



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

**“ESTUDIO COMPARATIVO DEL POSICIONAMIENTO INDOOR
CON TECNOLOGÍAS WI-FI Y BLUETOOTH PARA LA FACULTAD
DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA”**

Trabajo de titulación presentado para optar al grado académico de:
**INGENIERO EN ELECTRÓNICA TELECOMUNICACIONES Y
REDES**

AUTORA: MARILU DEL CISNE TORRES ROMERO

TUTORA: ING. MÓNICA ZABALA M.Sc.

Riobamba-Ecuador
2017

©2017, Marilu del Cisne Torres Romero

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autora.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMATICA Y ELECTRONICA

ESCUELA DE INGENIERIA EN TELECOMUNICACIONES Y REDES

El Tribunal de Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de investigación: “ESTUDIO COMPARATIVO DEL POSICIONAMIENTO INDOOR CON TECNOLOGÍAS WI-FI Y BLUETOOTH PARA LA FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA”, de responsabilidad de la señorita Marilu del Cisne Torres Romero, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

Ing. Washington Luna Encalada

**DECANO FACULTAD DE
INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**

Ing. Franklin Moreno

**DIRECTOR DE ESCUELA
DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,
TELECOMUNICACIONES Y REDES**

Ing. Mónica Zabala Haro M.Sc.

**DIRECTORA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Ing. Hugo Moreno Ph.D.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Yo, Marilu del Cisne Torres Romero soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Marilu del Cisne Torres Romero

DEDICATORIA

Este gran paso lo dedico principalmente a Dios por toda la fortaleza que me brindó siempre y más aún en los momentos que decaía.

A mis amados padres, el principal motor de mi vida Teodoro y Gladis quienes nunca me faltaron y siempre estuvieron pendientes de mí, brindándome su amor y su apoyo incondicional.

A mis queridos hermanos Robinson y Cristhian que durante toda mi vida han sido mi gran soporte y me han inspirado a seguir adelante.

A mi bella sobrina Alice Sofía quién llegó a ser esa pequeña lucecita que me impulsó a continuar haciendo las cosas bien.

A Fabricio, mi novio, una persona muy especial en mi vida que me motivó y me ayudó a continuar con uno de mis grandes propósitos.

A mi abuelita en el cielo y mis abuelitos en la tierra quienes siempre me tienen presentes en sus oraciones.

A toda mi familia, buenos amigos y mis queridos maestros que aportaron positivamente en el transcurso de mi vida universitaria.

Marilu

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por brindarme día a día esa gran fortaleza y voluntad para no dejarme vencer en ningún momento, a mis padres y mis hermanos por su apoyo y amor incondicional quiero decirles que aquí estoy cumpliendo esto que me propuse, en ocasiones no fue fácil, me hicieron muchísima falta, pero sabía que esto valía la pena, esta meta es nuestra y siempre estaré enormemente agradecida con ustedes por jamás abandonarme a pesar de la distancia, gracias por estar conmigo siempre.

Agradezco a mi querida escuela de “Ingeniería Electrónica en Telecomunicaciones y Redes” y a todos quienes forman parte de ella, a mis maestros de quienes recibí sus conocimientos y a mis buenos compañeros con quienes compartí gratos momentos durante mi vida universitaria.

A mi querida tutora Ing. Mónica Zabala, agradezco su dedicación y esfuerzo por guiarme y ayudarme durante mi formación y el desarrollo de este trabajo de titulación.

Hoy puedo decir que me siento muy feliz y agradecida con todas las personas que de una u otra forma aportaron positivamente para cumplir una de mis metas.

Marilu

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE MAPAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	xv
CAPÍTULO I	
1 MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Trascendencia de la localización.....	1
1.2 Tipos de posicionamiento	1
<i>1.2.1 Posicionamiento outdoor</i>	<i>1</i>
<i>1.2.2 Posicionamiento indoor</i>	<i>2</i>
1.3 Tecnologías inalámbricas	3
<i>1.3.1 Bluetooth</i>	<i>3</i>
<i>1.3.2 Wi-Fi.....</i>	<i>12</i>
<i>1.3.3 Indoor positioning.....</i>	<i>17</i>
1.4 Técnicas para la localización.....	24
<i>1.4.1 Análisis de escena</i>	<i>25</i>
<i>1.4.2 Triangulación.....</i>	<i>25</i>
<i>1.4.3 Proximidad</i>	<i>26</i>
1.5 Algoritmos de localización.....	26
<i>1.5.1 Algoritmos basados en la técnica “Fingerprinting”</i>	<i>27</i>
<i>1.5.2 Algoritmos basados en la técnica de propagación (Triangulación).....</i>	<i>29</i>
1.6 Comparación de las técnicas de posicionamiento.....	33

1.7 Software de monitoreo en redes inalámbricas	33
<i>1.7.1 Software de monitoreo y control de posicionamiento por Wi-Fi</i>	33
<i>1.7.2 Software de monitoreo y control de posicionamiento por Bluetooth</i>	37
1.8 Terminales finales	37
CAPÍTULO II	
2 Marco metodológico	38
2.1 Población	38
<i>2.1.1 Muestra</i>	38
2.2 Infraestructura de la FIE	38
2.3 Cobertura de los puntos de acceso en la FIE	39
<i>2.3.1 Escuela de Ingeniería en Sistemas</i>	40
<i>2.3.2 Escuela de Diseño Gráfico</i>	41
<i>2.3.3 Escuelas de Ingeniería Electrónica en Control y Redes Industriales, y Telecomunicaciones y Redes</i>	41
2.4 Mapas de calor de la Escuela de Ingeniería Electrónica en Telecomunicaciones y Redes	42
2.5 Modelos para el posicionamiento indoor por Wi-Fi	44
<i>2.5.1 Modelo ideal</i>	44
<i>2.5.2 Modelo real implementado</i>	47
<i>2.5.3 Modelo óptimo</i>	54
<i>2.5.4 Modelo propuesto</i>	56
2.6 Diseño del prototipo	58
2.7 Modelos para el posicionamiento indoor por Bluetooth	58
<i>2.7.1 Verificación de conexión</i>	61
2.8 Base de datos para verificación de conexión	61
2.9 Prueba de conexión de dispositivos	62

CAPÍTULO II

3 Análisis y resultados	67
3.1 Análisis comparativo de tecnologías para el posicionamiento interno	67
3.1.1 Ponderación de parámetros	67
CONCLUSIONES	73
RECOMENDACIONES	73
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Parámetros de las clases Bluetooth.....	7
Tabla 2-1 Equipos Bluetooth y sus principales características	11
Tabla 3-1 Equipos de conectividad en una red Wi-Fi.....	16
Tabla 4-1 Tipo de construcción resolución de posicionamiento en mosaico cuadrado	20
Tabla 5-1 Tipo de construcción resolución de posicionamiento en mosaico hexagonal.....	23
Tabla 6-1 Tipo de construcción resolución de posicionamiento en mosaico triangular	24
Tabla 7-1 Comparación de los sistemas de posicionamiento indoor	33
Tabla 1-2 Ubicación de los puntos de acceso.....	39
Tabla 2-2 Conexión de dispositivos de cada docente.....	62
Tabla 1-3 Comparación de parámetros de tecnologías	68
Tabla 2-3 Valores de ponderación	68
Tabla 3-3 Ponderación de resultados	68

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 2-1 Cobertura de los puntos de acceso en la Facultad de Informática y Electrónica	40
Mapa 2-1 Escuela de Ingeniería en Sistemas, FIE ESPOCH.....	40
Mapa 3-1 Escuela de Diseño Gráfico, FIE ESPOCH	41
Mapa 4-1 EIE-TR y EIE-CRI, FIE ESPOCH	41
Mapa 5-1 Modular de Electrónica, AP interno	42
Mapa 6-1 Modular de Electrónica, AP externo.....	42
Mapa 7-1 Planta baja del edificio principal FIE, AP auditorio	43
Mapa 8-1 AP's ubicados en el piso 1, edificio principal de la FIE.....	43
Mapa 9-1 AP's ubicados en el piso 2, edificio principal de la FIE.....	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Posicionamiento indoor.....	2
Figura 2-1 Conectividad Bluetooth.....	4
Figura 3-1 Redes Bluetooth	7
Figura 4-1 Tecnología Wi-Fi	14
Figura 5-1 Piconet y scatternet en una red bluetooth	18
Figura 6-1 Modelo mosaico cuadrado	19
Figura 7-1 Área de cobertura del modelo mosaico cuadrado	19
Figura 8-1 Ejemplo de cálculo de AP's en mosaico cuadrado	20
Figura 9-1 Modelo Mosaico triangular	21
Figura 10-1 Área de cobertura del modelo mosaico triangular.....	22
Figura 11-1 Modelo mosaico hexagonal.....	22
Figura 12-1 Área de cobertura del modelo mosaico hexagonal.....	22
Figura 13-1 Cálculo de AP's en mosaico triangular y hexagonal	23
Figura 14-1 Tipos de técnicas de posicionamiento indoor.....	25
Figura 15-1 Método fingerprinting en redes neuronales.....	27
Figura 16-1 M-Vértice, polígono con M=3 AP's.....	28
Figura 17-1 SVM lineal en dos dimensiones.....	29
Figura 18-1 Posicionamiento por medida de ángulos desde dos AP's	30
Figura 19-1 Posicionamiento mediante el método TOA.....	31
Figura 20-1 Posicionamiento usando el método RTOF	32
Figura 21-1 Posicionamiento usando el método TDOA	32
Figura 22-1 Acrylic WIFI Heat Maps.....	34
Figura 23-1 Acrylic WIFI Professional	35
Figura 24-1 Aplicación de monitoreo de dispositivos Bluetooth.....	37
Figura 25-1 Dispositivo dongle.....	37
Figura 1-2 Aplicación del modelo mosaico hexagonal, modular de electrónica	45
Figura 2-2 Ubicación de equipos planta baja y piso 1, edificio FIE	46
Figura 3-2 Ubicación de equipo en el piso 2, edificio FIE	47
Figura 4-2 Monitoreo modular electrónica, AP interno.....	48
Figura 5-2 Monitoreo modular electrónica, AP externo	48
Figura 6-2 Cobertura de red, planta baja, modular electrónica.....	49

Figura 7-2 Monitoreo planta baja, edificio principal FIE	49
Figura 8-2 Monitoreo piso 1, decanato, edificio principal FIE.....	50
Figura 9-2 Monitoreo piso 1, "Laboratorio Informática 3", edificio principal FIE	50
Figura 10-2 Cobertura de red, piso 1, edificio principal FIE	51
Figura 11-2 Monitoreo piso 2, "Laboratorio de comunicaciones y microondas", edificio FIE	51
Figura 12-2 Monitoreo piso 2, "Cuarto de equipos principal", edificio principal FIE.....	52
Figura 13-2 Monitoreo piso 2, "esquina pared sección este", edificio principal FIE.....	52
Figura 14-2 Cobertura de red, piso 2, edificio principal FIE	53
Figura 15-2 Monitoreo exterior edificio principal FIE	53
Figura 16-2 Modelo óptimo, sala de profesores, Modular de Electrónica, planta baja.....	54
Figura 17-2 Modelo óptimo, sala de profesores, Modular de Electrónica, piso 1	55
Figura 18-2 Modelo óptimo, sala de profesores, edificio FIE, piso 1	55
Figura 19-2 Modelo óptimo, sala de profesores, edificio FIE, piso 2.....	56
Figura 20-2 Cobertura del AP ubicado en el interior del modular de Electrónica.....	57
Figura 21-2 Señal recibida en el peor de los casos, modular de Electrónica	57
Figura 22-2 Diseño de prototipo de red Bluetooth.....	58
Figura 23-2 Red con tecnología Bluetooth, modular Electrónica, planta baja	59
Figura 24-2 Red con tecnología Bluetooth, edificio principal FIE, piso 1	60
Figura 25-2 Red con tecnología Bluetooth, edificio principal FIE, piso 2	60
Figura 26-2 Conexión en el prototipo de red bluetooth	61
Figura 27-2 Monitoreo de prototipo de red en la sala de profesores del modular de electrónica. ...	63
Figura 28-2 Conexión del dispositivo a la red de prueba.....	64
Figura 29-2 Monitoreo de redes en la sala de profesores del primer piso del edificio principal de la FIE.....	65
Figura 30-2 Monitoreo de redes en la sala de profesores del segundo piso del edificio principal de la FIE.....	65
Figura 31-2 Monitoreo de red de prueba, piso 1, edificio principal de la FIE.....	66
Figura 32-2 Monitoreo de red de prueba, piso 2, edificio principal de la FIE	66

RESUMEN

Se realizó el estudio y análisis de los parámetros más importantes de la red Wi-Fi implementada en la Facultad de Informática y Electrónica para hacer la comparación en cuanto a posicionamiento indoor, con un prototipo de red bluetooth desarrollado en placas Arduino UNO y módulos bluetooth HC-05. Se investigaron los diferentes modelos de ubicación de equipos centrales en el posicionamiento indoor y se desarrolló el cálculo para el modelo mosaico hexagonal que fue el seleccionada por ser el más conveniente en cuanto a costos y rendimiento. Se investigaron las técnicas y algoritmos de localización que deben ser tomados en cuenta para la propuesta que se plantea de desarrollar un sistema de posicionamiento en tiempo real. Para el análisis de la red Wi-Fi se ejecutó un monitoreo de redes a través de un software llamado “Acrylic Wi-Fi” que identifica y muestra información como la intensidad de recepción, MAC Address, canales y velocidad de las redes receptadas en algún punto, además se implementó un prototipo de red Wi-Fi con el que se realizó un análisis de cobertura en áreas en donde no se receptó ninguna red de los equipos instalados para el lugar en estudio de la Facultad de Informática y Electrónica. La red bluetooth se realizó básicamente con una conexión Maestro-Esclavo que a través de un indicador permite verificar la conexión establecida. A partir del monitoreo de las redes de la tecnología Wi-Fi en los lugares donde existe buena y mala recepción de señal se plantea la reubicación e instalación de ciertos equipos que puedan cubrir de manera eficiente las salas de profesores, esto no generará grandes gastos ya que para los lugares en estudio ya existe una red Wi-Fi implementada y administrada por el D-TIC. Finalmente, se descarta el uso de la tecnología Bluetooth para el posicionamiento interno en la FIE ya que, ésta, a comparación de la tecnología Wi-Fi debe implementarse desde raíz y no existe un sistema de control en el D-TIC que permita la administración de los usuarios que trabajen bajo esta tecnología.

PALABRAS CLAVE: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <TELECOMUNICACIONES>, <SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS)>, <POSICIONAMIENTO EN INTERIORES>, < POSICIONAMIENTO EN EXTERIORES>, < LOCALIZACIÓN>.

ABSTRACT

A study and analysis of the most important parameters of the Wi-Fi network implemented at the Informatics and Electronics Faculty was carried out in order to establish the comparison regarding to indoor positioning with a network Bluetooth prototype built on Arduino UNO plates and HC-05 Bluetooth modules. The different models of location of central equipment in the indoor positioning were investigated and the calculation was developed for the hexagonal mosaic model that was selected as the most convenient in terms of costs and performance. The location techniques and algorithms were also researched; these must be taken into account to develop a real-time positioning system. For the Wi-Fi network analysis it was necessary to monitor the networks with a software called “acrylic Wi-Fi” which identifies and displays information like reception intensity, MAC Address, channels and received networks speed at any point. In addition a Wi-Fi network prototype was implemented in order to carry out a coverage analysis in the areas where the networks from the installed equipment were not received for the study area at Informatics and Electronics Faculty. The Bluetooth network was basically implemented with a Master-slave connection that makes use of an indicator to verify the established connection. From the Wi-Fi network monitoring in places with good and bad signal reception, the repositioning and installation of certain equipment which might cover the poor signal reception in the professor’s room is proposed, this will not result in great expenses since there is an existing Wi-Fi network implemented and administered by the Communication and Information Technology Department (D-TIC). Finally, the use of Bluetooth technology for indoor positioning at the Informatics and Electronics Faculty (FIE) is discarded because in comparison with Wi-Fi technology, it must be implemented from the beginning and it does not have any control system at the Communication and Information Technology Department that allows the users administering the system with this technology.

KEY WORDS: <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCE>, <TELECOMMUNICATIONS>, <GLOBAL POSITIONING SYSTEM (GPS)>, <INDOOR POSITIONING>, <OUTDOOR POSITIONING>, <LOCATION>.

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

La llegada de dispositivos inteligentes con receptores GPS han tomado una gran ventaja ya que permiten el desarrollo de un sinnúmero de aplicaciones que facilitan tareas respecto a la ubicación geográfica.

Dado que el GPS no puede trabajar en entornos cerrados o en los llamados “cañones urbanos” y la señal de comunicación entre el satélite y el receptor se ve afectada por la atenuación y dispersión, se crean nuevos mecanismos de localización que permiten obtener la posición de ciertos elementos en una determinada área que es inaccesible para GPS.

Los mecanismos que se han desarrollado para espacios abiertos es el posicionamiento outdoor, y para espacios cerrados, el posicionamiento indoor (Pérez Navarro & Conesa, 2013, p. 3).

“SnapTrack de Qualcomm Comp.” es un sistema fundador de A-GPS (GPS Asistido) que tiene una exactitud de 5 a 50 metros en entornos indoor. Este tipo de tecnología, trabaja conjuntamente con un receptor GPS referencial que permite encontrar las señales débiles GPS y un servidor de localización que combina las medidas recogidas por el dispositivo final y el de referencia, para determinar una posición estimada de un elemento (Zapatero, 2013, p. 125).

En abril del 2012, el hospital de niños de Boston “Boston Children’s Hospital”, hace el lanzamiento de una aplicación móvil llamada “MyWay” que facilita el desplazamiento de los pacientes dentro del hospital. Esta aplicación tiene un gran beneficio, permite acceder a la información de más de 1000 médicos, 200 programas clínicos y alrededor de cinco sitios clínicos cerca de Boston. Es una aplicación de localización desarrollada en la plataforma “Meridian”, disponible para iOS y Android; los usuarios pueden también acceder a su información clínica y solicitar citas (Tornatore & Weber, 2012).

En el año 2016, en la unidad educativa especializada “Dr. Luis Benavides” de la ciudad de Riobamba, se analizó y se implementó un prototipo para el sistema de posicionamiento indoor basado en la tecnología IEEE 802.15.4f (RFID) y la tecnología IEEE 802.11b (Wi-Fi), obteniendo resultados positivos y se concluyó que es posible utilizar algunas de estas dos tecnologías para el posicionamiento indoor, pero en cuanto a costos y cobertura es mejor la tecnología Wi-Fi (Quillay Guaraca & Macas Carrasco, 2016, p. XVII).

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El posicionamiento a través de GPS es muy eficiente, pero éste no satisface las necesidades en espacios cerrados, ya que pierde contacto con los satélites; en las instalaciones de la Facultad de Informática y Electrónica de la Escuela Superior politécnica de Chimborazo, en ciertas ocasiones no hay forma de saber si los docentes se encuentran en su oficina o sala de profesores, es por esto que nace la problemática de realizar el estudio para el posicionamiento dentro de las infraestructuras de un entorno cerrado, ya que el manejo de GPS es limitado en este caso.

¿Qué tecnologías del posicionamiento INDOOR se pueden estudiar y comparar para aplicar en la Facultad de Informática y Electrónica?

SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

¿Qué parámetros de la tecnología Wi-Fi (Wireless Fidelity) actual de la ESPOCH en la Facultad de Informática y Electrónica se deben analizar con referencia al posicionamiento INDOOR?

¿Qué tecnologías orientadas al posicionamiento INDOOR se van a estudiar?

¿Cuáles son las características para realizar la comparación de las tecnologías en análisis del posicionamiento INDOOR?

¿De qué forma se hará la comparación real de las tecnologías en estudio?

JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN (3 párrafos cada una)

JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

Los sistemas de posicionamiento y seguimiento INDOOR, radican principalmente en la estructura de las tecnologías de posicionamiento que permiten la localización geográfica y puntual de los móviles o individuos, cuentan con un medio de comunicación para transmisión y recepción de las señales entre las bases y móviles; además poseen un centro de control y un software de posicionamiento INDOOR, tales como: El infrarrojo que son una serie de Leds que utilizan el protocolo de IrDA (Infrared Data Association), usado para comunicaciones de cortas distancias, si se aplica en sistemas de posicionamiento, es necesario la creación de sistemas híbridos, con radiofrecuencia, es por eso que esta tecnología no es viable utilizar; el BLE (Bluetooth Low Energy), que es un sistema de bluetooth que funciona con beacons, pequeños dispositivos adaptables para la comunicación inalámbrica, éste

sistema puede tener un alcance desde 1 a 100 metros, siendo una buena alternativa para el posicionamiento INDOOR; finalmente, Wi-Fi (Wireless Fidelity) opera usando un espectro de uso libre en la banda de 2.4 GHz y es posible realizar el posicionamiento local, utilizando propiedades físicas de la señal o el tiempo que le toma a la señal alcanzar su nodo de destino.

