de un sensor por habitación, provocando mayor coste dentro del sistema, sin embargo este proceso nos proporciona la ventaja de evitar interferencia y falsas detecciones por otros sensores. Debido a

estas limitaciones generalmente infrarrojo no trabaja solo, se suele emplear también radiofrecuencia creándose un sistema híbrido.(Fernández, 2009, p. 17).

1.3.1.5. Ultrasonido

Estos sistemas utilizan nodos emisores y receptores de ultrasonidos, estos nodos estiman la posición del objeto o usuario mediante el tiempo de vuelo resultante entre las ondas ultrasónicas emitidas. Actualmente constituyen una alternativa dentro del mercado RTLS por su alta precisión, sin embargo un sistema de este tipo conlleva altos costos de implementación debido a la necesidad de desarrollar una propia infraestructura con un número alto de nodos fijos en el entorno para garantizar una línea de vista directa entre dispositivos.

Los sistemas de posicionamiento por ultrasonidos tienen la característica de estimar la posición del objeto a localizar en tres dimensiones, con precisión del orden de los centímetros, pero tienen la desventaja de poseer baja cobertura. Existen diferentes sistemas desarrollados en base a este método, uno de ellos es elBat System que posee una red de nodos fijos que actúan como receptores instalados en el techo, estos se encargan de calcular el tiempo de vuelo de las señales emitidas por los nodos móviles y la envía a una unidad central.

Por razones de procesamiento de cálculo el nodo central se implementa en un PC y se comunica con los nodos fijos por un puerto serial y por radiofrecuencia con los nodos móviles, se encarga de gestionar que nodo móvil debe emitir señal y que baliza debe inicializar los contadores. Tras un determinado tiempo el nodo central pregunta a las balizas si han recibido la señal y el tiempo transcurrido desde la activación hasta su recepción, para realizar la triangulación de la posición del nodo móvil que será enviada a este. (Legarretaetxebarria, 2011, pp. 36 y 41).

1.3.1.6. Ultra Wideband (UWB)

La tecnología UWB permite altísimas velocidades de transmisión y precisión dentro del sistema hasta de un metro, UWB está concebido para establecer comunicaciones de corto alcance, fundamentalmente para dar servicio indoor en hogares, bibliotecas, aeropuertos, etc., la propagación multi-camino constituye un factor importante en el desempeño del sistema ya que la señal rebota en diferentes objetos antes de llegar al receptor, estudios realizados demuestran que las señales UWB con modulación PPM afronta de mejor manera este problema.

Otro problema de esta técnica es que en ambientes indoor el emisor y el receptor casi no consiguen tener línea de vista directa, por lo que la señal tiene que atravesar obstáculos para

llegar a su destino, esto se logra atenuar gracias al empleo de frecuencias bajas facilitándole a la señal atravesar objetos más densos. (Díaz, 2003, p. 53).

1.3.1.7. WIMAX

WIMAX es una tecnología creada para promover el estándar IEEE 802.16 conocido como BWA permitiendo suscitar conformidad e interoperabilidad, constituye el acceso inalámbrico de última milla con banda ancha a redes de área metropolitana MAN, este acceso puede ser fijo, nómada e incluso móvil. Es posible establecer accesos concurrentes a velocidades de hasta 75 Mbps en áreas de hasta 48 kilómetros de radio.

Wimax Forum es un grupo industrial dedicado a fomentar el desarrollo y comercialización de la tecnología y se encarga de ofrecer soluciones para comprobar la compatibilidad de los equipos mientras que el estándar IEEE 802.16 define las características técnicas del protocolo. Debido al gran alcance de Wimax es poco factible desarrollar un sistema de localización con esta tecnología, además su desventaja principal radica en que la mayoría de dispositivos con los que contamos en la actualidad no disponen del estándar Wimax dentro de sus especificaciones. (Ordóñez, 2008, p. 3).

1.3.2. Técnicas de Localización

Son métodos que ayudan a las tecnologías, anteriormente analizadas, en la localización de un objeto, brindando argumentos cuantificables los cuales determinan parámetros como por ejemplo la distancia entre emisor y receptor mediante un proceso matemático.

A continuación se detallan algunas de las técnicas más relevantes.

1.3.2.1. Triangulación

Es una de las técnicas más empleadas para todo tipo de sistemas de localización, en especial en localización indoor, se apoya de la red WIFI para realizar el proceso, y consta básicamente de las siguientes técnicas.

1.3.2.1.1. TOF (*Tiempo de Vuelo*)

La posición de un objeto dentro de esta técnica está definida por el tiempo de vuelo o tiempo de propagación de la señal que resulta del producto entre el tiempo y la velocidad de propagación, la velocidad de propagación en ondas electromagnéticas es igual a la velocidad de la luz. Para encontrar la distancia entre el emisor y receptor se pueden aplicar dos métodos, el del Tiempo de Llegada de la señal (TOA) o el de Diferencia del tiempo de llegada de las señales (TDOA), los cuales se detallan a continuación. (Egea, 2012, p. 31).

1.3.2.1.2. TOA (*Tiempo de Arribo*)

Por medio de esta técnica se calcula las distancias absolutas entre un móvil hasta los puntos de referencia. Es necesario conocer la velocidad de propagación en el medio y el instante de inicio de emisión de las balizas para determinar la distancias a estas. La posición se puede calcular por medio de la intersección de las circunferencias centradas en las posiciones de las balizas cuyo radio representa la distancia medida entre las balizas y el móvil.

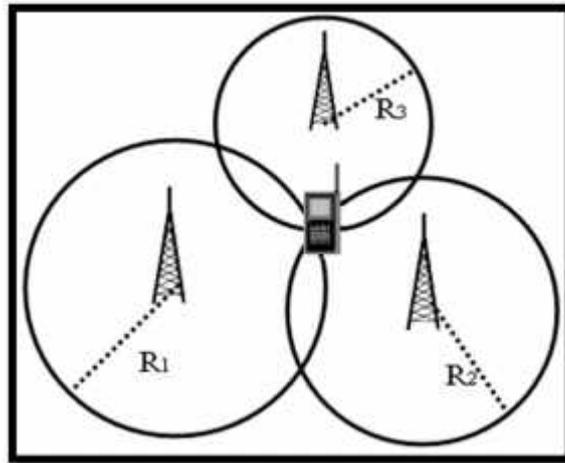


Figura 19-1. Localización por TOA

Fuente: <http://www.intechopen.com/books/trends-in-telecommunications>

En la práctica este tipo de localización no va a poder realizarse debido a que los tiempos de llegada del móvil no corresponden a la distancia en línea recta que une el móvil y las estaciones base, debido a la posible ausencia de línea de vista entre los dos puntos y al efecto multitrayecto. Debido a los factores anteriores se obtendrá una estimación de las distancias lo que conlleva a obtener márgenes de error en el cálculo de la distancia, ya no se obtendrá un

punto absoluto sino una zona más o menos amplia donde se encontrará el móvil. (Gutiérrez, 2004, p. 24).

1.3.2.1.3. TDOA (*Diferencia de Tiempo de Arribo*)

Por medio de la diferencia existente entre los tiempos de llegada de la señal procedente de un nodo móvil a distintos pares de nodos fijos o el tiempo de llegada de la señal emitida por los nodos fijos al nodo móvil en el caso de que la localización esté asistida por el terminal, es posible determinar la posición de un dispositivo o nodo móvil.

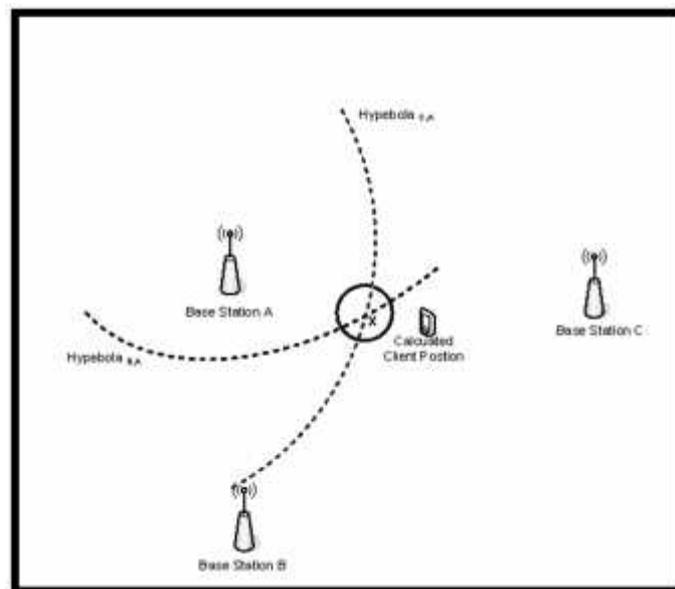


Figura 20-1. Método de Estimación TDOA

Fuente: <http://www.intechopen.com/books/factory-automation/when-the-industry>

Existen dos opciones de resolución del problema:

Sistemas Network-Based.- El dispositivo móvil transmite una señal la cual es recibida por varios nodos base, la diferencia de tiempo se calcula en base al tiempo de arribo en cada nodo base.

Sistemas Mobile-Based.- El dispositivo o nodo móvil realiza el cálculo de la diferencia de las medidas del tiempo de arribo de la señal de los nodos base, agrupados en pares.

En las dos opciones señaladas se define una hipérbola en el plano en donde el móvil se encontrará ubicado, esta hipérbola se genera por la diferencia en el tiempo de arribo de dos nodos base. La intersección de dos hipérbolas generadas dará como resultado su ubicación. Con respecto a la técnica TOA posee la ventaja de cancelar los errores comunes a todas las estaciones base y además disminuye los efectos multicamino. (Pereira, 2015, p. 37)

1.3.2.1.4. AOA (*Ángulo de Arribo*)

En esta técnica es necesaria la utilización de antenas para poder determinar el ángulo que tiene la señal receptada, y se debe realizar la evaluación de por lo menos dos señales para poder comparar los ángulos y otros datos medidos, y ubicar el objetivo mediante un cálculo de trigonometría. (Pereira, 2015, p. 38).

Estimación de la posición

El dispositivo móvil envía señales a dos o más nodos fijos de la red, o viceversa, generando de esta manera líneas que se intersecan en el punto en donde se encuentra el dispositivo móvil, los ángulos formados entre estas líneas y sus respectivas líneas de referencia, señaladas con anterioridad son los que se utilizaran para calcular la posición del objetivo. Dentro de los problemas que presenta esta técnica está la necesidad de hardware complejo y por lo tanto costoso para implementarla en grandes redes.

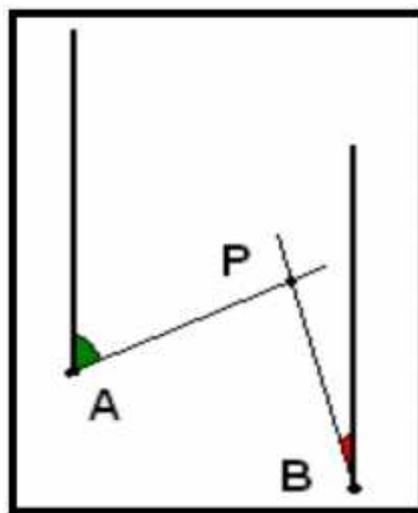


Figura 21-1. Esquema de posicionamiento por AOA

Fuente: <http://www.dit.upm.es/~posgrado/doc/>

1.3.2.1.5. RSSI (*Receive Signal Strength Indication*)

Utiliza como referencia el nivel de señal o potencia de la señal recibida entre dos nodos en una red para calcular su distancia. A diferencia de AOA en este método se elimina la necesidad de hardware adicional obteniendo así una solución más económica. Los sistemas basados en RSSI obtienen resultados con alto grado de precisión de acuerdo al procesamiento que reciba la información recogida, a diferencia de los sistemas que se basan exclusivamente en RSSI los cuales obtienen resultados muy imprecisos. (García, 2006, p. 4).

A esta técnica se la puede dividir en dos grupos de acuerdo a la forma en que se la aplica, estos son huella digital de radiofrecuencia (fingerprinting) y por modelo de propagación. Mediante el cálculo de la atenuación de la señal en un punto, es posible calcular la distancia al punto de acceso, el principal problema que enfrenta este método se da debido a que la atenuación varía de acuerdo a diversos factores externos como reflexiones, interferencias, agentes atmosféricos, etc. (García, 2012, p. 50).

Tabla 3-1. Comparación de técnicas de localización.

	AOA	TOA	TDOA	RSS
Requisitos	Array de antenas Rural: 2 BS Urbano: 3+ BS	Sincronismo 3+ BS	3+ BS	Entrenamiento previo (mapa de potencias)
Precisión	Media	Media	Alta	Media
Coste	Alto	Alto	Alto	Bajo
Cobertura	Alta	Alta	Alta	Baja
Problemas	NLOS Multitrayecto (evitables)	Multitrayecto Tiempo procesado	Antenas colineales Multitrayecto	Multipath fading Shadowing

Fuente: <http://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/2484/577351.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

1.3.2.2. *Fingerprint o Método de Huellas*

Por medio de esta técnica solo se necesita las medidas de la potencia de la señal recibida, u otras características no geométricas, en varias localizaciones y con los valores obtenidos se crea una base de datos. El sistema debe primero medir la potencia de la señal recibida en posiciones

concretas obteniendo un valor, para buscar posteriormente en la base de datos o radio-map el patrón con el que concuerde más con este. Al contrario de los procesos de triangulación esta técnica no requiere que la estación móvil vea al menos tres nodos base o puntos de acceso para realizar la localización, sin embargo su desventaja se encuentra en que se requiere mucho más tiempo de lo normal en la recolección exhaustiva de datos de un determinado punto.

Esta técnica consta de dos fases, la primera es la de aprendizaje u Off-line en donde se realiza la medición de los vectores de potencia emitidos por cada uno de los puntos de acceso que conforman el sistema, gracias a estas potencias se genera una base de datos. En la fase de posicionamiento u On-line, el nodo móvil ubicado dentro del entorno mide la potencia de los nodos de referencia, obteniendo como resultado un vector de potencias que será comparado con la base de datos de la fase Off-line mediante una serie de algoritmos, para encontrar el vector de potencias más parecido a este, logrando así obtener la localización del objeto. (Pereira & Polo, 2015, pp. 44-45).

1.3.3. Algoritmos de Localización

1.3.3.1. Teorema de Bayes

La teoría de Bayes es una técnica que mantiene una distribución de la probabilidad sobre todas las posibles ubicaciones del entorno, al constituirse como una técnica probabilística ofrece mayor precisión que las deterministas, sin embargo requiere mayor coste computacional. La aproximación Bayesiana se aplica usualmente en entornos cuya representación sea en forma de rejillas o mediante un mapa topológico, en este último caso el dispositivo realiza el proceso de localización mediante información geométrica del entorno. (Lizano, 2011, pp. 49)

1.3.3.2. Redes Neuronales

Su aplicación se la realiza cuando se presupone que las huellas RSS son demasiado complejas que no pueden ser analizadas matemáticamente siendo posible utilizar funciones discriminantes no lineales, en lugar de encontrar funciones discriminantes como la métrica de distancia mínima se enfoca en el uso de una estructura llamada neurona.

Los sistemas que emplean redes neuronales son capaces de aprender, adaptarse a las condiciones variantes del medio o a la disposición de una colección de datos, para predecir el estado futuro de algunos modelos. Estas redes necesitan un entrenamiento previo al igual que el

método de K vecinos, para de esta manera agilizar el aprendizaje por medio de memorización de las características de los puntos de interés y reconocimiento del área de localización. (Lizano, 2011, pp. 48)

En la fase de calibración de una red neuronal los valores de RSSI almacenados en el mapa de radio se tratan como entradas y las coordenadas de éstos se tratan como valores objetivos, de manera que se logre entrenar el sistema y obtener los pesos adecuados que caractericen al sistema, en la fase de localización se ubican los valores de RSSI recibidos por el terminal como entrada de la red y la salida corresponde a la posición estimada por el terminal. Una vez entrenada la red neuronal su coste computacional tiende a bajar, sin embargo al darse una modificación del entorno es necesario calcular de nuevo el mapa de radio y reentrenar el sistema computacional. (Merino, 2013, p. 30).

1.3.3.3. Método KNN o K vecinos más cercanos

Constituye un algoritmo en base a reconocimiento de patrones, clasificando a un nuevo objeto a partir de uno de su misma clase que poseen características similares al objeto a clasificar. KNN se fundamenta en el reconocimiento de huellas de potencia solapadas unas con otras sobre un escenario recubierto con sensores. La señal recibida RSS guarda cierta relación con la distancia al sensor, debido a esto se puede determinar que si el sensor se encuentra cerca de la etiqueta la potencia recibida será más alta que cuando el sensor esté lejos de ella, por lo tanto es posible diseñar un radio mapa de potencias y posiciones de cada sensor. (Guillén, 2010, pp. 73-74).

Tabla 4-1. Ejemplo de base de datos o radio-map.

Punto	Coordenada X	Coordenada Y	Coordenada Z	RSS1	RSS2	RSS3	RSS4
1	1	1	1,5	50,2	30,4	45,9	37,8
....

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2015

Los K vecinos más cercanos corresponderán a los que posean una mínima distancia entre una nueva consulta y cada uno de los datos que conforman el conjunto de aprendizaje de la base de datos, estimando así la localización del objeto.

Los datos reales en su mayoría corresponden a un conjunto de variables nominales, ordinales y cuantitativas coexistentes, para manejarlas se introduce el término peso que mide la contribución de cada variable acorde con la distancia del punto de consulta.

Este algoritmo posee la ventaja de ser robusto al ruido de los datos de entrenamiento, además es valedera aún si el número de datos de entrenamiento llegara a ser grande. Es imprescindible determinar el valor del parámetro k que equivale al número de vecinos más cercanos.

Una mejora al algoritmo se origina al introducir pesos una vez obtenidos los k vecinos más cercanos, con el objetivo de combinarlos para obtener una localización intermedia entre ellos, este proceso recibe el nombre de WKNN o Weighed K- Nearest Neighbors.

KNN no especifica qué tipo de distancia se debe utilizar ni tampoco los atributos que intervienen para obtener los mejores resultados, otro inconveniente es el coste computacional elevado debido al entrenamiento que se debe realizar en cada consulta, el algoritmo K-Dtree es empleado para reducir este coste. (Núñez, 2009, p. 34-35).

1.3.4. Sistemas de Localización Indoor enfocados en beneficio de las personas con Discapacidad Visual.

En los últimos años se han ido desarrollando sistemas de localización Indoor aplicadas a diversos ámbitos, sin embargo cada día crece más el interés de enfocarlos hacia la ayuda en la navegación y movilidad de personas con algún tipo de discapacidad, una investigación de este ámbito es la realizada por parte de Intel Research que con el uso de redes inalámbricas y código abierto desarrollaron la herramienta Place Lab cuya finalidad es observar los puntos de acceso WiFi que rodean el entorno y utilizar la potencia de señal emitida por parte de ellos así como la proximidad de la señal para estimar la posición.

Los usuarios con discapacidad visual ya sea alta o baja enfrentan retos en cuanto a la posibilidad de navegación y orientación sin ayuda, especialmente cuando no se encuentran familiarizados con el entorno, debido a que no poseen acceso a los mapas de los edificios, señales u otros dispositivos de orientación, constituyendo un gran desafío para este grupo de individuos.

Se han realizados estudios desde hace años atrás para facilitar la movilidad de las personas invidentes, precisando la instalación de hardware para su orientación tales como: guantes que intercambian datos con un dispositivo móvil Android vía Bluetooth, el cual se comunica con el servidor vía WiFi, que acepta eventos como ayuda, replay u otros.

Un aspecto importante respecto a las aplicaciones de localización indoor enfocadas a personas con discapacidad visual es la elección de la interfaz de usuario, varios estudios realizados por medio de entrevistas a personas con esta discapacidad han permitido identificar varios problemas específicos con los que lidian los usuarios invidentes, llegando a concluir que este grupo de personas prefieren navegar utilizando comandos verbales, caminar cerca de las paredes en lugar de en la mitad de las habitaciones, minimización del número de cambios de dirección, diseño de las rutas mediante segmentos cortos de recta y cambios de la ruta en base a ángulos de 90° entre segmento y segmento.

Uno de los sistemas propuestos permite a los usuarios imaginar la distribución de las habitaciones (dimensiones, posición relativa, etc.) mediante el uso de terminales móviles compatibles con la tecnología NFC, la información se almacena en etiquetas RFID, una vez detectadas las etiquetas se escuchan los mensajes audibles almacenados previamente, ya sea al acercarse mediante altavoces o por medio de sensores añadidos a una chaqueta.

Así como el sistema anterior existen en la actualidad muchos sistemas dentro de esta línea, debido a que las etiquetas transmiten la identidad de un objeto que se encuentra cercano a un receptor mediante ondas de radio. Al transmitir la identidad, se transmite también la información que se requiera del transmisor RFID, de tal forma que el receptor RFID conozca la información y por medio de ella localizar el punto en donde se encuentra.

Otro estudio a mencionar es aquel en el que los usuarios al momento de ingresar al edificio en donde se pretende localizarlo, dirigen la cámara del dispositivo móvil hacia un código QR disponible en los puntos de interés, por medio de la lectura del código el usuario puede recibir en el dispositivo información de navegación e instrucciones que debe seguir mediante un navegador de realidad aumentada, mostrándose así la dirección de navegación.

También se ha hecho muy popular la línea del uso de juegos, uno de ellos consiste en tratar de evitar obstáculos que pueden ser encontrados en el camino que recorra un invidente, este proceso también necesita del uso de hardware compuesto por múltiples sensores que dependiendo de la cercanía o no del obstáculo generan un pulso vibratorio en la dirección del sensor de poca amplitud si se encuentra lejano del lugar o de mayor amplitud cuando se acerca al obstáculo, hasta llegar a un largo que indica "Take Care". (Coret, 2014, pp. 23-26).

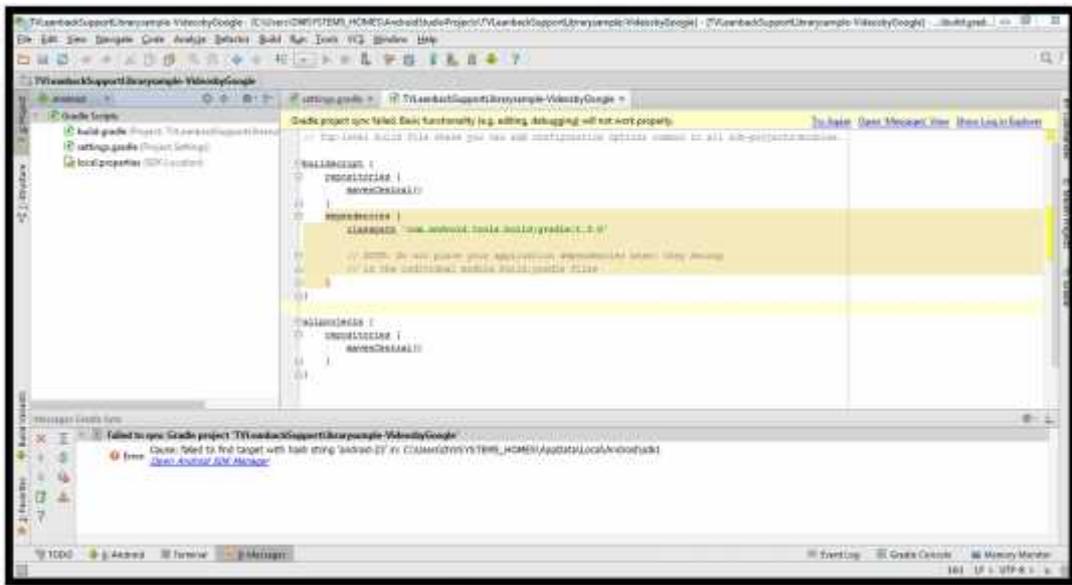


Figura 2-2. Interfaz de Android Studio.

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

Para la elaboración de la base de datos se emplea PostgreSQL, debido a sus características de estabilidad, escalabilidad, potencia, robustez, facilidad de administración e implementación, que lo ponen a la par con SGBD comerciales sin la necesidad de realizar un pago para poder utilizarlo.

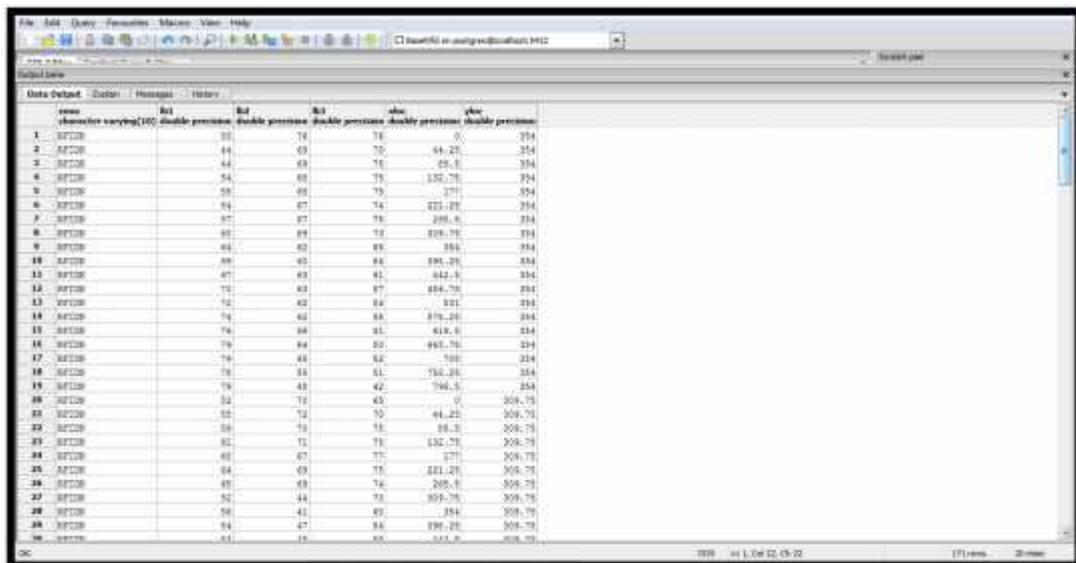


Figura 3-2. Entorno PostgreSQL

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

2.2. Análisis del Sistema de Localización Indoor

De acuerdo a la investigación realizada previamente se ha decidido desarrollar e implementar el sistema de localización indoor con las siguientes generalidades:

- El sistema de localización estará basado en las tecnologías WIFI y RFID por ser las más empleadas en este tipo de sistemas, además estas técnicas nos proveen ventajas como facilidad y bajo costo de implementación.
- El método con el cual se implementará el sistema será el de toma de huellas o fingerprint por su bajo nivel de complejidad, además por tratarse de un sistema compuesto en su mayoría por tecnología WIFI.
- Para obtener mayor exactitud en el punto de salida se acoplará el algoritmo WKNN, así como también el uso de la tecnología RFID.
- Los lenguajes de programación que se utilizarán en este sistema son Visual C# y Android Studio, así como el uso de PostgreSQL para la elaboración de la base de datos.
- El prototipo será implementado sobre los sistemas operativos Windows 7 y Android.