JUSTIFICACIÓN APLICATIVA

Con el rápido avance de la tecnología, se han creado varias incógnitas de cómo resolver ciertos problemas de localización en entornos cerrados o no admisibles para GPS, al realizar este trabajo de titulación, parte de la “Facultad de Informática y Electrónica” de la “Escuela Superior Politécnica de Chimborazo” se verá beneficiada, en cuanto a la ubicación de los docentes, ya que en ocasiones los estudiantes o personal de la FIE necesita saber si los maestros se encuentran en la sala de profesores.

La FIE cuenta con una infraestructura de red Wi-Fi que se tomará en cuenta para ser comparada con un prototipo de red bluetooth y de esta manera saber cuál es la tecnología mejor conveniente a usar para el posicionamiento indoor para ubicar a los docentes en la FIE.

Este proceso inicia con la investigación de las tecnologías de posicionamiento, se realizarán las respectivas mediciones de los parámetros más importantes de la red Wi-Fi de la FIE, ubicación de los puntos de acceso en el plano y estudio de topologías para el posicionamiento tanto para la tecnología Wi-Fi y bluetooth y de esta forma plantear la propuesta de la mejor opción para el posicionamiento indoor.

Se realizará un prototipo de red bluetooth que generará puntos importantes para la comparación con la red Wi-Fi.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Realizar el estudio comparativo del posicionamiento INDOOR con tecnologías Wi-Fi y Bluetooth para la Facultad de Informática y Electrónica.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar la infraestructura y equipos de la red Wi-Fi actual de la ESPOCH en la Facultad de Informática y Electrónica.
- Investigar las tecnologías Wi-Fi y Bluetooth, sus características y complementos orientados al posicionamiento indoor.
- Implementar una red prototipo bluetooth que permita tomar la información necesaria para la comparación con la red Wi-Fi.
- Concluir el estudio comparativo entre las tecnologías Wi-Fi y bluetooth para el posicionamiento indoor a partir de los datos y la información obtenida a lo largo del desarrollo del trabajo de titulación.

CAPÍTULO I

1 MARCO TEÓRICO

1.1 Trascendencia de la localización

Es importante conocer la localización de los elementos que se ven involucrados en un determinado ambiente outdoor o indoor, ya sea para conocimiento, prestar ayuda al mismo o dar solución a un problema que se presente.

La localización outdoor está relacionada directamente con el sistema de posicionamiento global (GPS), actualmente, este tipo de localización está implementado en la mayoría de dispositivos como Smartphone, vehículos, entre otros, y es capaz de generar la ubicación exacta del elemento.

Para la localización indoor, es decir en entornos cerrados, existen otros métodos de localización, que hoy en día se están implementando, tomando en cuenta que el GPS solo funciona en entornos outdoor.

1.2 Tipos de posicionamiento

Existen dos tipos de ambientes en donde podemos determinar la ubicación precisa de un elemento o dispositivo final, estos ambientes pueden ser en espacios abiertos o cerrados, como se mencionan a continuación.

1.2.1 *Posicionamiento outdoor*

En el posicionamiento outdoor se hace referencia al “Sistema de Posicionamiento Global” (GPS) que determina una posición en cualquier lugar del mundo durante las 24 horas del día; decreta la longitud, altitud, latitud, velocidad, entre otros aspectos. (Letham, 2001, p.5).

1.2.1.1 *Fuentes de errores GPS*

El GPS se puede ver afectado por algunas fuentes de errores, como:

- **Retardo de propagación en la atmósfera:** Estas pérdidas se presentan en una señal GPS cuando esta cruza por las diferentes capas que tiene la atmósfera.
- **Disponibilidad selectiva:** Se presenta debido a que las señales de telemetría de ciertos usuarios son contaminadas, su error degrada la precisión entre 30 y 200 metros.
- **Errores de efemérides:** Sucede cuando las diferentes posiciones teóricas de las órbitas satelitales varían con el tiempo. La solución para resolver este tipo de error es el monitoreo constante de los satélites.
- **Propagación multi-camino:** Este error se presenta cuando existe reflexión de la señal en obstáculos que se encuentran alrededor del receptor GPS. (Uvidia y Estrada, 2015: pp.18-19)

Los receptores GPS brindan una posición casi precisa que puede ser afectada por los diferentes errores que se puedan presentar, estas posiciones no pueden ser brindadas en entornos cerrados y este es el problema que da el inicio al posicionamiento indoor; para esto se presentan diferentes alternativas como el uso de la asistencia A-GPS.

1.2.2 Posicionamiento indoor

Debido a las limitaciones que se presentaron en el uso del GPS en entornos cerrados, se desarrolló A-GPS (Assisted GPS) que resuelve problemas de posicionamiento en entornos donde no es posible establecer una conexión de calidad con los satélites y éste recurre a entablar comunicación con una red a través de una conexión de datos, Wi-Fi o ethernet.

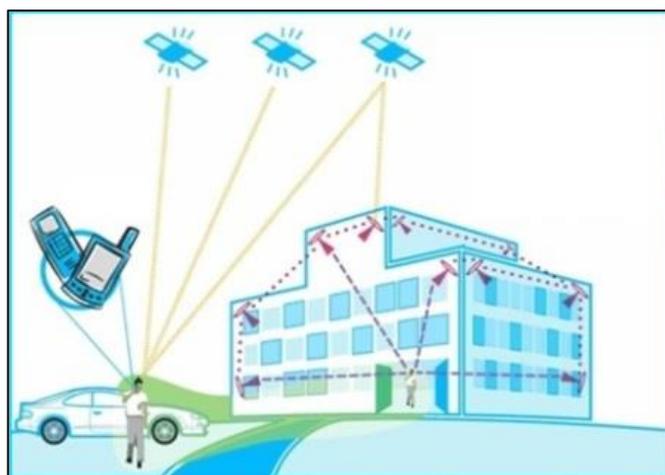


Figura 1-1 Posicionamiento indoor

Fuente: <https://www.flickr.com/photos/realtimelocationsystem/7995289001/>

El posicionamiento indoor es el proceso por el cual se determina la ubicación exacta de un objeto, individuo o elemento en general dentro de un entorno cerrado con la limitación de que no es posible el uso del sistema de posicionamiento global (GPS).

Actualmente, se ha conseguido un gran avance de las tecnologías que se usan para localización indoor. Entre las primeras tecnologías usadas para este caso fueron los infrarrojos, pero presentaron una gran restricción, ya que no podía atravesar paredes y así mismo eran necesarios otros sensores como complemento para su funcionamiento y esto elevaba su costo; a partir de esta tecnología aparecieron otros métodos para la localización interna que al presente se encuentran en constante desarrollo para su mejoramiento.

Las tecnologías de mayor explotación para el posicionamiento son Wi-Fi y bluetooth debido a sus prestaciones como son facilidad de uso, portabilidad y costos.

A continuación, se presentan estos dos tipos de tecnologías de transmisión inalámbricas que serán estudiadas y comparadas en el marco de este trabajo de titulación.

1.3 Tecnologías inalámbricas

Las tecnologías inalámbricas permiten la conexión entre diferentes puntos o estaciones ubicados a cierta distancia y no necesitan de ningún medio físico para la comunicación.

1.3.1 Bluetooth

Bluetooth es una tecnología inalámbrica que permite la conectividad segura y sencilla de dispositivos que se conectan en todas partes. Este estándar se ha convertido en uno de los más importantes para la comunicación inalámbrica ya que día a día potencia la innovación en diferentes áreas, como, medicina, hogar, procesos de manufactura, industria, negocios, entre otros; la gran ventaja de bluetooth es que es de baja energía y alta velocidad, un estándar muy eficiente, de práctico uso, bajo costo y pequeña escala, caracterizado por el uso de enlaces de radio de corto alcance entre dispositivos. (Bluetooth, 2017)

Bluetooth opera en la banda de 2.4 a 2.484 GHz de ISM (Industrial Scientific and Medical), el uso de esta banda no requiere licencia ni pago.

Bluetooth fue creado por la compañía Ericsson en el año de 1994, inicialmente fue creado para reemplazar los cables entre las comunicaciones y poco a poco fue tomando fuerza para convertirse

en lo que es hoy. Su nombre se debe al Rey Danés, Harald Blatand (Harold Bluetooth), quien unificó los pueblos de Suecia, Noruega y Dinamarca en el Siglo X, y hoy en día la tecnología bluetooth unifica productos y dispositivos inalámbricos, *Figura 1-2*.

Para el desarrollo de bluetooth ha sido indispensable la colaboración de importantes fabricantes como: Nokia, IBM, Ericsson, Intel, entre otros; ya que esta tecnología implica hardware, software e interoperabilidad entre diferentes marcas de los dispositivos. (Islas, 2005, pp. 2-3)

1.3.1.1 Arquitectura bluetooth

Para una comunicación bluetooth son necesarios dos parámetros importantes: el descubrimiento que hace referencia a la detección de los dispositivos vecinos y el circuito preestablecido.

- **Arquitectura de hardware**

El hardware de bluetooth se compone de: un controlador digital que está conformado por un CPU, un procesador de señales digitales, DSP (Digital Signal Processor) o también llamado LC (Link Controller) y las interfaces del dispositivo anfitrión para la comunicación, además, se conforma de un dispositivo de radio que es el encargado de transmitir y modular la señal de la comunicación. El CPU atiende todas las instrucciones del dispositivo anfitrión para establecer la comunicación bluetooth con el otro dispositivo. En el CPU se maneja el LM (Link Manager) que permite la comunicación con el resto de dispositivos a través del protocolo LMP.



Figura 2-1 Conectividad Bluetooth

Fuente: (Islas, 2005)

El LC se encarga del manejo de los protocolos FEC y ARQ ubicados en la capa física y además se hace el procesamiento de la banda base y así mismo es el encargado de la codificación de audio, funciones de transferencia y encriptación de los datos.

- **Arquitectura de Software**

Para el establecimiento de una comunicación entre dispositivos bluetooth se utiliza una interfaz un chip, que se denomina HCI (Host Controller Interface).

Los protocolos que interactúan en la comunicación junto con el controlador de banda base mediante el protocolo L2CAP, son:

- ✓ **SDP (Session Description Protocol):** El protocolo de descripción de sesión, permite encontrar los demás dispositivos dentro de un determinado rango para establecer la comunicación, así mismo hace la detección la función de dichos dispositivos encontrados.
- ✓ **RFCOMM (Radio Frequency Communication):** El protocolo de comunicación por radio frecuencia se utiliza para imitar conexiones de puerto serial.
- ✓ **TCS (Telephony Control Protocol):** El protocolo de control de telefonía, define la señalización del control de datos entre los dispositivos bluetooth.

El protocolo de control y adaptación del enlace lógico, L2CAP (Logical Link Control and Adaptation Protocol), es el encargado de realizar la segmentación y reensamblado de los paquetes de datos de la comunicación (Saucedo, 2011, pp. 38-39).

1.3.1.2 Versiones

Bluetooth ha desarrollado una gran evolución desde sus inicios, esto ha permitido mejoras continuas para la tecnología, a continuación, se presentan las diferentes versiones.

- **Bluetooth 1.0**

Esta versión fue la primera que se usó para la transmisión de datos entre dispositivos bluetooth, hoy en día no se utiliza, ya que poco a poco ésta fue mejorando al enfrentar algunos problemas que se presentaron. Abarcó actualizaciones como:

- ✓ **Versión 1.1:** Ofrece un ancho de banda máximo de 1 Mbps para un rango de alcance de hasta 10 metros, dependiendo del dispositivo; esta versión posee tres potencias de transmisión como son: baja, moderada y media (H., et al., 2007, p. 78).
- ✓ **Versión 1.2:** Se usa la técnica AFH (Adaptive Frequency Hopping), que permite una transmisión mucho más eficiente y así mismo seguridad de cifrado. En esta versión se brinda una calidad de voz con un ruido ambiental reducido y mejoramiento en la velocidad de la configuración para la comunicación entre dispositivos (Reina, 2009, pp. 21-22)

- **Bluetooth 2.0**

Brinda un ancho de banda máximo entre 2 y 3 Mbps ya que se incorporó la técnica EDR (Enhanced Data Rate), lo que permitió el mejoramiento de las velocidades de transmisión, así mismo a esta versión se le añadió una mejora bajo la versión 2.1 que minimizó el procedimiento para el establecimiento de la comunicación entre dispositivos, reduciendo también el consumo de potencia cinco veces menos.

- **Bluetooth 3.0**

En esta versión se integró características como HS (High Speed), que permitió la transferencia paquetes con más datos como archivos de música y video, tiene una tasa de transferencia de 24 Mbps.

- **Bluetooth 4.0**

En esta versión aparece el BLE (Bluetooth Low Energy) que se enfoca directamente al funcionamiento de dispositivos bajo el concepto del internet de las cosas (IoT), donde su consumo energético es menor para los dispositivos que trabajan durante un tiempo muy largo. Esta versión trabaja con una tasa de transferencia de 25 a 32 Mbps.

Se realizaron dos actualizaciones, 4.1 y 4.2. En esta versión se agregó el concepto de “Bluetooth Smart” que tiene como base el bluetooth clásico de las versiones 1, 2 y 3.

- **Bluetooth 5.0**

Esta versión está disponible desde finales del año 2016 y es la última versión que se ha implementado en los dispositivos fabricados últimamente. El objetivo de esta versión es presentar mejoras para el funcionamiento de los dispositivos bajo el concepto del IoT, se ha implementado el doble de tasa de

transferencia de la versión 4.0 y soporta flujos de datos con diferentes dispositivos conectados simultáneamente (Méndez, 2017).

1.3.1.3 Clases

Las clases de bluetooth hacen referencia únicamente a la potencia de transmisión de los dispositivos y todas las clases son compatibles entre sí (Reina, 2009, p. 22). *Tabla 1-1.*

1.3.1.4 Redes bluetooth

La comunicación bluetooth trabaja en un ambiente multiusuario, y esta puede ser punto a punto o multi-punto, se maneja un modelo Maestro-Esclavo, con células llamadas piconet, que están conformadas por un dispositivo maestro y máximo siete dispositivos que se denominan esclavos; un esclavo puede pertenecer a más de un piconet y el conjunto de piconets forman un scatternet. Dentro de una determinada área, puede existir un máximo de 10 piconets, *Figura 3-1.*

Tabla 1-1 Parámetros de las clases Bluetooth

CLASES	POTENCIA	POTENCIA	RANGO
	MÁXIMA (dBm)	MÁXIMA (mW)	aprox. (m)
Clase 1	20 dBm	100 mW	100 metros
Clase 2	4 dBm	2,5 mW	20 metros
Clase 3	0 dBm	1 mW	1 metro

Fuente: (Reina, 2009)

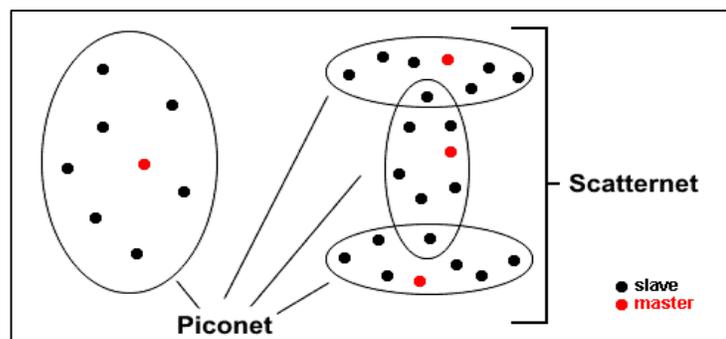


Figura 3-1 Redes Bluetooth

Fuente: <http://www.hardware.com.br/comunidade/tecnologia-bluetooth/849373/>

Una característica interesante de bluetooth es que no depende del protocolo de internet IP, esto facilita la expansión de dispositivos que se pueden adaptar fácilmente sin la necesidad de recurrir a la conexión a internet.

1.3.1.5 BLE orientado al posicionamiento interno

La última especificación desarrollada por el Grupo de Interés Especial Bluetooth (SIG) es el Bluetooth de baja energía (BLE) que fue diseñado como complemento al bluetooth clásico con el fin de garantizar un bajo consumo de energía. BLE trabaja bajo una topología de red estrella. Un dispositivo maestro puede comunicarse simultáneamente hasta con siete esclavos y un dispositivo esclavo puede conectarse solo con un maestro.

1.3.1.6 Equipos con tecnología bluetooth

Los equipos bluetooth, existen de diferentes fabricantes y características, la mayoría son de costo accesible y fácil manejo. El posicionamiento por bluetooth también se puede utilizar a partir de la implementación sobre Arduino con módulos bluetooth. A continuación, se presentan las principales características de los equipos para el posicionamiento que pueden ser usados bajo cualquier técnica (Statler, et al., 2016, pp. 20-29).

- **Beacons**

Los beacons son dispositivos muy simples y pequeños, diseñados con una batería para funcionar dos o tres años sin mantenimiento.

Su función es concretar una localización exacta en un espacio de acuerdo a una señal que es emitida por este dispositivo. Estas balizas son muy prácticas y discretas que pueden ubicarse en casi todos los lugares, además nos permite aprovechar una tecnología disruptiva que está uniendo dos mundos, el digital y el físico.

La aparición de las balizas es un factor muy importante que podría convertirse en uno de los éxitos más grandes para las empresas; poseen características muy llamativas como: su bajo costo, fácil instalación, incorporan sensores cada vez más interesantes y sofisticados.

Según informes Proxbook, que proporcionan información de una visión general de la industria global basada en datos, a partir de octubre del año 2015 se registraron aproximadamente cuatro millones de

beacons en todo el mundo, estas cifras se proyectan para el año 2020, donde se espera un despliegue de 400 millones de balizas.

Sin embargo, en el transcurso de este corto tiempo, desde el 2015, no se puede deducir que las balizas han alcanzado todo el potencial que se debía. Entonces, ¿Qué está sucediendo?, ¿qué falta?, ¿qué es necesario?, se cree que el éxito de la utilización de las balizas, depende del crecimiento de las redes de éstas. Es importante tomar en cuenta algunos aspectos de los cuales depende este crecimiento de redes.

- ✓ **El esfuerzo físico:** De igual forma que cualquier implementación de software, la aplicación para el uso de los beacons conlleva trabajo y coordinación física de diferentes equipos para comprar, instalar, monitorear, distribuir y mantener estos dispositivos; y algunas empresas no le dan toda la atención del caso a este tema ya que aún no pueden apreciar la importancia de éste.
- ✓ **Tiempo:** Sabemos que el lanzamiento de un nuevo producto al mercado toma mucho tiempo, ya que este debe cumplir con diferentes etapas como la de prueba.
- ✓ **Complejidad y costo:** El costo de los beacons es cómodo y accesible, pero también existen aplicaciones que requieren de su propio conjunto de balizas para su funcionamiento.

Algunos de los dispositivos beacons son:

- ✓ **Kontakt.io:** Estos pequeños dispositivos trabajan bajo la tecnología bluetooth a través de transmisiones de radio que pueden identificar una localización o activar acciones del mundo real, todo con transmisión de información y comunicación con dispositivos inteligentes cercanos (kontakt.io, s.f.)
- ✓ **Estimote:** Cada uno de estos dispositivos, poseen un transmisor basado en bluetooth de baja energía (BLE) que a través del aire transmite señales de radio con información y datos únicos para determinar una ubicación (Estimote, 2013).

- **Arduino**

Existen módulos específicos de Arduino que actúan como un dispositivo beacon, a continuación, se mencionan algunos:

- ✓ **Ligthblue Bean:** Este dispositivo puede operar como un iBeacon ya que Arduino contiene la biblioteca Bean que ofrece comandos que permiten configurar los parámetros importantes para el comportamiento deseado del equipo (PunchThrough, s.f.).
- ✓ **BlueFruit LE:** Este módulo usa un chip Nordic nRF51822 y que es compatible con Arduino, mediante su configuración puede hacer las veces de un beacon ya sea bajo la plataforma de Apple, Microsoft y Android (Adafruit, s.f.).

- **Arduino+Módulo HC-05**

Se realiza sobre la placa Arduino UNO con un módulo bluetooth HC-05 que trabaja como una línea de comunicación serial de transmisión y recepción con flujo entre 9600 y 1152000 bps, tiene un alcance de 18 metros y puede tener una alimentación desde los 3.3 hasta los 6 voltios. Este módulo pertenece a la versión 2.0 y a la clase 2 (Arduino, s.f.).

La *Tabla 2-1* muestra un resumen de características de los diferentes equipos bluetooth.

1.3.1.7 Funcionamiento de un beacon

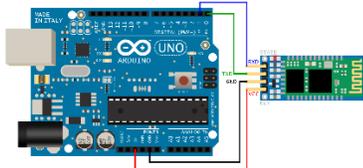
Los terminales móviles reciben una señal a través de bluetooth que es emitida por un beacon, esta señal puede ser para localización o para notificación. Para la localización, los beacons manejan dos conceptos fundamentales:

- ✓ **Geolocalización:** A los dispositivos que reciben la señal emitida desde un beacon, les permite su localización y muestra la distancia a la que se encuentra dicha baliza. Su posición se puede obtener mediante las coordenadas polares o triangulando la señal.
- ✓ **Comunicación contextual:** Se permite la interacción entre usuarios que se encuentran conectados hacia el mismo beacon.

1.3.1.8 Importancia de los beacons

Como ya se mencionó anteriormente, los beacons trabajan con la tecnología bluetooth, específicamente basados en “Bluetooth de baja energía” o BLE (Bluetooth Low Energy).

Tabla 2-1 Equipos Bluetooth y sus principales características

EQUIPOS	CARACTERÍSTICAS
<p style="text-align: center;">Lighthblue Bean</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Microcontrolador compatible con Arduino e inalámbricamente programable a través de BLE. ✓ Plataforma iOS, soporte para Apple iBeacon. ✓ Rango de transmisión entre 24 y 30 metros. ✓ Incluye sensor de temperatura y acelerómetro. ✓ Costo aproximado: \$30.00.
<p style="text-align: center;">BlueFruit LE</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Compatible con Arduino y de fácil programación. ✓ Incluye un módulo Bluetooth LE Nordic nRF51822 de 2.4GH ✓ Alcance aproximado de 10 metros. ✓ Trabaja con plataformas iOS y Android. ✓ Costo aproximado de \$29.00
<p style="text-align: center;">Kontakt.io</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Gran rendimiento, con un alcance teórico alrededor de 70 metros. ✓ Batería de larga duración intercambiable, con vida útil de 4 años aproximadamente. ✓ Funciona bajo formatos de iBeacon de iOS y en la plataforma Android. ✓ Costo: alrededor de \$25.00
<p style="text-align: center;">Estimote (Estimote Proximity Beacons)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Beacon con un alcance teórico aproximado de 70 metros. ✓ Compatible en plataforma Android y iOS. ✓ Incluye sensores de movimiento y temperatura, y NFC. ✓ Costo aproximado de \$35.00. ✓ Batería no intercambiable de duración aproximada de 5 años.
<p style="text-align: center;">Arduino+Módulo HC-05</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Arduino UNO es una placa microcontroladora que al trabajar con un módulo bluetooth HC-05 permite la implementación y establecimiento de una red bluetooth. ✓ Rango máximo de transmisión, 18 metros. ✓ Clase 2. ✓ Versión 2.0 bluetooth. ✓ Costo: \$22.00

Realizado por: Marilu Torres Romero, 2017.

Esta tecnología tiene la facilidad de comunicarse con todos los dispositivos o smartphones multiplataforma con sistemas operativos como Android, iOS, entre otros.

La tecnología BLE, utiliza aproximadamente entre el 2 y 3% de batería y algunos de los factores de su importancia son:

- **Accesibilidad:** Los beacons se usan para una estrategia de localización y para lograr este fin, tan solo depende de que el usuario use BLE y descargue una aplicación para la configuración de la localización, algo muy sencillo y práctico.
- **Precisión y alcance:** Por lo general, y dependiendo de la ubicación de los beacons, éstos pueden llegar a distancias entre 3 y 30 metros, aunque en teoría, los fabricantes emiten que tienen un alcance de 60 metros.
- **Seguridad:** Por diferentes factores de seguridad, ciertos fabricantes han optado por agregar una contraseña a los dispositivos (Herrera, 2015).

1.3.1.9 Ventajas de los beacon respecto a GPS

Existen algunos pros del uso de estos prácticos y sencillos dispositivos con respecto a los usuales receptores GPS, podemos mencionar:

- ✓ El uso de bluetooth en un smartphone consume menos batería que la utilización del modo GPS.
- ✓ Bluetooth es una tecnología independiente de la red de datos, así que podemos hacer uso de esta en cualquier lugar del mundo sin tener costo del roaming de datos.
- ✓ Una ventaja muy importante es que la tecnología bluetooth puede trabajar dentro de entornos cerrados con gran precisión, a lo que le llamamos localización o posicionamiento indoor (Eroski Consumer, 2014, p. 1).

1.3.2 Wi-Fi

En la actualidad, Wireless se está ubicando como el líder de las comunicaciones que se utiliza en todo lugar, aun cuando la comunicación por cable es admisible.

El mundo de las telecomunicaciones avanza continuamente y de esta forma evolucionan las redes inalámbricas como: WLAN (Red inalámbrica de red local), WMAN (Red inalámbrica de área

metropolitana), WPAN (red inalámbrica de área personal), WWAN (red inalámbrica de área extensa), WSN (red de sensores inalámbricos).

1.3.2.1 Estándares

El primer estándar de WLAN, denominado IEEE 802.11, fue creado y lanzado por la sociedad IEEE por el año 1997, desde entonces se han ido desarrollando y generando nuevos estándares y mejoras; este estándar consiste en: la MAC (subcapa de acceso al medio) y la capa de control lógico de enlace (LLC).

- **IEEE 802.11a**

Con este estándar se logra una velocidad máxima de 54 Mbps por cada canal; utiliza la multiplexación por división de frecuencia (OFDM). Posee 8 canales para la red inalámbrica y 4 canales para conexiones punto a punto. En la banda de 5GHz se usan frecuencias más altas y se tiene espacio para más canales, esto minimiza un poco el alcance, pero gracias a OFDM se robustece el impacto de las interferencias multitrayecto. Tiene un alcance máximo de 30 metros en la transmisión en exteriores con 54 Mbps y con el valor mínimo de 6 Mbps tiene un alcance de hasta 300 metros; para interiores en 54 Mbps trabaja hasta 12 metros, y con 6 Mbps hasta 90 metros.

- **IEEE 802.11b**

Este estándar trabaja con una frecuencia de longitud de onda de 2.4 GHz y un ancho de banda de 1 a 11 Mbps, utiliza el método de acceso CSMA/CA y debido a esto, en casos prácticos, según el equipamiento, la velocidad máxima de transmisión que se puede alcanzar es de 5.9 Mbps en TCP y de 7.1 Mbps en UDP. Debido a su gran aceptación, éste estándar se definió como la tecnología Wireless; por lo general este estándar es usado en conexiones punto a punto y multi-punto. En interiores, con 11 Mbps se alcanza una longitud máxima de 32 metros, y con 1 Mbps 90 metros.

- **IEEE 802.11g**

Este estándar fue ratificado en junio del año 2003, trabaja la banda de frecuencia de 2.4 GHz, operando a una velocidad máxima de 54 Mbps teóricamente y 24.7 Mbps en casos reales. Al igual que en el estándar 802.11b, éste estándar sufre las mismas interferencias en la banda de frecuencia debido a diferentes equipos como bluetooth, microondas y teléfonos inalámbricos.

- **IEEE 802.11n**

Fue presentado desde enero del año 2004 y ratificado en el año 2009, este estándar está basado en los anteriores estándares y se ha implementado la tecnología MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) y la tecnología de unión de interfaces de red (Channel bonding) que puede utilizar dos canales por separado de 20 MHz cada uno y que funcionan simultáneamente para transmitir datos. IEEE 802.11n trabaja a una velocidad máxima de transmisión de 600 Mbps, soportando en la capa física una velocidad de 300 Mbps (IEEE-SA, 2014).

1.3.2.2 Compatibilidad Wi-Fi

Empresas como: Aironet, 3Com, Lucent Technologies, Intersil, Symbol Technologies y Nokia, crearon en el año de 1999 la “Alianza de compatibilidad Ethernet inalámbrica” una asociación que se conoció como WECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance), su meta fue permitir la diferenciación y comprensión de la tecnología Wi-Fi. Para el año 2000, bajo la marca Wi-Fi (Wireless Fidelity), WECA certificó la interoperabilidad de los diferentes equipos según lo establecido en la norma 802.11b. Lo que garantiza al usuario que todos los equipos que llevan el sello Wi-Fi tienen la capacidad de trabajar conjuntamente de ser necesarios y sin problemas, sea cual sea el fabricante de dicho equipo, *Figura 4-1*.

1.3.2.3 Componentes de una red Wi-Fi

La infraestructura de una red inalámbrica Wi-Fi está compuesta de elementos, como:

- ✓ **APs o puntos de acceso:** Se denominan también zonas locales de cobertura y permiten el acceso a una red de los equipos que contienen tarjetas de red Wi-Fi. Los AP trabajan independiente sin tener que estar conectados directamente a un equipo.



Figura 4-1 Tecnología Wi-Fi

Fuente: (Falcón, 2010)

- ✓ **Adaptadores inalámbricos:** También llamados controladores de la interfaz de red (NIC), permiten a un dispositivo conectarse a la red inalámbrica, estas tarjetas de red cumplen con el estándar 802.11.
- ✓ **Protocolos:** Los protocolos están instalados en los dispositivos receptores y emisores; se encargan de garantizar e intercambiar la comunicación entre dichos dispositivos.

1.3.2.4 Importancia de una red Wi-Fi

Está muy claro que las redes en general permiten la conectividad de varios equipos, pero las redes Wi-Fi se caracterizan principalmente por la conexión inalámbrica de los dispositivos y por la compartición de servicios como el acceso a internet a través de módem, cable ADSL, entre otros; así mismo comparte equipos periféricos, aplicaciones e información de cada dispositivo.

Algunas de los puntos importantes a tomar en cuenta dentro de una red Wi-Fi, son:

- ✓ **Desplazamiento:** Las redes inalámbricas Wi-Fi posibilitan que los dispositivos que están conectados a esta, se mantengan enlazados todo el tiempo dentro de su área de cobertura, sin la necesidad de cables que imposibiliten su recorrido.
- ✓ **Movilidad:** Al igual que el desplazamiento, la movilidad dentro de las redes Wi-Fi es una gran ventaja que permite a los usuarios mantener activa su conexión mientras se encuentra en diferentes puntos dentro del área de cobertura de la red.
- ✓ **Flexibilidad:** La flexibilidad hace referencia a la facilidad que tienen las redes Wi-Fi para acoplarse a diferentes ambientes sin necesidad de hacer grandes cambios.
- ✓ **Escalabilidad:** Es la habilidad y disposición que tienen las redes Wi-Fi para permitir y acoplarse a nuevos cambios o mejoras de su estructura.
- ✓ **Ahorro de costos:** A comparación de una red cableada para la cual son necesarios varios recursos, una red Wi-Fi tan solo depende de una configuración y de los componentes que se mencionaron anteriormente (Falcón, 2010, pp. 14-19).

1.3.2.5 Equipos de una red Wi-Fi

Existe una gran variedad de equipos para redes inalámbricas Wi-Fi, algunos son administrables, y con cualquiera de estos se puede realizar el posicionamiento, dependiendo de la técnica que se utilice. En la *Tabla 3-1*, se presenta algunos de estos equipos con sus características más importantes.

Tabla 3-1 Equipos de conectividad en una red Wi-Fi

EQUIPO	CARACTERÍSTICAS
<p style="text-align: center;">Controladora: Cisco 5508</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Brindan un buen rendimiento, mejor flexibilidad y en redes inalámbricas de misión crítica no existe pérdida del servicio. ✓ Permiten el funcionamiento de aplicaciones multimedia interactivas sin ningún problema. ✓ Con el tiempo, es posible agregar más puntos de acceso y licencias de las características que sean necesarias. ✓ Puede manejar simultáneamente hasta 500 puntos de acceso y 7000 clientes en la red. ✓ Trabaja con el estándar 802.11ac y 802.11n. ✓ Brinda conexiones confiables inclusive en ambientes muy exigentes. ✓ Servicio constante con acceso permanente a la red. ✓ Calidad de servicio en tiempo real.
<p style="text-align: center;">Cisco AIR AP 2702 I-UXK9</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Puntos de acceso de la serie 2700, que trabajan bajo controladora basada en 802.11a/g/n/ac y ofrece una tasa de transferencia de hasta 1,3 Gbps teóricamente. ✓ Trabajan bajo una tecnología MIMO “3x4” con 3 flujos de señal y equalización que minimiza el impacto del desvanecimiento de la señal. ✓ Poseen dos antenas omnidireccionales y duales que consiguen trabajar en las bandas de 2.4 GHz y 5 GHz a una ganancia máxima de 6dBi. ✓ Cross-AP Noise Reduction: Reducción del ruido que permite a los puntos de acceso ofrecer a los usuarios la optimización de la señal y el rendimiento de la red. ✓ Roaming AP: Permite que el usuario se pueda conectar rápidamente al punto de acceso que ofrece mejor cobertura, sin perder la conexión a la red. ✓ Cisco CleanAir: Tecnología mejorada que soporta altas velocidades en los canales de 20 MHz, 40MHz y 80MHz y evita problemas de rendimiento de la red a causa de interferencias. ✓ Cisco ClientLink 3.0: Mejora la productividad del enlace dirigido a los dispositivos finales.
<p style="text-align: center;">Cisco AIR CAP 1532I-A-K9</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Punto de acceso de la serie 1530, diseñado para su uso en exteriores, admite configuraciones de red, como: punto a punto, punto – multipunto y malla de punto a multipunto. ✓ Se puede operar desde una controladora. ✓ Admite un radio de 2,4 GHz que permite el acceso de los usuarios a la red a través de Wi-Fi y un radio de 5 GHz, dedicado para el tráfico de la red backhaul que es el medio de transporte entre la controladora y las estaciones base. ✓ Soporta una tasa de transferencia desde 1 hasta 300 Mb/s, dependiendo de la controladora.

	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Puede trabajar como nodo de retransmisión para la comunicación con otros puntos de acceso que no están conectados directamente a una red cableada.
<p style="text-align: center;">Cisco AIR CAP 3501I-A-K9</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Trabaja bajo la tecnología “Cisco Clean Air” que detecta y evita inteligentemente las interferencias que otros sistemas no pueden descubrir y optimiza la cobertura de la red inalámbrica. ✓ Conectividad para entornos interiores y posee antenas internas. ✓ Conexión inalámbrica confiable y segura. ✓ Tecnología Cisco m-Drive: Incrementa la confiabilidad y ofrece mayor cobertura para los clientes, garantizando un excelente servicio.
<p style="text-align: center;">Cisco AIR LAP 104IN-A-K9</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Punto de acceso de la serie 1040, es de clase empresarial y dirigido para cubrir necesidades de conectividad inalámbrica en pequeñas y medianas empresas. Trabaja en los canales de 2,4 GHz y 5GHz. ✓ Al trabajar bajo la tecnología MIMO de “2x2”, ofrece un buen rendimiento de las redes 802.11n y seis veces más la capacidad de rendimiento de las redes 802.11a/g que existen. ✓ Fácil acoplamiento a la red existente ya implementada. ✓ Conexiones confiables y seguras de la red inalámbrica.

Fuente: <http://www.cisco.com/c/en/us/products/index.html>

Realizado por: Marilu Torres Romero, 2017.

1.3.3 Indoor positioning

Este proceso permite la localización de un determinado elemento dentro de un entorno cerrado en donde el GPS no puede trabajar. Uno de los parámetros más importantes que será tomado en cuenta para el posicionamiento es el RSSI que es el indicador de intensidad de señal de radio, medido en dB o dBm en el receptor de la señal. Este parámetro se puede utilizar para estimar la distancia de un elemento.

1.3.3.1 Topología

Tanto la tecnología Wi-Fi y bluetooth trabajan con un patrón de diseño Maestro-Esclavo ya que este trabajo de titulación está orientado al posicionamiento indoor, bajo una topología estrella. La topología de red de la tecnología bluetooth para el posicionamiento indoor mediante BLE, consta de un piconet o de un conjunto de piconets llamado scatternet. Un piconet puede ser maestro o esclavo de otro piconet, *Figura 5-1*.

1.3.3.2 Estimación del número de puntos de acceso en Wi-Fi en base a mosaicos

Para determinar el mapa lógico que se aplica en una red para el posicionamiento, existe diferentes modelos que se pueden usar, es importante mencionar que para determinar un estimado de puntos de acceso necesarios, primeramente, debemos dividir el terreno en figuras como cuadrados o rectángulos que nos permitirán desarrollar fácilmente los cálculos.

- **Mosaico cuadrado**

Es un modelo muy común, en la cual se colocan los AP's en el centro de cada cuadrado, es evidente que para este modelo se requiere un gran número de puntos de acceso, pero también es fácil de implementar y tiene una gran capacidad de cobertura circular *Figura 6-1*. Para determinar el área de cobertura se debe definir el valor de "Z" que es la distancia de un lado del cuadrado que se forma dentro del círculo del área de cobertura. El radio de la circunferencia que se representa como "r", nos permite determinar el área de cobertura circular del punto de acceso ubicado en el centro, *Figura 7-1*.

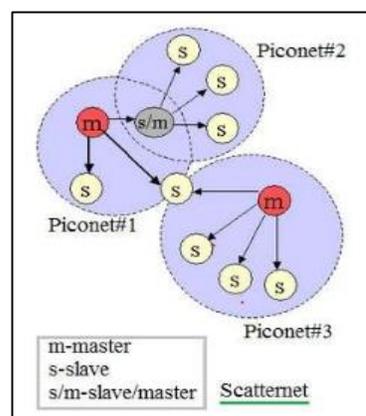


Figura 5-1 Piconet y scatternet en una red bluetooth

Fuente: <http://www.rfwireless-world.com/Terminology/difference-between-piconet-and-scatternet-in-bluetooth.html>

Los factores ambientales como: humedad, temperatura, movimientos humanos, obstáculos, grosor de la pared, entre otros; juegan un gran papel en este tipo de modelo, ya que éstos delimitan el área

de cobertura de la señal. En la *Tabla 4-1*, se muestra el tipo de construcción y la resolución del posicionamiento que hace referencia a la localización exacta de un elemento en una determinada distancia expresada en metros.

Para determinar número de AP's, se debe conocer el tipo de construcción en el que vamos a realizar el cálculo, así mismo la resolución de posicionamiento deseado. Un ejemplo claro y sencillo del cálculo se presenta en la *Figura 8-1*.

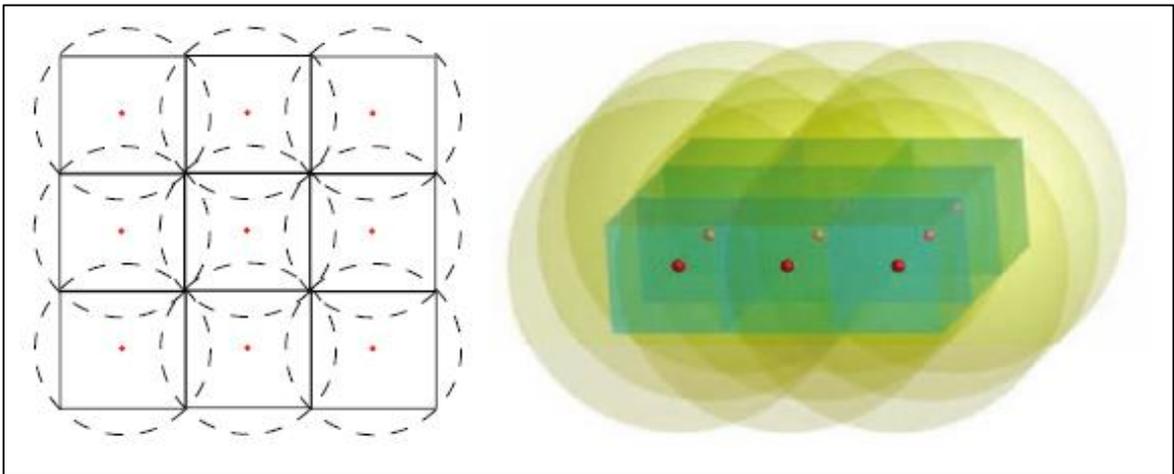


Figura 6-1 Modelo mosaico cuadrado

Fuente: (L. Chan & Baciu, 2012)

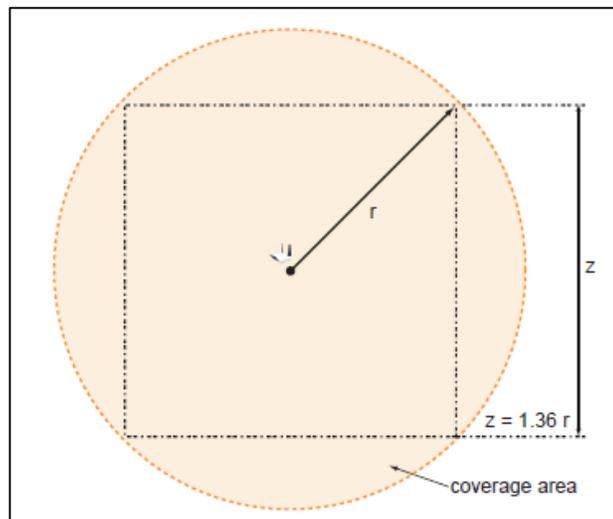


Figura 7-1 Área de cobertura del modelo mosaico cuadrado

Fuente: (L. Chan & Baciu, 2012)

Tabla 4-1 Tipo de construcción resolución de posicionamiento en mosaico cuadrado

TIPO DE CONSTRUCCIÓN	MEDIDAS	RESOLUCIÓN DE POSICIONAMIENTO			
		20 m	10 m	5 m	3m
Hogar	A (m ²)	1600	900	225	100
	R (m)	28.3	21.2	10.6	7.1
	Z (m)	40	30	15	10
	S (dBm)	-75	-65	-40	-30
Oficina típica	A (m ²)	1600	900	225	100
	R (m)	28.3	21.2	10.6	7.1
	Z (m)	40	30	15	10
	S (dBm)	-75	-65	-40	-30
Oficina de pared de concreto	A (m ²)	1225	625	144	49
	R (m)	24.7	17.7	8.5	4.9
	Z (m)	35	25	12	7
	S (dBm)	-75	-65	-40	-30
Oficina de pared de ladrillo	A (m ²)	900	400	100	25
	R (m)	21.2	14.1	7.1	3.5
	Z (m)	30	20	10	5
	S (dBm)	-75	-65	-40	-30
Almacén/Fábrica	A (m ²)	1600	900	225	100
	R (m)	28.3	21.2	10.6	7.1
	Z (m)	40	30	15	10
	S (dBm)	-75	-65	-40	-30

Fuente: (L. Chan & Baciú, 2012)

Realizado por: Marilu Torres Romero, 2017

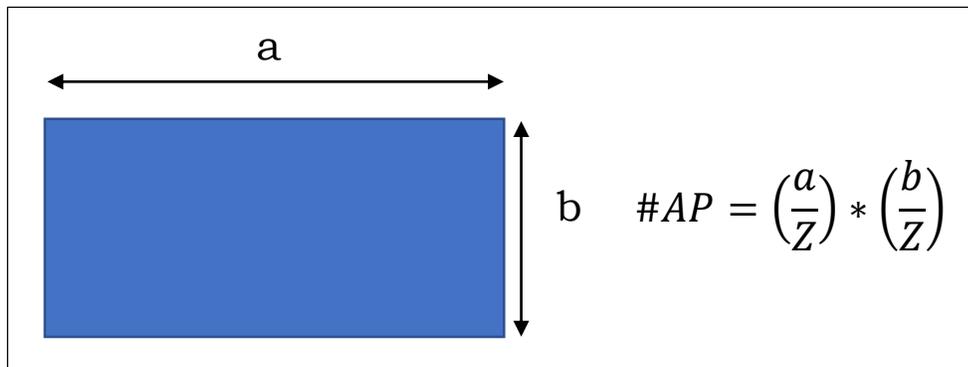


Figura 8-1 Ejemplo de cálculo de AP's en mosaico cuadrado

Realizado por: Marilu Torres Romero, 2017

El factor “Z” lo encontramos en la *Tabla 4-1* donde también podemos ubicar el área total del terreno. Este modelo es muy eficiente y práctico de aplicar, pero requiere un gran número de puntos de acceso.