Dichas características mencionadas anteriormente actuarán conjuntamente para poder lograr el objetivo deseado.

2.3. Diseño del Prototipo de Sistema de Localización Indoor WIFI-RFID

2.3.1. Descripción General del Sistema

Para poder lograr la localización de un usuario dentro del sistema se han definido los siguientes componentes:

Servidor de localización.- Constituye una aplicación que se encargará de ejecutar tanto el método como el algoritmo de localización. Para esto realizará una petición al usuario a ser localizado mediante un socket, estableciendo de esta manera la comunicación.

Cliente de localización.- Es una combinación de un dispositivo móvil y una tarjeta de identificación RFID utilizada por el usuario a localizar, dentro del dispositivo correrá una aplicación con la cual a través de la comunicación ya establecida con el servidor se enviarán datos útiles para su posicionamiento, y se empleará la tarjeta RFID para mejorar el punto resultante de la ubicación del usuario, de este modo se fusionan las técnicas WIFI y RFID requeridas en el sistema.

Base de Datos.- Instancia en donde se almacenarán los datos referentes a las características de cada punto a localizar, los cuales serán comparados de acuerdo al algoritmo de localización.

Lector y etiquetas RFID.- El lector RFID es un dispositivo que mediante su posición geográfica dentro del sistema ayuda en el mejoramiento de la precisión en la localización del usuario mediante la detección de sus respectivas etiquetas, además mejora el tiempo de respuesta del sistema. Al tratarse de un prototipo solamente se utilizará un lector por motivo de pruebas y validaciones del sistema.

Access Point.- Terminales empleados para la localización de un individuo, mediante la potencia que utilizan para la transmisión de datos hacia un dispositivo a través de la red WIFI.

En la Figura 4-2 se muestra el empleo de cada uno de los componentes mencionados anteriormente, que serán detallados a profundidad más adelante.

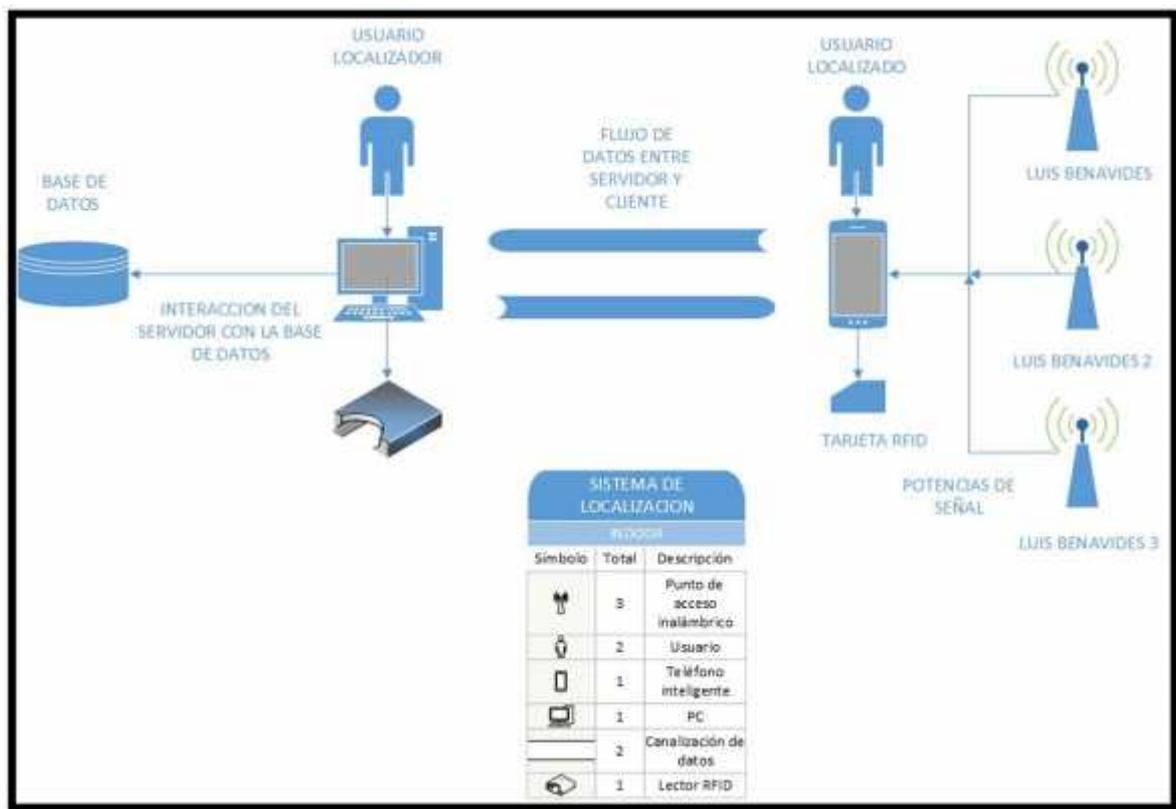


Figura 4-2. Topología del sistema de localización WIFI-RFID

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

Área de localización.- Es el segmento de espacio geográfico perteneciente a la Unidad Educativa que será tomado en cuenta dentro del sistema para realizar la localización. El espacio

considerado para este trabajo lo constituye el bloque de aulas ubicadas en el centro del instituto (Figura 5-2) por razones técnicas explicadas a profundidad en el apartado l3gica de medici3n de este documento, adem1s por ser las aulas centrales de la escuela y encontrarse en este bloque el laboratorio de c3mputo en donde ser1 implementado nuestro sistema.

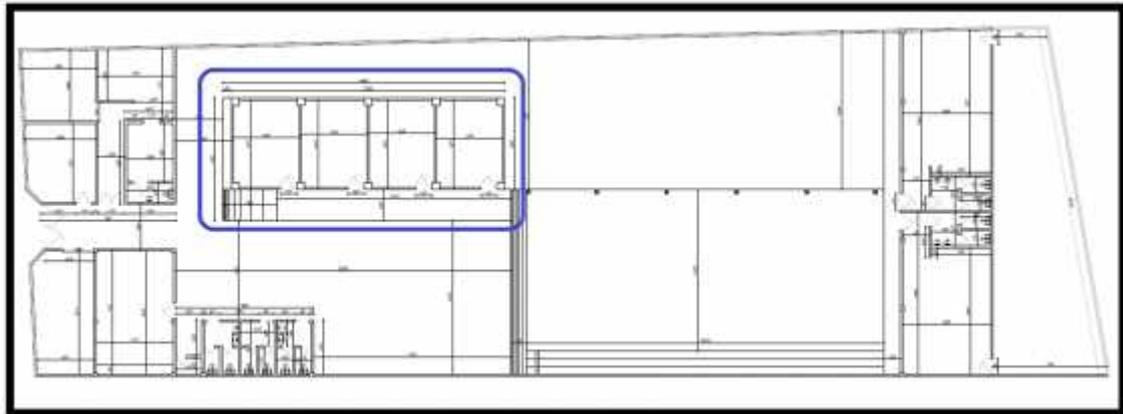


Figura 5-2. Plano total de la Escuela Luis Benavides

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

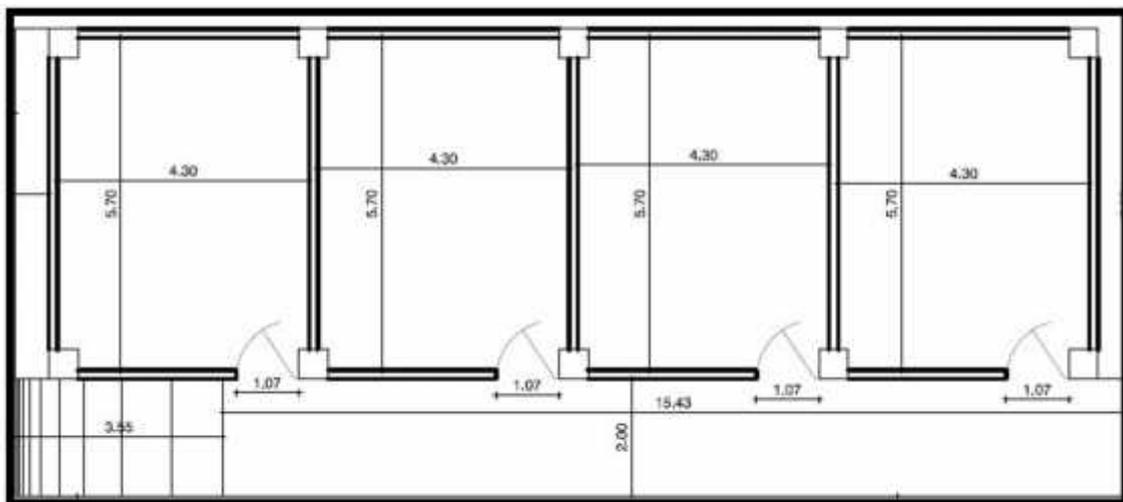


Figura 6-2. Bloque de aulas a implementar el sistema (1rea de Localizaci3n)

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

2.3.2. Caracter1sticas de los Usuarios

Para el correcto funcionamiento del sistema ser1 necesario definir los usuarios que participar1n dentro del mismo, as1 como sus caracter1sticas principales.

Usuario Localizador.- Se encarga de ejecutar la aplicación servidor la cual correrá en un computador de escritorio manejado por la secretaria o algún individuo perteneciente al personal administrativo de la Unidad Educativa, con el objetivo de localizar a otro usuario dentro del sistema.

Usuario Localizado.- Este usuario deberá portar una etiqueta RFID además de un dispositivo móvil en el cual estará ejecutándose la aplicación cliente. La aplicación estará corriendo en segundo plano debido a que el usuario no interactúa de forma activa con la misma, pues los sujetos a localizar serán los niños con discapacidad visual que estudian en la institución.

2.3.3. Requerimientos Funcionales

Los requerimientos para el funcionamiento de la aplicación son mínimos y dependerán de cada una de las partes a mencionar:

Aplicación Servidor.- El servidor será ejecutado bajo cualquier dispositivo Windows 7 o inferiores sobre el cuál corra .NET debido a los drives del lector adjuntos a la aplicación. El servidor funcionará en un ordenador de escritorio ya que al tratarse de un dispositivo centralizado el tiempo de procesamiento será menor debido a su robustez en comparación a uno móvil, disminuyendo significativamente la latencia del sistema.

Aplicación Cliente.- El cliente corre bajo la plataforma Android y debido a su labor no muy compleja puede correr en segundo plano en el dispositivo móvil.

Base de Datos.- Para el desarrollo de la base de datos se empleará el programa PostgreSQL, en el caso de este sistema la base de datos se encuentra ubicada dentro del mismo computador que funciona también como servidor de localización.

Lector RFID.- Se necesitará para el sistema un lector que opere a una distancia igual o mayor a los 3 m, característica que solo se observa en lectores de alta frecuencia, en este caso se empleará uno dentro del rango de 840-960 MHz, además debe poseer una interfaz USB Virtual COM para la interacción entre él y la computadora.

Access Point.- De acuerdo a la topología del sistema serán necesarios tres puntos de acceso que cumplan con los estándares IEEE 802.11b/g, estos puntos de acceso pueden ser de cualquier fabricante.

2.3.4. Diseño de la Lógica de Medición

La lógica de medición cumple uno de los papeles más importantes dentro del sistema, ya que todo el proceso de localización gira en torno a las medidas registradas en cada punto de interés, razón por la cual estas deben ser tomadas de manera cautelosa.

Una de las características del lector RFID utilizado en el sistema es su distancia de detección que dependiendo de las etiquetas con las que se le asocie va de una distancia de 1 metro a 10 metros (ANEXO A). Las etiquetas a manipular dan como resultado una detección de hasta 2 metros aproximadamente, es decir que se necesitarán varios lectores para poder abarcar la zona total de la escuela, es por esta razón que se ha establecido un área de localización ya definida anteriormente.

Para determinar el número de muestras a tomar se realizó una malla de 1 metro cuadrado con el objetivo de tener varias muestras por área de detección del lector y así poder ejecutar el algoritmo de localización, ya que necesita como mínimo tres puntos para realizar el proceso. Además se utilizará solamente un lector RFID para poder hacer evaluaciones comparativas entre un sistema que utiliza tecnologías WIFI-RFID contra un sistema WIFI y obtener importantes conclusiones.

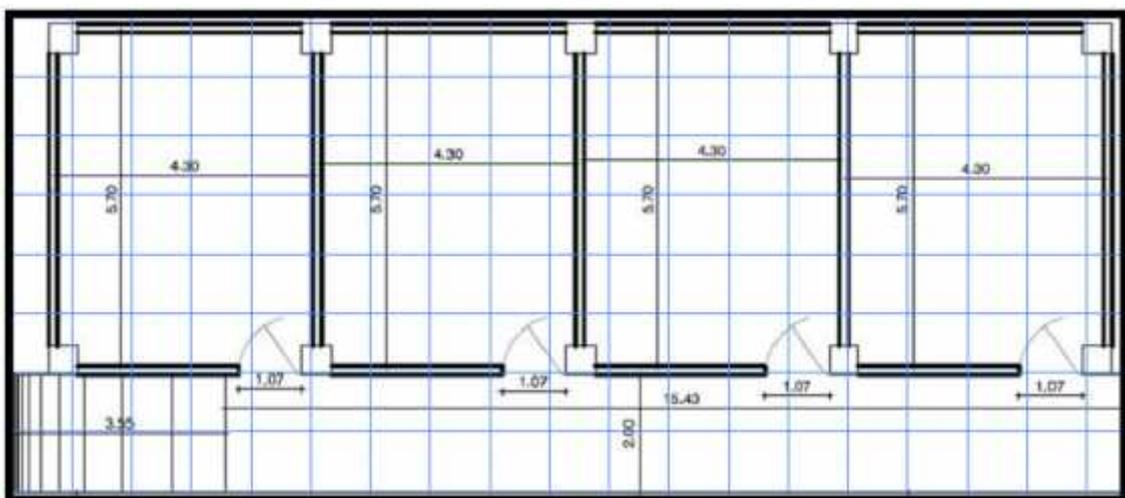


Figura 7-2. Área de localización mallada

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

El proceso de toma de muestras se lo realizará por medio de la aplicación Muestras y no con alguna otra aplicación creada por terceros para este fin, con el objetivo de tratar de obtener medidas mucho más cercanas a la realidad del sistema.

El dispositivo en donde se estará ejecutando la aplicación Muestras será ubicado en cada uno de los 171 puntos distribuidos en la locación y se procederá a realizar una petición desde el dispositivo móvil para poder obtener las respectivas muestras, simulando de esta manera una aproximación al funcionamiento del sistema.

Además como se ha mencionado las muestras contienen señales WIFI, es decir que las potencias emitidas por cada uno de los Access Point varían respecto al tiempo, por esta razón se tomará como mínimo 10 muestras por cada AP en diferentes días, las cuales serán ponderadas automáticamente por la aplicación antes de ser ingresadas manualmente a la base de datos.

2.3.4.1. Cliente de Localización

Como se explicó anteriormente el usuario a ser localizado deberá llevar un dispositivo móvil en el cuál correrá en segundo plano una aplicación, la que básicamente cumple con dos funciones específicas, establecer una comunicación con el servidor y tomar medidas.

Comunicación con el Servidor.- Mediante esta función se transmitirá entre servidor y cliente datos de alta importancia para el funcionamiento del sistema, empezando con la apertura de un socket por parte del cliente para de esta manera permanecer en constante escucha de una petición del servidor, el puerto utilizado para el establecimiento del socket es el 55555, una vez iniciada la comunicación entre el servidor y el cliente se transmitirán primero datos de autenticación para evitar posibles errores de conexión por parte de usuarios pertenecientes a la red WIFI de la institución que sean distintos del requerido, esto puede ocurrir en caso de que otro dispositivo o aplicación se halle escuchando en el mismo puerto del socket cliente, posteriormente se ejecutará la llamada al método *Captura_potencias* para obtener las potencias de señal guardándolo dentro de un vector, mismo que será enviado a la aplicación servidor en donde se realizará el debido proceso para la localización, por último, una vez concluida la transferencia de datos la aplicación cliente se encargará de cerrar el socket como medida de seguridad.

Para la elección del puerto correspondiente al socket se ha considerado que en un ordenador existen un total de 65536 puertos disponibles para el uso en distintas aplicaciones o servicios,

sin embargo, los puertos comprendidos entre 0 y 1024 están reservados para propósitos específicos, por lo cual se debe elegir un puerto que no esté dentro de este rango evitando así posibles errores en la ejecución del sistema. Para la autenticación mencionada la aplicación servidor envía una cadena de caracteres los cuales son recogidos y comparados por el cliente mediante una sentencia de condición **if**, si el resultado es verdadero se procede con la toma de medidas, de lo contrario la comunicación es detenida cerrando el socket del cliente y esperando que se establezca una conexión exitosa posteriormente.



Figura 8-2. Establecimiento de la comunicación (Cliente)

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

Tomar Medidas.- Es un método el cual ha sido llamado *Captura_potencias* dentro de la clase cliente de la aplicación del mismo nombre, mediante la cual a través de una herencia de la clase Wifimanager y del método Wifiscan realiza un escaneo de todos los Access Point que se encuentran alrededor de la Unidad Educativa, para después seleccionarlos mediante su SSID con el objetivo de tomar en cuenta solamente los Access Point que son propiedad de la escuela y que pertenezcan a la estructura lógica del sistema, de los cuales se obtendrá la medida de señal (RSSI) respectiva para posteriormente transformarla en un número positivo.

La selección de los APs se la realizará mediante el siguiente código de programación:

```

for (int i = 0; i < numAPS; i++) {
a = (results.get(i).SSID);
boolean res, res2, res3;
    res = a.equals("LUIS BENAVIDES");
    res2 = a.equals("LUIS BENAVIDES 2");
    res3= a.equals("LUIS BENAVIDES 3");

    if (res) {
lb1 = (results.get(i).level);
        }
    if (res2){
lb2= (results.get(i).level);
        }
    if (res3){
lb3= (results.get(i).level);
        }
    }
}

```

Donde se puede observar un bucle que se ejecutará desde 0 hasta la variable numAPS que contiene el valor entero del número de puntos de acceso detectados por el dispositivo móvil, por cada iteración se guarda en la variable *a* que es del tipo String el SSID del AP actual, luego se verifica si corresponde a cualquiera de los tres SSID involucrados en el sistema, si el resultado es afirmativo se procede a guardar el valor RSSI en su variable entera respectiva (*lb1*, *lb2*, *lb3*) de acuerdo al caso, posteriormente los tres valores obtenidos serán almacenados en un vector, el cual será enviado a través del socket hacia el servidor.

A continuación se puede divisar mediante un gráfico cuan variantes son las señales de los tres puntos de acceso del sistema a través del tiempo, gráficos obtenidos mediante la herramienta WifiExplorer.

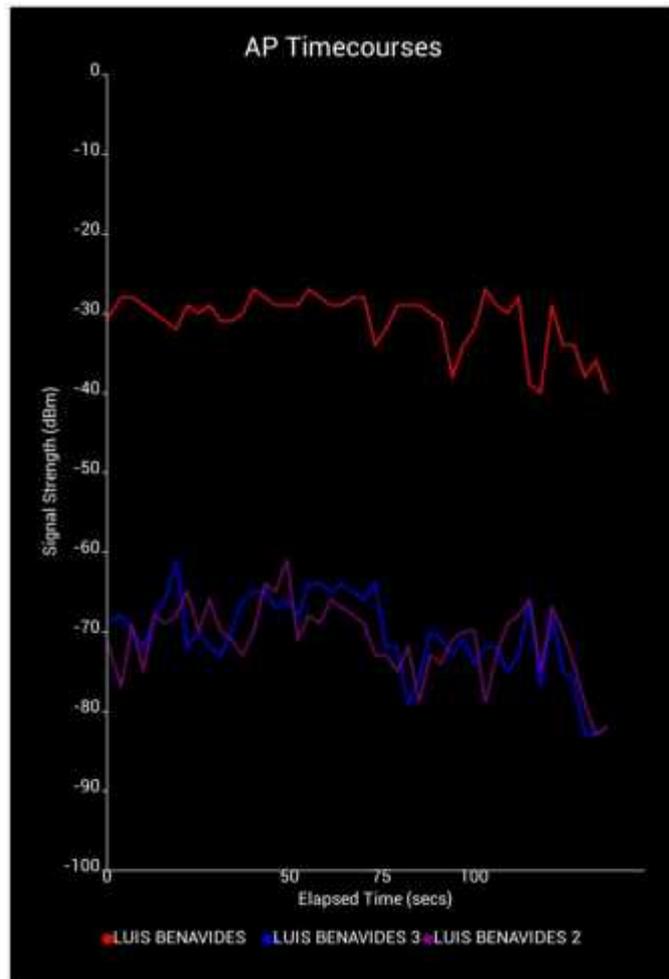


Figura 9-2. Variación de la señal de los 3 puntos de acceso con respecto al tiempo

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

Además del dispositivo móvil, el usuario localizado deberá también portar una tarjeta de identificación RFID, esto con el objetivo de aumentar la precisión del posicionamiento del usuario, ya que dentro del sistema la tarjeta será detectada por el lector dando a conocer dentro del proceso una ubicación parcial del usuario localizado para después determinar su ubicación final mediante las técnicas WIFI del sistema.

2.3.4.2. Servidor de Localización

El servidor de localización es una aplicación desarrollada en Visual Studio en el lenguaje de programación C#, la cual debe ser ejecutada desde un computador portátil o de escritorio que permanecerá fijo en contraste con el cliente de localización.

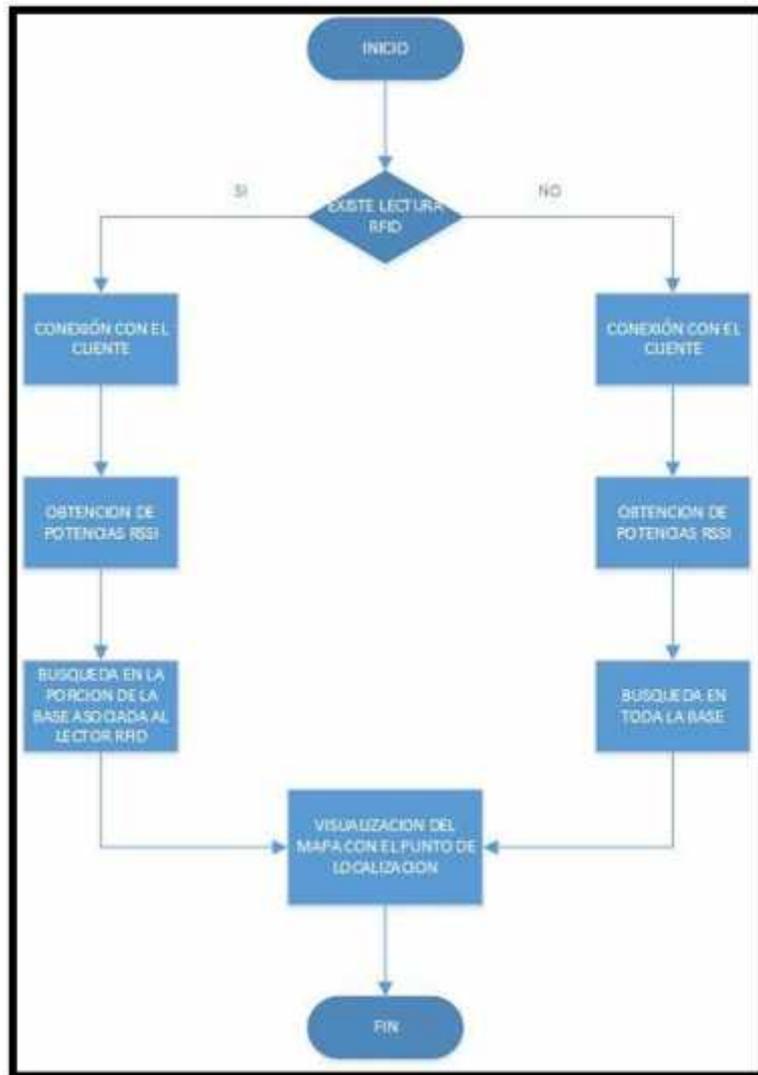


Figura 10-2. Diagrama de bloques de los procesos del servidor

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

Las funciones que cumplirá la aplicación servidor de localización son las siguientes:

Procesamiento RFID.- Este proceso será el encargado de verificar si el lector conectado al computador servidor ha detectado la presencia de una tarjeta RFID, condición que será fundamental para continuar con el siguiente proceso de acuerdo al resultado obtenido. Si la salida del proceso es un resultado positivo significará que el usuario a localizar se halla ubicado en la zona en donde se encuentra el lector RFID, por el contrario si la respuesta es negativa el usuario localizador tiene dos opciones, detener la búsqueda o proceder con el procesamiento WIFI. Al tratarse de un prototipo de sistema y por efecto de verificaciones de pruebas solamente se utilizó un único lector dentro de la Institución Educativa.

Procesamiento WIFI.- En ambos casos mencionados en el proceso anterior el servidor deberá realizar una petición al cliente, con la diferencia de que en el caso positivo primero se realizará el proceso RFID y después el proceso WIFI mientras que en el otro caso solamente se realizará el proceso WIFI que es en donde se establecerá la comunicación mediante el ingreso de su dirección IP en la aplicación servidor, obteniendo de esta forma desde la aplicación un vector lleno con los valores de potencias de la señal (RSSI) pertenecientes a los puntos de acceso en la posición actual del usuario localizado para su posterior análisis y establecimiento de su ubicación.

El proceso de conexión con el cliente se lo realizará mediante su dirección IP, sin embargo esto puede resultar confuso para un usuario normal por lo tanto se le asociará un nombre, dándose por lo consiguiente dos formas de identificar al usuario a localizar: por su dirección IP o por su nombre, para lograr esto se deberá establecer una dirección fija en el dispositivo móvil, por cuanto la configuración para obtener direcciones IP por defecto es dinámica y en cualquier momento se puede desconectar de la red y obtener una nueva dirección al reconectarse.

Procesamiento Base de Datos.- Este procedimiento dependerá de dos instancias, en el caso de darse la detección de una tarjeta RFID por parte del lector, la búsqueda en la base de datos para realizar la comparación de los vectores de potencias actuales se realizará en una porción específica de la misma, la porción dedicada al RFID detectado. Si ninguna tarjeta RFID es detectada se procederá a realizar una búsqueda global en la base por petición del cliente para determinar cuáles son las potencias más parecidas a los vectores RSSI detectados. En ambos casos se determinará el punto de localización del usuario localizado gracias al algoritmo interno WKNN o K vecino más cercano basado en pesos instaurado en el servidor.

Proceso Visualización.- Los resultados arrojados después de la ejecución del procesamiento en la base de datos y el algoritmo de localización son dos números que representan las coordenadas en X y en Y del usuario localizado, estos números son enviados al proceso visualización que despliega una ventana auxiliar conteniendo el plano del área de localización y un punto dibujado en las coordenadas obtenidas.

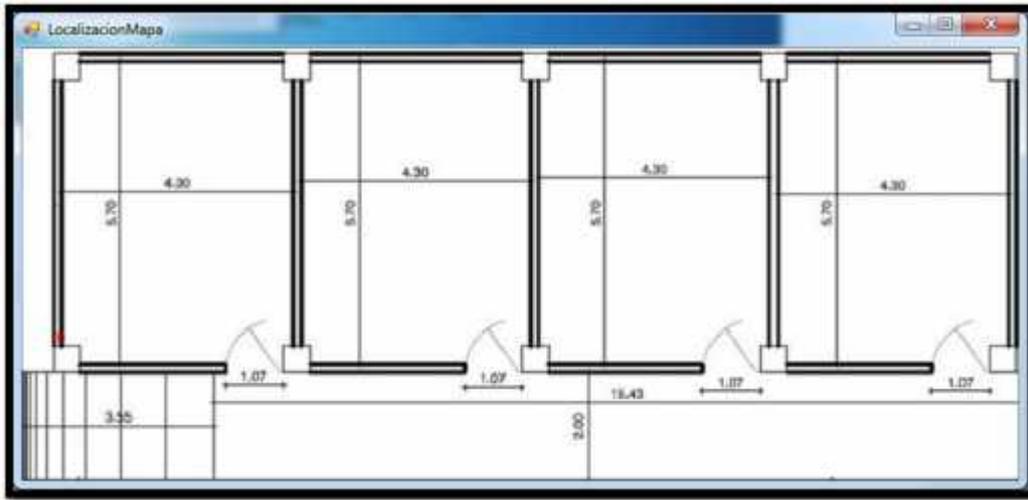


Figura 11-2. Visualización del punto en el mapa.

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

2.3.4.2.1. Algoritmo de Localización

A continuación se explica detalladamente el proceso en concreto del algoritmo empleado en el sistema. Una vez que el vector de potencias RSSI llega a la aplicación servidor éste es introducido en un proceso donde se halla la distancia euclidiana entre el vector recibido y cada uno de los vectores que se hallan dentro de la base de datos, de aquí se escogerán los tres vectores de menor valor que pasaran al siguiente proceso.

Los tres vectores resultantes nos indican posiciones relativas del usuario localizado, para tratar de hallar la localización exacta se deberá ponderarlas, es así que se procede a definir dos vectores, uno que contendrá las posiciones en X y otro las posiciones en Y de los vectores más cercanos, luego dividiremos cada vector para sus respectivas distancias euclidianas creando con sus resultados dos nuevos vectores.

Tabla 1-2. Vectores con las posiciones en X e Y

Vector X			
Vector Y			
Dist. Eucl.			

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

Tabla 2-2. Nuevos vectores X e Y

Nuevo X	$X_{na} = \frac{Xa}{Da}$	$X_{nb} = \frac{Xb}{Db}$	$X_{nc} = \frac{Xc}{Dc}$
Nuevo Y	$Y_{na} = \frac{Ya}{Da}$	$Y_{nb} = \frac{Yb}{Db}$	$Y_{nc} = \frac{Yc}{Dc}$

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

Para terminar con el proceso debemos asignar un peso a cada par ordenado de posiciones para lo cual se calcula el inverso de su distancia euclidiana y después se logra obtener un peso total sumando los pesos parciales.

$$W_a = \frac{1}{D_a}, \quad W_b = \frac{1}{D_b}, \quad W_c = \frac{1}{D_c}$$

$$W = W_a + W_b + W_c$$

Al dividir cada componente del vector X resultante en el proceso anterior por el peso total y sumar los resultados se obtendrá la posición final en X, al igual que la posición final en Y, datos con los cuales se realizará el proceso de visualización, subsiguiente al algoritmo de localización.

$$X_{final} = \frac{X_{na}}{W} + \frac{X_{nb}}{W} + \frac{X_{nc}}{W}$$

$$Y_{final} = \frac{Y_{na}}{W} + \frac{Y_{nb}}{W} + \frac{Y_{nc}}{W}$$

2.3.4.3. Aplicación Muestras

Esta aplicación es utilizada para tomar las muestras que son ingresadas en la base de datos y cumple dos funciones, primero ejecuta el proceso Captura_potencias de la aplicación cliente de la manera ya mencionada y tomando en cuenta solo los tres puntos de acceso considerados en el sistema, la diferencia es que este proceso es ejecutado dentro de un bucle que se repite por diez veces, al final de cada iteración la aplicación se pausa por dos segundos, de esta manera se obtendrán diez medidas diferentes tomadas durante veinte segundos y se almacenaran en una matriz denominada Matriz_potencias.

Luego de esto, Matriz_potencias es llevada al proceso Media_potencias en donde se procede a calcular la media del conjunto de valores obtenidos por cada punto de acceso y serán los valores que se insertaran en la base de datos, la aplicación Muestras tiene el objetivo de tomar valores RSSI lo más reales posibles debido a la naturaleza variante de las señales WIFI que se lo pudo indicar anteriormente.



Figura 11-2. Íconos de las aplicaciones
Muestras y Cliente

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

2.3.4.4. Base de Datos

El método utilizado en el sistema de localización propuesto es el de Fingerprint o Método de Huellas, por lo tanto será necesario la creación de una base de datos que estará compuesta por un determinado número de entradas conformada por los siguientes parámetros.

Medidas de Potencia de la Señal.- Definido por la cantidad de potencia de señal con la cual un determinado Access Point transmite datos a un dispositivo WIFI en un lugar específico, llamado también RSSI (Received Signal Strength Indicator).

Para el sistema se utilizarán tres Access Point con los cuales cuenta la Unidad Educativa dentro de la estructura de la red WIFI, ubicados de tal forma que cubran en lo posible con su señal todo el espacio físico correspondiente al área de localización dentro del instituto, de esta manera

se tendrá tres medidas RSSI por cada punto definido dentro del sistema, lo que permitirá una mejor estimación de la posición del sujeto a localizar.

Para identificar los Access Point que participarán en el sistema y tomar su respectiva medida referente a un punto se utilizará el SSID de cada uno de ellos, los cuales se encuentran definidos por los nombres LUIS BENAVIDES, LUIS BENAVIDES 2 y LUIS BENAVIDES 3.

Coordenadas.- Cada grupo de medidas tendrán asociadas a sí mismas sus coordenadas, que no serán sino su ubicación geográfica medida en pixeles con referencia al gráfico de un plano de la Unidad Educativa.

Las coordenadas a representar dentro del plano estarán ubicadas sobre los ejes cartesianos X e Y, debido a que el espacio sujeto a la toma de muestras está constituido por una infraestructura de una sola planta es decir por una zona bidimensional.

Zona.- Las medidas RSSI y sus coordenadas estarán relacionadas con una “Zona” que se encuentra definida por el área de cobertura que posea el lector RFID, es decir cada lector RFID tendrá asociado a sí un grupo de medidas y coordenadas que estarán dentro del área geográfica en donde puede mantener comunicación el lector con las etiquetas.

Con lo ya mencionado la base de datos quedará compuesta por una sola tabla que contendrá las entradas o muestras, divididas en el espacio geográfico de las aulas tomadas en cuenta como área de localización del sistema como se muestra en la Tabla 3-2, estas entradas estarán conformadas por los campos Zona (Muestra), Medida 1 (LB1), Medida 2 (LB2), Medida 3 (LB3), Coordenada X (XLOC), Coordenada Y (YLOC), de la siguiente manera:

Tabla 3-2. Modelo de base de datos con las medidas de 6 puntos

ZONA	LB1	LB2	LB3	XLOC	YLOC
RFIDN	40	61	66	0	354
RFIDN	46	64	66	44,25	354
RFIDN	37	69	67	88,5	354
RFIDN	39	65	63	132,75	354
RFIDN	47	61	63	177	354
RFIDN	42	57	62	221,25	354

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

Como se puede observar dentro de la tabla, las medidas de potencia de la señal almacenadas están expresadas en números enteros positivos, que difieren con los valores negativos que generalmente entregan los Access Point al usar como unidad de medida dBm's. El signo negativo de las potencias fue eliminado ya que al usar valores positivos se facilita el procesamiento dentro del método y el algoritmo utilizado en el sistema de localización.

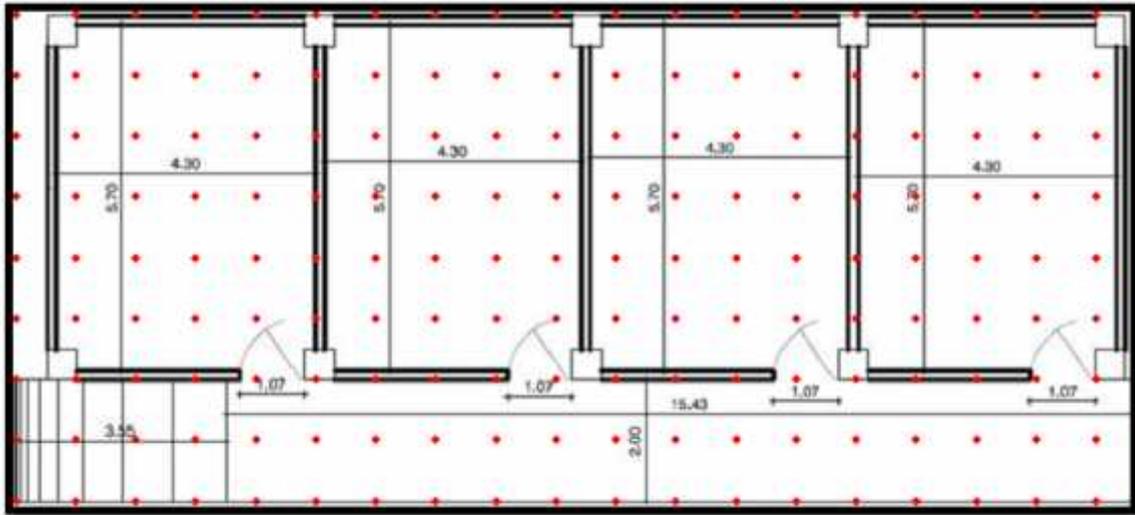


Figura 13-2. Mapa del área de localización con el número de entradas a ponderar

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

De acuerdo al gráfico se observa que se realizará la toma de muestras en 171 puntos, cada división del plano equivale a un metro cuadrado que representa a 44,25 pixeles, con el fin de abarcar acertadamente toda el área de localización correspondiente a 18,53 metros de largo por 8 metros de ancho.

2.3.5. Diseño de la Interfaz Gráfica

Para el diseño de la interfaz gráfica se programó la aplicación con el lenguaje de programación Visual C#, por ser uno de los más conocidos, de fácil manejo y también por ser compatible con el lector RFID utilizado en el sistema.



Figura 14-2. Ventana principal del sistema

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

La ventana principal está compuesta por dos menús para la configuración de búsqueda, la opción IP nos permite seleccionar un dispositivo móvil cuya dirección IP se encuentra asociada a un nombre (ALUMNO 1) para evitar que sea necesario por parte del usuario localizador ingresarla manualmente y ocasionar posibles errores de ingreso.

La opción TIPO nos permite seleccionar el medio por el que vamos a localizar al usuario localizado, en este caso tenemos dos opciones, la primera TODA LA WIFI que nos permite detectar un móvil y realizar la búsqueda por medio de la tecnología IEEE 802.11b en la base de datos del nivel de potencias y la segunda llamada RFID que nos permite detectar a un lector y tarjeta RFID así como a un dispositivo móvil y realizar su búsqueda mediante las potencias almacenadas de la red WIFI, logrando así combinar las dos tecnologías más empleadas en este tipo de sistemas de localización.

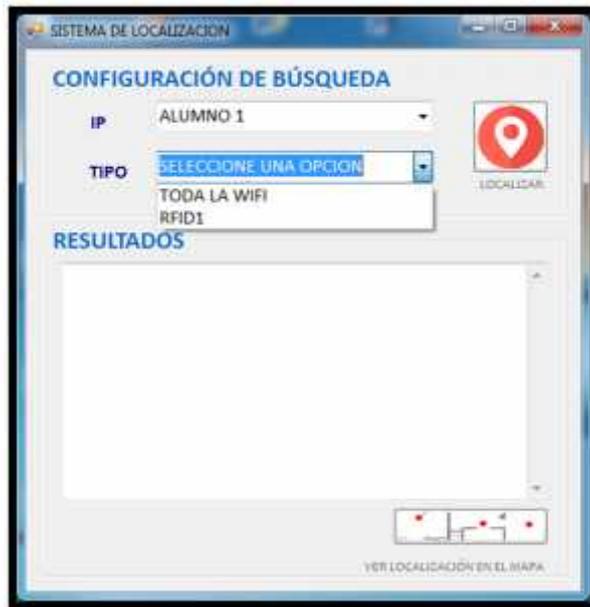


Figura 15-2. Menús de la opción configuración de búsqueda

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

Al escoger tanto el dispositivo móvil como el tipo de búsqueda es posible realizar la localización en TODA LA WIFI por parte del servidor presionando sobre la opción LOCALIZAR que se encuentra en la parte superior derecha, siempre y cuando en el móvil se encuentre ejecutándose la aplicación Android Cliente que permite la comunicación entre ambos.

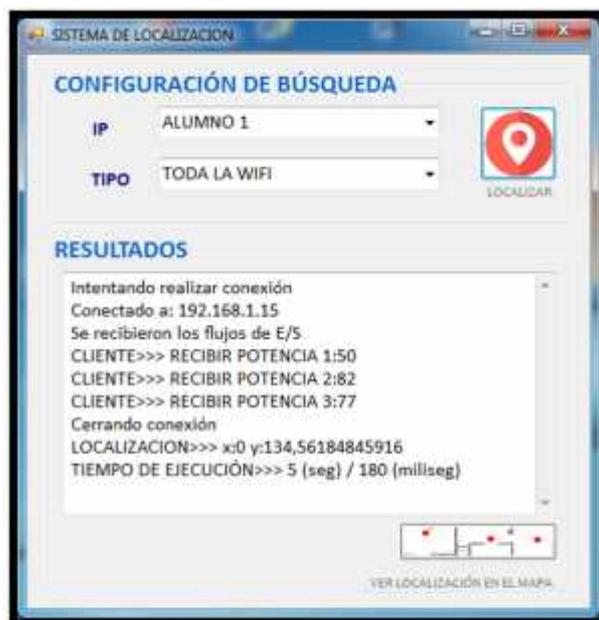


Figura 16-2. Localización WIFI

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

Una vez establecida la comunicación se visualizarán los resultados obtenidos por el servidor, los cuales son los niveles de potencias de los tres puntos de acceso del sistema, las coordenadas X e Y de ubicación y el tiempo de ejecución del proceso. Al dar clic en la opción VER VISUALIZACIÓN EN EL MAPA de la parte inferior de la ventana se desplegará el mapa del sitio con el punto de salida correspondiente al lugar en donde se encuentra el usuario localizado.

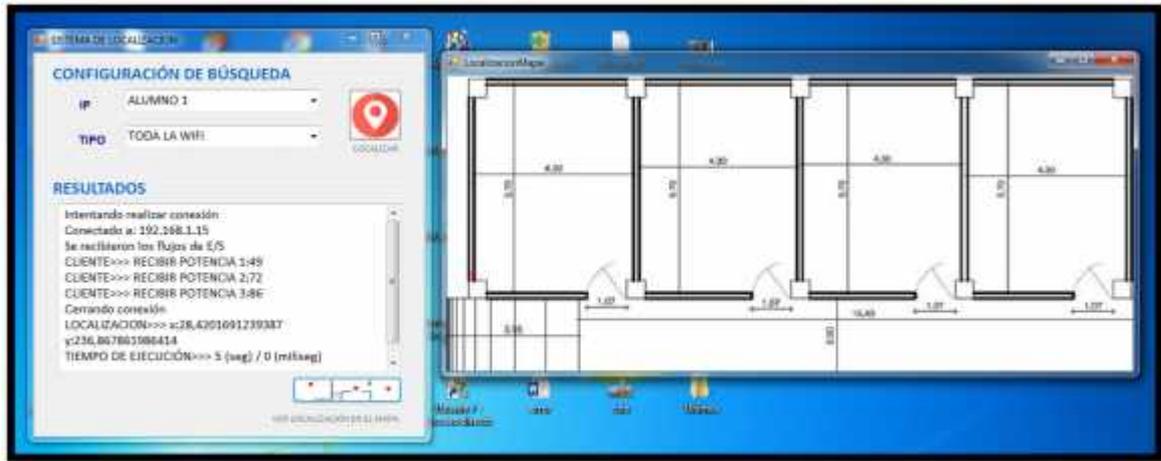


Figura 17-2. Localización y salida del punto de ubicación del usuario en el mapa (WIFI)

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

Para localizar por medio de WIFI-RFID se debe realizar el proceso anterior y además conectar el lector RFID antes de ejecutar la aplicación, para de esta manera detectarlo e iniciar el proceso de conexión.



Figura 18-2. Detección del RFID por parte del servidor.

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

CAPÍTULO III

3. MARCO DE PRUEBAS Y RESULTADOS

3.1. Configuración de Dispositivos

De acuerdo al planteamiento del sistema es necesario la configuración de los siguientes dispositivos.

3.1.1. Access Points

Cada uno de los puntos de acceso deben ser configurados con un nombre de dispositivo para evitar al momento de tomar muestras conflictos de identificación. El Access Point ubicado en el centro de cómputo posee el SSID Luis Benavides, el segundo AP que se encuentra cerca de la puerta del segundo año de educación básica se llama Luis Benavides 2 y por último el tercer AP ubicado bajo el techo que cubre parte de la cancha de la escuela posee el SSID Luis Benavides 3.

Para poder configurar los nombres es necesario ingresar a la interfaz de configuración de cada uno de ellos, es decir una Huawei y dos interfaces D-Link, el proveedor de servicios de internet lo constituye CNT EP.

Para el AP Huawei es necesario ingresar en el navegador la dirección IP 192.168.1.1, una vez realizado este proceso se nos pedirá un nombre de usuario y contraseña que son instalador y .corporacion respectivamente, ya dentro de la página de configuración escogemos la opción Basic y WLAN, es aquí donde podemos cambiar el nombre del access point al SSID Luis Benavides, finalmente guardamos la configuración realizada por medio de la opción submit.

En el caso de los dispositivos D-Link para configurarlos es necesario ubicar en el navegador la dirección IP 192.168.0.1 e ingresamos al menú principal de cada uno de ellos, aquí será necesario introducir un username que es admin y un password que se lo debe dejar en blanco y damos clic en login, una vez dentro seleccionamos wireless setup y escogemos manual wireless connection setup en donde ingresamos el SSID correspondiente, una vez hecho esto procedemos a guardar los cambios. Además se deberá desactivar la opción DHCP de ambos Routers para

que funcionen como puente del router Huawei y todas las direcciones IP dadas se encuentren dentro del rango de este.

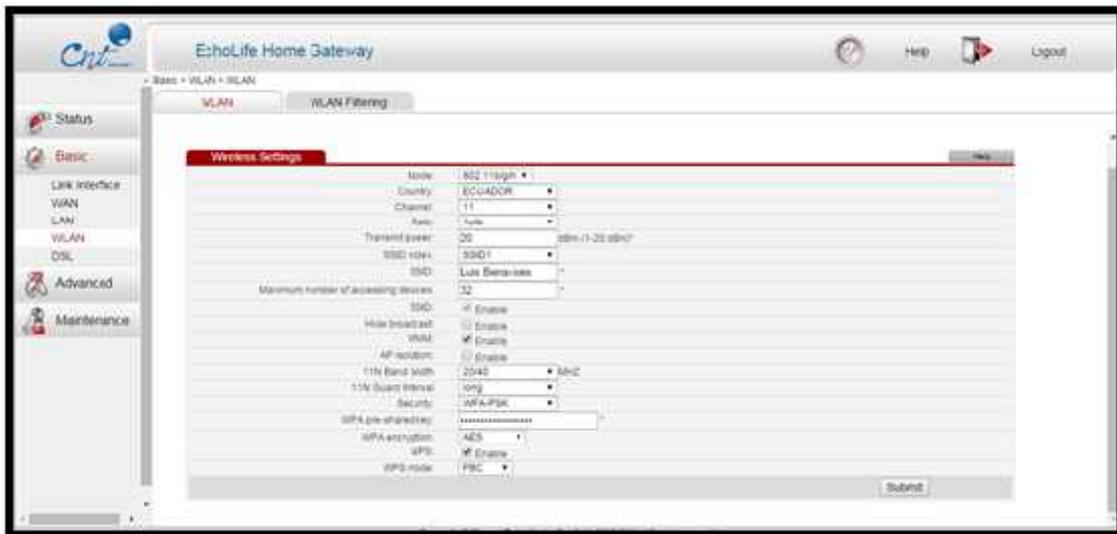


Figura 1-3. Configuración SSID Luis Benavides (AP Huawei)

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

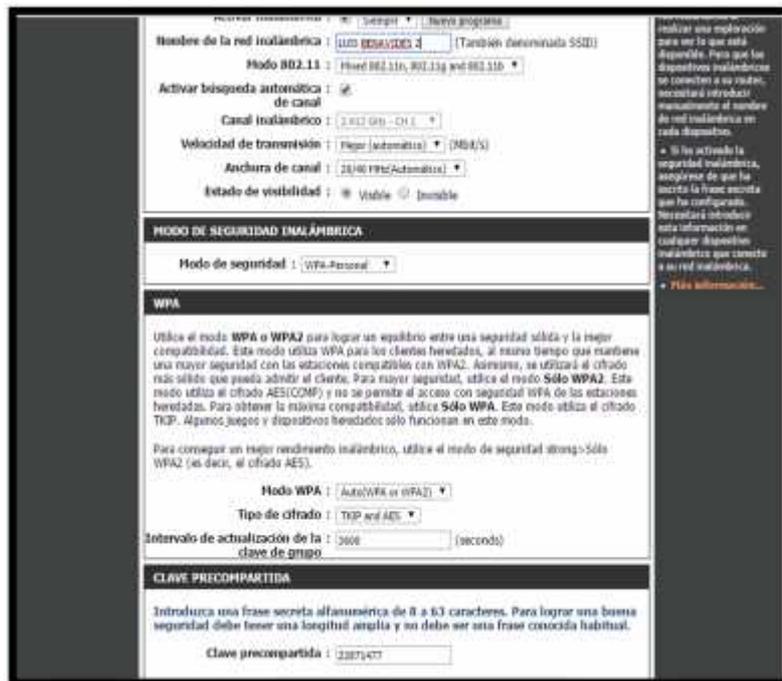


Figura 2-3. Configuración SSID Luis Benavides 2 (AP D-Link)

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

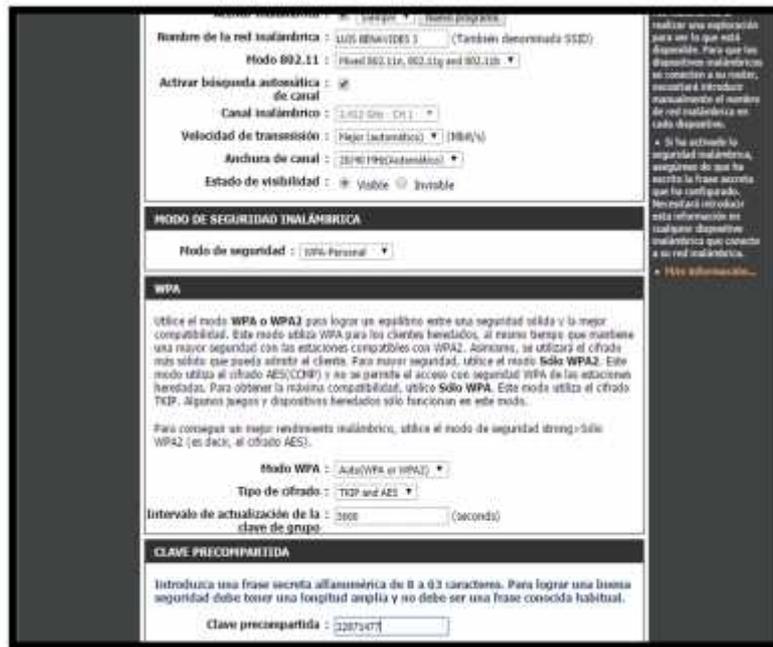


Figura 3-3. Configuración SSID Luis Benavides 3 (AP D-Link)

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

3.1.2. Terminal Móvil (Cliente)

En éste dispositivo va a correr la aplicación cliente para comunicarse con el servidor, razón por la cual es necesario configurar una dirección IP estática que se encuentre dentro del pool de direcciones de la red, para no tener que obtener una dirección IP nueva en cada intento de conexión.