- **Mosaico triangular y hexagonal**

Los AP’s se colocan de igual manera en el centro del hexágono o triángulo, *Figura 9-1*. Para determinar el área de cobertura circular se toma en cuenta el radio de cobertura “r”, o también se pueden utilizar valores de “X” que representa a la distancia horizontal del triángulo o la figura que se traza dentro del círculo del área de cobertura, y “Y” que es la distancia vertical correspondiente al área de cobertura de la célula.

Para el cálculo del número de puntos de acceso en alguna de estas dos topologías ya no se toma en cuenta el factor “Z”, sino valores de “X” y “Y”. Se realiza el cálculo, basándonos en la tabla del tipo de construcción y la resolución de posicionamiento deseada, *Tabla 5-1*, *Tabla 6-1*. El resultado debe ser redondeado al inmediato superior, para evitar la falta de puntos de acceso necesarios, *Figura 13-1*.

Estos tipos de modelos tienen una pequeña desventaja, ya que, en ciertas ocasiones, las esquinas de las áreas que se está cubriendo con los puntos de acceso, se verán afectadas ya que no recibirán la señal porque se encuentran fuera del área de cobertura. Es importante mencionar que según la teoría expuesta en la bibliografía de (L. Chan & Baciu, 2012), en ambientes similares, el modelo hexagonal utiliza un 7% menos de AP’s que la cuadrática, y el modelo mosaico triangular usa un 5% más de puntos de acceso que la cuadrática.

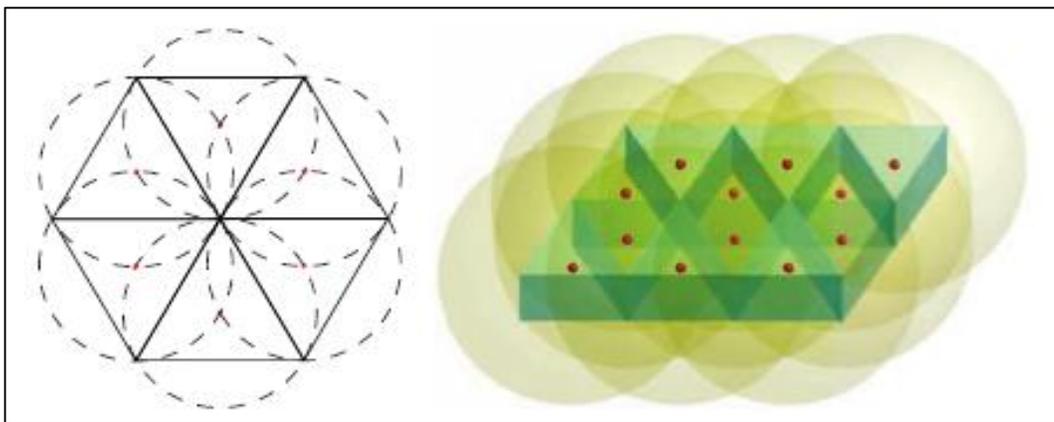


Figura 9-1 Modelo Mosaico triangular
Fuente: (L. Chan & Baciu, 2012)

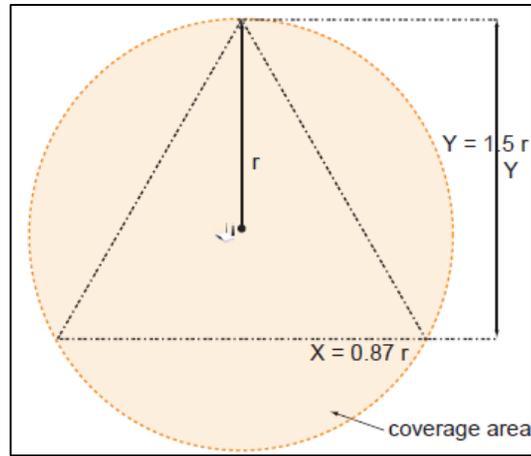


Figura 10-1 Área de cobertura del modelo mosaico triangular
Fuente: (L. Chan & Baciu, 2012)

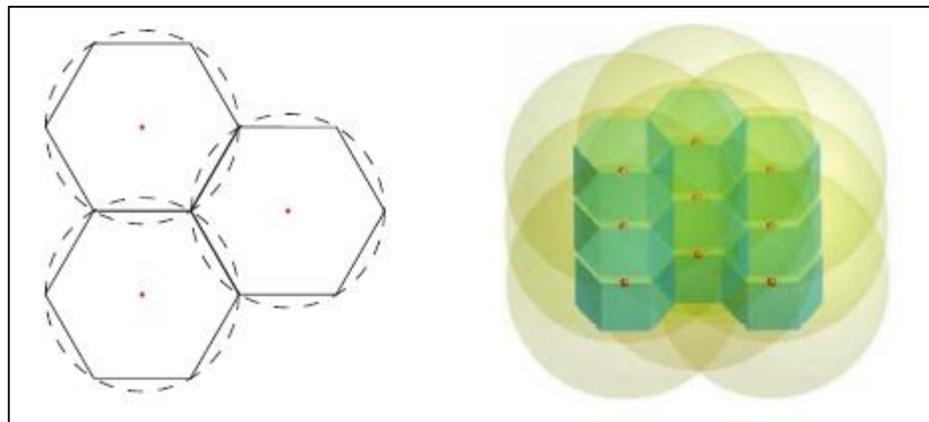


Figura 11-1 Modelo mosaico hexagonal
Fuente: (L. Chan & Baciu, 2012)

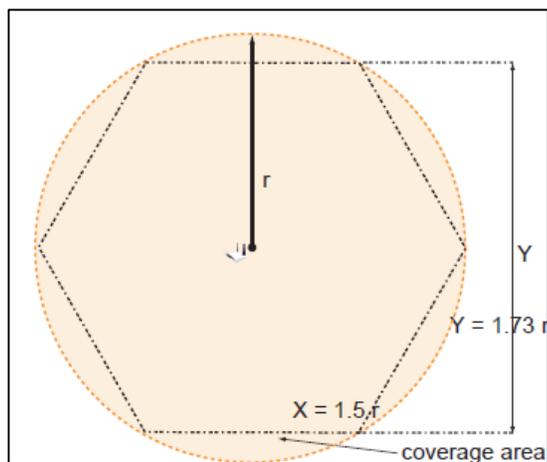


Figura 12-1 Área de cobertura del modelo mosaico hexagonal
Fuente: (L. Chan & Baciu, 2012)

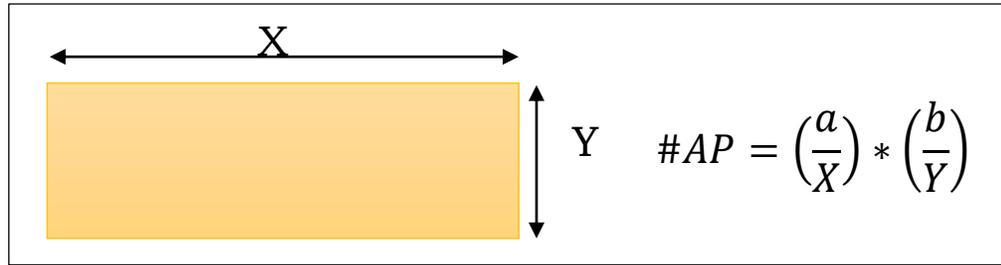


Figura 13-1 Cálculo de AP's en mosaico triangular y hexagonal

Fuente: Marilu Torres Romero

Tabla 5-1 Tipo de construcción resolución de posicionamiento en mosaico hexagonal

TIPO DE CONSTRUCCIÓN	MEDIDAS	RESOLUCIÓN DE POSICIONAMIENTO			
		20 m	10 m	5 m	3m
Hogar	A (m ²)	2081	1168	292	131
	R (m)	28.3	21.2	10.6	7.1
	X (m)	42.5	31.8	15.9	10.7
	Y (m)	49.0	36.7	18.4	12.3
	S (dBm)	-75	-65	-40	-30
Oficina típica	A (m ²)	2081	1168	292	131
	R (m)	28.3	21.2	10.6	7.1
	X (m)	42.5	31.8	15.9	10.7
	Y (m)	49.0	36.7	18.4	12.3
	S (dBm)	-75	-65	-40	-30
Oficina de pared de concreto	A (m ²)	1586	814	188	62
	R (m)	24.7	17.7	8.5	4.9
	X (m)	37.1	26.6	12.8	7.4
	Y (m)	42.8	30.7	14.7	8.5
	S (dBm)	-75	-65	-40	-30
Oficina de pared de ladrillo	A (m ²)	1168	517	131	32
	R (m)	21.2	14.1	7.1	3.5
	X (m)	31.8	21.2	10.7	5.3
	Y (m)	36.7	24.4	12.3	6.1
	S (dBm)	-75	-65	-40	-30
Almacén/Fábrica	A (m ²)	2081	1168	292	131
	R (m)	28.3	21.2	10.6	7.1
	X (m)	42.5	31.8	15.9	10.7
	Y (m)	49.0	36.7	18.4	12.3
	S (dBm)	-75	-65	-40	-30

Fuente: (L. Chan & Baciu, 2012)

Realizado por: Marilu Torres Romero, 2017

1.4 Técnicas para la localización

Existen algunas técnicas que al utilizar una tecnología inalámbrica permiten la localización de un elemento móvil en un determinado espacio, *Figura 14-1*. Durante los últimos tiempos, se ha visto un gran crecimiento de los sistemas de posicionamiento en espacios de interiores, especialmente en los que trabajan con tecnología Wi-Fi. Las entidades interesadas en el desarrollo de estas tecnologías, siguen explorando nuevas soluciones que ofrezcan un mejor servicio, precisión y escalabilidad.

Tabla 6-1 Tipo de construcción resolución de posicionamiento en mosaico triangular

TIPO DE CONSTRUCCIÓN	MEDIDAS	RESOLUCIÓN DE POSICIONAMIENTO			
		20 m	10 m	5 m	3m
Hogar	A (m ²)	1040	584	146	65
	R (m)	28.3	21.2	10.6	7.1
	X (m)	24.5	18.4	9.2	6.1
	Y (m)	42.5	31.8	15.9	10.7
	S (dBm)	-75	-65	-40	-30
Oficina típica	A (m ²)	1040	584	146	65
	R (m)	28.3	21.2	10.6	7.1
	X (m)	24.5	18.4	9.2	6.1
	Y (m)	42.5	31.8	15.9	10.7
	S (dBm)	-75	-65	-40	-30
Oficina de pared de concreto	A (m ²)	793	407	94	31
	R (m)	24.7	17.7	8.5	4.9
	X (m)	21.4	15.3	7.4	4.2
	Y (m)	37.1	26.6	12.8	7.4
	S (dBm)	-75	-65	-40	-30
Oficina de pared de ladrillo	A (m ²)	584	258	65	16
	R (m)	21.2	14.1	7.1	3.5
	X (m)	18.4	12.2	6.1	3.0
	Y (m)	31.8	21.2	10.7	5.3
	S (dBm)	-75	-65	-40	-30
Almacén/Fábrica	A (m ²)	1040	584	146	65
	R (m)	28.3	21.2	10.6	7.1
	X (m)	24.5	18.4	9.2	6.1
	Y (m)	42.5	31.8	15.9	10.7
	S (dBm)	-75	-65	-40	-30

Fuente: (L. Chan & Baciú, 2012)

Realizado por: Marilu Torres Romero, 2017

1.4.1 Análisis de escena

Se analiza las características de la escena que se ha presentado y que pueden ser de ondas de radiofrecuencia, imágenes, sonido o algún otro fenómeno físico que pueda medirse y esté cerca del elemento al cual vamos a determinar su ubicación. La técnica más conocida en el análisis de escena es la de “Fingerprinting” (L. Chan & Baciu, 2012, pp. 13-23).

1.4.1.1 Fingerprinting

Para aplicar esta técnica, se requiere básicamente la medida de la potencia de la señal que ha sido recibida en algunos puntos, al tomar estos valores se obtiene una base de datos de las localizaciones fingerprinting, esta etapa se denomina “On-line”. Para la segunda fase llamada “Off-line”, primeramente, el sistema debe medir la potencia de la señal que se recibe en algunas localizaciones; luego este patrón se compara y se elige el que más concuerde con aquellos que están almacenados en la base de datos inicial. La gran desventaja que tiene esta técnica es que toma mucho tiempo la recolección de los datos de un área (Pereira Tapiro & Polo Poveda, 2015, p. 44).

1.4.2 Triangulación

Es una de las técnicas que más se emplea en los sistemas de localización indoor, usa las propiedades geométricas y su aplicación se la puede realizar de dos formas, la lateración y la angulación.

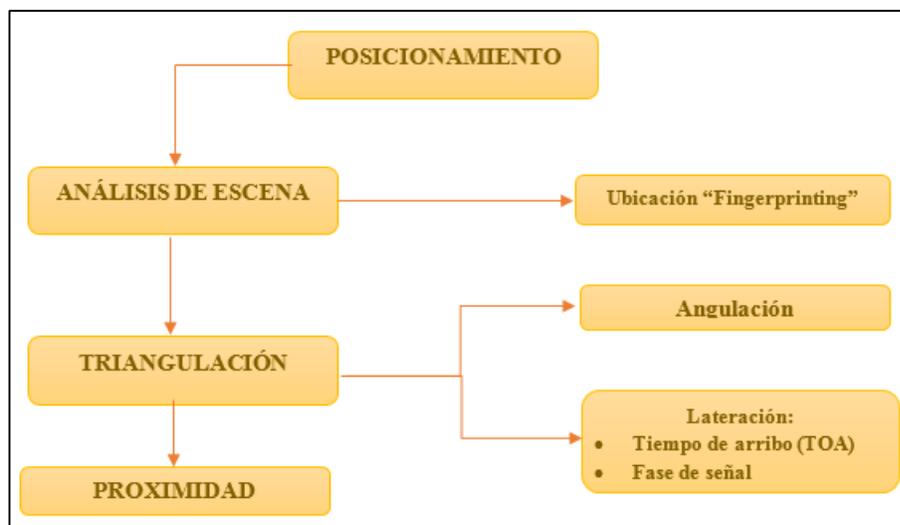


Figura 14-1 Tipos de técnicas de posicionamiento indoor

Fuente: (L. Chan & Baciu, 2012)

Realizado por: Marilu Torres Romero, 2017

1.4.2.1 Lateración

Determina la posición de un elemento desde una fuente de señal mediante mediciones de distancias de tres puntos no colineales para un objeto de dos dimensiones, y para uno de tres dimensiones son necesarias las medidas de distancias a partir de cuatro puntos no colineales. En síntesis, la técnica de la lateración utiliza múltiples puntos de referencia para determinar distancias y encontrar la ubicación final del elemento deseado. Las aproximaciones que se usan para las mediciones de esta forma, son:

- **Directo**

No se obtienen fácilmente ya que no se pueden coordinar automáticamente los movimientos físicos.

- **Atenuación**

A medida que la distancia desde la fuente de señal incrementa, la intensidad de la señal que se emite desde aquí disminuye, a este evento se le conoce como atenuación. Este suceso viene dado por una función que se correlaciona con la distancia de una emisión y la potencia emitida.

1.4.2.2 Angulación

Es un método matemático que usa los ángulos que se relacionan con diferentes puntos de referencia, y que determinan a la ubicación final del dispositivo (Barba, 2012, p. 9).

1.4.3 Proximidad

Permite identificar cierto elemento o dispositivo final que tiene una etiqueta que puede ser detectada por una o más antenas, si se detecta solamente en una antena, quiere decir que el elemento está cerca, pero si es detectado por varias antenas se tomará en cuenta aquella que reciba la señal más fuerte y el objeto estará cercano a esta (L. Chan & Baciu, 2012, pp. 24-37).

1.5 Algoritmos de localización

Existe una serie de algoritmos que a partir de las técnicas localización tratadas anteriormente, permiten obtener la posición de cierto dispositivo final en un determinado espacio.

1.5.1 Algoritmos basados en la técnica “Fingerprinting”

1.5.1.1 KNN (K-Vecino más cercano)

Este algoritmo trabaja bajo la técnica de fingerprinting. El parámetro “k” son los puntos más ajustables que se han comparado en la etapa “on-line” y “off-line” y que se seleccionaron.

El criterio que se usa para determinar los puntos “k” se basa en la menor distancia euclídea de las distancias desde la fuente hasta su destino. A partir del cálculo de estos puntos, se procede a calcular el baricentro de cada “k” y finalmente se encuentra el punto del elemento móvil en búsqueda.

1.5.1.2 Redes Neuronales

Estos algoritmos son técnicas de autoaprendizaje ya que trabajan en una etapa de entrenamiento en donde asimilan ciertas acciones y diferencian los patrones que se han generado a partir de la obtención de datos de posiciones aleatorias de un área determinada. Consiste en ingresar el RSS (intensidad de señal recibida) de la etapa “off-line” de todos los puntos de acceso detectados, estos datos son tratados como una función de transferencia que pasan por un análisis realizado por las unidades de procesamiento y finalmente se obtiene a la salida una localización estimada del elemento deseado (Barba, 2012, pp. 29-34). *Figura 15-1.*

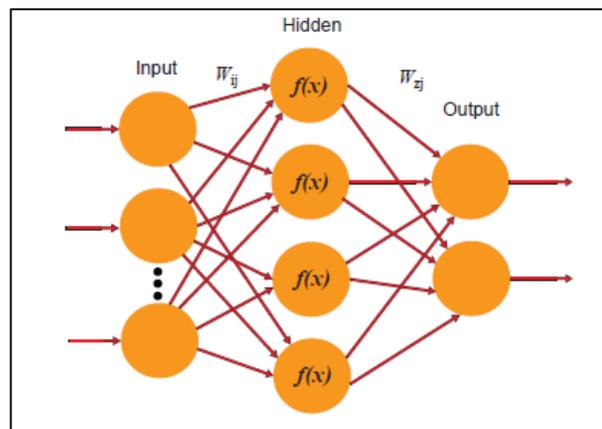


Figura 15-1 Método fingerprinting en redes neuronales

Fuente: (L. Chan & Baciu, 2012)

1.5.1.3 Polígono del M-Vértice más pequeño (SMP)

Este algoritmo consiste en determinar el polígono más pequeño, es decir, que tenga el perímetro más pequeño y encontrar el centroide del mismo que será la posición estimada del elemento final.

Para encontrar el polígono, se deben detectar los RSSI (intensidad de señal recibida) más altos de cada AP y con cada uno de estos puntos, se dibuja la figura que permitirá estimar la posición, *Figura 16-1*.

1.5.1.4 Máquina de vector de soporte (SVM)

Es una técnica de aprendizaje que consiste en la clasificación de los datos de ubicaciones “fingerprinting” situadas en espacios delimitados llamados “H” y que posteriormente permite determinar la ubicación del elemento, mediante cálculos de funciones, *Figura 17-1*.