La dirección IP fue configurada en un dispositivo móvil Samsung Galaxy Tab 2 7.0, dirigiéndonos a ajustes ya sea desde las aplicaciones o por medio del botón opciones del Smartphone, una vez ahí seleccionamos conexiones inalámbricas y ajustes Wifi, ya dentro de ajustes escogemos opciones y pulsamos en opciones avanzadas, una vez ahí escogemos la opción configurar IP fija.

La dirección IP configurada es la 192.168.1.15, la cual es empleada al momento de realizar la petición de comunicación entre el cliente y servidor por medio del socket que se establece en ese instante.



Figura 4-3. Configuración de la dirección IP del dispositivo móvil

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

3.2. Simulación Cobertura WIFI

Hasta el momento no existe un software con en el cual se pueda realizar una simulación del funcionamiento de un sistema de posicionamiento, sin embargo utilizaremos EKAHAU HEATMAPPER para tener una aproximación sobre la manera en la que la señal RSSI de cada uno de los puntos de acceso es emitida, además de la cantidad con la que llega a los distintos puntos de la estructura geográfica de la escuela, esto con el objetivo de ubicar los AP's de tal forma que la señal de cada uno esté presente al momento de tomar las muestras respectivas.

A continuación se muestran los resultados obtenidos por cada uno de los puntos de acceso.

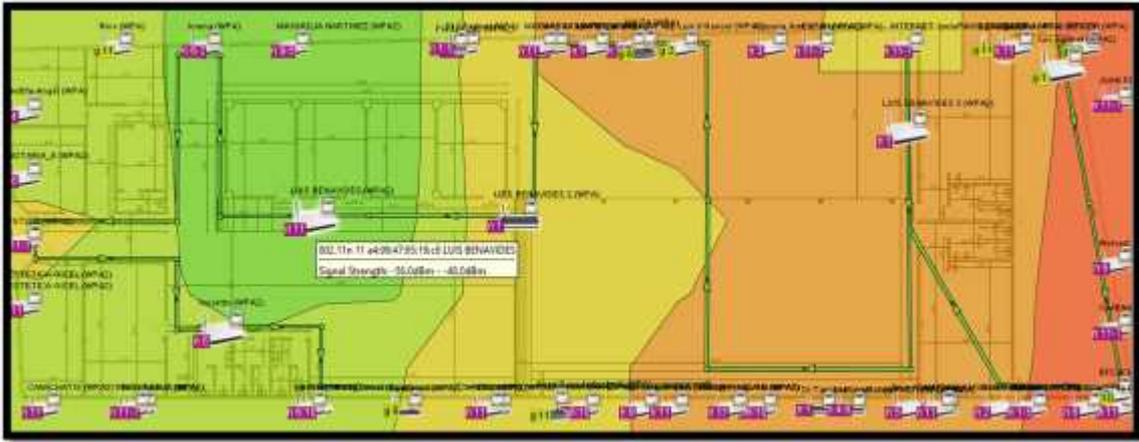


Figura 5-3. Cobertura del Router 1 (SSID Luis Benavides)

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

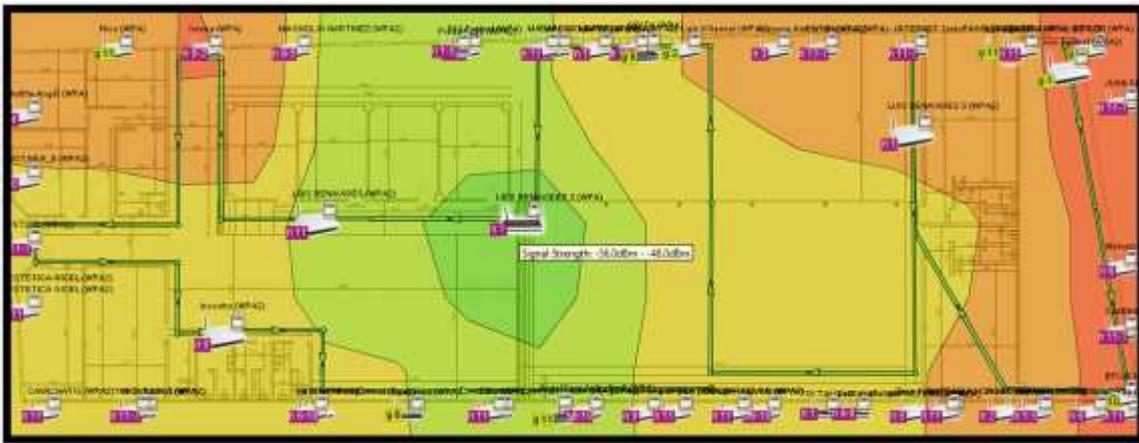


Figura 6-3. Cobertura del Router 2 (SSID Luis Benavides 2)

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

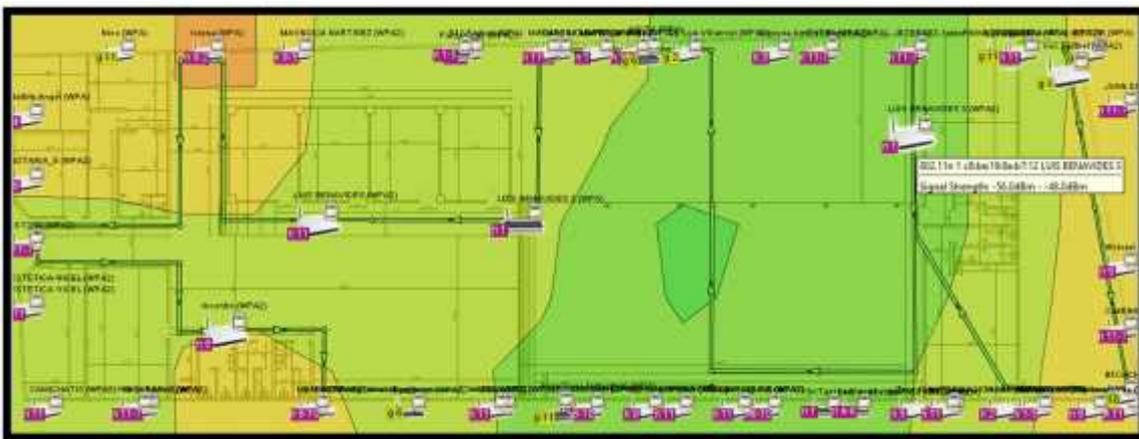


Figura 7-3. Cobertura del Router 3 (SSID Luis Benavides 3)

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

Las zonas en verde del mapa de calor representan aquellas que poseen mayor intensidad de señal, en contraste con las zonas rojas en donde la señal es poca o nula. Como se puede observar los puntos de acceso fueron ubicados tratando de lograr en lo posible que las zonas marcadas con color rojo sean mínimas o que estas zonas cubran lugares en donde los estudiantes de la Unidad Educativa no tienen acceso, la ubicación de los AP's también estuvo en función a sus distintas características y posibilidades de acuerdo al entorno.

3.3. Toma de Medidas

Es necesario realizar el ingreso del nivel de las potencias previas a la localización dentro de la base de datos, para lo cual se debe hacer uso de la aplicación Muestras que se encarga de recolectar las potencias emitidas por los 3 Access Point dentro del sistema.

Por medio de la aplicación se realiza la toma de 10 medidas emitidas por cada uno de los AP cada 20 segundos, en cada uno de los 171 puntos en los que se divide el bloque de aulas, internamente se realiza el promedio de estas y se devuelve un resultado que será ingresado a la base de datos.

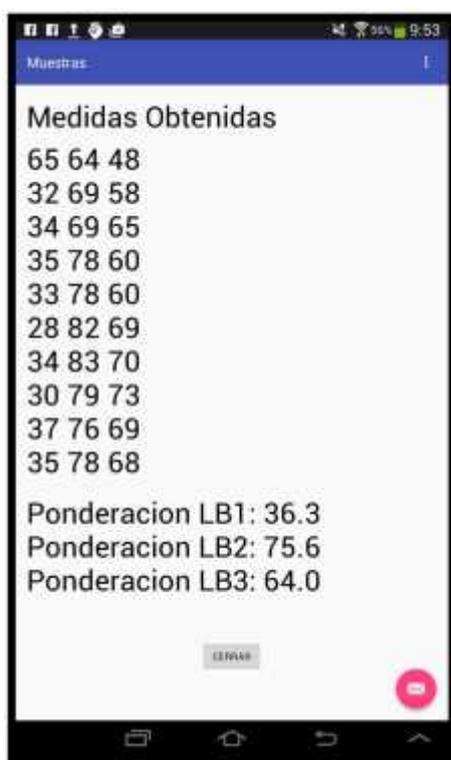


Figura 8-3. Ejemplo de toma de medidas.

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

3.4. Pruebas y Resultados

3.4.1. Escenarios de Pruebas

Para evaluar el sistema se realizó la toma de medidas y pruebas de campo en la Unidad Educativa Dr. Luis Benavides, ubicado en las calles Manuel Elicio Flor y Princesa Cori de la ciudad de Riobamba, la institución consta de un solo piso y posee una red WIFI compuesta por 2 APs ubicados en la parte de las aulas delanteras y un último AP colocado en la parte posterior cerca a las aulas finales, también se instaló un lector RFID en la primera aula del bloque a tomar medidas.

En la siguiente figura se puede observar la posición de los 3 APs en el plano de la escuela. Cada uno de los puntos de acceso posee un SSID diferente: SSID Luis Benavides, SSID Luis Benavides 2 y SSID Luis Benavides 3 respectivamente, para poder diferenciarlos a la hora de tomar y ponderar las medidas de las potencias emitidas por cada uno de ellos, también se puede apreciar el lugar en donde se encuentra ubicado el lector RFID.

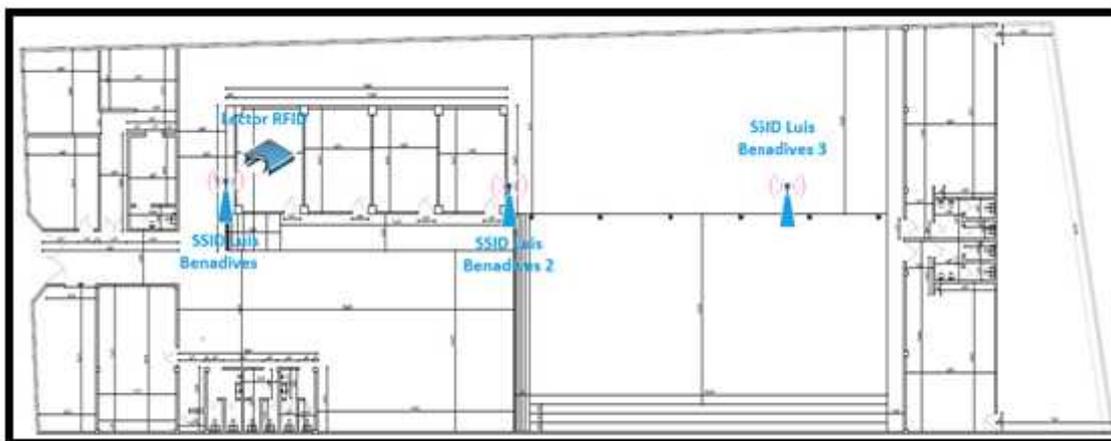


Figura 9-3. Ubicación de los APs y Lector RFID en el plano.

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

Las pruebas a realizarse tienen el objetivo de comparar un sistema de posicionamiento local que funciona únicamente con la tecnología IEEE 802.11b o WIFI frente a uno que utiliza la misma técnica y además utiliza la tecnología IEEE 802.15.4f o RFID como respaldo, determinando así las ventajas y desventajas en general de implementar estos sistemas combinando estas dos tecnologías diferentes de aquellos que solo usan una tecnología.

Punto 1= M49

Punto 2=M40

Punto 3=M99

Punto 4=M150

Punto 5= M109

- **Punto 1= M49**

Durante esta prueba el voluntario se ubicó en el punto de muestra 49 de coordenadas (442,25; 265,5)



Figura 11-3. Ubicación del voluntario en el punto de prueba 1 (WIFI).

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

Por medio de la aplicación servidor se obtuvo el punto de ubicación de coordenadas (454,07; 311,17), como se muestra en la Figura 12-3.

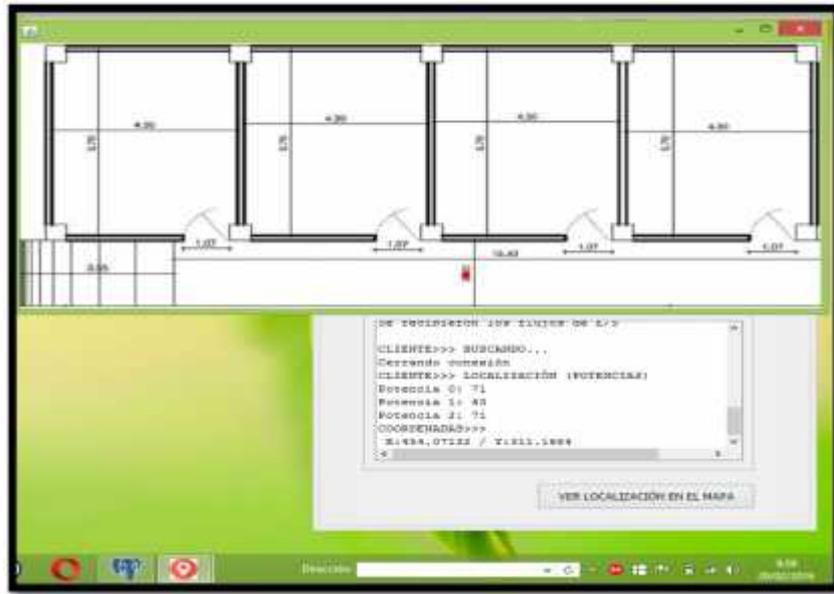


Figura 12-3. Salida en pantalla del punto de ubicación 1 (WIFI).

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

Cálculo de la distancia entre 2 puntos:

1,066 m

Mediante el cálculo anterior determinamos que el punto de ubicación real del usuario difiere en 1,066 m del punto resultante obtenido por medio de la aplicación.

- **Punto 2= M40**

Durante esta prueba el voluntario se ubicó en el punto de muestra 40 de coordenadas (44,25; 265,5)



Figura 13-3. Ubicación del voluntario en el punto de prueba 2 (WIFI).

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

Por medio de la aplicación servidor se obtuvo el punto de ubicación de coordenadas (72,99; 239,66), como se muestra en la Figura 14-3.

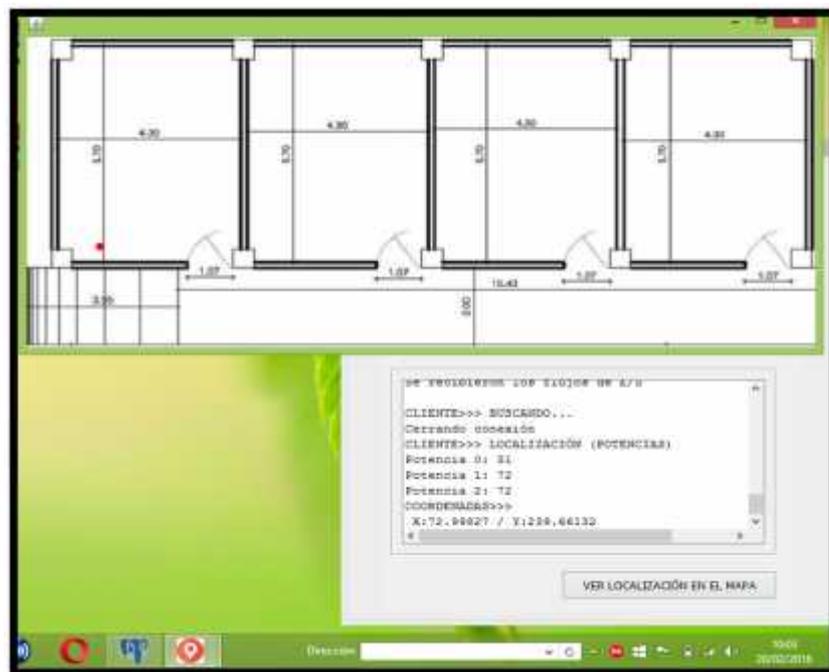


Figura 14-3. Salida en pantalla del punto de ubicación 2 (WIFI).

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

Cálculo de la distancia entre 2 puntos:

0,873 m

Mediante el cálculo anterior determinamos que el punto de ubicación real del usuario difiere en 0,873 m del punto resultante obtenido por medio de la aplicación.

- **Punto 3= M99**

Durante esta prueba el voluntario se ubicó en el punto de muestra 99 de coordenadas (132,75; 132,75).



Figura 15-3. Ubicación del voluntario en el punto de prueba 3 (WIFI).

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

Por medio de la aplicación servidor se obtuvo el punto de ubicación de coordenadas (87,98; 118,57), como se muestra en la Figura 16-3.

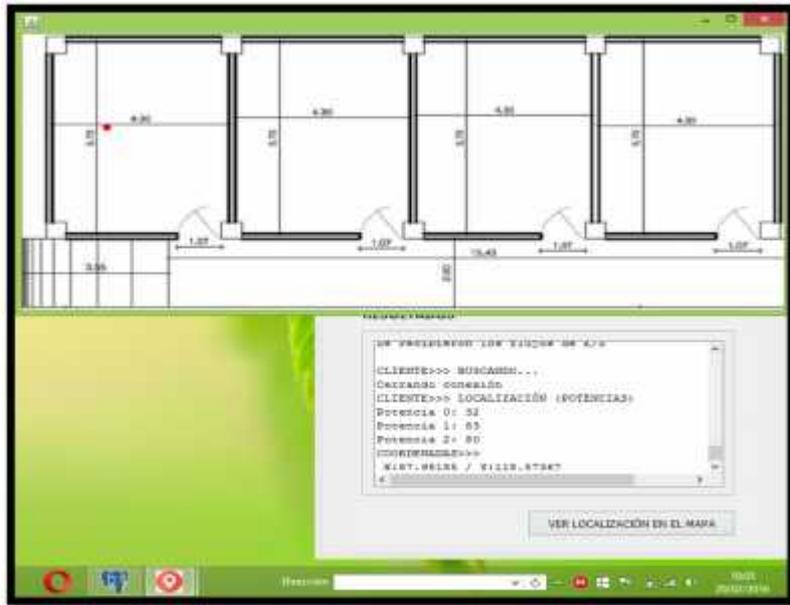


Figura 16-3. Salida en pantalla del punto de ubicación 3 (WIFI)

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

Cálculo de la distancia entre 2 puntos:

1,061 m

Mediante el cálculo anterior determinamos que el punto de ubicación real del usuario difiere en 1,061 m del punto resultante obtenido por medio de la aplicación.

- **Punto 4= M150**

Durante esta prueba el voluntario se ubicó en el punto de muestra 150 de coordenadas (708; 44,25).



Figura 17-3. Ubicación del voluntario en el punto de prueba 4 (WIFI).

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

Por medio de la aplicación servidor se obtuvo el punto de ubicación de coordenadas (741,39; 18,06), como se muestra en la Figura 17-3.

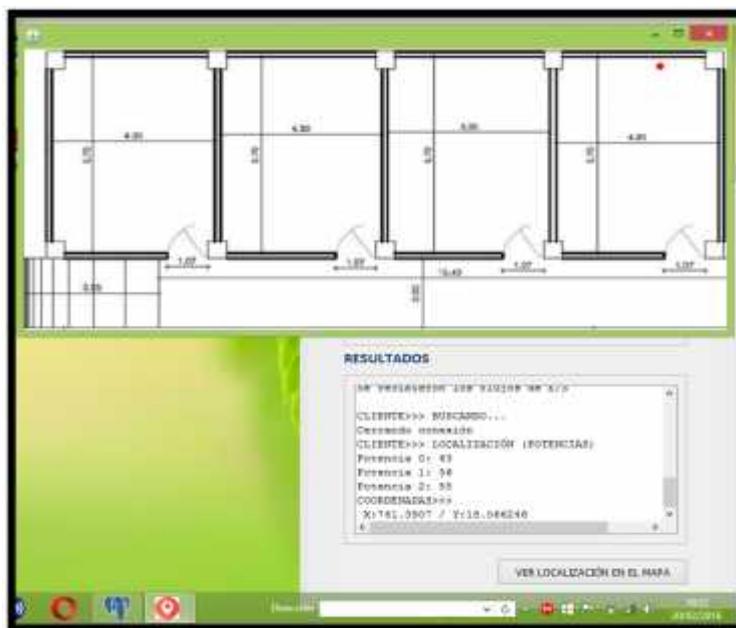


Figura 18-3. Salida en pantalla del punto de ubicación 4.

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

Cálculo de la distancia entre 2 puntos:

0,959 m

Mediante el cálculo anterior determinamos que el punto de ubicación real del usuario difiere en 0,959 m del punto resultante obtenido por medio de la aplicación.

- **Punto 5= M109**

Durante esta prueba el voluntario se ubicó en el punto de muestra 108 de coordenadas (575,25; 132,75).



Figura 19-3. Ubicación del voluntario en el punto de prueba 5 (WIFI).

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

Por medio de la aplicación servidor se obtuvo el punto de ubicación de coordenadas (522,03; 110,91), como se muestra en la Figura 19-3.

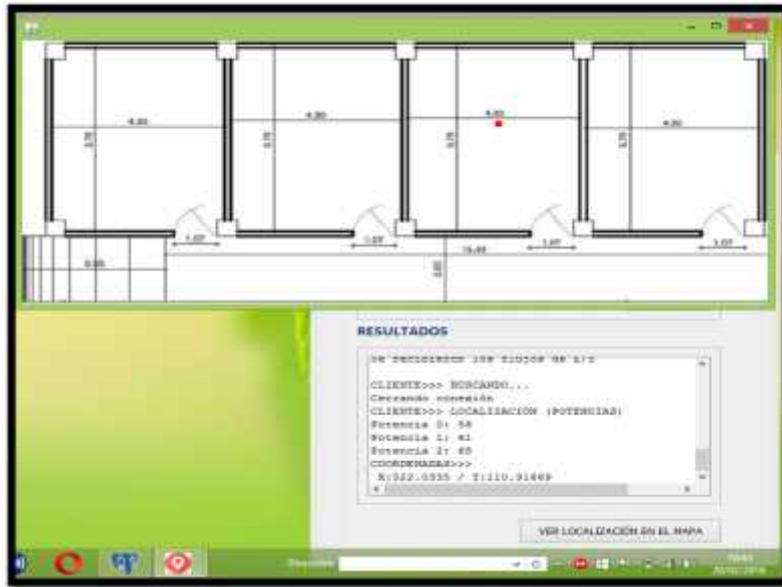


Figura 20-3. Salida en pantalla del punto de ubicación 5 (WIFI).

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

Cálculo de la distancia entre 2 puntos:

1,3 m

Mediante el cálculo anterior determinamos que el punto de ubicación real del usuario difiere en 0,534 m del punto resultante obtenido por medio de la aplicación.

De acuerdo a los resultados mostrados mediante los cálculos anteriores es posible obtener la siguiente tabla comparativa, obteniendo un promedio de variación de distancia entre los puntos de prueba de 0,89 m.

Tabla 1-3. Resultados pruebas de error de distancia en la localización WIFI.

Variable	Resultado
Punto 1	1,066m
Punto 2	0,873m
Punto 3	1,061m
Punto 4	0,959m
Punto 5	1,300m
Distancia Mínima	0,873m
Distancia Máxima	1,300m
Promedio	1,052m

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

3.4.1.1.2. Pruebas de error en la distancia de localización WIFI-RFID

A continuación se muestran los puntos tomados en cuenta para esta prueba.