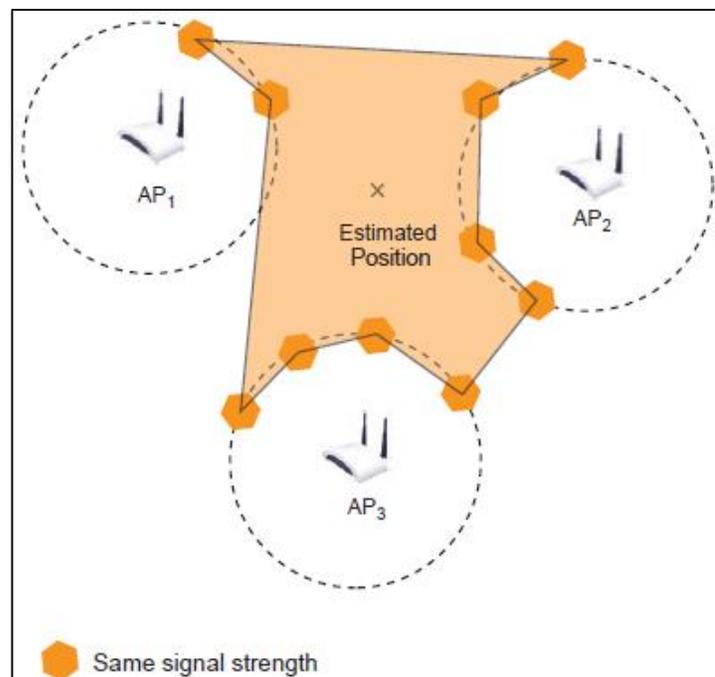


Figura 16-1 M-Vértice, polígono con M=3 AP's
Fuente: (L. Chan & Baciu, 2012)

1.5.1.5 Métodos probabilísticos

A partir de algunos de los métodos de probabilidad se puede obtener la posición de un elemento; en este caso el posicionamiento se maneja como un problema de clasificación.

Al considerar varias posiciones que han sido obtenidas en la fase “off-line” y teniendo el vector de señal de medida de la fase “on-line”, se puede hacer uso de las técnicas, como: Bayes, algoritmo de kernel o la distribución gaussiana; para determinar aquella posición con máxima congruencia, es decir, que tenga la mayor probabilidad de ser la más adecuada para el dispositivo final del cual estamos buscando su posición.

1.5.2 Algoritmos basados en la técnica de propagación (Triangulación)

Estos métodos se realizan a través de mediciones de las diferentes RSSI (Intensidad de señal recibida) que tienen pérdida de trayectoria, debido a diferentes factores.

Para determinar la propagación en entornos indoor, se presentarán ciertas dificultades, ya que siempre existirán obstáculos que limitan la vista de línea directa desde la fuente hasta el dispositivo final. Es por eso que se han desarrollado diferentes técnicas que pueden ser usadas para determinar una ubicación, estas técnicas pueden hacer uso de distancias o ángulos.

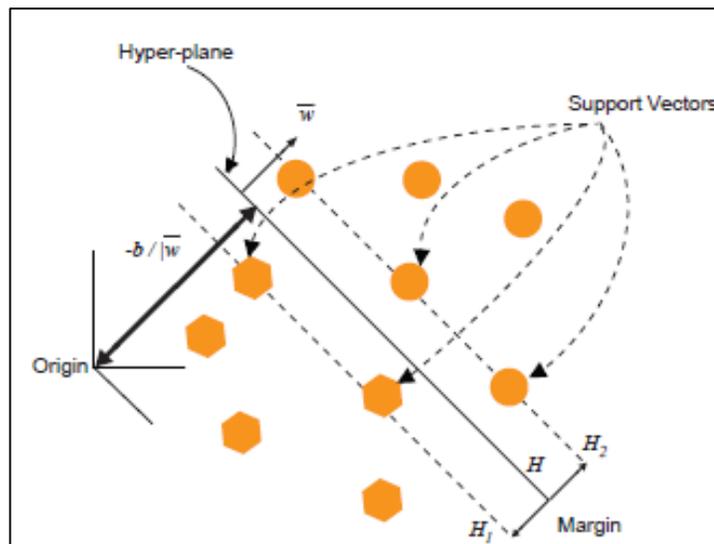


Figura 17-1 SVM lineal en dos dimensiones

Fuente: (L. Chan & Baciu, 2012)

1.5.2.1 Algoritmo basado en la angulación

Se trata del “**Ángulo de llegada**” (AOA), en el cual se puede determinar la localización de un punto deseado mediante la intersección de algunos pares de líneas de ángulos prolongados que son formados por el radio circular que se forma desde la fuente emisora hasta el punto final.

Para utilizar esta técnica, se requiere de al menos dos puntos de acceso. En una red WLAN, cada AP emite una señal que será detectada por un dispositivo al cual deseamos ubicar; estos puntos de acceso trazan ángulos de incidencia sobre el dispositivo y la intersección de ciertos ángulos determinan la posición final del elemento, *Figura 18-1*.

1.5.2.2 Algoritmos basados en la propagación (lateración)

Sabemos que la lateración hace uso de las distancias creadas entre los puntos de referencia y los puntos de acceso, para trabajar bajo esta técnica podemos utilizar diferentes algoritmos.

- **Tiempo de arribo (TOA)**

Este tipo de algoritmo usa las propiedades de la distancia entre los puntos de acceso de referencia y un dispositivo final habilitado para redes WLAN; está enfocado en la triangulación con el tiempo de llegada para la ubicación del elemento que tiene la intersección de las señales de tres puntos de acceso, *Figura 19-1*.

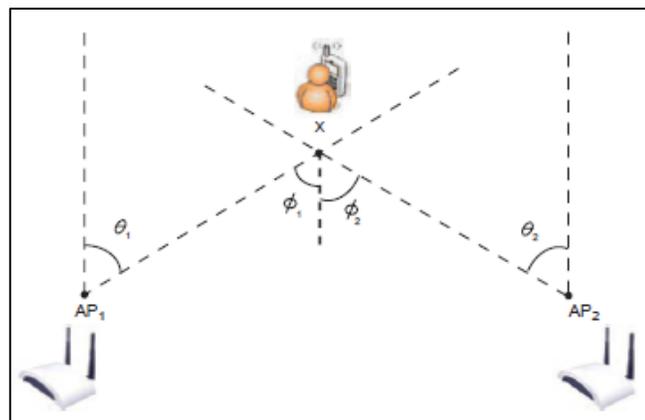


Figura 18-1 Posicionamiento por medida de ángulos desde dos AP's
Fuente: (L. Chan & Baciú, 2012)

Este tipo de algoritmos tiene algunos inconvenientes, como, por ejemplo, se puede ver afectado ya que en la mayoría de casos no existirá una línea de vista directa, debido a los obstáculos que pueden

existir en el espacio, así mismo este mecanismo necesita de la sincronización de tiempo de todos los puntos de acceso y el tiempo de llegada no será el mismo porque los dispositivos finales tendrán diferentes características.

- **Fase de arribo (POA)**

Se da el mismo caso del algoritmo TOA, pero aquí ya no se hace uso del tiempo, sino de la fase de las distancias entre los puntos de acceso y el dispositivo habilitado para WLAN. Para hacer uso de este mecanismo, se requiere que exista LOS (línea de vista directa), de otra forma los cambios de fase causan errores en la ubicación que se desea encontrar.

- **Viaje de ida y vuelta (RTOF)**

Este algoritmo trabaja en redes WLAN, demanda la sincronización de los dispositivos emisores de señales y no permite su aplicación cuando existe NLOS.

Consiste en la medición del tiempo de vuelo desde que la señal se emite, se recibe en el dispositivo final y regresa nuevamente al emisor. Esto lo realiza con el uso de confirmaciones o ecos, *Figura 20-1*.

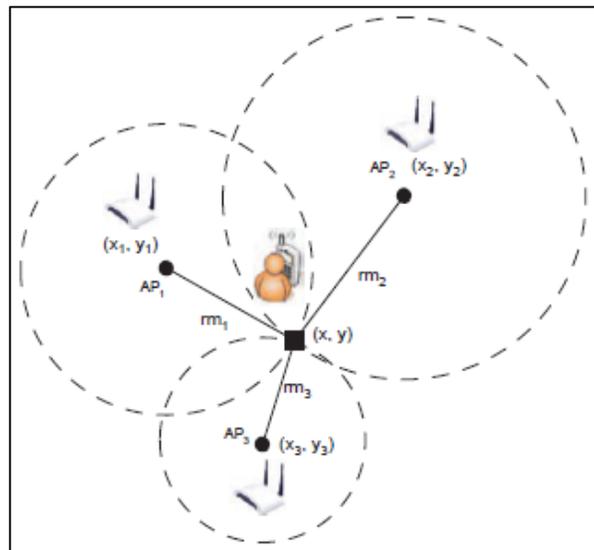


Figura 19-1 Posicionamiento mediante el método TOA
Fuente: (L. Chan & Baciu, 2012)

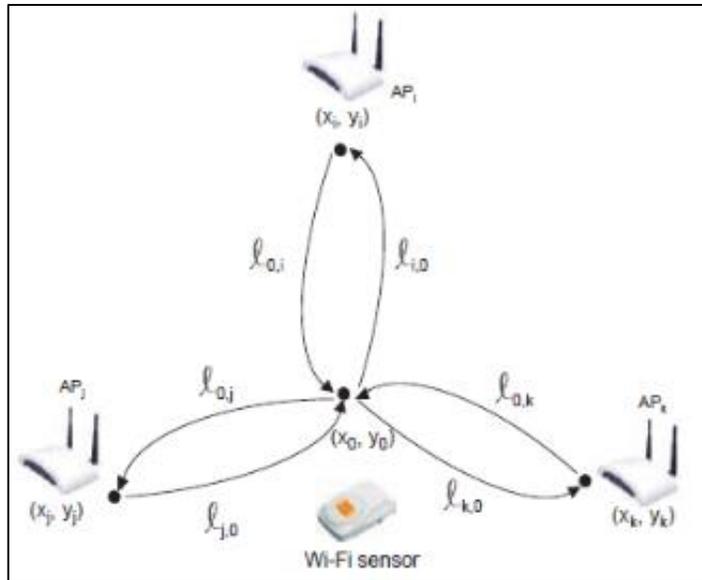


Figura 20-1 Posicionamiento usando el método RTOF
 Fuente: (L. Chan & Baciu, 2012)

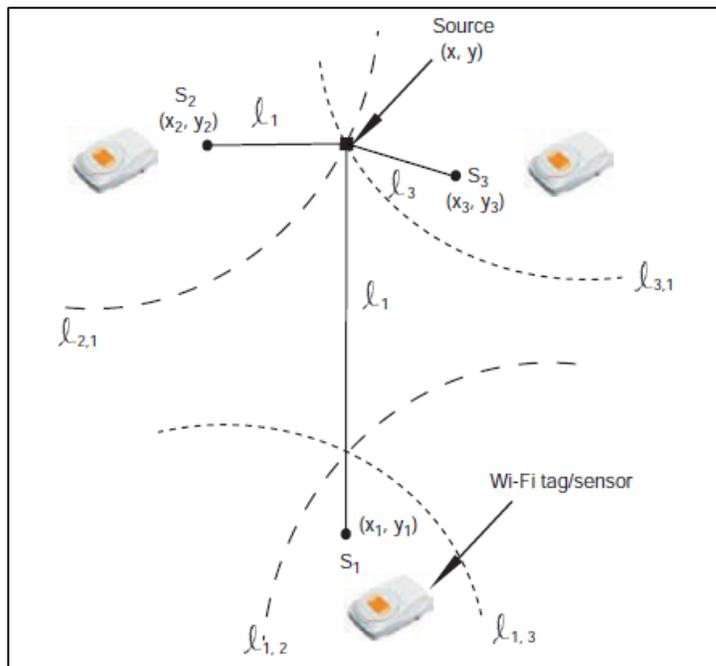


Figura 21-1 Posicionamiento usando el método TDOA
 Fuente: (L. Chan & Baciu, 2012)

1.6 Comparación de las técnicas de posicionamiento

En la *Tabla 7-1*, se hace la comparación de los algoritmos de posicionamiento en interiores en términos de exactitud, precisión y escalabilidad, lo que nos permite determinar el más apropiado (L. Chan & Baciu, 2012, pp. 38-57,66).

1.7 Software de monitoreo en redes inalámbricas

Podemos encontrar diferentes herramientas muy útiles y comprensibles que nos facilitan la obtención de información de las redes inalámbricas.

1.7.1 Software de monitoreo y control de posicionamiento por Wi-Fi

1.7.1.1 Acrylic Wi-Fi

Este es un software sugerido por el “Departamento de monitoreo de redes del D-TIC” muy útil para el escaneo de redes Wi-Fi que ofrece diferentes paquetes de servicios con múltiples características:

Tabla 7-1 Comparación de los sistemas de posicionamiento indoor

TIPO DE PROPAGACIÓN		
Algoritmo de posicionamiento	Precisión	Exactitud
Ángulo de llegada (AOA)	5 m	90%, dentro de 4.2 m
Tiempo de arribo (TOA)	4 m	90%, dentro de 4.5 m
Fase de arribo (POA)	3 m	90%, dentro de 5.9 m
Viaje de ida y vuelta (RTOF)	3 m	67%, dentro de 2.4 m
Tiempo de diferencia de arribo (TDOA)	3 m	90%, dentro de 3.5 m
TIPO DE LOCALIZACIÓN POR FINGERPRINTING		
Algoritmo de posicionamiento	Precisión	Exactitud
Vecino más cercano (KNN)	4 m	90%, dentro de 3.5 m
Polígono del M-Vértice más pequeño (SMP)	2.7 m	50%, dentro de 2.7 m
Máquina de vector de soporte (SVM)	3.	90%, dentro de 5.12 m
Métodos probabilísticos	2.8 m	90%, dentro de 2.8 m

Fuente: (L. Chan & Baciu, 2012)

Realizado por: Marilu Torres Romero, 2017

- **Acrylic WiFi Heatmaps – Site survey software** (*Figura 22-1*).
 - ✓ Es un producto que requiere el pago de licencia.
 - ✓ Analiza la señal y la cobertura rápidamente.
 - ✓ Utiliza planos y mapas online de interiores y exteriores.
 - ✓ Permite la creación de 14 diferentes tipos de mapas de calor, inclusive en 3D.
 - ✓ Visualiza mapas de calor y cobertura en una buena calidad de alta resolución.
 - ✓ Analiza el espectro de radio frecuencia Wi-Fi en la banda de 2.4 y 5Ghz.
 - ✓ Permite diagnosticar el rendimiento de alguna red automáticamente.
 - ✓ Se pueden generar reportes o informes técnicos en Word.
 - ✓ Visualiza y monitorea las redes Wi-Fi en tiempo real.

- **Acrylic WiFi profesional** (*Figura 23-1*).
 - ✓ Este software es indispensable para profesionales y administradores de redes Wi-Fi, así mismo para usuarios avanzados que desean aprovechar al máximo su red y conocer mucha información importante de la misma.
 - ✓ Para su uso, es necesario una licencia, aunque se puede descargar una versión de prueba por 5 días.
 - ✓ Identifica los diferentes errores en la transmisión y los paquetes que son reenviados por los equipos.
 - ✓ Es compatible con todas las tarjetas Wi-Fi.
 - ✓ Permite detectar todos los dispositivos Wi-Fi a su alrededor, sus características e información detallada, como: AP's, smartphones, computadores portátiles, entre otros.
 - ✓ Hace la clasificación de los dispositivos según las características de cada uno.
 - ✓ Muestra la proporción de reenvío de paquetes de acuerdo a los Ap's y los clientes.



Figura 22-1 Acrylic WiFi Heat Maps
 Fuente: (ACRYLIC WIFI, s.f.)

- **Acrylic WiFi Home**

- ✓ Visualización y detección de las redes Wi-Fi 802.11 a/b/g/n/ac y en los canales de 2.4 GHz y 5GHz, además, la información de seguridad Wi-Fi.
- ✓ Muestra la información como SSID y BSSID de los diferentes puntos de acceso y equipos de las redes detectadas.
- ✓ Muestra las gráficas de los diferentes niveles de potencia y señal de las redes.
- ✓ Versión gratuita. Existe una versión PRO con licencia y características semejantes a las del paquete profesional (ACRYLIC WIFI, s.f.).

1.7.1.2 Ekahau

Es un software de licencia que incluye varios paquetes de herramientas que permiten desde planificación de redes hasta monitoreo y solución de problemas. Trabaja en redes WLAN, accediendo a su información ya sea localmente o remotamente. Utiliza las señales de la red Wi-Fi para valorar las ubicaciones de los dispositivos finales que se desea detectar. Tiene una precisión de 1 a 3 metros; sus componentes son:

- **Cliente Ekahau (Ekahau Client)**

Servicio que se ejecuta en dispositivos clientes como computadores portátiles, para ser rastreados y que se puedan comunicar con el servidor de posicionamiento. Trabaja, de forma que obtiene una posición y esta es enviada al motor de posicionamiento, el cual se encargará de calcular la ubicación y parámetros necesarios del dispositivo final. Un cliente puede ser cualquier equipo que tenga una tecnología basada en 802.11.



Figura 23-1 Acrylic WIFI Professional

Fuente: (ACRYLIC WIFI, s.f.)

- **Motor de posicionamiento Ekahau (Ekahau Positioning Engine)**

Plataforma que se basa en “Java 2” y con arquitectura muy independiente de la red, que permite determinar diferentes parámetros del dispositivo final, tal como: ubicación (x,y), velocidad, nombre, piso, entre otros.

Este componente es uno de los más importantes para la localización ya que es el motor del posicionamiento.

- **Administrador Ekahau (Ekahau Manager)**

Herramienta que permite la creación de los modelos de posicionamiento de un área.

Dentro de este componente, el usuario dibuja las áreas lógicas que determinan si el dispositivo final se encuentra o no dentro del área. Sus funciones principales, son:

- Restricción y admisión de redes y puntos de acceso.
- Configuración y carga de los mapas de ubicación.
- Dibujar las trayectorias de seguimiento de los dispositivos y las áreas lógicas; de ser necesario permite editar.
- Visualización de la ubicación de los dispositivos.
- Cargar y guardar modelos de posicionamiento.
- Analiza la precisión del posicionamiento de los dispositivos.

- **Planificador Ekahau (Ekahau Planner)**

Herramienta de planificación para el desarrollo y diseño de las redes Wi-Fi. Dentro de este componente se realizan tareas como la ubicación de los AP's en los mapas que se pueden observar de forma instantánea.

- **Ekahau Application Framework y SDK**

Grupo de herramientas de fácil programación que permite manejar aplicaciones que facilitan la ubicación de dispositivos. El kit de desarrollo de software (SDK) realiza la conexión con el motor de posicionamiento y obtiene información acerca del posicionamiento (Kolodziej & Hjelm, 2006, pp. 236-239).

1.7.2 Software de monitoreo y control de posicionamiento por Bluetooth

1.7.2.1 Bluetooth Finder

Es una aplicación que permite detectar dispositivos bluetooth a su alrededor, muestra en una lista los dispositivos detectados con su: nombre, identificador MAC y una indicación gráfica de la intensidad de la señal en unidades dBm.

1.8 Terminales finales

Son los dispositivos finales que reciben la señal emitida por una fuente o punto de acceso, algunos son prácticos equipos portables fáciles de llevar a cualquier lugar. Existen equipos que no poseen un receptor de señal Wi-Fi pero esto se puede solucionar a través de un dongle que es un pequeño adaptador USB que permite que el equipo se conecte a las diferentes redes inalámbricas que se puedan detectar (SAMSUNG, s.f.), *Figura 24-1*.

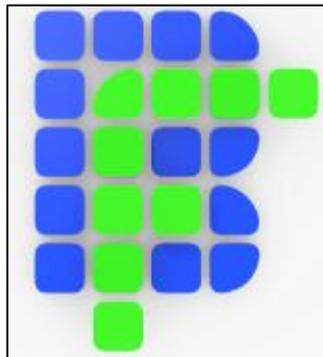


Figura 24-1 Aplicación de monitoreo de dispositivos Bluetooth
Fuente: (Google Play, s.f.)



Figura 25-1 Dispositivo dongle
Fuente: (SAMSUNG, s.f.)

CAPÍTULO II

2 MARCO METODOLÓGICO

2.1 Población

La Facultad de Informática y Electrónica está conformada por las escuelas de Ingeniería en Sistemas (EIS), Escuela de Diseño Gráfico (EDG), Escuela de Electrónica en Control y Redes Industriales (EI-CRI) y la Escuela de Electrónica en Telecomunicaciones y Redes (EIE-TR).

La planta docente la constituyen 100 personas*, quienes tienen sus espacios de trabajo y tutorías en los diferentes modulares de la FIE y trabajan en todas las escuelas de la facultad.

2.1.1 Muestra

Como muestra se elige a los docentes de la escuela de Ingeniería Electrónica en Telecomunicaciones y Redes por sugerencia de las autoridades y por enfocar la implementación del estudio a la misma.

Se elige como escenario para el análisis de los diseños al a las salas de profesores ubicadas en la planta baja del modular de electrónica y en el piso 1 y 2 del edificio principal de la FIE, las instalaciones son de concreto y ventanas de vidrio, tal como una oficina normal, por lo que se considera se trabaje con los datos de un tipo de construcción de “oficina típica”.

Es muy importante señalar que este estudio se puede extender para las demás salas de profesores de la FIE u otros lugares en los que se desee, para esto se debe tomar en consideración la propuesta de diseño.

2.2 Infraestructura de la FIE

La infraestructura física de la FIE en el modular de electrónica consta de una planta baja y el piso 1, estas instalaciones se usaban desde hace mucho tiempo atrás y se han realizado algunas remodelaciones.

* Información obtenida de la “Secretaría de Decanato” de la FIE

El modular de electrónica tiene medidas de 30.3 x 12.5 metros. El edificio principal de la FIE es una de las más actuales construcciones para la Facultad de Informática y Electrónica que consta de una planta baja, piso 1 y 2, con medidas aproximadas de 76 x 31 metros. La distribución de la infraestructura de red inalámbrica instalada en la FIE se muestra en la *Tabla 1-2*.

2.3 Cobertura de los puntos de acceso en la FIE

Los mapas que representan la cobertura de los AP's instalados en la FIE fueron obtenidos desde "Cisco Prime Infraestructure" en el Departamento de Monitoreo de Redes del D-TIC.

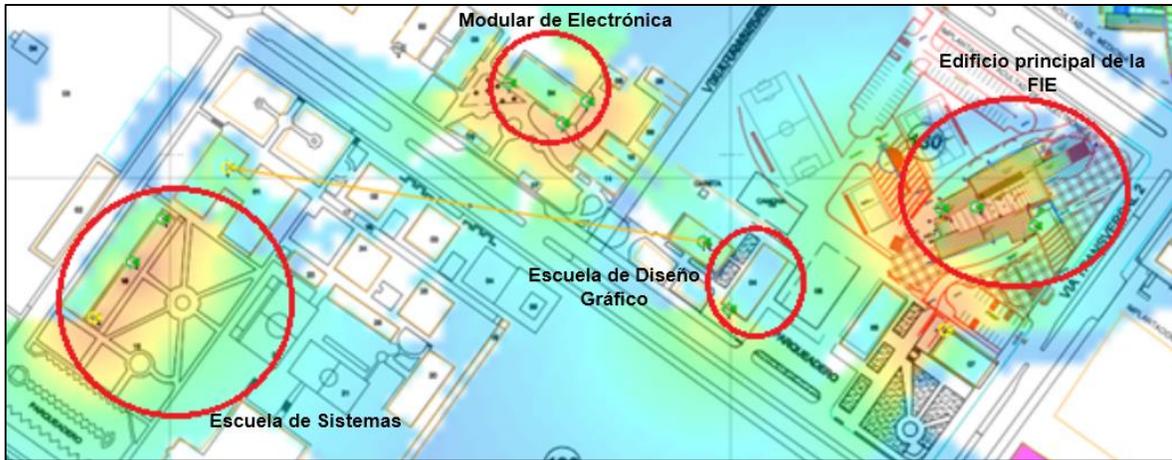
En el *Mapa 2-1*, *Mapa 2-2*, *Mapa 2-3* y *Mapa 2-4*, se muestra la cobertura de los puntos de acceso distribuidos en las diferentes instalaciones de las escuelas de la FIE.

Tabla 1-2 Ubicación de los puntos de acceso

LUGAR	UBICACIÓN	MAC Address	EQUIPO
EXTERIOR (FIE)	Parte superior – exteriores FIE	DC:CE:C1:72:8C:00	Cisco AIR CAP 1532I-A-K9
PLANTA BAJA (FIE)	Auditorio FIE (No activo)	D8:B1:90:B3:1D:F0	Cisco AIR AP 2702 I-UXX9
PRIMER PISO (FIE)	Decanato FIE	0C:F5:A4:EE:51:71	Cisco AIR CAP 3501I-A-K9"
	Laboratorio de informática 3	0C:F5:A4:EE:4A:D0	Cisco AIR CAP 3501I-A-K9"
SEGUNDO PISO (FIE)	Laboratorio de comunicaciones y microondas	0C:F5:A4:EE:53:A1	Cisco AIR CAP 3501I-A-K9
	Cuarto de equipos principal	0C:F5:A4:EE:4F:A0	Cisco AIR CAP 3501I-A-K9
	Pared sección este	0C:F5:A4:EE:56:F1	Cisco AIR CAP 3501I-A-K9
MODULAR ELECTRÓNICA	Exterior	DC:CE:C1:72:87:D0	Cisco AIR CAP 1532I-A-K9
	Interno – Planta baja	D8:B1:90:B8:F3:11	Cisco AIR AP 2702 I-UXX9

Fuente: Departamento de monitoreo de redes, D-TIC, ESPOCH, 2017

Realizado por: Marilu Torres Romero, 2017



Mapa 1-2 Cobertura de los puntos de acceso en la Facultad de Informática y Electrónica
 Fuente: Departamento de monitoreo de redes, D-TIC, ESPOCH, 2017

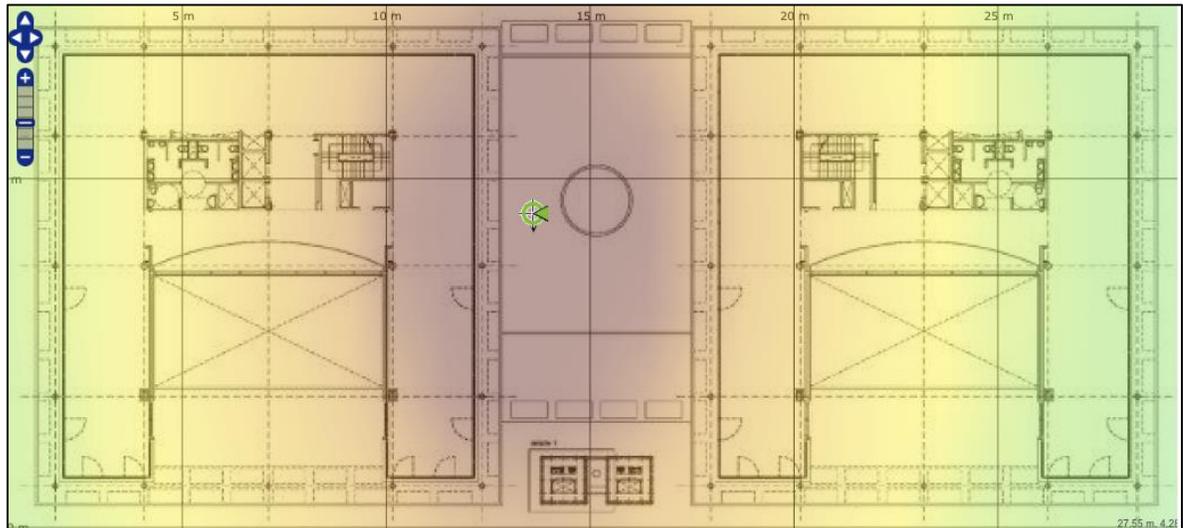
2.3.1 Escuela de Ingeniería en Sistemas



Mapa 2-1 Escuela de Ingeniería en Sistemas, FIE ESPOCH
 Fuente: Departamento de monitoreo de redes, D-TIC, ESPOCH, 2017

2.4 Mapas de calor de la Escuela de Ingeniería Electrónica en Telecomunicaciones y Redes.

Los mapas de calor muestran las zonas de mayor cobertura alrededor de los puntos de acceso Wi-Fi instalados en la FIE. De igual forma, estos mapas fueron obtenidos desde “Cisco Prime Infrastructure” en el Departamento de Monitoreo de Redes del D-TIC.



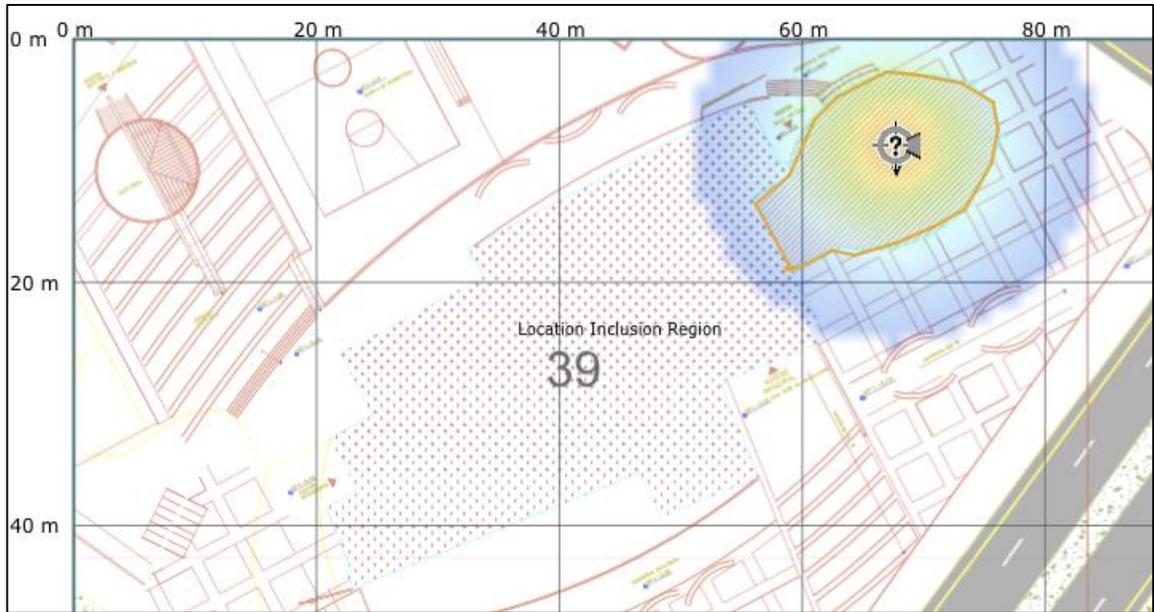
Mapa 5-2 Modular de Electrónica, AP interno

Fuente: Departamento de monitoreo de redes, D-TIC, ESPOCH, 2017



Mapa 6-2 Modular de Electrónica, AP externo

Fuente: Departamento de monitoreo de redes, D-TIC, ESPOCH, 2017



Mapa 7-2 Planta baja del edificio principal FIE, AP auditorio
Fuente: Departamento de monitoreo de redes, D-TIC, ESPOCH, 2017



Mapa 8-2 AP's ubicados en el piso 1, edificio principal de la FIE
Fuente: Departamento de monitoreo de redes, D-TIC, ESPOCH, 2017

2.5 Modelos para el posicionamiento indoor por Wi-Fi

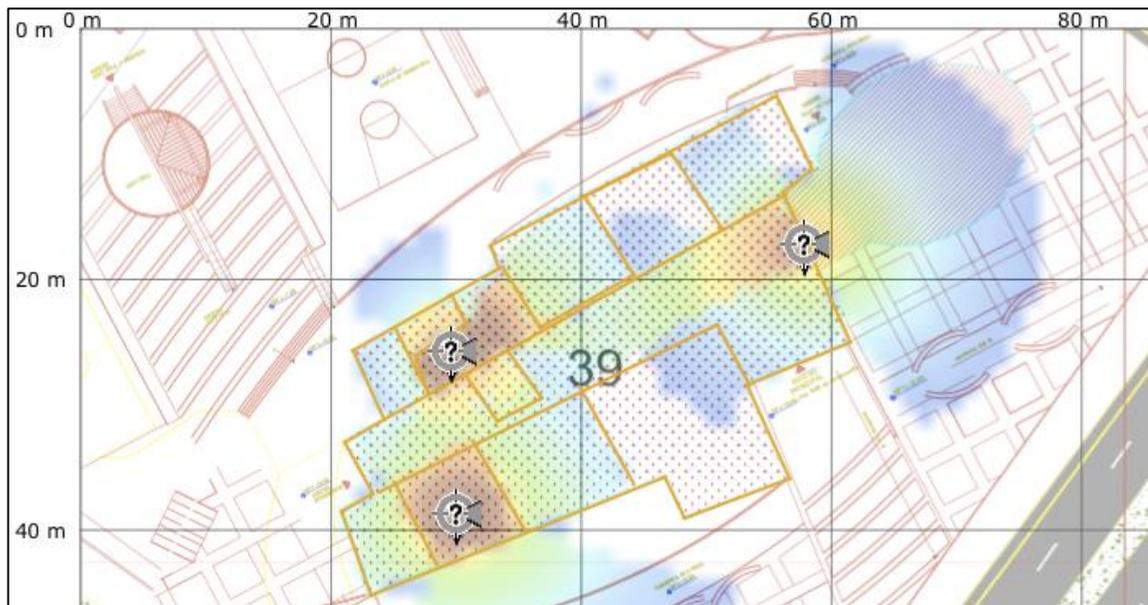
A continuación, se presentan todos los escenarios de ubicación de los puntos de acceso, desde el modelo real hasta el modelo propuesto.

2.5.1 Modelo ideal

El modelo ideal con el que se puede cubrir totalmente al modular de Electrónica y el edificio principal de la FIE se expone a continuación.

2.5.1.1 Modular de electrónica

Se selecciona el modelo mosaico hexagonal ya que este es el más conveniente en cuanto a costos por lo que requiere menos puntos de acceso. Para desarrollar los cálculos necesarios y obtener el número de AP's necesarios, la *Tabla 5-1 muestra la resolución de posicionamiento deseada*, en este caso se trabaja con una resolución de posicionamiento de 3 metros ya que se desea obtener una buena recepción de la señal a -30dBm, los valores de “X” y “Y” son 10.7 m y 12.3 m respectivamente.



Mapa 9-2 AP's ubicados en el piso 2, edificio principal de la FIE

Fuente: Departamento de monitoreo de redes, D-TIC, ESPOCH, 2017

Al haber fijado los valores con los que se va a trabajar, se realizan los cálculos basados en la fórmula que se presenta en la *Figura 13-1*, es importante recordar que primeramente se debe dividir el terreno en secciones rectangulares.

$$\#AP = \left(\frac{a}{X}\right) * \left(\frac{b}{Y}\right)$$

$$\#AP = \left(\frac{30.3}{10.7}\right) * \left(\frac{12.5}{12.3}\right) = 2.8778 \cong 3 AP's$$

Los valores resultantes se aproximan al inmediato superior, en este caso, para el modular de electrónica, se requiere de dos equipos tanto para la planta baja como para el primer piso; en total son necesarios 6 puntos de acceso para abastecer de una buena señal a estas instalaciones.

Para la ubicación de los hexágonos y determinación del área de cobertura en todos los casos, debemos fijarnos en el valor que se encuentra en el eje de la “Y”, que en este caso sería 12.5 metros y este se divide para el valor de “Y=12.3 m” que se está utilizando, de esta forma se hace un aproximado de cuántos AP’s se ubicarán en esa posición y así mismo para el eje de las “X”.

En la siguiente figura se muestra la ubicación de los equipos necesarios en el modular de electrónica.

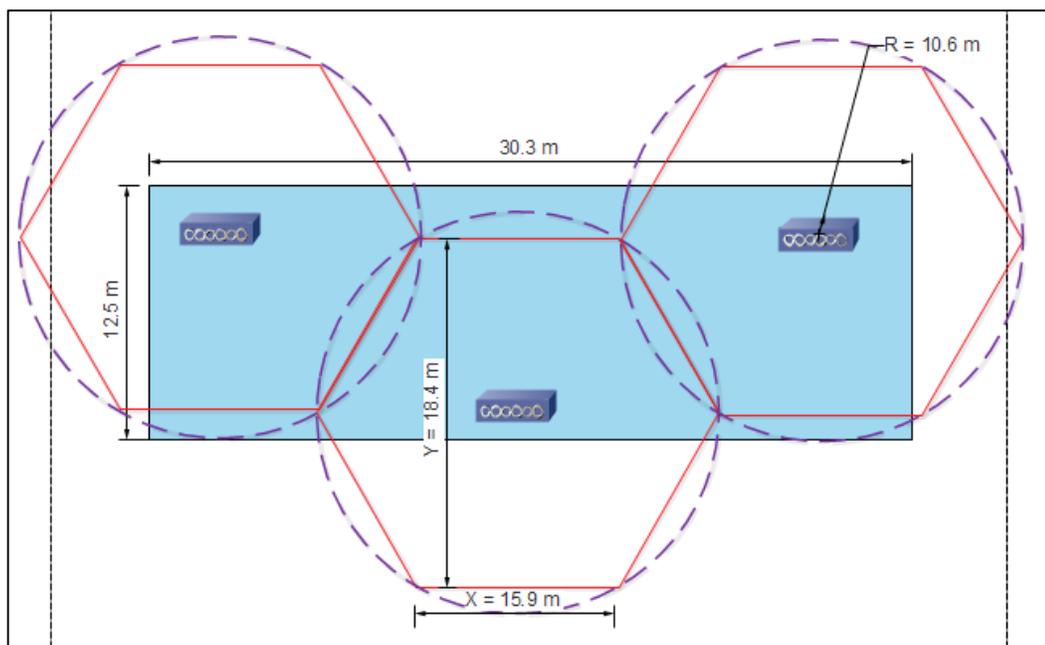


Figura 1-2 Aplicación del modelo mosaico hexagonal, modular de electrónica
 Realizado por: Marilu Torres Romero, 2017

2.5.1.2 Edificio principal FIE

Se realiza el mismo proceso anterior pero esta vez para una resolución de posicionamiento de 5 metros, para cada uno de los pisos del edificio principal de la FIE. La planta baja y el piso 1, tienen relativamente las mismas medidas, por lo cual se emplea la misma fórmula del proceso anterior, la *Figura 13-1*.

$$\#AP_1 = \left(\frac{51.5}{15.9}\right) * \left(\frac{31}{18.4}\right) = 5.4570 \cong 6 AP's$$

$$\#AP_2 = \left(\frac{15}{15.9}\right) * \left(\frac{6.5}{18.4}\right) = 0.333 \cong 1 AP$$

$$\#AP_{TOTAL1} = 6 + 1 = 7 AP's$$

De igual forma los valores se deben aproximar, y para este caso son necesarios 7 equipos en cada planta, es decir 7 en la planta baja y 7 en el primer piso. La ubicación de los puntos de acceso se determina según la ubicación de los hexágonos, como se muestra en la *Figura 2-2*.

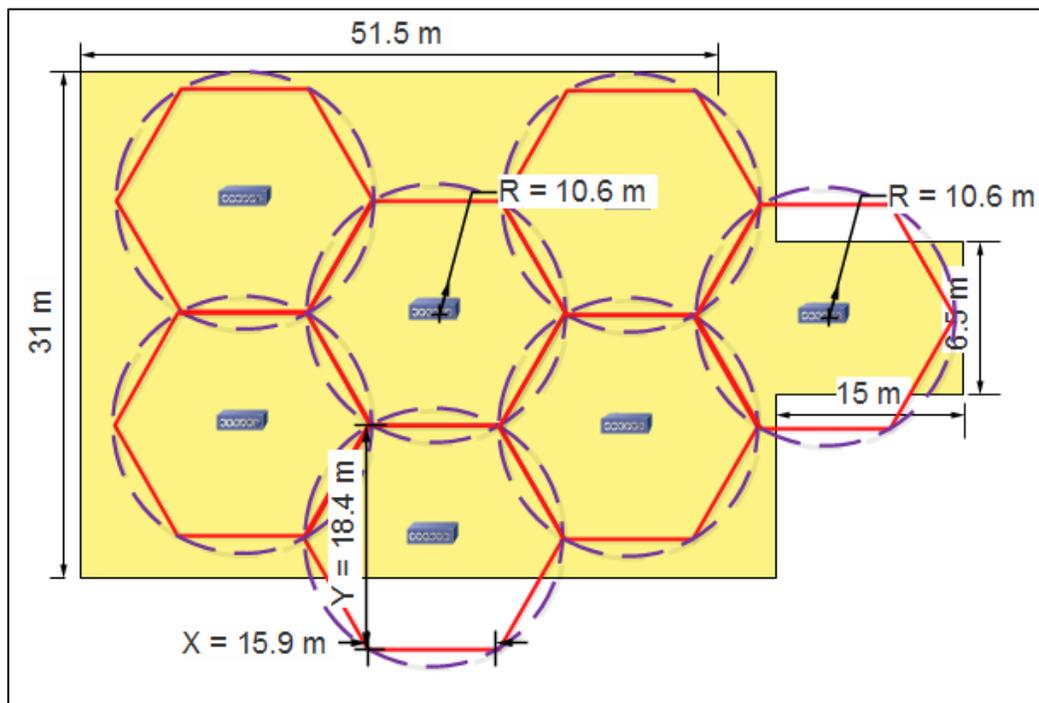


Figura 2-1 Ubicación de equipos planta baja y piso 1, edificio FIE
Realizado por: Marilu Torres Romero, 2017

Para el piso 2, son necesarios 6 puntos de acceso y su ubicación se muestra en la siguiente *Figura 3-2*.

$$\#AP = \left(\frac{51.5}{15.9}\right) * \left(\frac{31}{18.4}\right) = 5.4570 \cong 6 AP's$$

2.5.2 Modelo real implementado

Este modelo real consiste en la reutilización de la red Wi-Fi existente que consta de un AP en la parte interna del modular, 2 AP's en el piso 1 del edificio principal de la FIE y 3 puntos de acceso en el piso 2.

Se aplica la misma metodología para el diseño en donde se comprueba el alcance del posicionamiento con la red actual. A continuación, se presentan los modelos basados en el modelo y así mismo el monitoreo de las redes emitidas por los puntos de acceso.