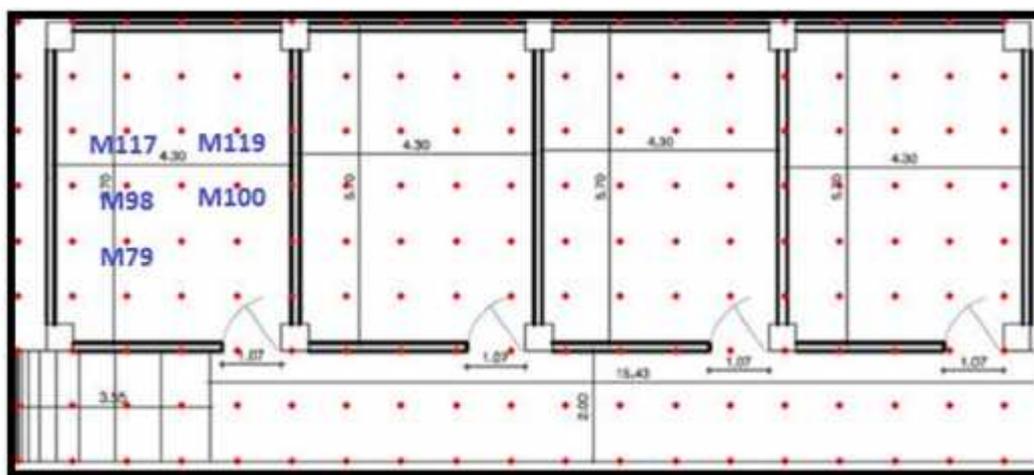


Figura 21-3. Ubicación de los puntos usados para las pruebas de error de distancia WIFI-RFID

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

Punto 1= M79

Punto 2=M98

Punto 3=M117

Punto 4=M119

Punto 5= M100

- **Punto 1= M79**

Durante esta prueba el voluntario se ubicó en el punto de muestra 79 de coordenadas (88,5; 177).



Figura 22-3. Ubicación del voluntario en el punto 1 (WIFI-RFID).

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

Por medio de la aplicación servidor se obtuvo el punto de ubicación de coordenadas (147,50; 118), como se muestra en la Figura 22-3.

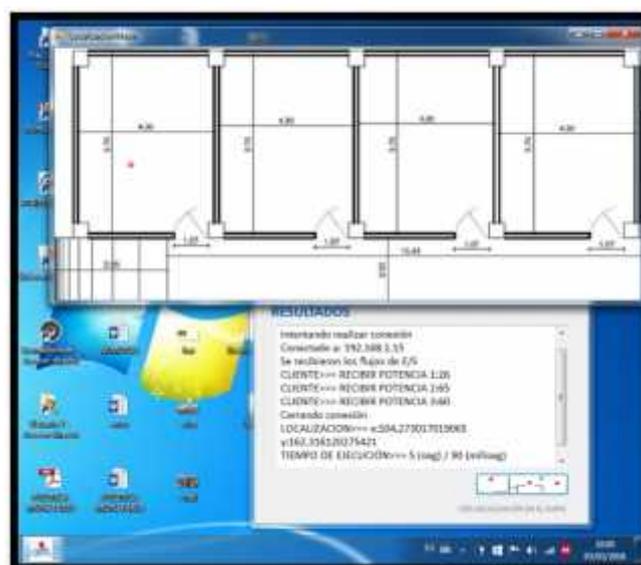


Figura 23-3. Salida en pantalla del punto 1 (WIFI-RFID).

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

Cálculo de la distancia entre 2 puntos:

21,54
0,487 m

Mediante el cálculo anterior determinamos que el punto de ubicación real del usuario difiere en 1,89 m del punto resultante obtenido por medio de la aplicación.

- **Punto 2= M98**

Durante esta prueba el voluntario se ubicó en el punto de muestra 98 de coordenadas (88,5; 132,75).



Figura 24-3. Ubicación del voluntario en el punto 2 (WIFI-RFID).

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

Por medio de la aplicación servidor se obtuvo el punto de ubicación de coordenadas (104,66; 118,84), como se muestra en la Figura 24-3.

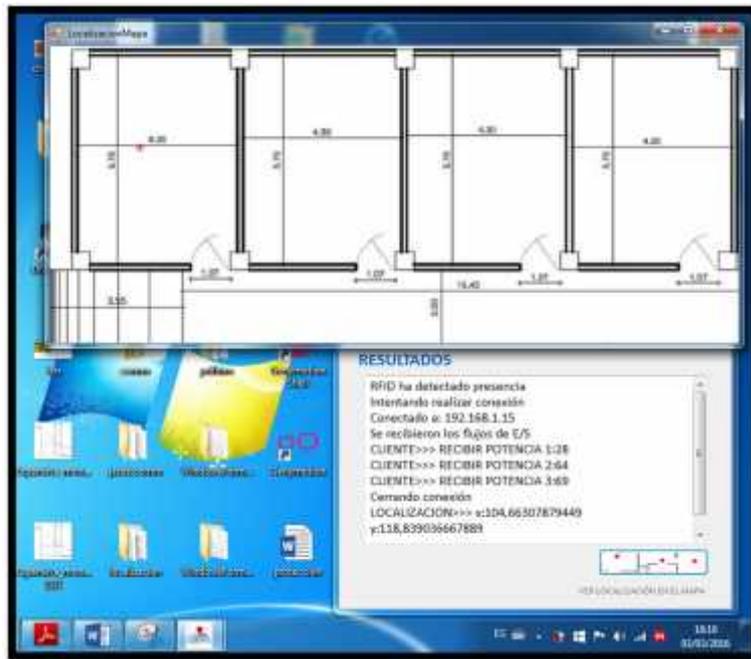


Figura 25-3. Salida en pantalla del punto 2 (WIFI-RFID).

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

Cálculo de la distancia entre 2 puntos:

21,32

0,482 m

Mediante el cálculo anterior determinamos que el punto de ubicación real del usuario difiere en 0,486 m del punto resultante obtenido por medio de la aplicación.

- **Punto 3= M117**

Durante esta prueba el voluntario se ubicó en el punto de muestra 117 de coordenadas (88,5; 88,5).



Figura 26-3. Ubicación del voluntario en el punto 3 (WIFI-RFID).

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

Por medio de la aplicación servidor se obtuvo el punto de ubicación de coordenadas (97,93; 107,97), como se muestra en la Figura 26-3.

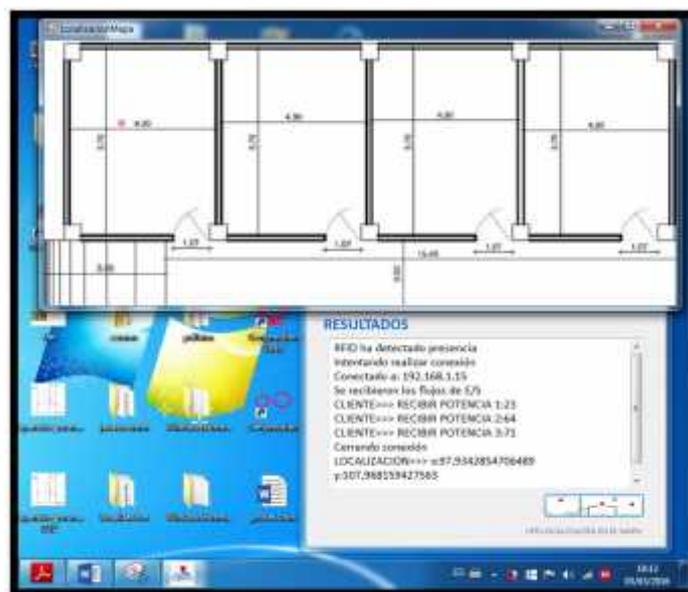


Figura 27-3. Salida en pantalla del punto 3 (WIFI-RFID).

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

Cálculo de la distancia entre 2 puntos:

21,63
0,489 m

Mediante el cálculo anterior determinamos que el punto de ubicación real del usuario difiere en 0,489 m del punto resultante obtenido por medio de la aplicación.

- **Punto 4= M119**

Durante esta prueba el voluntario se ubicó en el punto de muestra 119 de coordenadas (177; 88,5).



Figura 28-3. Ubicación del voluntario en el punto 4 (WIFI-RFID).

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

Por medio de la aplicación servidor se obtuvo el punto de ubicación de coordenadas (146,38; 116,29), como se muestra en la Figura 28-3.

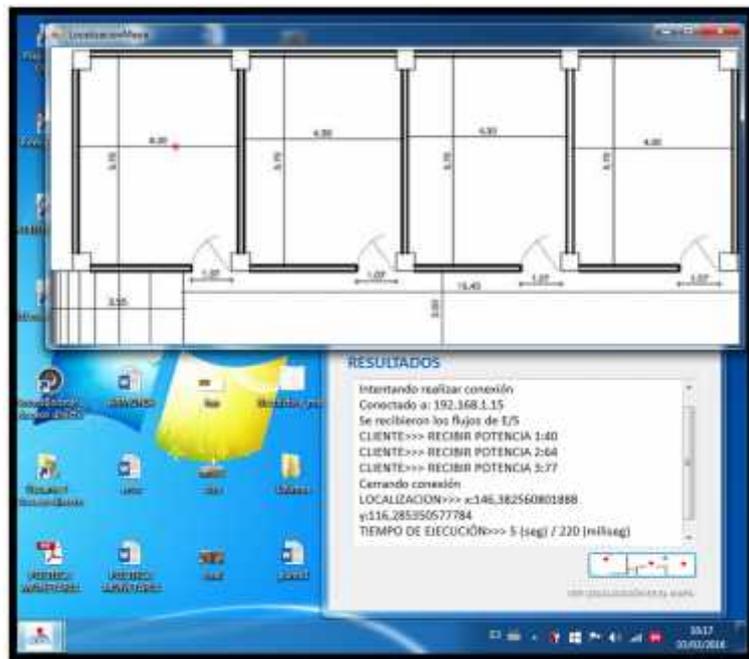


Figura 29-3. Salida en pantalla del punto 4 (WIFI-RFID).

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

Cálculo de la distancia entre 2 puntos:

41,35

0,934 m

Mediante el cálculo anterior determinamos que el punto de ubicación real del usuario difiere en 1,379 m del punto resultante obtenido por medio de la aplicación.

- **Punto 5= M100**

Durante esta prueba el voluntario se ubicó en el punto de muestra 100 de coordenadas (177; 132,75).



Figura 30-3. Ubicación del voluntario en el punto 5 (WIFI-RFID).

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

Por medio de la aplicación servidor se obtuvo el punto de ubicación de coordenadas (142,76; 112,49), como se muestra en la Figura 30-3.

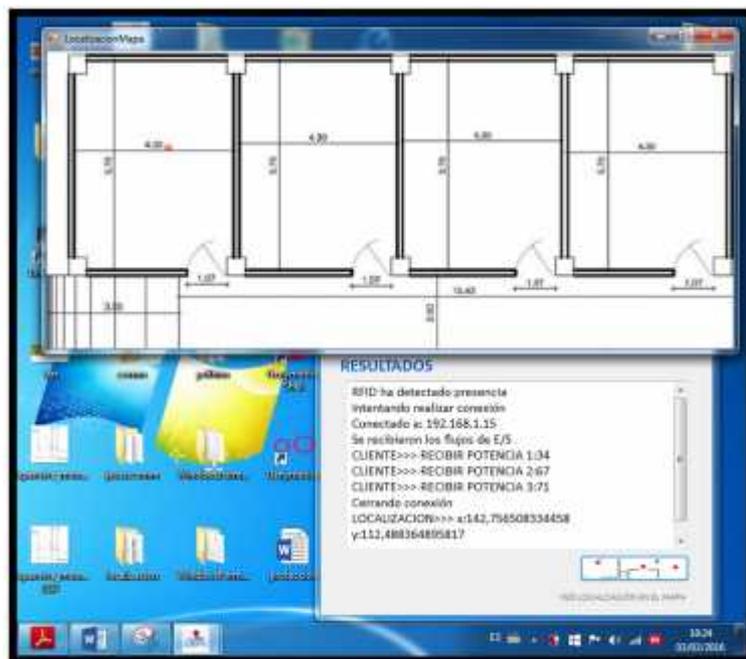


Figura 31-3. Salida en pantalla del punto 5 (WIFI-RFID).

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

Cálculo de la distancia entre 2 puntos:

$$P1 = (177; 132,75)$$

$$P2 = (142,76; 112,49)$$

$$1n = 44,25$$

$$d = \sqrt{(x2 - x1)^2 + (y2 - y1)^2}$$
$$d = \sqrt{(142,76 - 177)^2 + (112,49 - 132,75)^2}$$
$$d = 39,78$$
$$d = 0,899 \text{ m}$$

Mediante el cálculo anterior determinamos que el punto de ubicación real del usuario difiere en 0,823 m del punto resultante obtenido por medio de la aplicación.

De acuerdo a los resultados mostrados mediante los cálculos anteriores es posible obtener la siguiente tabla comparativa, obteniendo un promedio de variación de distancia entre los puntos de prueba de

Tabla 2-3. Resultados pruebas de error de distancia en la localización WIFI-RFID.

Variable	Resultado
Punto 1	0,487 m
Punto 2	0,482 m
Punto 3	0,489 m
Punto 4	0,934m
Punto 5	0,899 m
Distancia Mínima	0,486 m
Distancia Máxima	0,934 m
Promedio	0,658m

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

3.4.1.2. Pruebas de tiempo de respuesta del sistema

Para este tipo de pruebas la aplicación servidor tiene incorporada un temporizador que dará el resultado del tiempo tomado desde que se realiza la petición de localización, hasta que se muestra en pantalla el área de localización con la ubicación del usuario localizado.

Para estas pruebas se han tomado en cuenta los mismos 5 puntos de la Figura 20-3, obteniendo los siguientes resultados, tanto en el sistema WIFI y el sistema WIFI-RFID.

3.4.1.2.1. Pruebas de tiempo de respuesta del sistema WiFi

- Punto 1= M79

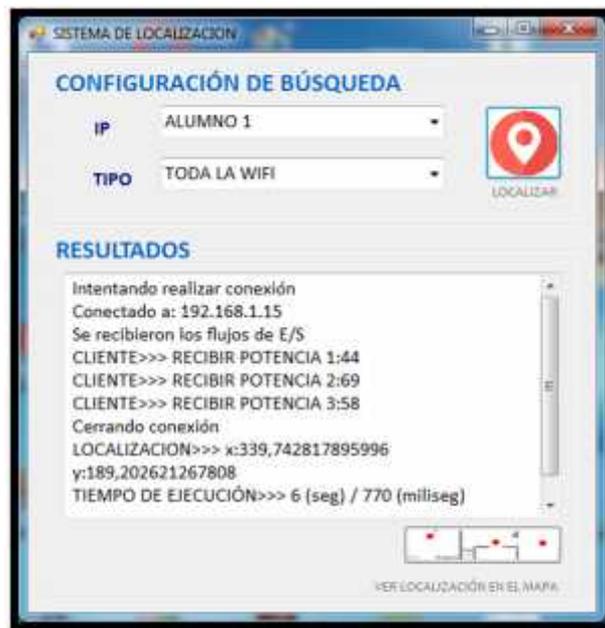


Figura 32-3. Tiempo de ejecución del punto 1 (WIFI).

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

El tiempo de ejecución obtenido es de 6,77 segundos

- Punto 2= M98



Figura 33-3. Tiempo de ejecución del punto 2 (WIFI).

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

El tiempo de ejecución obtenido es de 5,8 segundos

- Punto 3= M117

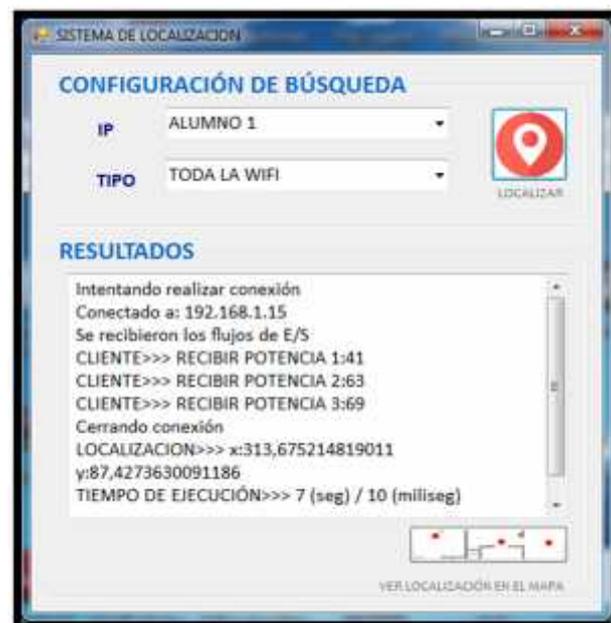


Figura 34-3. Tiempo de ejecución del punto 3 (WIFI).

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

El tiempo de ejecución obtenido es de 7,01 segundos

- Punto 4= M119

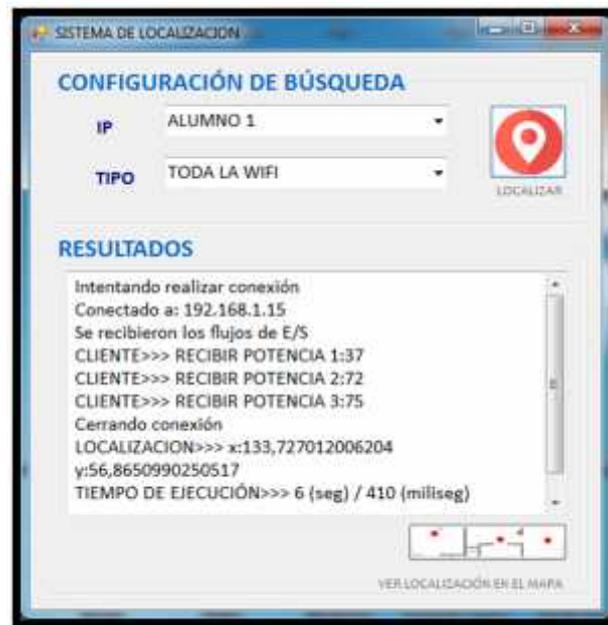


Figura 35-3. Tiempo de ejecución del punto 4 (WIFI).

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

El tiempo de ejecución obtenido es de 6,41 segundos.

- Punto 5= M100



Figura 36-3. Tiempo de ejecución del punto 5 (WIFI).

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

El tiempo de ejecución obtenido es de 5,88 segundos

Como se puede observar se obtuvieron distintos tiempos en cada una de las ejecuciones, a continuación se obtendrá el promedio de todas ellas el cual será utilizado como referencia para la comparación entre las dos configuraciones.

Tabla 3-3. Resultados pruebas de tiempo de respuesta del sistema WIFI.

Variable	Resultado
Punto 1	6,77 s
Punto 2	5,80 s
Punto 3	7,01 s
Punto 4	6,41 s
Punto 5	5,88 s
Tiempo Mínimo	5,80 s
Tiempo Máximo	7,01 s
Promedio	6,37 s

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

3.4.1.2.2. Pruebas de tiempo de respuesta del sistema WIFI-RFID

- Punto 1= M79

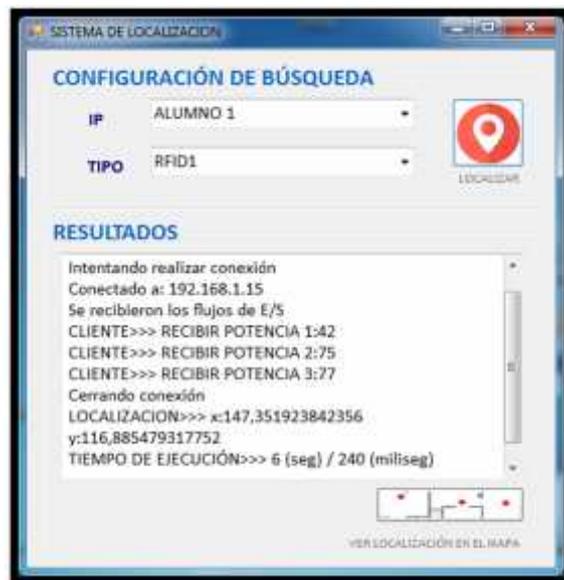


Figura 37-3. Tiempo de ejecución del punto 1 (WIFI-RFID).

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

El tiempo de ejecución obtenido es de 6,24 segundos

- Punto 2= M98



Figura 38-3. Tiempo de ejecución del punto 2 (WIFI-RFID).

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

El tiempo de ejecución obtenido es de 5,29 segundos

- Punto 3= M117



Figura 39-3. Tiempo de ejecución del punto 3 (WIFI-RFID).

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

El tiempo de ejecución obtenido es de 5,9 segundos

- Punto 4= M119

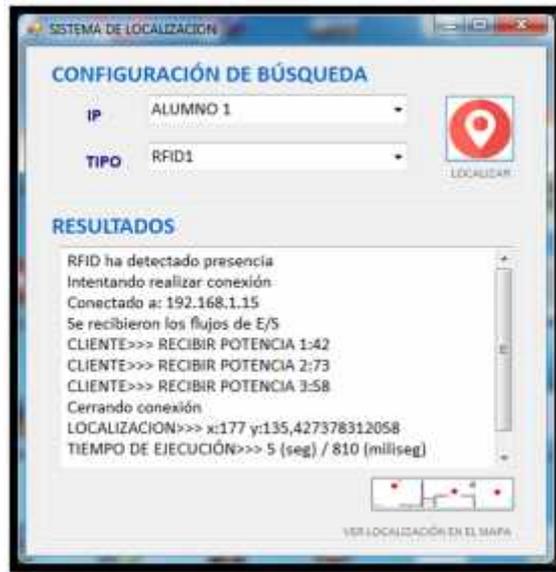


Figura 40-3. Tiempo de ejecución del punto 4 (WIFI-RFID).

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

El tiempo de ejecución obtenido es de 5,81 segundos

- Punto 5= M100



Figura 41-3. Tiempo de ejecución del punto 5 (WIFI-RFID).

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

El tiempo de ejecución obtenido es de 5,51 segundos

Al igual que en las pruebas anteriores se determinará el promedio de los tiempos obtenidos.

Tabla 4-3. Resultados pruebas de tiempo de respuesta del sistema WIFI-RFID.

Variable	Resultado
Punto 1	6,24 s
Punto 2	5,29 s
Punto 3	5,90 s
Punto 4	5,81 s
Punto 5	5,51 s
Tiempo Mínimo	5,29 s
Tiempo Máximo	6,24 s
Promedio	5,75s

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

3.4.1.3. Pruebas en un punto utilizando WIFI y WIFI-RFID

Para esta prueba se ha tomado como referencia el punto de muestra 100 de coordenadas (177; 132,75), obteniendo los siguientes resultados.



Figura 42-3. Ubicación del voluntario en el punto de muestra 100.

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016



Figura 43-3. Localización del usuario en el punto de muestra 100 (WIFI).

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

Cálculo de la distancia entre 2 puntos:

30,19

0,682 m

Mediante el cálculo anterior determinamos que el punto de ubicación real del usuario difiere en 0,682 m del punto resultante obtenido por medio de la aplicación, y su tiempo de respuesta es de 6,16 s.

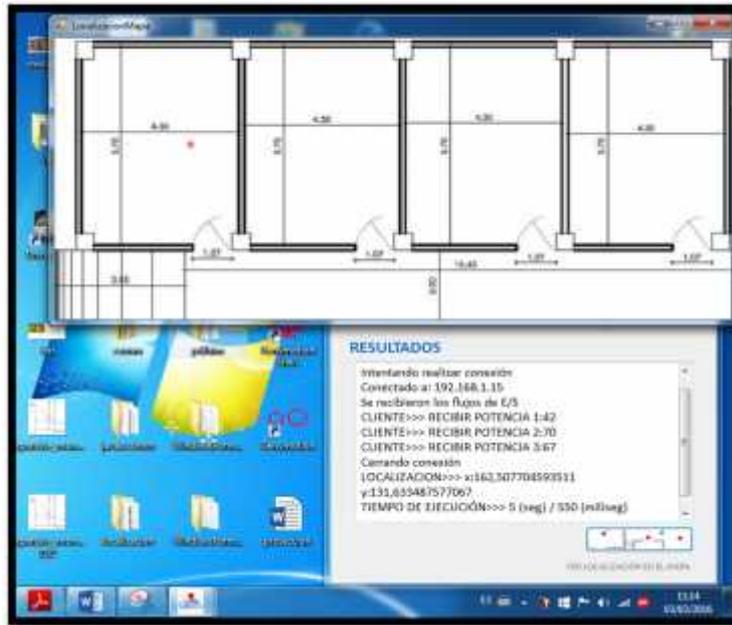


Figura 44-3. Localización del usuario en el punto de muestra 100 (WIFI-RFID).

Realizado por: Macas, J., Quillay, I. 2016

Cálculo de la distancia entre 2 puntos:

0,328 m

Mediante el cálculo anterior determinamos que el punto de ubicación real del usuario difiere en 0,328 m del punto resultante obtenido por medio de la aplicación y su tiempo de respuesta es de 5,55 s.

Una vez implementado el sistema en la unidad educativa, el personal administrativo lo ejecutó entregando el dispositivo que contiene la aplicación cliente a uno de los alumnos de la institución el cual padece de ceguera total, debido a su condición el alumno permanece cerca de las aulas centrales y con personas que la vigilan periódicamente. A través del sistema la

secretaria de la escuela pudo tener control del alumno con mayor facilidad (ANEXO G), sin interrumpir sus actividades.