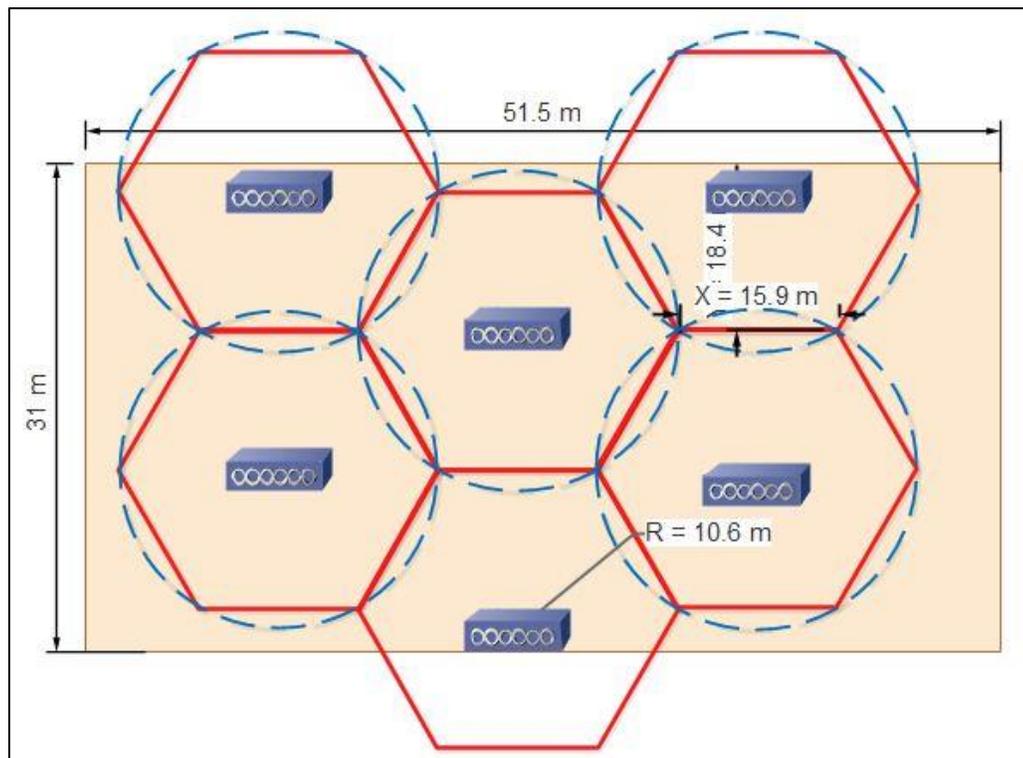


Figura 3-2 Ubicación de equipo en el piso 2, edificio FIE
Realizado por: Marilu Torres Romero, 2017

2.5.2.1 Red actual en el modular de electrónica

En el modular de electrónica se ubican dos puntos de acceso, uno interno (D8:B1:90:B8:F3:11), *Figura 6-2* y otro externo (DC:CE:C1:72:87:D0). En la *Figura 4-2* se observa que la red emitida por el AP interno tiene una buena señal de -46dBm que permite la conectividad de dispositivos en ciertos espacios de las instalaciones.

SSID	MAC Address	RSSI	Chan	802.11	Max Speed
ESPOCH-PORTAL	D8:B1:90:B8:F3:11	-46	1	g, n	216.7 Mbps
eduroam	D8:B1:90:B8:F3:12	-47	1	g, n	216.7 Mbps
Redes Industriales	90:94:E4:B1:AE:C6	-71	1	b, g, n	150 Mbps
TP-LINK_9A450C	10:FE:ED:9A:45:0C	-85	8+4	b, g, n	300 Mbps
ESPOCH-PORTAL-EXT	DC:CE:C1:72:88:F0	-80	11	g, n	216.7 Mbps
soporte	DC:CE:C1:72:88:F2	-82	11	g, n	216.7 Mbps
eduroam	DC:CE:C1:72:88:F1	-83	11	g, n	216.7 Mbps
Network-97187831	00:14:D1:A9:78:31	-69	6+2	b, g, n	300 Mbps
[Hidden]	DC:CE:C1:72:88:F4	-84	11	g, n	216.7 Mbps
dd-wrt	48:F8:B3:1D:55:86	-88	6	b, g, n	144.4 Mbps
soporte	DC:CE:C1:72:87:42	-85	1	g, n	216.7 Mbps
ESPOCH-PORTAL-EXT	DC:CE:C1:72:87:40	-86	1	g, n	216.7 Mbps
eduroam	DC:CE:C1:72:87:41	-88	1	g, n	216.7 Mbps

Figura 4-2 Monitoreo modular electrónica, AP interno

Fuente: Capturas tomadas con “Acrylic WIFI”, 2017

En el exterior del modular de electrónica se recepta una buena señal de la red ESPOCH-PORTAL-EXT con -53dBm que es emitida por el punto de acceso ubicado en el lugar, *Figura 5-2*.

SSID	MAC Address	RSSI	Chan	802.11	Max Speed
eduroam	DC:CE:C1:72:87:41	-63	1	g, n	216.7 Mbps
eduroam	DC:CE:C1:72:8C:01	-84	11	g, n	216.7 Mbps
[Hidden]	DC:CE:C1:72:87:D4	-58	6	g, n	216.7 Mbps
soporte	DC:CE:C1:72:87:D2	-55	6	g, n	216.7 Mbps
ESPOCH-PORTAL-EXT	DC:CE:C1:72:87:D0	-53	6	g, n	216.7 Mbps
ESPOCH-PORTAL	D8:B1:90:B8:F3:11	-76	1	g, n	216.7 Mbps
eduroam	DC:CE:C1:72:87:D1	-53	6	g, n	216.7 Mbps
acadCisco17	B4:75:0E:BC:43:1C	-89	1	b, g, n	144.4 Mbps
TELEPHONE-IP-ELECTRONIC	0A:18:D6:67:13:3B	-61	1	b, g, n	144.4 Mbps
soporte	DC:CE:C1:72:87:42	-62	1	g, n	216.7 Mbps
TPS14	42:B8:37:E0:94:E1	-90	6	b, g, n	72.2 Mbps
ESPOCH-PORTAL-EXT	DC:CE:C1:72:87:40	-65	1	g, n	216.7 Mbps
[Hidden]	DC:CE:C1:72:87:44	-62	1	g, n	216.7 Mbps
eduroam	D8:B1:90:B8:F3:12	-76	1	g, n	216.7 Mbps
USM_DTIC	7C:7D:3D:EA:D2:28	-85	11	b, g, n	270 Mbps

Figura 5-2 Monitoreo modular electrónica, AP externo

Fuente: Capturas tomadas con “Acrylic WIFI”, 2017

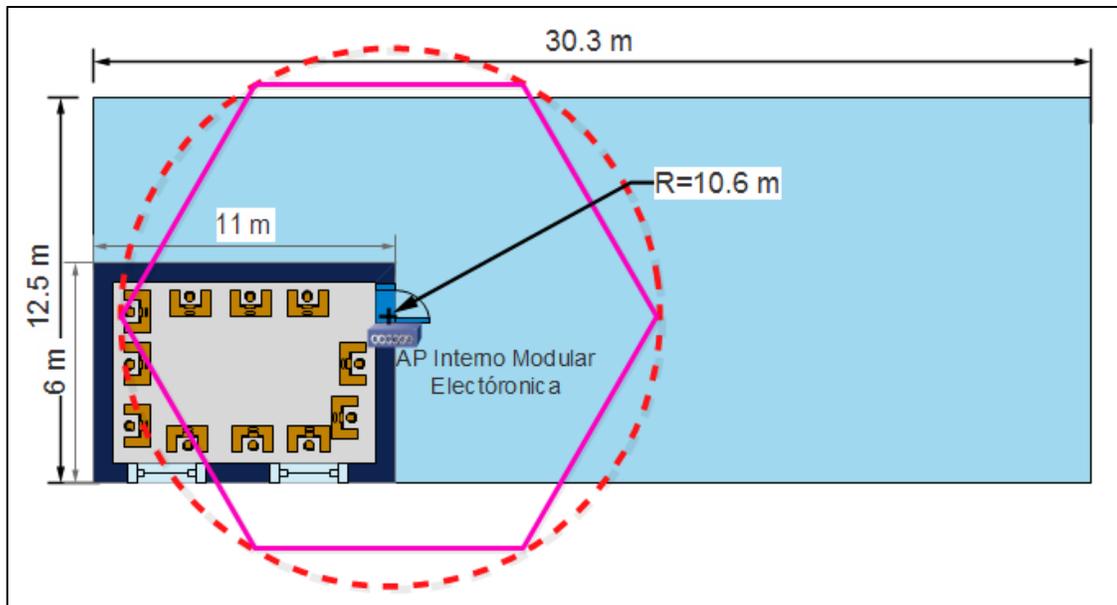


Figura 6-2 Cobertura de red, planta baja, modular electrónica
 Realizado por: Marilu Torres Romero, 2017

2.5.2.2 Red actual en el edificio principal de la FIE

Dentro del edificio principal de la FIE están colocados cinco puntos de acceso y en el exterior uno solo. En la planta baja el AP ubicado en el auditorio (D8:B1:90:B3:1D:F0) no está en funcionamiento constantemente, la red con mayor cobertura que puede receptarse en el punto de la planta baja es la emitida por un punto de acceso ubicado en el segundo piso.

SSID	MAC Address	RSSI	Chan	802.11	Max Speed
ESPOCH-PORTAL	0C:F5:A4:EE:51:71	-83	11	g, n	144.4 Mbps
eduroam	0C:F5:A4:EE:51:72	-84	11	g, n	144.4 Mbps
eduroam	DC:CE:C1:72:95:B1	-75	6	g, n	216.7 Mbps
eduroam	0C:F5:A4:EE:4A:D2	-86	1	g, n	144.4 Mbps
FM-UCOMPUTO	48:F8:B3:1D:55:B8	-88	1	b, g, n	144.4 Mbps
eduroam	D8:B1:90:B3:1D:F2	-79	1	g, n	216.7 Mbps
ESPOCH-PORTAL	0C:F5:A4:EE:56:F1	-65	1	g, n	144.4 Mbps
soporte	DC:CE:C1:72:95:B2	-75	6	g, n	216.7 Mbps
LTRLu	BC:44:86:EC:1E:39	-48	1	b, g, n	72.2 Mbps
eduroam	0C:F5:A4:EE:56:F2	-66	1	g, n	144.4 Mbps
ESPOCH-PORTAL	D8:B1:90:B3:1D:F1	-79	1	g, n	216.7 Mbps
HUAWEI Y360-U23	16:D1:1F:C0:C2:81	-79	6	b, g, n	72.2 Mbps
ESPOCH-PORTAL-E	DC:CE:C1:72:8F:C0	-83	6	g, n	216.7 Mbps
eduroam	DC:CE:C1:72:8F:C1	-83	6	g, n	216.7 Mbps
soporte	DC:CE:C1:72:8F:C2	-83	6	g, n	216.7 Mbps

Figura 7-2 Monitoreo planta baja, edificio principal FIE
 Fuente: Capturas tomadas con "Acrylic WIFI", 2017

Los puntos de acceso del piso 1 se muestran en la *Figura 10-2*, en el punto de acceso (0C:F5:A4:EE:51:71) ubicado en la oficina de decanato no existe una buena recepción de la señal.

SSID	MAC Address	RSSI	Chan	802.11	Max Speed
ESPOCH-PORTAL	0C:F5:A4:EE:56:F1	-71	1	g, n	144.4 Mbps
eduroam	0C:F5:A4:EE:56:F2	-71	1	g, n	144.4 Mbps
HUAWEI Y360-U23	16:D1:1F:C0:C2:81	-89	6	b, g, n	72.2 Mbps
ESPOCH-PORTAL-EXT	DC:CE:C1:72:8F:C0	-78	6	g, n	216.7 Mbps
eduroam	DC:CE:C1:72:8F:C1	-79	6	g, n	216.7 Mbps
ESPOCH-PORTAL	0C:F5:A4:EE:51:71	-83	11	g, n	144.4 Mbps
eduroam	0C:F5:A4:EE:51:72	-83	11	g, n	144.4 Mbps
Betto Espoch 1	9C:D9:17:45:84:10	-84	1	b, g, n	72.2 Mbps
ESPOCH-FIE-DOCENTES	68:7F:74:27:16:5E	-85	11	b, g, n	144.4 Mbps
soporte	DC:CE:C1:72:8F:C2	-79	6	g, n	216.7 Mbps
soporte	DC:CE:C1:72:95:B2	-82	6	g, n	216.7 Mbps
[Hidden]	DC:CE:C1:72:8F:C4	-85	6	g, n	216.7 Mbps
Sala FIE	F4:EC:38:F8:39:C6	-83	6	b, g	54 Mbps
[Hidden]	DC:CE:C1:72:95:B4	-86	6	g, n	216.7 Mbps
eduroam	DC:CE:C1:72:95:B1	-82	6	g, n	216.7 Mbps

Figura 8-2 Monitoreo piso 1, decanato, edificio principal FIE

Fuente: Capturas tomadas con "Acrylic WIFI", 2017

En el punto del laboratorio de informática 3 (0C:F5:A4:EE:4A:DO) ubicado en el piso 1, se pueden recibir las señales de diferentes redes, en la *Figura 9-2* se muestra que existe una buena recepción de -54 dBm por parte del AP del lugar.

SSID	MAC Address	RSSI	Chan	802.11	Max Speed
soporte	DC:CE:C1:72:8F:C2	-53	6	g, n	216.7 Mbps
ESPOCH-PORTAL-EXT	DC:CE:C1:72:8F:C0	-53	6	g, n	216.7 Mbps
eduroam	DC:CE:C1:72:8F:C1	-53	6	g, n	216.7 Mbps
ESPOCH-FIE-DOCENTES	68:7F:74:27:16:5E	-88	11	b, g, n	144.4 Mbps
ESPOCH-PORTAL	0C:F5:A4:EE:56:F1	-54	1	g, n	144.4 Mbps
[Hidden]	DC:CE:C1:72:8C:04	-77	11	g, n	216.7 Mbps
IPEC-DIR	48:F8:B3:28:8D:88	-77	1+5	b, g, n	300 Mbps
Sala FIE	F4:EC:38:F8:39:C6	-91	6	b, g	54 Mbps
ESPOCH-CISCO	00:40:10:20:00:03	-90	6	b, g	54 Mbps
ESPOCH-PORTAL	0C:F5:A4:EE:53:A1	-79	1	g, n	144.4 Mbps
eduroam	0C:F5:A4:EE:53:A2	-79	1	g, n	144.4 Mbps
HUAWEI Y360-U23	16:D1:1F:C0:C2:81	-89	6	b, g, n	72.2 Mbps
ESPOCH-PORTAL-EXT	DC:CE:C1:72:87:D0	-82	6	g, n	216.7 Mbps
Betto Espoch 1	9C:D9:17:45:84:10	-85	1	b, g, n	72.2 Mbps
paga tu propio plan	F4:8E:92:81:2A:F2	-83	6	b, g, n	72.2 Mbps

Figura 9-2 Monitoreo piso 1, "Laboratorio Informática 3", edificio principal FIE

Fuente: Capturas tomadas con "Acrylic WIFI", 2017

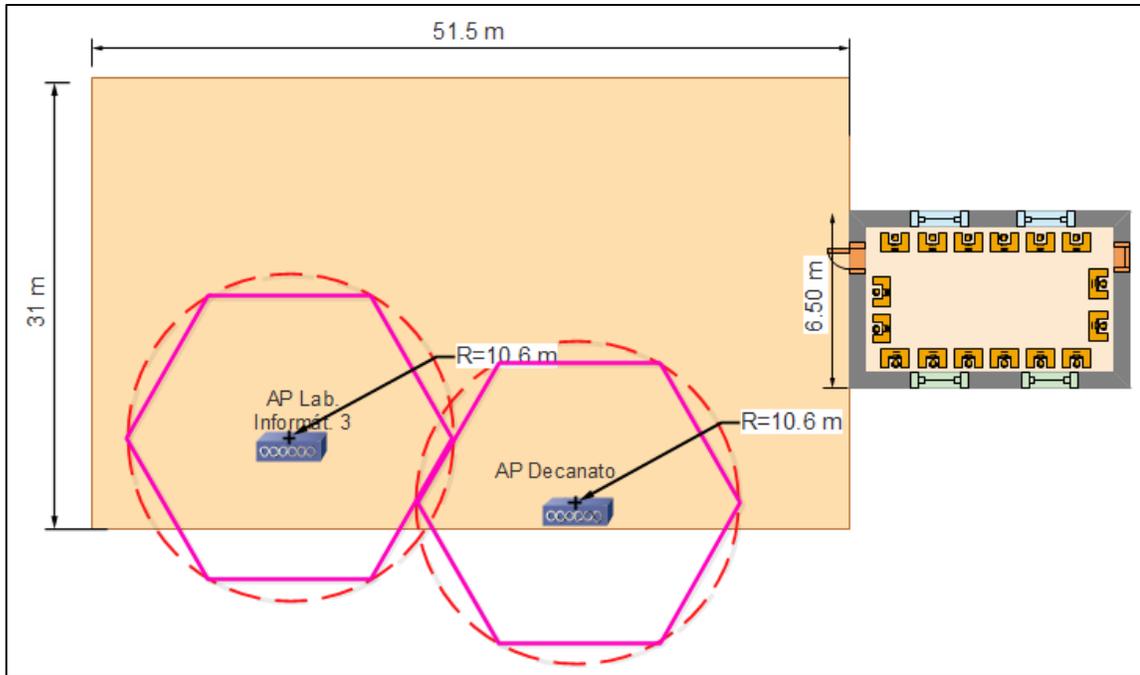


Figura 10-2 Cobertura de red, piso 1, edificio principal FIE
 Realizado por: Marilu Torres Romero, 2017

En el segundo piso del edificio principal de la FIE se encuentran instalados tres puntos de acceso, *Figura 14-2*. En el laboratorio de comunicaciones y microondas (0C:F5:A4:EE:53:A1) ubicado en el segundo piso del edificio principal de la FIE, se perciben las siguientes redes, *Figura 11-2*. Se puede notar que la señal por parte del equipo ubicado en ese lugar es buena con -49 dBm.

SSID	MAC Address	RSSI	Chan	802.11	Max Speed
Sala FIE	F4:EC:38:F8:39:C6	-89	6	b, g	54 Mbps
ESPOCH-PORTAL	0C:F5:A4:EE:4F:A1	-85	1	g, n	144.4 Mbps
eduroam	0C:F5:A4:EE:4F:A2	-75	1	g, n	144.4 Mbps
IPEC-DIR	48:F8:B3:28:8D:88	-88	1+5	b, g, n	300 Mbps
ESPOCH-PORTAL	0C:F5:A4:EE:53:A1	-49	1	g, n	144.4 Mbps
ESPOCH-ROBOTICA	0C:F5:A4:EE:53:A0	-48	1	g, n	144.4 Mbps
eduroam	0C:F5:A4:EE:53:A2	-49	1	g, n	144.4 Mbps
iMac de Imacpd10	88:63:DF:B8:9C:73	-71	11	b, g, n	216.7 Mbps
ESPOCH-PORTAL	0C:F5:A4:EE:56:F1	-84	1	g, n	144.4 Mbps
ESPOCH-ROBOTICA	0C:F5:A4:EE:56:F0	-84	1	g, n	144.4 Mbps
ESPOCH-ROBOTICA	DC:CE:C1:72:8C:00	-76	11	g, n	216.7 Mbps
eduroam	0C:F5:A4:EE:56:F2	-84	1	g, n	144.4 Mbps
ESPOCH-PORTAL	DC:CE:C1:72:8C:01	-75	11	g, n	216.7 Mbps
eduroam	DC:CE:C1:72:8F:C2	-72	6	g, n	216.7 Mbps
ESPOCH-WIFI-P2	48:F8:B3:1D:54:87	-75	6	b, g, n	144.4 Mbps

Figura 11-2 Monitoreo piso 2, "Laboratorio de comunicaciones y microondas", edificio FIE
 Fuente: Capturas tomadas con "Acrylic WIFI", 2017

En el cuarto de equipos principal (0C:F5:A4:EE:4F:A1) del piso 2, se reciben las señales de las redes que se muestran de la *Figura 12-2*, la señal transmitida desde el equipo es la que tiene una intensidad de -54 dBm.

SSID	MAC Address	RSSI	Chan	802.11	Max Speed
Sala FIE	F4:EC:38:F8:39:C6	-10	6	b, g	54 Mbps
ESPOCH-PORTAL	0C:F5:A4:EE:4F:A1	-54	1	g, n	144.4 Mbps
ESPOCH-ROBOTICA	0C:F5:A4:EE:4F:A0	-54	1	g, n	144.4 Mbps
eduroam	0C:F5:A4:EE:4F:A2	-53	1	g, n	144.4 Mbps
ESPOCH-PORTAL	0C:F5:A4:EE:53:A1	-67	1	g, n	144.4 Mbps
IPEC-DIR	48:F8:B3:28:8D:88	-85	1+5	b, g, n	300 Mbps
ESPOCH-ROBOTICA	0C:F5:A4:EE:53:A0	-66	1	g, n	144.4 Mbps
eduroam	0C:F5:A4:EE:53:A2	-67	1	g, n	144.4 Mbps
iMac de Imacpd10	88:63:DF:B8:9C:73	-79	11	b, g, n	216.7 Mbps
ESPOCH-PORTAL	0C:F5:A4:EE:56:F1	-69	1	g, n	144.4 Mbps
eduroam	DC:CE:C1:72:8C:02	-83	11	g, n	216.7 Mbps
ESPOCH-ROBOTICA	0C:F5:A4:EE:56:F0	-69	1	g, n	144.4 Mbps
ESPOCH-ROBOTICA	DC:CE:C1:72:8C:00	-83	11	g, n	216.7 Mbps
eduroam	0C:F5:A4:EE:56:F2	-70	1	g, n	144.4 Mbps
ESPOCH-PORTAL	DC:CE:C1:72:8C:01	-80	11	g, n	216.7 Mbps

Figura 12-2 Monitoreo piso 2, "Cuarto de equipos principal", edificio principal FIE

Fuente: Capturas tomadas con "Acrylic WIFI", 2017

En la esquina, pared sección este (0C:F5:A4:EE:56:F1) del segundo piso, se detectan las siguientes redes, donde la señal emitida por el equipo ubicado en ese lugar tiene una intensidad de -46dBm, *Figura 13-2*.