3.5. Resultados

Mediante el diseño e implementación del prototipo de sistema de Sistema de Posicionamiento Indoor basado en tecnologías IEE 802.15.4F y 802.11B para la Unidad Educativa Especializada Dr. "Luis Benavides" se han obtenido los siguientes resultados:

- El promedio de error de distancia en cuanto a la localización utilizando la tecnología WIFI es de aproximadamente 1,052 m con respecto a la posición real del usuario.
- El promedio de error de distancia en cuanto a la localización utilizando la tecnología WIFI-RFID es de aproximadamente 0,658 m con respecto a la posición real del usuario.
- El promedio de tiempo de ejecución en cuanto a la localización utilizando la tecnología WIFI es de aproximadamente 6,37 s desde el momento que se realiza la petición de búsqueda hasta que se muestran en pantalla los resultados con las coordenadas de ubicación.
- El promedio de tiempo de ejecución en cuanto a la localización utilizando la tecnología WIFI-RFID es de aproximadamente 5,75 s desde el momento que se realiza la petición de búsqueda hasta que se muestran en pantalla los resultados con las coordenadas de ubicación.
- El proceso de localización empleando tecnología WIFI ofrece un nivel de error relativamente mayor que al utilizar las tecnologías combinadas en cuanto a coordenadas y tiempo de ejecución.
- El control de alumnos con mayor vulnerabilidad de la unidad educativa, dentro del espacio que cubre el sistema se lo realiza con mayor facilidad

3.6. Limitaciones

- Debido al código de programación del prototipo el sistema solo puede ser empleado en la porción de espacio determinado y perteneciente a la Unidad Educativa Dr. Luis Benavides, para utilizarlo en otros lugares es necesario modificar partes de código.
- Es necesario un dispositivo móvil que cuente con la suficiente capacidad computacional debido a que debe ser capaz de realizar el proceso de abrir un socket por parte del cliente.
- Todo el sistema debe ser ejecutado en Windows 7 o XP, debido a que el lector UHF RFID RT400A es soportado solo en estos sistemas operativos.
- Al emplear la combinación de lector y tarjeta el rango de cobertura de la señal emitida tiene un alcance máximo de 3 metros en las mejores condiciones.
- De acuerdo a las características del sistema la persona a identificar debe llevar un dispositivo móvil junto con una etiqueta UHF RFID.
- Mediante la ejecución del sistema solo es posible detectar una persona a la vez.
- El rango de cobertura RFID se encuentra limitado por el tipo de lector empleado, así como del número de lectores.

CONCLUSIONES

- Los sistemas de localización INDOOR pueden ser utilizados para el beneficio de un sector vulnerable de la sociedad como lo son las personas con discapacidad visual, quienes no están exentos del uso de nuevas tecnologías en su vida cotidiana.
- De acuerdo a lo analizado en este proyecto se determina que si es posible combinar dos tecnologías como son WIFI y RFID para poder implementar un sistema de localización en interiores.
- La correcta ubicación de los AP's es indispensable para definir el área en la cual se va a realizar la localización, por cuanto el área debe tener presencia de señal de cada uno de ellos para poder ejecutar eficazmente el algoritmo planteado.
- Mientras más inestable sea la potencia con la que transmiten datos los Puntos de acceso pertenecientes a un sistema de localización INDOOR basado en WIFI, el error resultante aumentará significativamente.
- En un sistema de localización INDOOR que utiliza el método de huellas se obtendrán mejores resultados mientras mayor sea el número de tomas de muestras que se introduzcan en la base de datos utilizada para realizar las comparaciones.
- El rango de alcance del lector RFID y de las tarjetas asociadas a él, es un factor muy importante a considerar en el diseño ya que dependiendo de esto se necesitaran más o menos lectores, por ende el costo del sistema también variará.
- Un sistema de localización INDOOR que utiliza la tecnología WIFI es mucho menos costoso que un sistema que utiliza tecnología RFID, debido al rango de cobertura de sus respectivos equipos, si se desea abarcar el mismo espacio de cobertura de WIFI con RFID se tienen dos posibilidades la primera aumentar la cantidad de lectores y la segunda aumentar el rango de cobertura de los lectores, en ambos casos se tendría un gasto mayor por cuanto utilizando lectores de corto alcance se necesitaría una cantidad mayor de equipos y si se aumenta el alcance de los lectores, estos son más costosos.
- Al utilizar el prototipo de Sistema de Localización INDOOR propuesto en este trabajo se obtuvieron resultados favorables con respecto a un Sistema de Localización basado en WIFI en cuanto a variable como la distancia de error y tiempo de ejecución del Sistema. En error de distancia de localización se obtuvo una mejora en la precisión de aproximadamente 0,4 metros y en tiempo de ejecución del sistema se obtuvo una mejora de 0,62 segundos.
- El prototipo de sistema propuesto supone un costo mayor a un sistema basado únicamente en WIFI por cuanto el sistema propuesto utiliza equipos WIFI y RFID.

- El prototipo de sistema propuesto ha servido para ayudar a estudiantes con discapacidad visual de la institución, por cuanto los docentes pueden tener mayor control de sus alumnos desde su propio lugar de trabajo en horas de descanso.

RECOMENDACIONES

- Realizar una simulación de la cobertura de los equipos WIFI para determinar la correcta ubicación física de cada uno de los terminales del sistema, de modo que su potencia cubra toda el área de localización.
- Incrementar el número de equipos involucrados en el sistema tanto de la tecnología WIFI como de RFID, además del número de muestras realizadas para obtener mayor precisión en cuanto al punto de salida.
- Realizar un número adecuado de muestras y ponderarlas antes de insertarlas en la base de datos, además de realizarlas en distintas ocasiones con el objetivo de obtener muestras acordes a un entorno real.
- Buscar un lector RFID que sea estándar y compatible con tecnologías más actuales en cuanto a sistemas operativos tales como Windows 8, Windows 10, y a entornos de programación como Java, Android.
- Emparejar el lector RFID con tarjetas con las cuales el rango de alcance sea mayor de tal manera que sea posible cubrir una mayor área con un menor número de lectores.
- Tratar de que el código utilizado para la creación de las aplicaciones y programas del sistema sea lo más compacto posible con el objetivo de disminuir el tiempo de respuesta y la cantidad de memoria utilizada.
- Explorar con otra combinación de tecnologías empleadas para determinar ventajas y desventajas de la misma.
- Usar o construir un dispositivo que pueda ser utilizado como dispositivo móvil unificado es decir que cumpla la función tanto de WIFI como de RFID o en su defecto un dispositivo que sea compatible con cualquier combinación de tecnologías.
- Determinar si es posible construir un dispositivo lector RFID de menor costo y de un rango de alcance moderado de acuerdo a las cualidades del sistema.

BIBLIOGRAFÍA

ANDRADE, RICARDO et al. *Tecnología WIFI*. Buenos Aires – Argentina. Diseño y Diagramación Aixa Sacco, 2008, pp. 11, 15 y 16. [Consulta: 13 agosto 2015]. ISBN 978-987-24110-6-0. Disponible en:

http://www.cnc.gov.ar/multimedia/bibliotecas/archivos/biblioteca_16398.pdf

ANGUÍS, JOSÉ. *Redes de Área Local Inalámbricas: Diseño de la WLAN de Wheelers Lane Technology College*. Tesis Ing. En Telecomunicación. Universidad de Sevilla. Escuela Superior de Ingenieros. Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones. Sevilla – España., 2008, p. 30. [Consulta: 20 agosto de 2015]. Disponible en:

<https://es.scribd.com/doc/151835999/Diseno-de-la-WLAN-de-Wheelers-Lane-Technology-College>

BERROCOSO, M., et al. *El sistema de posicionamiento global. Puerto Real – España. Universidad de Cádiz*. Facultad de Ciencias. Departamento de Matemáticas. Laboratorio de Astronomía y Geodésica. Servicio de Publicaciones, 2003, pp. 8-9 y 16-17. [Consulta: 13 agosto de 2015]. Disponible en:

http://vulcanologia.geofisica.unam.mx/files/curso_gps/GPS.pdf

CÁRDENAS, ÁNGEL & PACHECO FABIÁN. *Diseño e implementación de un sistema domótico con dispositivos inalámbricos basado en el protocolo Zigbee y controlados mediante aplicaciones para dispositivos móviles bajo la plataforma Android y computadoras bajo la plataforma Windows*. Tesis Ing. en Sistemas. Universidad Politécnica Salesiana. Facultad de Ingenierías. Carrera de Ingeniería en Sistemas. Cuenca – Ecuador, 2015, pp. 2-5. [Consulta: 25 septiembre 2015]. Disponible en:

<http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7814/1/UPS-CT004664.pdf>

CARRERA, MIGUEL & PRADO, ÁLVARO. *Diseño y construcción de un sistema domótico basado en el protocolo IEEE 802.15.4 Zigbee*. Tesis Ing. en Electrónica y Control. Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Quito – Ecuador, 2009, pp. 7 y 8. [Consulta: 25 agosto 2015]. Disponible en:

<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1300/1/CD-2660.pdf>

CHAVARRÍA, DANIEL. *Tecnología de comunicación de campo cercano (NFC) y sus aplicaciones.* Tesis Bachiller en Ing. Eléctrica. Universidad de Costa Rica. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica. Ciudad Universitaria Rodrigo Facio – Costa Rica, 2011, pp. 22 y 23. [Consulta: 25 agosto 2015]. Disponible en:
http://eie.ucr.ac.cr/uploads/file/proybach/pb2011/pb2011_012.pdf

COHNEN, FERNANDO. *Europa lanza los dos primeros satélites de la flotilla Galileo [en línea].* Antena de Telecomunicación. 2011, No 184, p. 10. [Consulta: 18 agosto 2015]. Disponible en:
<http://www.coitt.es/res/revistas/04a%20Galileo.pdf>

CORET, FRANCISCO. *Evaluación de los Sistemas de orientación en edificios de concurrencia pública para personas mayores y con discapacidad mediante Servicios Basados en Localización.* Tesis Doctoral. Facultad de Psicología. Programa de Doctorado en Atención Socio-Sanitaria a la Dependencia. Universidad de Valencia. Madrid – España, 2014, pp. 23-26. [Consulta: 20 noviembre 2015]. Disponible en:
http://mobiroderic.uv.es/bitstream/handle/10550/43034/Tesis_Francisco_Javier_Coret_Gorgonio_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y

CORREIA PAUL. *Guía práctica del GPS. Primera Edición Doblada al Español [en línea].* Barcelona – España. Editorial Marcombo, 2002, pp. 13 y 14. [Consulta: 13 agosto 2015]. Disponible en:
https://books.google.com.ec/books?id=iTW7BBKScHsC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbg_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

DÍAZ, JORDI. *Tecnología Ultra-Wideband (UWB), La Revolución a Corto Alcance.* Center for Communications and Signal Processing Reseach. New Jersey Institute of Technology. New Jersey – Estados Unidos, 2003, p. 53. [Consulta: 29 septiembre 2015]. Disponible en:
<http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/9890/Article010.pdf>

EGEA, DANIEL. *Diseño, implementación y validación de un sistema de localización híbrido en una red de sensores inalámbricos (WSN).* Tesis Ing. en Telecomunicaciones. Universidad Autónoma de Barcelona. Departamento de Telecomunicaciones e Ingeniería de Sistemas. Escuela de Ingeniería. Bellaterra – España, 2012, p. 31. [Consulta: 5 octubre 2015]. Disponible en:
https://ddd.uab.cat/pub/trerecpro/2012/hdl_2072_212767/TFC_DanielEgeaRoca_2012.pdf

FERNÁNDEZ, CRISTINA. *Estudio de la Tecnología RFID y Desarrollo de una Aplicación para la Localización de Personas.* Tesis de Ingeniería Técnica en Informática de Gestión. Universidad Carlos III de Madrid. Madrid – España, 2009, p. 17. [Consulta: 25 septiembre 2015]. Disponible en:

<http://e->

archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/6508/PFC_Roberto_Cristina_Fernandez.pdf?sequence=1

GARCÍA, EVA. *Técnicas de localización en Redes Inalámbricas de Sensores.* Universidad de Castilla. Departamento de Sistemas Informáticos. Instituto de Investigación en Informática de Albacete. La Mancha – España, 2006, p. 4. [Consulta: 20 octubre 2015]. Disponible en:

<http://www.info-ab.uclm.es/personal/EvaMariaGarcia/docs/2008-Curso%20Verano.pdf>

GARCÍA, FERNANDO. *Geolocalización en tiempo real para dispositivos Móviles: localización en interiores.* Tesis Ing. en Telecomunicación. Universidad Carlos III de Madrid. Departamento de Informática. Leganés – España, 2012, p. 50. [Consulta: 20 octubre 2015]. Disponible en:

<https://e->

archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/15919/pfc_fernando_garcia_radigales_2012.pdf?sequence=1

GONZÁLEZ, MARCOS. *Análisis de la Tecnología de Posicionamiento Indoor aplicada a robots autónomos móviles.* Tesis Ing. Electrónica Industrial. Universidad Carlos III de Madrid. Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática. Leganés – España, 2013, pp. 125-126. [Consulta: 11 agosto 2015]. Disponible en:

<http://e->

archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/18162/PFC_MARCOS_GONZALEZ_DIC_2013.pdf?sequence=1.

GUILLÉN, CÉSAR. *Análisis de técnicas y sistemas de localización Indoor en redes inalámbricas.* Tesis Ing. En Telecomunicación. Universidad Pública de Navarra. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación. Pamplona – España, 2010, pp. 73 y 74. [Consulta: 12 noviembre 2015]. Disponible en:

<http://academica->

e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/2484/577351.pdf?sequence=1&isAllowed=y

GUTIÉRREZ, FERNANDO et al. *Métodos de localización basados en red en sistemas de comunicaciones móviles*. Universidad de Zaragoza. Instituto de Investigación e Ingeniería de Aragón. Madrid – España, 2004, p. 24. [Consulta: 19 octubre 2015]. Disponible en:
http://www.redeweb.com/_txt/598/16.pdf

GUTIÉRREZ, JUAN. *Topografía para las Tropas: EL Sistema de Posicionamiento Global (GPS)*. 2005, p. 164 y 165. [Consulta: 13 agosto 2015]. Disponible en:
<http://www.cartomap.cl/utfsm/Texto-Topograf%EDa/Cap%2011%20El%20Posicionamiento%20Global.pdf>

IEEESTANDARDS.GALEON.COM. Principales Estándares 802.11. [Consulta: 10 octubre 2015]. Disponible en:
<http://ieeestandards.galeon.com/aficiones1573579.html>

JIMÉNEZ R., ANTONIO et al. *Tecnologías sensoriales de localización para entornos inteligentes[en línea]*. 2005. (España), I Congreso español de informática - Simposio de Computación Ubicua e Inteligencia Ambiental, pp. 7-8. [Consulta: 18 agosto 2015]. Disponible en:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1697791213000393>

LEGARRETAETXEARRIA, ARITZ. *Sistema de localización y seguimiento de personas en interiores mediante cámara PTZ basado en las tecnologías Kinect y UbiSense*. Tesis de Máster. Universidad de País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea. Departamento de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial. Donostia – San Sebastián, 2011, pp. 36 y 41. [Consulta: 26 septiembre 2015]. Disponible en:
<http://www.ehu.es/documents/1545039/1570316/11alegarretaech.pdf>

LETHAM, LAWRENCE. *GPS fácil. Uso del sistema de posicionamiento global [en línea]*. Primera Edición. Barcelona – España. Editorial Paidotribo, 2001, pp. 5-7. [Consulta: 12 agosto 2015]. Disponible en:
<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=orjnvjPqELcC&oi=fnd&pg=PA5&dq=sistema+d e+posicionamiento+global+GPS&ots=IkvnDHcu6L&sig=J6VOvBjGnO405Nc0djJ0U-7Jwyc#v=onepage&q=sistema%20de%20posicionamiento%20global%20GPS&f=false>.

LIZANO, ORLANDO. *Implementación de un Sistema Prototipo de Ubicación de Equipos WIFI Basados en Tecnología Inalámbrica.* Tesis Ing. en Telecomunicaciones y Redes. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Informática y Electrónica. Escuela de Ingeniería Electrónica. Riobamba – Ecuador, 2011, pp. 48 y 49. [Consulta: 5 octubre 2015]. Disponible en:

<http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/956/1/38T00278%20UDCTFIYE.pdf>

LÓPEZ, RAMÓN. *Cabezal de radiofrecuencia de un receptor GNSS multibanda.* Tesis Máster en Ingeniería. Universidad Nacional de la Plata. Facultad de Ingeniería. La Plata – Argentina, 2014, pp. 2 y 3. [Consulta: 12 agosto 2015]. Disponible en:

http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/39144/Documento_completo.pdf?sequence=1

MERINO, CARLOS. *Arquitectura de un Sistema de Localización en Redes de Femtoceldas en Interiores.* Tesis Máster en Telecomunicación. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación. Madrid – España, 2013, p. 30. [Consulta: 7 noviembre 2015]. Disponible en:

http://www.dit.upm.es/~posgrado/doc/TFM/TFMs2012-2013/TFM_Carlos_Gonzalez_2013.pdf

NÚÑEZ, MARÍA DE LOS ÁNGELES. *Sistema de localización en redes Wi-Fi basado en Fingerprint.* Tesis Ing. En Sistemas de Telecomunicación. Universidad Carlos III de Madrid. Madrid – España, 2009, pp. 4, 34 y 35. [Consulta: 12 agosto 2015]. Disponible en:

<http://e->

[archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/11912/PFC_MAngeles_Nunez_Sobrino.pdf?sequence=1](http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/11912/PFC_MAngeles_Nunez_Sobrino.pdf?sequence=1)

OLMEDILLAS, JOAN. *Introducción a los sistemas de navegación por satélite [en línea].* Primera Edición en Lengua Castellana. Barcelona – España. Editorial UOC, 2012, pp. 92 y 93. [Consulta: 13 agosto 2015]. Disponible en:

[https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=-](https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=-9BSVHI0e3EC&oi=fnd&pg=PA9&dq=Introduccion+a+Los+Sistemas+de+Navegacion+Por+Satelite&ots=2WmgZ4auH6&sig=34DHGvyC6UEo9tRw1QAXXiL0WRU#v=onepage&q=Introduccion%20a%20Los%20Sistemas%20de%20Navegacion%20Por%20Satelite&f=false)

[9BSVHI0e3EC&oi=fnd&pg=PA9&dq=Introduccion+a+Los+Sistemas+de+Navegacion+Por+Satelite&ots=2WmgZ4auH6&sig=34DHGvyC6UEo9tRw1QAXXiL0WRU#v=onepage&q=Introduccion%20a%20Los%20Sistemas%20de%20Navegacion%20Por%20Satelite&f=false](https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=-9BSVHI0e3EC&oi=fnd&pg=PA9&dq=Introduccion+a+Los+Sistemas+de+Navegacion+Por+Satelite&ots=2WmgZ4auH6&sig=34DHGvyC6UEo9tRw1QAXXiL0WRU#v=onepage&q=Introduccion%20a%20Los%20Sistemas%20de%20Navegacion%20Por%20Satelite&f=false)

ORDÓNEZ, ERIKA. *Diseño de una red inalámbrica utilizando la tecnología WiMax para proveer el servicio de internet de banda ancha en la ciudad de Manta.* Tesis Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad de

Ingeniería en Electrónica y Computación. Guayaquil – Ecuador, 2008, p. 3. [Consulta: 5 octubre 2015]. Disponible en:

http://www.cib.espol.edu.ec/Digipath/D_Tesis_PDF/D-39968.pdf

PEÑAFIEL, JAVIER & ZAYAS, JORGE. *Fundamentos del sistema GPS y aplicaciones en la topografía.* Colegio Oficial de IT en Topografía. Delegación Territorial de Madrid. Castilla-España, 2001, p. 27. [Consulta: 13 agosto 2015]. Disponible en:

http://scholar.googleusercontent.com/scholar?q=cache:SWdYwOjl1YAJ:scholar.google.com/+PE%3%91AFIEL,+Javier%3B+ZAYAS,+Jorge.+Fundamentos+del+sistema+GPS+y+aplicaciones+en+la+topograf%C3%ADa.+Colegio+Oficial+de+IT+en+Topograf%C3%ADa.+Delegaci%C3%B3n+de+Madrid,+Castilla-La+Mancha.,+135+pp,+2001.&hl=es&as_sdt=0,5

PEREIRA, MARTÍN & POLO, WILLIAM. *Diseño e implementación de un prototipo de un sistema de localización en espacios cerrados (indoor).* Tesis Ing. Mecatrónico e Ing. Electrónico y Telecomunicaciones. Universidad Autónoma de Occidente. Facultad de Ingeniería. Departamento de Automática y Electrónica. Cali – Colombia, 2015, pp. 27, 29, 37-38 y 44-45. [Consulta: 12 agosto 2015]. Disponible en:

<http://bdigital.uao.edu.co/bitstream/10614/7972/1/T05975.pdf>

PORTILLO, JAVIER et al. *Tecnología de identificación por radiofrecuencia (RFID): Aplicaciones en el ámbito de la salud.* Madrid – España. Fundación Madrid para el Conocimiento. 2010, pp. 58, 60, 62 y 63. ISBN-13:978-84-612-4360-0. [Consulta: 5 septiembre 2015]. Disponible en:

<http://www.madrid.org/bvirtual/BVCM001808.pdf>

RODRÍGUEZ, IRENE. *Posicionamiento en redes WiMAX: Implementación de una solución real.* Tesis Ing. Sistemas Electrónicos. Universidad Autónoma de Barcelona. Departamento de Telecomunicaciones e Ingeniería en Sistemas. Escuela de Ingeniería. Bellaterra – España. 2010, p. 60. [Consulta: 12 agosto 2015]. Disponible en:

http://www.recercat.cat/bitstream/handle/2072/97248/PFC_IreneRodriguezAlegre.pdf?sequence=1.

RUIZ, MIGUEL. *Posicionamiento en interiores basado en dispositivos móviles.* Tesis Ing. en Telecomunicaciones y Tesis Ing. en Telecomunicación. Universidad Autónoma de Madrid. Departamento de Ingeniería Informática. Madrid – España. 2012, p. 5. [Consulta: 12 agosto 2015]. Disponible en:

<http://arantxa.ii.uam.es/~jms/pfcsteleco/lecturas/20120507MiguelRuizCuesta.pdf>

RUÍZ, ROBERTO. *Tutorial sobre circuitos RFID.* Tesis Lic. en Ingeniería en Electrónica y Computadoras. Universidad de las Américas Puebla. Departamento de Computación, Electrónica y Mecatrónica. Escuela de Ingeniería. Puebla – México. 2011, pp. 10-11 y 53. [Consulta: 20 agosto 2015]. Disponible en:

http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lep/urbina_r_rd/indice.html

TORRES, ANDRÉS. *Caracterización de tecnologías RFID.* Tesis Master en Telecomunicaciones. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería de Sistemas e Industrial. Bogotá – Colombia. 2011, pp. 29-31. [Consulta: 10 octubre 2015]. Disponible en:

<http://www.bdigital.unal.edu.co/9021/1/Andr%C3%A9srodolfotorresg%C3%B3mez.2011.pdf>

TORRES, JUAN CARLOS. *Diseño de un Sistema de Localización de Sensores basado en Bluetooth y GPS.* Tesis Máster en Ing. Informática. Universidad Politécnica de Cataluña. Facultad de Informática. Departamento de Ingeniería de Sistemas. Barcelona – España. 2015, pp. 56 y 57. [Consulta: 25 agosto 2015]. Disponible en:

<http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/25124/1/105117.pdf>

VALLE, LUIS FERNANDO. *Coexistencia de Redes WLAN & WPAN.* Tesis Lic. en Ingeniería Electrónica y Comunicaciones. Universidad de las Américas Puebla. Escuela de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Electrónica. Puebla – México, 2005, Capítulo 3, pp. 2 y 3. [Consulta: 25 agosto 2015]. Disponible en:

http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/valle_i_lf/capitulo3.pdf

YUNQUERA, JUAN. *Diseño de una red Wi-Fi para la E.S.I.* Tesis Ing. en Telecomunicación. Universidad de Sevilla. Departamento de Ingeniería Electrónica. Sevilla – España. Capítulo 3, p. 41. [Consulta: 5 septiembre 2015]. Disponible en:

<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11138/fichero/memoria%252FCap%EDtulo+3.pdf>

ANEXOS

ANEXO A: Descripción de los dispositivos empleados en el sistema

- **TARJETA ESTÁNDAR UHF**



La tarjeta de UHF ISO se basa en la tecnología UHF RFID, que se apoya en el protocolo ISO18000-6C/EPC Gen2 y puede ofrecer un rango de detección mucho mayor que las tarjetas de HF. Los usuarios pueden utilizar su memoria EPC de 128 bits y 32-512 bits de acuerdo a su requerimiento.

Frecuencia: 840-960MHz

Protocolo: ISO18000-6C/EPC Gen2

Tamaño EEPROM: EPC 128bits, User 32-512bits

Material: PVC

Modo de funcionamiento: Pasivo

Temperatura: -25°C ~ +75°C

Dimensión: 85.6 × 54.0 × 0.86 (mm)

- **LECTOR RFID UHF RT400A**



El RT400A es un lector RFID UHF de alto rendimiento, basado en diseño análogo avanzado y procesamiento de señal digital especificada para RFID. Se apoya bajo el protocolo ISO 18000-6C/EPC C1 GEN2 y ofrece una distancia de operación mucho más larga que el sistema HF RFID. RT400A posee el puerto USB virtual COM o UART y puede ser operado a través de comandos fácilmente. Se encuentran disponibles APIs en Windows y Windows Móvil, para que los usuarios puedan desarrollar su aplicación UHF RFID rápidamente.

Frecuencia: 840~960MHz

Protocolo: ISO 18000-6C / EPC C1 GEN2

Potencia de salida: +10~+30dBm

Interfaz de la antena: IPX

Antena Integrada: Si

Distancia de la operación: 0.1m ~ 10m (depende de RF de salida, la antena y etiquetas)

Interfaz: USB Virtual COM

Voltaje: 3.6 ~ 5.5V

Dimensión: 110 × 90 × 42 mm

El apoyo de la energía baja: Si (modo de espera / modo Normal)

Temperatura de funcionamiento: -20 ~ +70°C

Temperatura de almacenamiento: -40 ~ +85°C

- **MODEM ROUTER HUAWEI HG532s**



Posee un botón de Wi-Fi on y off, botón WPS que provee una red inalámbrica segura, soporta multiplicidad de autenticaciones de seguridad: SSID, WPA 1.0 y WPA 2.0; 64/128 bits WEP y TKIP encriptados. Soporta TR-069

Enlace ascendente: 1 ADSL2+ interfaz (RJ-11); 3G (por conectar el data card 3G con la interfaz USB)

Enlace descendente: 4 puertos LAN (RJ-45)

Antena incorporada: 802.11b/g/n

Un host USB: El USB provee almacenamiento de red y enlace ascendente “dual mode” (3G)

Tipo: Módem Banda Ancha Hogar

Interfaz Externa: RJ 15 RJ 45

- **ROUTER WIFI D-LINK RANGEBOOSTER DIR-635 N 650**



El RangeBooster 650 Router DIR-635 de D-Link es un dispositivo que cumple con el estándar 802.11n y ofrece un rendimiento real más rápido que una conexión inalámbrica 802.11g y que una Ethernet por cable a 100Mbps. Con tan solo conectar el Router RangeBooster N 650 a un módem DSL o cable módem, se podrá compartir su acceso de alta velocidad a internet con cualquier persona que esté en la red.

- **ROUTER D-LINK DIR-600**



Su característica NAT permite a múltiples usuarios conectarse a Internet compartiendo una sola dirección IP. El DIR-600 también incluye un switch Ethernet integrado de 4 puertos 10/100 BASE-TX que le da la flexibilidad para conectar computadores por cable a la red. El DIR-600 proporciona una conexión de alta velocidad al conectarse a otros dispositivos Wireless 150 o 802.11n, alcanzando hasta 150 Mbps. de velocidad. También es compatible con 802.11b/g, asegurando la aveniencia con una amplia gama de dispositivos Wireless.

ANEXO B: Coordenadas de ubicación en el plano de los puntos muestreados.

MUESTRA	LB1	LB2	LB3	XLOC	YLOC
1	53	76	76	0	354
2	44	63	58	44,25	354
3	44	69	75	88,5	354
4	54	68	68	132,75	354
5	55	72	75	177	354
6	54	67	63	221,25	354
7	57	73	75	265,5	354
8	72	69	73	309,75	354

9	47	52	59	354	354
10	69	60	64	398,25	354
11	67	63	61	442,5	354
12	70	61	72	486,75	354
13	53	50	54	531	354
14	74	70	73	575,25	354
15	76	66	70	619,5	354
16	79	64	73	663,75	354
17	79	67	76	708	354
18	77	55	76	752,25	354
19	79	48	71	796,5	354
20	56	70	61	0	309,75
21	55	72	70	44,25	309,75
22	59	77	78	88,5	309,75
23	61	71	71	132,75	309,75
24	45	67	77	177	309,75
25	64	70	69	221,25	309,75
26	69	69	74	265,5	309,75
27	52	44	45	309,75	309,75
28	56	41	49	354	309,75
29	54	47	54	398,25	309,75
30	53	45	49	442,5	309,75
31	54	43	57	486,75	309,75
32	56	41	54	531	309,75
33	60	44	58	575,25	309,75
34	61	64	61	619,5	309,75
35	60	42	44	663,75	309,75
36	55	50	52	708	309,75
37	64	56	67	752,25	309,75
38	60	35	46	796,5	309,75
39	39	70	55	0	265,5
40	57	67	62	44,25	265,5
41	57	70	64	88,5	265,5
42	57	67	56	132,75	265,5
43	57	65	56	177	265,5
44	57	76	76	221,25	265,5
45	57	53	48	265,5	265,5
46	57	53	59	309,75	265,5
47	57	47	58	354	265,5
48	57	55	51	398,25	265,5
49	57	48	51	442,5	265,5
50	57	53	55	486,75	265,5
51	57	43	52	531	265,5
52	57	52	58	575,25	265,5
53	57	40	57	619,5	265,5

54	57	42	50	663,75	265,5
55	57	45	53	708	265,5
56	57	43	53	752,25	265,5
57	57	38	49	796,5	265,5
58	57	76	69	0	221,25
59	36	75	64	44,25	221,25
60	32	75	67	88,5	221,25
61	27	74	70	132,75	221,25
62	33	78	68	177	221,25
63	30	73	68	221,25	221,25
64	42	68	79	265,5	221,25
65	42	62	59	309,75	221,25
66	51	69	63	354	221,25
67	46	66	62	398,25	221,25
68	50	56	66	442,5	221,25
69	54	62	62	486,75	221,25
70	55	63	68	531	221,25
71	55	53	70	575,25	221,25
72	68	61	70	619,5	221,25
73	67	58	64	663,75	221,25
74	63	51	58	708	221,25
75	69	48	53	752,25	221,25
76	65	48	58	796,5	221,25
77	35	77	67	0	177
78	33	70	64	44,25	177
79	29	68	58	88,5	177
80	31	66	60	132,75	177
81	34	69	63	177	177
82	31	67	65	221,25	177
83	39	62	64	265,5	177
84	44	67	55	309,75	177
85	43	57	63	354	177
86	45	63	62	398,25	177
87	51	67	59	442,5	177
88	57	63	62	486,75	177
89	55	58	60	531	177
90	57	46	65	575,25	177
91	62	55	64	619,5	177
92	62	50	57	663,75	177
93	64	45	62	708	177
94	65	45	55	752,25	177
95	65	49	58	796,5	177
96	43	75	65	0	132,75
97	34	75	68	44,25	132,75
98	27	67	71	88,5	132,75

99	30	68	69	132,75	132,75
100	35	72	62	177	132,75
101	34	66	65	221,25	132,75
102	40	68	56	265,5	132,75
103	43	61	61	309,75	132,75
104	43	66	61	354	132,75
105	44	63	65	398,25	132,75
106	55	63	62	442,5	132,75
107	52	60	64	486,75	132,75
108	57	59	63	531	132,75
109	58	54	68	575,25	132,75
110	62	50	62	619,5	132,75
111	69	51	64	663,75	132,75
112	65	48	58	708	132,75
113	68	51	64	752,25	132,75
114	68	50	57	796,5	132,75
115	43	80	74	0	88,5
116	35	71	69	44,25	88,5
117	23	65	68	88,5	88,5
118	34	68	68	132,75	88,5
119	32	71	64	177	88,5
120	36	69	66	221,25	88,5
121	41	63	59	265,5	88,5
122	41	62	62	309,75	88,5
123	43	70	69	354	88,5
124	53	78	74	398,25	88,5
125	58	57	70	442,5	88,5
126	54	56	68	486,75	88,5
127	53	58	62	531	88,5
128	56	52	67	575,25	88,5
129	59	54	65	619,5	88,5
130	64	47	56	663,75	88,5
131	65	49	57	708	88,5
132	68	49	56	752,25	88,5
133	68	50	66	796,5	88,5
134	48	76	73	0	44,25
135	42	77	68	44,25	44,25
136	30	73	71	88,5	44,25
137	34	71	72	132,75	44,25
138	34	70	68	177	44,25
139	39	64	70	221,25	44,25
140	44	69	69	265,5	44,25
141	45	73	68	309,75	44,25
142	46	66	71	354	44,25
143	43	70	68	398,25	44,25

144	57	60	72	442,5	44,25
145	55	57	69	486,75	44,25
146	58	61	68	531	44,25
147	57	57	70	575,25	44,25
148	58	65	63	619,5	44,25
149	67	56	56	663,75	44,25
150	63	49	57	708	44,25
151	66	45	56	752,25	44,25
152	64	55	52	796,5	44,25
153	52	80	65	0	0
154	65	67	77	44,25	0
155	45	78	69	88,5	0
156	60	80	83	132,75	0
157	40	80	68	177	0
158	60	77	79	221,25	0
159	49	69	63	265,5	0
160	51	69	60	309,75	0
161	54	71	56	354	0
162	52	74	58	398,25	0
163	57	68	62	442,5	0
164	60	65	63	486,75	0
165	59	68	56	531	0
166	63	68	58	575,25	0
167	62	68	56	619,5	0
168	61	61	57	663,75	0
169	67	61	57	708	0
170	69	60	62	752,25	0
171	65	61	51	796,5	0

ANEXO C: Código de Configuración de la Aplicación Servidor

- *Clase RFID*

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Windows.Forms;
using System.Runtime.InteropServices;
using System.Threading;
```

```
namespace SisLocalizacionESPOCH
{
```

```

class Rfid
{
    [DllImport("C:\\RT407_API.dll")]
    public static extern int UhfReaderConnect(ref int hCom, String cPort, byte flagCrc);

    [DllImport("C:\\RT407_API.dll")]
    public static extern int UhfStartInventory(int hCom, int flagAnti, int initQ, byte flagCrc);

    [DllImport("C:\\RT407_API.dll")]
    public static extern int UhfSetFrequency(int hCom, int uFreMode, int uFreBase, byte[]
    uBaseFre, int uChannNum, int uChannSpc, int uFreHop, byte flagCrc);

    [DllImport("C:\\RT407_API.dll")]
    public static extern int UhfGetFrequency(int hCom, ref int uFreMode, ref int uFreBase, ref
    byte[] uBaseFre, ref int uChannNum, ref int uChannSpc, ref int uFreHop, byte flagCrc);

    [DllImport("C:\\RT407_API.dll")]
    public static extern int UhfReadInventory(int hCom, ref int uLenUii, ref int uUii);

    [DllImport("C:\\RT407_API.dll")]
    public static extern int UhfStopOperation(int hCom, byte flagCrc);

    [DllImport("C:\\RT407_API.dll")]
    public static extern int UhfReaderDisconnect(int hCom, byte flagCrc);

    [DllImport("C:\\RT407_API.dll")]
    public static extern int UhfEnterSleepMode(int hCom, byte flagCrc);

    [DllImport("C:\\RT407_API.dll")]
    public static extern int UhfSetPower (int hCom, byte uOption, byte uPower, byte flagCrc);

    int hReader = 0;
    byte flagCrc = 0x04;
    byte uoption = 0x01;
    int flagAnti = 0;
    int initQ = 0;
    byte upower = 0x1a;
    int bFreMode = 4;
    int bFreBase = 1;
    byte[] bBaseFre = new byte[] { 0x73, 0x05 };
    int bChannNum = 16;
    int bChannSpc = 2;
    int bFreHop = 0;
    int uLenUii = 0;
    int uUii = 0;
    String comnum = "com9";
    public bool RFid()
    {
        if (UhfReaderConnect(ref hReader, comnum, flagCrc) == 1)
        {
            return true;
        }
        else
        {
            return false;
        }
    }
}

```

```

    }
}
public bool verificar_presencia()
{
    bool result = false ;
    if (UhfSetFrequency(hReader, bFreMode, bFreBase, bBaseFre, bChannNum, bChannSpc,
        bFreHop, flagCrc) == 1)
    {

        if (UhfStartInventory(hReader, flagAnti, initQ, flagCrc) == 1)
        {
            if (UhfReadInventory(hReader, ref uLenUii, ref uUii) == 1)
            {
                result = true;
            }
            else
            {
                result = false;
            }
            UhfStopOperation(hReader, flagCrc);
        }
        else
        {
            result = false;
        }

    }
    else
    {
        result=false;
    }
    UhfEnterSleepMode(hReader, flagCrc);
    return result;
}
public void desconectar()
{
    UhfReaderDisconnect(hReader, flagCrc);
}

}
}

```

- **Clase Localizacion Mapa (Visualización del plano)**

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Windows.Forms;

namespace SisLocalizacionESPOCH

```

```

{
public partial class LocalizacionMapa : Form
{
int anchoElipse=4;
public LocalizacionMapa(double x, double y)
{
float xl;
float yl;
xl = (float)x;
yl=(float)(y);

InitializeComponent();
this.Visible=true;
paint(xl,yl);
}
public void paint(float x, float y)
{
System.Drawing.SolidBrush myBrush = new
System.Drawing.SolidBrush(System.Drawing.Color.Red);
System.Drawing.Graphics g = System.Drawing.Graphics.FromHwnd(panel1.Handle);
g.DrawEllipse(Pens.Red, x-2,y-2,anchoElipse+4,anchoElipse+4);
g.FillEllipse(myBrush, x, y, anchoElipse, anchoElipse);
}
}
}

```

- *Clase de Sistema de Localización (Conecta con el cliente mediante el socket)*

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Windows.Forms;
using System.Net;
using System.Net.Sockets;
using System.Threading;
using System.IO;
using System.Runtime.Serialization.Formatters.Binary;

```

```

namespace SisLocalizacionESPOCH
{
public partial class Form1 : Form
{
private int[] numero;
private String Servidor;
private Socket servidor;
private Boolean terminado = false;
private NetworkStream myNetworkStream;
private LocalizacionMapa ventanita;
private Localizacion algoritmo;
private String busquedaby="";

```

```

private bool imgdisponible=false;
Rfid rfid;
    DateTime tiempo1;
    DateTime tiempo2;
    TimeSpan total;
int segundos;
int milisegundos;

    ConsultasBD consultas=new ConsultasBD();
public Form1()
    {
InitializeComponent();
numero = new int[3];
rfid = new Rfid();
rfid.RFid();
    }
private void mostrarMensaje( String mensajeAMostrar )
    {
areaPantalla.AppendText(mensajeAMostrar);
    }
public bool verificar_rfid()
    {
return rfid.verificar_presencia();
    }

public void comenzar()
    {
    Servidor = obtenerIp(cmbDisp.Text);
    tiempo1 = DateTime.Now;
ejecutarServidor();
algoritmo = new Localizacion(numero, busquedaby);
numero = algoritmo.getVector();
    tiempo2 = DateTime.Now;
    TimeSpan duracion = tiempo2 - tiempo1;
segundos = duracion.Seconds;
milisegundos = duracion.Milliseconds;
mostrarInformacionFinal();
    }
public void mostrarInformacionFinal()
    {
mostrarMensaje("LOCALIZACION>>> x:" + algoritmo.getXfin() + " y:" + algoritmo.getYfin()
+ "\n");
mostrarMensaje("TIEMPO DE EJECUCIÓN>>> " + segundos.ToString() + " (seg) / " +
milisegundos.ToString() + " (miliseg) " + "\n");
    }
private void ejecutarServidor()
    {
conectarAServidor();
obtenerFlujos();
procesarConexion();
terminado = true;
cerrarConexion();    }
private void conectarAServidor()
    {
mostrarMensaje("Intentando realizar conexión\n");

```

```

SocketPermission permission = new SocketPermission(
    NetworkAccess.Connect,
    TransportType.Tcp,
    "",
    SocketPermission.AllPorts
);

permission.Demand();
int puerto = 55555;
    IPEndPoint serverAddress = new IPEndPoint(IPAddress.Parse(Servidor), puerto);
servidor = new Socket(AddressFamily.InterNetwork, SocketType.Stream, ProtocolType.Tcp);
    IPEndPoint hostEntry = Dns.GetHostEntry(IPAddress.Parse(Servidor));
string hostName = hostEntry.HostName;
servidor.Connect(serverAddress);
mostrarMensaje("Conectado a: " + hostName+"\n");
    }
private void cerrarConexion()
    {
mostrarMensaje("Cerrando conexión\n");
myNetworkStream.Close();
servidor.Close();
imgdisponible = true;
    }
static byte[] GetBytes(string str)
    {
byte[] bytes = new byte[str.Length * sizeof(char)];
System.Buffer.BlockCopy(str.ToCharArray(), 0, bytes, 0, bytes.Length);
return bytes;
    }
private bool enviarDatos(String mensaje)
    {
try
    {
myNetworkStream = new NetworkStream(servidor);
myNetworkStream.Flush();
byte[] toBytes = new byte[1024];
toBytes = Encoding.ASCII.GetBytes(mensaje);
        IAsyncResult ar = myNetworkStream.BeginWrite(toBytes, 0, toBytes.Length, null,
null);
ar.AsyncWaitHandle.WaitOne();
myNetworkStream.EndWrite(ar);
mostrarMensaje("CLIENTE>>> " + mensaje);
return true;
    }

catch (Exception excepcionES)
    {
mostrarMensaje(excepcionES.ToString());
return false;
    }
}
static byte[] mGetBytes(string str)
    {
byte[] bytes = new byte[str.Length * sizeof(char)];
System.Buffer.BlockCopy(str.ToCharArray(), 0, bytes, 0, bytes.Length);

```



```

    }
else{
if (busquedaby != "TODA LA WIFI")
    {
if (verificar_rfid())
    {
mostrarMensaje("RFID ha detectado presencia\n");
comenzar();

    }
else
    {
mostrarMensaje("RFID no ha detectado presencia\n");
}
    }
else
    {
comenzar();
    }
    }
}
public String obtenerIp(String nombrep)
    {
String ret="";
if(nombrep=="ALUMNO 1")
    {
ret= "192.168.1.15";
    }
return ret;
    }
private void button2_Click_1(object sender, EventArgs e)
    {
if (imgdisponible == true)
    {
double XV=new double();
double YV= new double();
XV= algoritmo.getXfin();
YV= algoritmo.getYfin();
ventanita = new LocalizacionMapa(XV, YV);
    }
else
    {
MessageBox.Show("No se ha capturado información de localización");
    }
    }
}
}

```

- ***Clase Localización (Algoritmo de localización)***

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;

```

```

using System.Text;
using Npgsql;

namespace SisLocalizacionESPOCH
{
class Localizacion
    {
static int k = 3; //numero de vectores para la comparación en la base
private int[] vect;
        ConsultasBD consultas = new ConsultasBD();
private double xfin = 0; //valor final X del punto de localización
private double yfin = 0; //valor final Y del punto de localización
private int n=0;
public int[] getVector()
    {
return vect;
    }

public void setVector(int[] vect)
    {
        this.vect = vect;
    }

public double getXfin()
    {
return xfin;
    }

public void setXfin(float xfin)
    {
        this.xfin = xfin;
    }

public double getYfin()
    {
return yfin;
    }

public void setYfin(float yfin)
    {
        this.yfin = yfin;
    }
public Localizacion(int [] vector, String busquedapor)
    {

int conteo = 0;
double[] dist; //vector de distancias
double[] xloc = new double[k];
double[] yloc = new double[k];
double w = 0; //variable para el peso algoritmo WKNN
NpgsqlDataReader rs=null;
        NpgsqlDataReader rs1 = null;
NpgsqlDataReader rs2 = null;

if (busquedapor == "TODA LA WIFI")

```

```

    {
rs = consultas.obtenerTodosAmbientes();
    rs1 = consultas.obtenerNW();
while (rs1.Read())
    {
conteo++;
    }
    n = conteo;
}
else
    {
rs = consultas.obtenerAmbientesRfid(busquedapor);
    rs2 = consultas.obtenerNR(busquedapor);
while (rs2.Read())
    {
conteo++;
    }
    n = conteo;
}
System.Console.WriteLine(n);
dist = new double[n];
double[] L1;
double[] L2;
double[] L3;
double[] X;
double[] Y;
    L1 = new double [n];
    L2 = new double[n];
    L3 = new double [n];
    X = new double[n];
    Y=new double[n];

int i=0;

while (rs.Read()){
L1[i]= rs.GetDouble(0);
L2[i] = rs.GetDouble(1);
L3[i] = rs.GetDouble(2);
    X[i] = rs.GetDouble(3);
    Y[i] = rs.GetDouble(4);
i++;
}
L1.First();

double[,] tabla = new double[n,5];
for(int j=0;j<n;j++){
tabla[j,0]=L1[j];
tabla[j,1]=L2[j];
tabla[j,2]=L3[j];
tabla[j,3]=X[j];
tabla[j,4]=Y[j];
}

distancias(n, tabla, vector, dist);

```

```

double[] menores=new double [3];
double[] dist2=new double [n];
for(int g=0;g<n;g++)
dist2[g]=dist[g];
mayor(dist2,menores);
double[] xs=new double [3];
double[] ys=new double [3];
posiciones(n, dist, menores, xs, ys, tabla);

for(i=0; i<3; i++){
xloc[i]= xs[i]/menores[i];
yloc[i]= ys[i]/menores[i];
    w += (float) 1/menores[i];
}

for(i=0; i<3; i++){
xfin +=xloc[i]/w;
yfin +=yloc[i]/w;
}
System.Console.WriteLine(xfin);

}

private void distancias(int n,double[,] matriz, int[] vect,double[] resu)
{
    int i;
    double a=0;
    double b=0;
    double c=0;
    for(i=0;i<n;i++){
        a=(matriz[i,0]-vect[0]);
        b=(matriz[i,1]-vect[1]);
        c=(matriz[i,2]-vect[2]);
        a= (double) Math.Pow(a, 2);
        b=(double) Math.Pow(b, 2);
        c=(double) Math.Pow(c, 2);
        resu[i]= (double) Math.Sqrt(a+b+c);
    }
}

private void mayor(double[] ve, double[] ordenado){
    Array.Sort(ve);
    for(int i=0;i<3;i++)
ordenado[i]=ve[i];
}

private void posiciones(int n,double[] vec1, double[] vec2, double[] x, double[] y,double[,]
tabla ){
    int a=0;
    int b=0;
    int c=0;
    for (int i=0;i<n;i++ ){
if (vec1[i]==vec2[0])
    a=i;
if (vec1[i]==vec2[1])
    b=i;

```

```

if (vec1[i]==vec2[2])
    c=i;
    }
    x[0]=tabla[a,3];
    x[1]=tabla[b,3];
    x[2]=tabla[c,3];
    y[0]=tabla[a,4];
    y[1]=tabla[b,4];
    y[2]=tabla[c,4];
    }
    }
}

```

- *Clase Consultas (Consultas en la base de datos)*

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Text;
using Npgsql;

namespace SisLocalizacionESPOCH
{
class ConsultasBD
    {
        //static String driver = "org.postgresql.Driver";
        //static String connectionString = "jdbc:postgresql://127.0.0.1:5432/Base";
static String user = "postgres";
static String password = "usuario";
static String database = "BaseRfid";
private NpgsqlConnection conn;
private NpgsqlCommand stmt;

public void conectar()
    {
conn = new NpgsqlConnection("Server=127.0.0.1;User Id=" + user + ";" + "Password=" +
password + ";" + "Database=" + database + ";");
conn.Open();
    }

public NpgsqlDataReader obtenerTodosAmbientes()
    {
conectar();
stmt = new NpgsqlCommand("SELECT lb1,lb2,lb3,xloc,yloc FROM medidas", conn);
NpgsqlDataReader dr = stmt.ExecuteReader();
return dr;
    }
public NpgsqlDataReader obtenerAmbientesRfid(String rfid)
    {

conectar();

```

```

stmt = new NpgsqlCommand("SELECT lb1,lb2,lb3,xloc,yloc FROM medidas WHERE
zona='"+rfid+"'", conn);
    NpgsqlDataReader dr = stmt.ExecuteReader();
return dr;
    }

public NpgsqlDataReader obtenerNW()
    {
conectar();
stmt = new NpgsqlCommand("SELECT lb1,lb2,lb3,xloc,yloc FROM medidas", conn);
    NpgsqlDataReader dr = stmt.ExecuteReader();
return dr;
    }

public NpgsqlDataReader obtenerNR(String rf)
    {
conectar();
stmt = new NpgsqlCommand("SELECT lb1,lb2,lb3,xloc,yloc FROM medidas WHERE
zona='"+rf+"'", conn);
    NpgsqlDataReader dr = stmt.ExecuteReader();
return dr;
    }

    }
    }

```

ANEXO D: Código de Configuración de la Aplicación Cliente

- *Main Activity*

```

import android.content.Context;
import android.net.wifi.ScanResult;
import android.net.wifi.WifiManager;
import android.os.Bundle;
import android.support.design.widget.FloatingActionButton;
import android.support.design.widget.Snackbar;
import android.support.v7.app.AppCompatActivity;
import android.support.v7.widget.Toolbar;
import android.view.View;
import android.view.Menu;
import android.view.MenuItem;
import android.widget.TextView;

import java.io.*;
import java.net.*;
import java.util.List;

public class MainActivity extends AppCompatActivity {
    TextView mostrar,editable,poten;
private ServerSocket cliente;
    String m_mostrar = "";
    String m_poten="POTENCIAS GENERADAS:";

```

```

    String parte="";
    int rec=0;
    int [] wifis= new int[3];
    int lb1=0;
    int lb2=0;
    int lb3=0;
    String a;

    public MainActivity() {

    }

    @Override
    protected void onCreate(Bundle savedInstanceState) {
        super.onCreate(savedInstanceState);
        setContentView(R.layout.activity_main);
        Toolbar toolbar = (Toolbar) findViewById(R.id.toolbar);
        setSupportActionBar(toolbar);
        editable = (TextView) findViewById(R.id.edi);
        mostrar = (TextView) findViewById(R.id.salida);
        poten = (TextView) findViewById(R.id.potencias);
        String a = new String();

        Thread socketServerThread = new Thread(new SocketServerThread());
        socketServerThread.start();

        FloatingActionButton fab = (FloatingActionButton) findViewById(R.id.fab);
        fab.setOnClickListener(new View.OnClickListener() {
            @Override
            public void onClick(View view) {
                Snackbar.make(view, "Replace with your own action",
                Snackbar.LENGTH_LONG)
                .setAction("Action", null).show();
            }
        });
    }

    @Override
    public boolean onCreateOptionsMenu(Menu menu) {
        // Inflate the menu; this adds items to the action bar if it is present.
        getMenuInflater().inflate(R.menu.menu_main, menu);
        return true;
    }

    @Override
    public boolean onOptionsItemSelected(MenuItem item) {
        // Handle action bar item clicks here. The action bar will
        // automatically handle clicks on the Home/Up button, so long
        // as you specify a parent activity in AndroidManifest.xml.
        int id = item.getItemId();

        //noinspection SimplifiableIfStatement

```



```

while(rec<3) {
byte[] sincproceso = new byte[1024];
if(entrada.read(sincproceso, 0, sincproceso.length)>0) {
parte = new String(sincproceso);
m_poten += Integer.toString(vecpotencias[rec]) + " ";
salida.write(vecpotencias[rec]);

rec++;
if(rec==3)
{
m_poten+="\n";
}
}
MainActivity.this.runOnUiThread(new Runnable() {

@Override
public void run() {
poten.setText(m_poten);
}
});

}

rec=0;
conexion.close();
entrada.close();
salida.close();
}
} catch (IOException e) {
e.printStackTrace();
final String mensaerror = e.toString();

} finally {
if (conexion != null) {
try {
conexion.close();
} catch (IOException e) {
e.printStackTrace();
}
}

if (entrada != null) {
try {
entrada.close();
} catch (IOException e) {
// TODO Auto-generated catch block
e.printStackTrace();
}
}

if (salida != null) {
try {
salida.close();
} catch (IOException e) {
e.printStackTrace();
}
}
}

```

```

    }
}

public int[] Captura_potencias (){
    String servicio = Context.WIFI_SERVICE;
    final WifiManager wifi = (WifiManager)getSystemService(servicio);
    wifi.startScan();
    List<ScanResult> results = wifi.getScanResults();

    int numAPS = results.size();

    for (int i = 0; i < numAPS; i++) {
        a = (results.get(i).SSID);
        boolean res, res2, res3;
        res = a.equals("LUIS BENAVIDES");
        res2 = a.equals("LUIS BENAVIDES 2");
        res3= a.equals("LUIS BENAVIDES 3");

        if (res) {
            lb1 = (results.get(i).level);
        }
        if (res2){
            lb2= (results.get(i).level);
        }
        if (res3){
            lb3= (results.get(i).level);
        }
        }
        wifis[0]=lb1*-1;
        wifis[1]=lb2*-1;
        wifis[2]=lb3*-1;
        return wifis;
    }
}
}

```

- *Manifest*

```

<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<manifest xmlns:android="http://schemas.android.com/apk/res/android"
    package="com.example.nexo.cliente" >
<uses-permission android:name="android.permission.ACCESS_WIFI_STATE" />
<uses-permission android:name="android.permission.CHANGE_WIFI_STATE" />
<uses-permission android:name="android.permission.CHANGE_WIFI_STATE" />

<application
    android:allowBackup="true"
    android:icon="@mipmap/ic_launcher"
    android:label="@string/app_name"
    android:supportsRtl="true"
    android:theme="@style/AppTheme" >
<activity
    android:name=".MainActivity"
    android:label="@string/app_name"
    android:theme="@style/AppTheme.NoActionBar" >

```

```

<intent-filter>
<action android:name="android.intent.action.MAIN" />

<category android:name="android.intent.category.LAUNCHER" />
</intent-filter>
</activity>
</application>
<uses-permission android:name="android.permission.INTERNET"/>

</manifest>

```

- *Content*

```

<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<RelativeLayout xmlns:android="http://schemas.android.com/apk/res/android"
    xmlns:tools="http://schemas.android.com/tools"
    xmlns:app="http://schemas.android.com/apk/res-auto"
    android:layout_width="match_parent"
    android:layout_height="match_parent"
    android:paddingLeft="@dimen/activity_horizontal_margin"
    android:paddingRight="@dimen/activity_horizontal_margin"
    android:paddingTop="@dimen/activity_vertical_margin"
    android:paddingBottom="@dimen/activity_vertical_margin"
    app:layout_behavior="@string/appbar_scrolling_view_behavior"
    tools:showIn="@layout/activity_main" tools:context=".MainActivity">

```

```

<TextView
    android:layout_width="fill_parent"
    android:layout_height="wrap_content"
    android:id="@+id/salida"
    android:layout_alignParentTop="true"
    android:layout_alignParentRight="true"
    android:layout_alignParentEnd="true"
    android:textSize="30dp" />

```

```

<TextView
    android:layout_width="wrap_content"
    android:layout_height="wrap_content"
    android:id="@+id/edi"
    android:layout_alignParentLeft="true"
    android:layout_alignParentStart="true"
    android:layout_below="@+id/salida"
    android:layout_alignRight="@+id/salida"
    android:layout_alignEnd="@+id/salida"
    android:textSize="30dp" />

```

```

<TextView
    android:layout_width="wrap_content"
    android:layout_height="wrap_content"
    android:id="@+id/potencias"
    android:layout_alignParentLeft="true"
    android:layout_alignParentStart="true"
    android:layout_below="@+id/edi"
    android:layout_alignRight="@+id/edi"
    android:layout_alignEnd="@+id/edi"

```

```
android:textSize="30dp" />
```

```
</RelativeLayout>
```

ANEXO E: Código de Configuración de la Aplicación Muestras

- *Main Activity*

```
import android.net.wifi.ScanResult;
import android.net.wifi.WifiManager;
import android.os.Bundle;
import android.os.SystemClock;
import android.support.design.widget.FloatingActionButton;
import android.support.design.widget.Snackbar;
import android.support.v7.app.AppCompatActivity;
import android.support.v7.widget.Toolbar;
import android.view.View;
import android.view.Menu;
import android.view.MenuItem;
import android.widget.Button;
import android.widget.TextView;

import java.util.List;
```

```
public class MainActivity extends AppCompatActivity {
    TextView mensajes,tabla;
    Button Cerrar;
    int[] wifis = new int[3];
    int lb1 = 0;
    int lb2 = 0;
    int lb3 = 0;
    String a;
    String Resultado;
    String Visual;

    @Override
    protected void onCreate(Bundle savedInstanceState) {
        super.onCreate(savedInstanceState);
        setContentView(R.layout.activity_main);
        Toolbar toolbar = (Toolbar) findViewById(R.id.toolbar);
        setSupportActionBar(toolbar);
        mensajes=(TextView) findViewById(R.id.mensaje);
        tabla=(TextView) findViewById(R.id.matriz);
        String a = new String();
        Cerrar = (Button) findViewById(R.id.boton);
        Programa();
        Cerrar.setOnClickListener(new View.OnClickListener() {
            public void onClick(View v) {
                finish();
            }
        });
    }
}
```

```

    });
    FloatingActionButton fab = (FloatingActionButton) findViewById(R.id.fab);
    fab.setOnClickListener(new View.OnClickListener() {
        @Override
        public void onClick(View view) {
            Snackbar.make(view, "Replace with your own action",
                Snackbar.LENGTH_LONG)
                .setAction("Action", null).show();
        }
    });
}

```

```

    @Override
    public boolean onCreateOptionsMenu(Menu menu) {
        // Inflate the menu; this adds items to the action bar if it is present.
        getMenuInflater().inflate(R.menu.menu_main, menu);
        return true;
    }
}

```

```

    @Override
    public boolean onOptionsItemSelected(MenuItem item) {
        // Handle action bar item clicks here. The action bar will
        // automatically handle clicks on the Home/Up button, so long
        // as you specify a parent activity in AndroidManifest.xml.
        int id = item.getItemId();

        //noinspection SimplifiableIfStatement
        if (id == R.id.action_settings) {
            return true;
        }

        return super.onOptionsItemSelected(item);
    }
}

```

```

public void Programa() {

```

```

    int n = 10;
    int Matriz_Potencias[][]=new int [n][3];
    for (int i = 0; i < n; i++) {
        int Potencias_dBm[] = Captura_potencias();
        Matriz_Potencias[i][0]=Potencias_dBm[0];
        Matriz_Potencias[i][1]=Potencias_dBm[1];
        Matriz_Potencias[i][2]=Potencias_dBm[2];
        SystemClock.sleep(2000);
    }
}

```

```

Visual=Matriz_Potencias[0][0]+" "+Matriz_Potencias[0][1]+"
"+Matriz_Potencias[0][2)+"\n";
Visual+=Matriz_Potencias[1][0]+" "+Matriz_Potencias[1][1]+"
"+Matriz_Potencias[1][2)+"\n";
Visual+=Matriz_Potencias[2][0]+" "+Matriz_Potencias[2][1]+"

```

```

"+Matriz_Potencias[2][2]+"\\n";
Visual+=Matriz_Potencias[3][0]+" "+Matriz_Potencias[3][1]+"
"+Matriz_Potencias[3][2]+"\\n";
Visual+=Matriz_Potencias[4][0]+" "+Matriz_Potencias[4][1]+"
"+Matriz_Potencias[4][2]+"\\n";
Visual+=Matriz_Potencias[5][0]+" "+Matriz_Potencias[5][1]+"
"+Matriz_Potencias[5][2]+"\\n";
Visual+=Matriz_Potencias[6][0]+" "+Matriz_Potencias[6][1]+"
"+Matriz_Potencias[6][2]+"\\n";
Visual+=Matriz_Potencias[7][0]+" "+Matriz_Potencias[7][1]+"
"+Matriz_Potencias[7][2]+"\\n";
Visual+=Matriz_Potencias[8][0]+" "+Matriz_Potencias[8][1]+"
"+Matriz_Potencias[8][2]+"\\n";
Visual+=Matriz_Potencias[9][0]+" "+Matriz_Potencias[9][1]+"
"+Matriz_Potencias[9][2]+"\\n";

```

```

tabla.setText(Visual);

```

```

double[] Medias_Potencia= Media_potencias(n, Matriz_Potencias);
Resultado="Ponderacion LB1: "+Medias_Potencia[0]+"\\n";
Resultado+="Ponderacion LB2: "+Medias_Potencia[1]+"\\n";
Resultado+="Ponderacion LB3: "+Medias_Potencia[2]+"\\n";
mensajes.setText(Resultado);
}

```

```

public int[] Captura_potencias() {
    String service = this.WIFI_SERVICE;
final WifiManager wifi = (WifiManager) getSystemService(service);
    wifi.startScan();
    List<ScanResult> results = wifi.getScanResults();
int numeroRedes = results.size();
for (int i = 0; i < numeroRedes; i++) {
a = (results.get(i).SSID);
boolean res, res2, res3;
        res = a.equals("LUIS BENAVIDES");
        res2 = a.equals("LUIS BENAVIDES 2");
        res3 = a.equals("LUIS BENAVIDES 3");

```

```

if (res) {
lb1 = (results.get(i).level);
        }
if (res2) {
lb2 = (results.get(i).level);
        }
if (res3) {
lb3 = (results.get(i).level);
        }
    }
wifis[0] = lb1 * -1;
wifis[1] = lb2 * -1;
wifis[2] = lb3 * -1;
return wifis;
}

```

```

//Calculo de la media

```

```

public double[] Media_potencias (int n,int[][] Matriz_Potencias){

```

```

double Totlb1=0;double Totlb2=0;double Totlb3=0;
for (int i= 0; i<n;i++){
    Totlb1 = Matriz_Potencias[i][0]+Totlb1;
    Totlb2 = Matriz_Potencias[i][1]+Totlb2;
    Totlb3 = Matriz_Potencias[i][2]+Totlb3;
}
double media_P[]=new double[3];
    media_P[0]=Totlb1/n; media_P[1]=Totlb2/n; media_P[2]=Totlb3/n;
return media_P;
}
}

```

- *Android Manifest*

```

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

<uses-permission android:name="android.permission.ACCESS_WIFI_STATE" />
<uses-permission android:name="android.permission.CHANGE_WIFI_STATE" />
<application
    android:allowBackup="true"
    android:icon="@mipmap/ic_launcher"
    android:label="@string/app_name"
    android:supportRtl="true"
    android:theme="@style/AppTheme" >
<activity
    android:name=".MainActivity"
    android:label="@string/app_name"
    android:theme="@style/AppTheme.NoActionBar" >
<intent-filter>
<action android:name="android.intent.action.MAIN" />

<category android:name="android.intent.category.LAUNCHER" />
</intent-filter>
</activity>
</application>

</manifest>

```

- *Content_Main*

```

<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<RelativeLayout xmlns:android="http://schemas.android.com/apk/res/android"
    xmlns:tools="http://schemas.android.com/tools"
    xmlns:app="http://schemas.android.com/apk/res-auto"
    android:layout_width="match_parent"
    android:layout_height="match_parent"
    android:paddingLeft="@dimen/activity_horizontal_margin"
    android:paddingRight="@dimen/activity_horizontal_margin"
    android:paddingTop="@dimen/activity_vertical_margin"
    android:paddingBottom="@dimen/activity_vertical_margin"
    app:layout_behavior="@string/appbar_scrolling_view_behavior"
    tools:showIn="@layout/activity_main" tools:context=".MainActivity">

```

```
<TextView
    android:layout_width="wrap_content"
    android:layout_height="wrap_content"
    android:id="@+id/mensaje"
    android:textSize="40dp"
    android:layout_marginBottom="106dp"
    android:layout_alignParentBottom="true"
    android:layout_alignParentLeft="true"
    android:layout_alignParentStart="true"
    android:textColor="#050505" />
```

```
<TextView
    android:layout_width="wrap_content"
    android:layout_height="wrap_content"
    android:id="@+id/matriz"
    android:textSize="40dp"
    android:layout_alignParentTop="true"
    android:layout_alignParentLeft="true"
    android:layout_alignParentStart="true"
    android:layout_marginTop="59dp"
    android:textColor="#030303" />
```

```
<TextView
    android:layout_width="wrap_content"
    android:layout_height="wrap_content"
    android:text="Medidas Obtenidas"
    android:id="@+id/textView"
    android:layout_alignParentTop="true"
    android:layout_alignParentLeft="true"
    android:layout_alignParentStart="true"
    android:textSize="40dp"
    android:textColor="#060606" />
```

```
<Button
    android:layout_width="wrap_content"
    android:layout_height="wrap_content"
    android:text="Cerrar"
    android:id="@+id/boton"
    android:layout_marginBottom="49dp"
    android:layout_alignParentBottom="true"
    android:layout_centerHorizontal="true" />
```

```
</RelativeLayout>
```

ANEXO F: Código de Creación de la Base de Datos

```
CREATE TABLE mies
(
zona character varying(10) NOT NULL,
lb1 float,
lb2 float,
lb3 float,
xloc float,
```

yloc float
);

INSERT INTO mues(zona,lb1, lb2, lb3, xloc, yloc) VALUES

('RFIDN',53, 76, 76, 0, 354),
('RFIDN',44, 69, 75, 44.25,354),
('RFIDN',44, 69, 75, 88.5, 354),
('RFIDN',54, 68, 75, 132.75, 354),
('RFIDN',55, 68, 75, 177,354),
('RFIDN',54, 67, 74, 221.25, 354),
('RFIDN',57, 67, 75, 265.5, 354),
('RFIDN',60, 69, 73, 309.75, 354),
('RFIDN',64, 62, 68, 354, 354),
('RFIDN',69, 60, 64, 398.25, 354),
('RFIDN',67, 63, 61, 442.5, 354),
('RFIDN',70, 63, 57, 486.75, 354),
('RFIDN',72, 62, 54, 531, 354),
('RFIDN',74, 62, 58, 575.25, 354),
('RFIDN',76, 66, 61, 619.5, 354),
('RFIDN',79, 64, 50, 663.75, 354),
('RFIDN',79, 65, 52, 708, 354),
('RFIDN',78, 55, 51, 752.25, 354),
('RFIDN',79, 48, 42, 796.5, 354),
('RFIDN',52, 70, 65, 0, 309.75),
('RFIDN',55, 72, 70, 44.25, 309.75),
('RFIDN',59, 70, 75, 88.5, 309.75),
('RFIDN',61, 71, 75, 132.75, 309.75),
('RFIDN',60, 67, 77, 177, 309.75),
('RFIDN',64, 69, 75, 221.25, 309.75),
('RFIDN',65, 69, 74, 265.5, 309.75),
('RFIDN',52, 44, 70, 309.75, 309.75),
('RFIDN',56, 41, 60, 354, 309.75),
('RFIDN',54, 47, 54, 398.25, 309.75),
('RFIDN',53, 45, 58, 442.5, 309.75),
('RFIDN',54, 43, 57, 486.75, 309.75),
('RFIDN',56, 41, 54, 531, 309.75),
('RFIDN',60, 44, 58, 575.25, 309.75),
('RFIDN',61, 44, 61, 619.5, 309.75),
('RFIDN',60, 42, 53, 663.75, 309.75),
('RFIDN',65, 42, 52, 708, 309.75),
('RFIDN',64, 42, 50, 752.25, 309.75),
('RFIDN',60, 35, 46, 796.5, 309.75),
('RFIDN',39, 70, 67, 0, 265.5),
('RFIDN',30, 67, 67, 44.25, 265.5),
('RFIDN',35, 68, 64, 88.5, 265.5),
('RFIDN',38, 67, 69, 132.75, 265.5),
('RFIDN',47, 65, 70, 177, 265.5),
('RFIDN',53, 62, 72, 221.25, 265.5),
('RFIDN',51, 53, 76, 265.5, 265.5),
('RFIDN',50, 53, 60, 309.75, 265.5),
('RFIDN',52, 54, 58, 354, 265.5),
('RFIDN',51, 55, 59, 398.25, 265.5),
('RFIDN',55, 54, 60, 442.5, 265.5),
('RFIDN',55, 53, 59, 486.75, 265.5),
('RFIDN',57, 43, 52, 531, 265.5),

('RFIDN',60,44,58,575.25,265.5),
('RFIDN',60,40,60,619.5,265.5),
('RFIDN',61,42,59,663.75,265.5),
('RFIDN',61,45,53,708,265.5),
('RFIDN',62,43,53,752.25,265.5),
('RFIDN',62,38,49,796.25,265.5),
('RFIDN',37,76,68,0,221.25),
('RFIDN',33,75,64,44.25,221.25),
('RFIDN',32,75,67,88.5,221.25),
('RFIDN',27,74,68,132.75,221.25),
('RFIDN',33,78,68,177,221.25),
('RFIDN',30,73,68,221.25,221.25),
('RFIDN',42,68,68,265.5,221.25),
('RFIDN',42,65,60,309.75,221.25),
('RFIDN',44,69,63,354,221.25),
('RFIDN',46,66,62,398.25,21.25),
('RFIDN',50,62,60,442.5,221.25),
('RFIDN',54,62,62,486.75,221.25),
('RFIDN',55,63,65,531,221.25),
('RFIDN',55,53,68,575.25,221.25),
('RFIDN',68,56,68,619.5,221.25),
('RFIDN',67,58,59,663.75,221.25),
('RFIDN',63,51,58,708,221.25),
('RFIDN',69,48,53,752.25,221.25),
('RFIDN',65,48,58,796.5,221.25),
('RFIDN',35,77,69,0,177),
('RFIDN',33,70,64,44.25,177),
('RFIDN',29,68,64,88.5,177),
('RFIDN',31,66,60,132.75,177),
('RFIDN',34,69,63,177,177),
('RFIDN',31,67,65,221.25,177),
('RFIDN',39,62,64,265.5,177),
('RFIDN',44,64,55,309.75,177),
('RFIDN',43,62,56,354,177),
('RFIDN',45,63,60,398.25,177),
('RFIDN',51,64,59,442.5,177),
('RFIDN',57,63,62,486.75,177),
('RFIDN',55,58,63,531,177),
('RFIDN',57,57,65,575.25,177),
('RFIDN',62,55,64,619.5,177),
('RFIDN',62,50,57,66
('RFIDN',64,45,58,708,177),
('RFIDN',65,45,59,752.25,177),
('RFIDN',65,49,58,796.5,177),
('RFIDN',43,75,70,0,132.75),
('RFIDN',34,75,68,44.5,132.75),
('RFIDN',27,67,65,88.5,132.75),
('RFIDN',30,68,69,132.75,132.75),
('RFIDN',35,69,65,177,132.75),
('RFIDN',34,66,65,221.25,132.75),
('RFIDN',40,68,65,265.5,132.75),
('RFIDN',43,65,61,309.75,132.75),
('RFIDN',43,66,61,354,132.75),
('RFIDN',44,63,65,398.25,132.75),
('RFIDN',55,63,62,442.5,132.75),

('RFIDN',52,60,64,486.75,132.75),
('RFIDN',57,59,63,531,132.75),
('RFIDN',58,54,65,575.25,132.75),
('RFIDN',62,50,62,619.5,132.75),
('RFIDN',69,51,55,663.75,132.75),
('RFIDN',65,48,58,708,132.75),
('RFIDN',68,51,56,752.25,132.75),
('RFIDN',68,50,57,796.5,132.75),
('RFIDN',43,75,73,0,88.5),
('RFIDN',35,71,69,44.25,88.5),
('RFID1',23,65,68,88.5,88.5),
('RFID1',34,68,68,132.75, 88.5),
('RFID1',32,69,64,177,88.5),
('RFIDN',36,69,66,221.25,88.5),
('RFIDN',41,63,66,265.5,88.5),
('RFIDN',41,62,62,309.75,88.5),
('RFIDN',43,62,60,354,88.5),
('RFIDN',53,61,67,398.25,88.5),
('RFIDN',58,57,64,442.5,88.5),
('RFIDN',54,56,63,486.75,88.5),
('RFIDN',53,58,62,531,88.5),
('RFIDN',56,52,62,575.25,88.5),
('RFIDN',59,54,65,619.5,88.5),
('RFIDN',64,47,56,663.75,88.5),
('RFIDN',65,49,57,708,88.5),
('RFIDN',68,49,56,752.25,88.5),
('RFIDN',68,50,56,796.5,88.5),
('RFIDN',48,76,73,0,44.25),
('RFIDN',39,72,68,44.25,44.25),
('RFIDN',30,73,71,88.5,44.25),
('RFIDN',34,71,72,132.75, 44.25),
('RFIDN',34,70,68,177,44.25),
('RFIDN',39,69,70,221.25,44.25),
('RFIDN',44,69,69,265.5,44.25),
('RFIDN',45,65,68,309.75,44.25),
('RFIDN',46,66,65,354,44.25),
('RFIDN',43,68,68,398.25,44.25),
('RFIDN',57,60,70,442.5,44.25),
('RFIDN',55,57,69,486.75,44.25),
('RFIDN',58,61,68,531,44.25),
('RFIDN',57,57,69,575.25,44.25),
('RFIDN',58,59,63,619.5,44.25),
('RFIDN',67,56,56,663.75,44.25),
('RFIDN',63,49,57,708,44.25),
('RFIDN',66,45,56,752.25,44.25),
('RFIDN',64,51,52,796.5,44.25),
('RFIDN',52,76,75,0,0),
('RFIDN',52,72,72,44.25,0),
('RFIDN',51,72,69,88.5,0),
('RFIDN',50,71,70,132.75,0),
('RFIDN',51,70,69,177,0),
('RFIDN',50,70,70,221.25,0),
('RFIDN',49,69,68,265.5,0),
('RFIDN',51,69,69,309.75,0),
('RFIDN',54,69,66,354,0),

('RFIDN',52,69,68,398.25,0),
('RFIDN',57,68,70,442.5,0),
('RFIDN',60,65,68,486.75,0),
('RFIDN',59,68,66,531,0),
('RFIDN',63,68,65,575.25,0),
('RFIDN',62,68,64,619.5,0),
('RFIDN',61,61,57,663.75,0),
('RFIDN',67,61,57,708,0),
('RFIDN',69,60,56,752.25,0),
('RFIDN',65,61,53,796.5,0);

ANEXO G: Certificación de la Unidad Educativa Dr. Luis Benavides



**UNIDAD EDUCATIVA ESPECIALIZADA
"DR. LUIS BENAVIDES"**

MANUEL ELICIO FLOR 40-50 Y PRINCESA CORI - Telf.: (03)2941-477
Cel.: 096047064 Domicilio: (03)2626794 Email: lulabenavides2287@yahoo.com
RIOBAMBA - ECUADOR

EDUCACIÓN ESPECIAL Y REHABILITACIÓN

CERTIFICACION

Por medio de la presente me permito certificar que el trabajo de titulación: **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA DE POSICIONAMIENTO INDOOR BASADO EN TECNOLOGÍAS IEEE 802.15.4F Y 802.11B PARA LA UNIDAD EDUCATIVA ESPECIALIZADA DR. "LUIS BENAVIDES"**, desarrollado por **MACAS CARRASCO JESSICA JOHANA** con C.I. 060410293-9 y **QUILLAY GUARACA ISRAEL ISAAC** con C.I. 060410668-2, egresados de la Escuela de Ingeniería en Electrónica Telecomunicaciones y Redes de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, previo a la obtención del título de **INGENIERO EN ELECTRÓNICA TELECOMUNICACIONES Y REDES**, ha sido de utilidad en el proceso de ayuda a la movilidad, integración y seguimiento dentro de la institución para los niños invidentes que cursan nuestras aulas, en especial para la estudiante Alejandra Imba cuyo nivel de Ceguera es total y además tiene Autismo siendo una alumna Multiretos.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y faculto a la parte interesada hacer uso de la presente para los respectivos trámites académicos.

Riobamba, 09 de marzo de 2016

Lic. Johana Suárez

**SECRETARIA DE LA UNIDAD EDUCATIVA ESPECIALIZADA DR. LUIS
BENAVIDES**