SSID	MAC Address	RSSI	Chan	802.11	Max Speed
HUAWEI Y360-U23	16:D1:1F:C0:C2:81	-84	6	b, g, n	72.2 Mbps
ESPOCH-PORTAL	0C:F5:A4:EE:4F:A1	-81	1	g, n	144.4 Mbps
eduroam	0C:F5:A4:EE:4F:A2	-81	1	g, n	144.4 Mbps
FM-UCOMPUTO	48:F8:B3:1D:55:B8	-85	1	b, g, n	144.4 Mbps
ESPOCH-ECORAE	1C:AF:F7:83:EC:CA	-86	11	b, g, n	150 Mbps
ESPOCH-PORTAL	0C:F5:A4:EE:53:A1	-81	1	g, n	144.4 Mbps
ESPOCH-PORTAL	0C:F5:A4:EE:56:F1	-46	1	g, n	144.4 Mbps
eduroam	0C:F5:A4:EE:56:F2	-45	1	g, n	144.4 Mbps
soporte	DC:CE:C1:72:8F:C2	-69	6	g, n	216.7 Mbps
ESPOCH-PORTAL-EXT	DC:CE:C1:72:8F:C0	-69	6	g, n	216.7 Mbps
eduroam	DC:CE:C1:72:8F:C1	-69	6	g, n	216.7 Mbps
ESPOCH-FIE-DOCENTES	68:7F:74:27:16:5E	-89	11	b, g, n	144.4 Mbps
soporte	DC:CE:C1:72:95:B2	-74	6	g, n	216.7 Mbps
ESPOCH-PORTAL-EXT	DC:CE:C1:72:95:B0	-75	6	g, n	216.7 Mbps
eduroam	DC:CE:C1:72:95:B1	-74	6	g, n	216.7 Mbps

Figura 13-2 Monitoreo piso 2, "esquina pared sección este", edificio principal FIE

Fuente: Capturas tomadas con "Acrylic WIFI", 2017

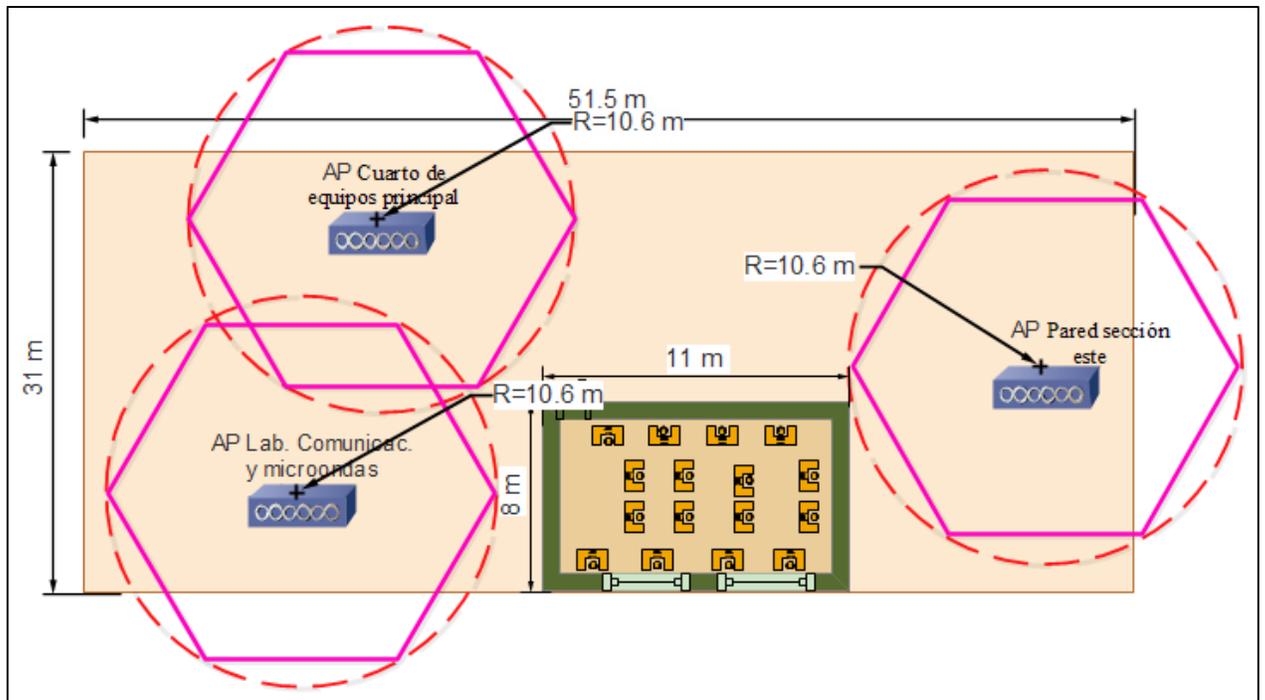


Figura 14-2 Cobertura de red, piso 2, edificio principal FIE

Realizado por: Marilu Torres Romero, 2017

Finalmente, en el exterior del edificio de la FIE (DC:CE:C1:72:8C:00) se detecta la red con una intensidad de señal de -58 dBm, *Figura 15-2*.

SSID	MAC Address	RSSI	Chan	802.11	Max Speed
IPEC-DIR	48:F8:B3:28:8D:88	-86	1+5	b, g, n	300 Mbps
DOCENTES_EIA	B4:75:0E:AB:79:91	-77	11	b, g, n	144.4 Mbps
eduroam	00:17:E0:0A:00:30	-81	1	b, g	54 Mbps
[Hidden]	DC:CE:C1:72:92:E4	-76	11	g, n	216.7 Mbps
soporte	DC:CE:C1:72:92:E2	-76	11	g, n	216.7 Mbps
[Hidden]	DC:CE:C1:72:8C:04	-60	11	g, n	216.7 Mbps
ESPOCH-PORTAL-EXT	DC:CE:C1:72:92:E0	-71	11	g, n	216.7 Mbps
soporte	DC:CE:C1:72:8C:02	-59	11	g, n	216.7 Mbps
ESPOCH-PORTAL-EXT	DC:CE:C1:72:8C:00	-58	11	g, n	216.7 Mbps
eduroam	DC:CE:C1:72:8C:01	-58	11	g, n	216.7 Mbps
soporte	DC:CE:C1:72:87:D2	-79	6	g, n	216.7 Mbps
ESPOCH-PORTAL-EXT	00:26:98:EC:65:00	-80	11	g	54 Mbps
ESPOCH-PORTAL-EXT	DC:CE:C1:72:87:D0	-78	6	g, n	216.7 Mbps
FM-UCOMPUTO	48:F8:B3:1D:55:B8	-85	1	b, g, n	144.4 Mbps
ESPOCH-PORTAL	00:26:99:F0:CC:30	-89	4	b, g	54 Mbps

Figura 15-2 Monitoreo exterior edificio principal FIE

Fuente: Capturas tomadas con "Acrylic WIFI", 2017

2.5.3 Modelo óptimo

En el modelo óptimo se propone aplicar el diseño mosaico hexagonal únicamente en las salas de profesores de la Escuela de Ingeniería Electrónica en Telecomunicaciones; en la sala de profesores de la planta baja del modular de electrónica hay un total de 14 docentes, en el edificio principal de la FIE en el piso 1 se encuentran 14 docentes y en el piso 2 se ubican 16 docentes.

A continuación, se presentan los planos de las oficinas mencionadas con los puntos de acceso requeridos para cubrir el área, *Figura 16-2*, *Figura 17-2*, *Figura 18-2* y *Figura 19-2*.

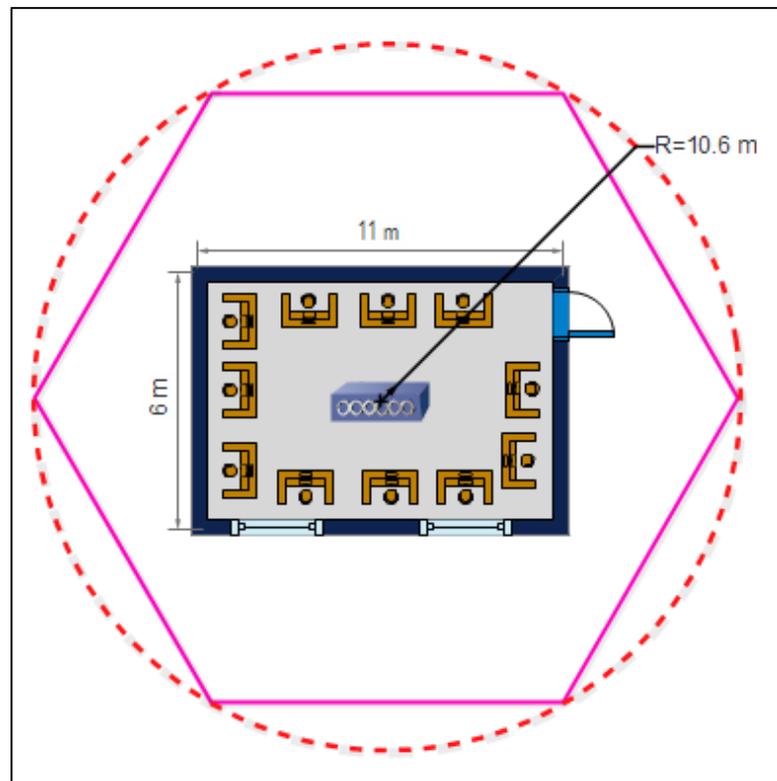


Figura 16-2 Modelo óptimo, sala de profesores, Modular de Electrónica, planta baja
Realizado por: Marilu Torres Romero, 2017

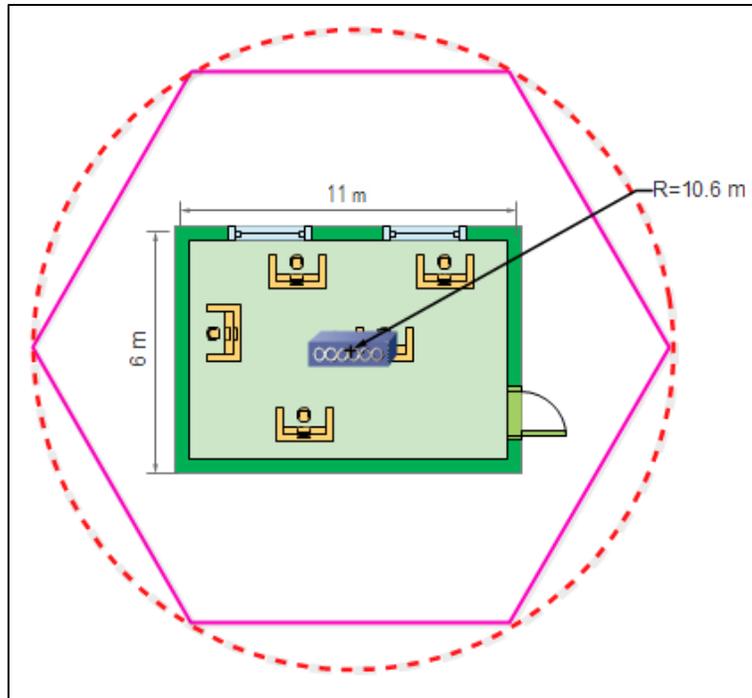


Figura 17-2 Modelo óptimo, sala de profesores, Modular de Electrónica, piso 1
 Realizado por: Marilu Torres Romero, 2017

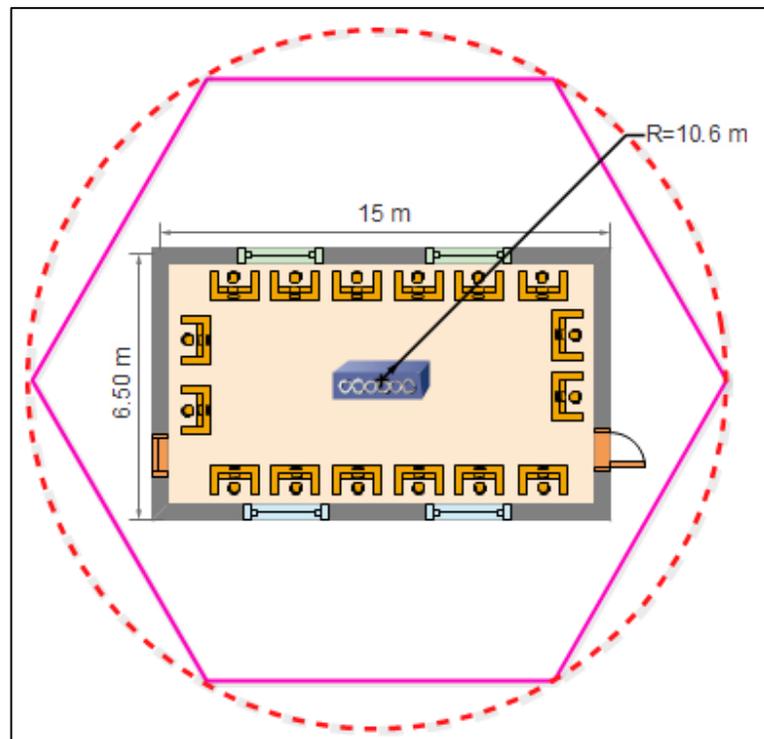


Figura 18-2 Modelo óptimo, sala de profesores, edificio FIE, piso 1
 Realizado por: Marilu Torres Romero, 2017

2.5.4 Modelo propuesto

El modelo que se propone es reubicar e implementar ciertos puntos de acceso en las salas de profesores.

En la *Figura 20-2* se muestra la cobertura que ofrece el equipo ubicado en el interior del modular de electrónica y según la *Figura 21-2* que indica la intensidad de señal recibida en una de las esquinas que sería el peor de los casos, no existe una buena recepción, por lo que se propone reubicar el punto de acceso al centro de la sala de profesores como se aprecia en la *Figura 16-2*.

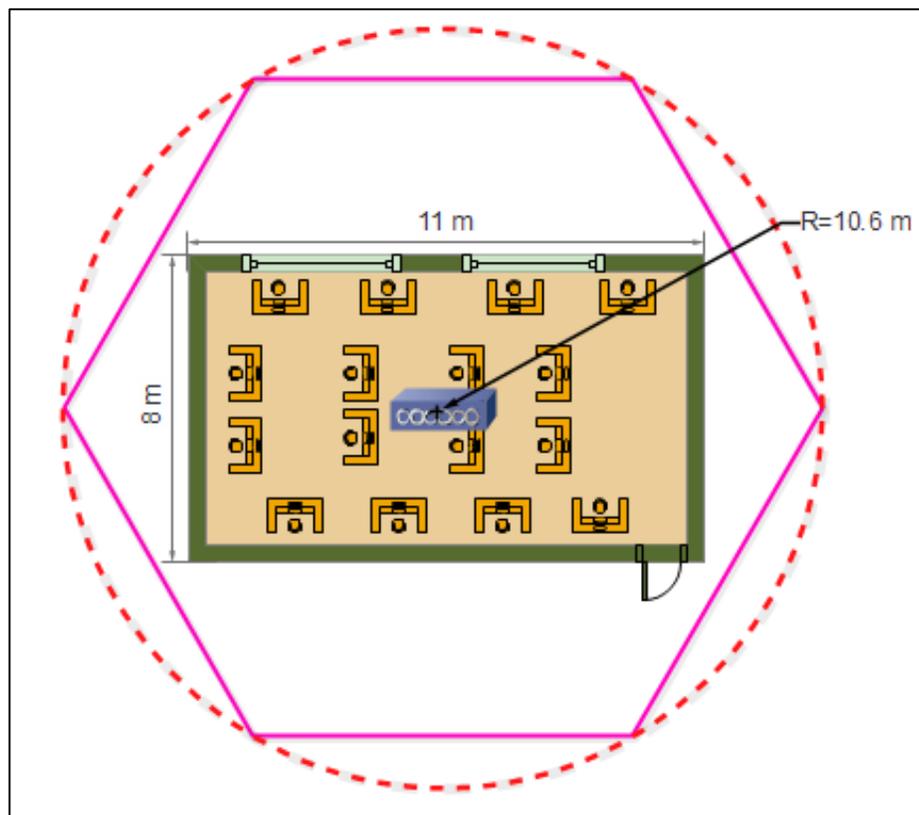


Figura 19-2 Modelo óptimo, sala de profesores, edificio FIE, piso 2
Realizado por: Marilu Torres Romero, 2017

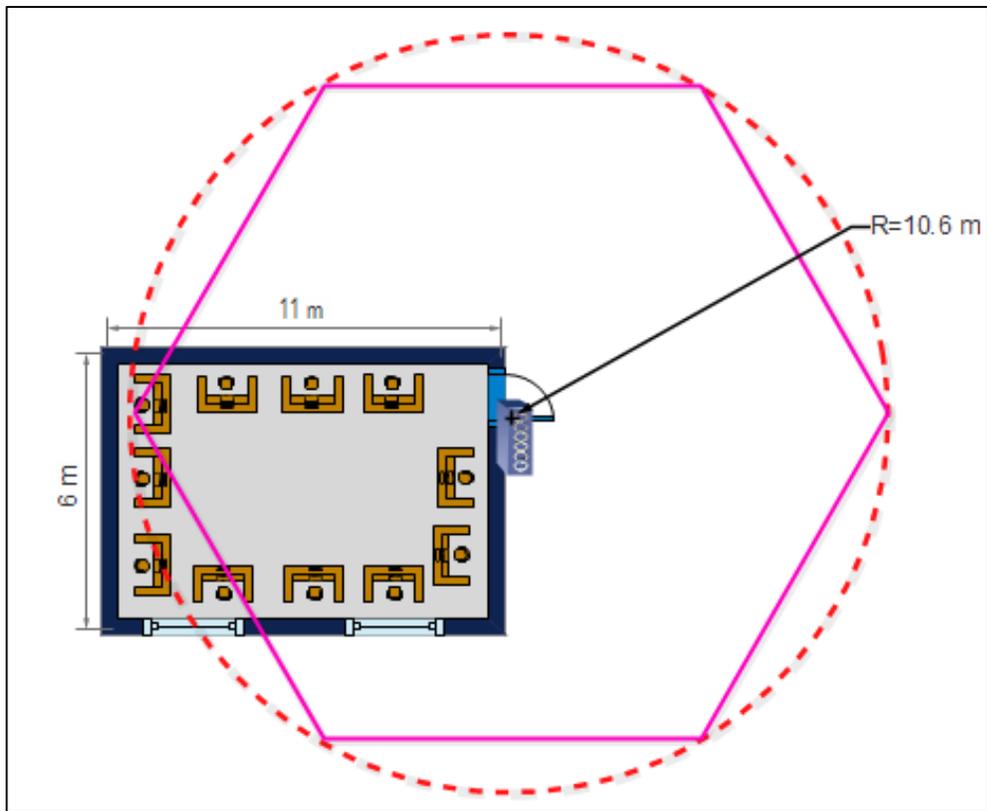


Figura 20-2 Cobertura del AP ubicado en el interior del modular de Electrónica
 Realizado por: Marilu Torres Romero, 2017

SSID	MAC Address	RSSI	Chan	802.11	Max Speed
PETROLEOS	6C:72:20:67:DB:A0	-86	1	b, g, n	150 Mbps
Netlife-Nuevo	48:F8:B3:2D:26:4A	-89	1	b, g, n	144.4 Mbps
ESPOCH-PORTAL	D8:B1:90:B8:F3:10	-76	1	g, n	216.7 Mbps
eduroam	D8:B1:90:B8:F3:12	-76	1	g, n	216.7 Mbps
CONTROL	90:94:E4:B1:AE:C6	-86	10+6	b, g, n	150 Mbps
TP-LINK_9A450C	10:FE:ED:9A:45:0C	-89	8+4	b, g, n	300 Mbps
Network-97187831	00:14:D1:A9:78:31	-95	6+2	b, g, n	300 Mbps
dd-wrt	48:F8:B3:1D:55:86	-82	6	b, g, n	144.4 Mbps
eduroam	DC:CE:C1:72:88:F1	-54	11	g, n	216.7 Mbps
desmotivado	02:11:E1:EF:83:EC	-94	1	b, g, n	72.2 Mbps
RESIDENCIA	00:15:6D:EE:5B:21	-87	2	b, g	54 Mbps
BETTY R1	10:BE:F5:D8:2E:D8	-91	1	b, g, n	300 Mbps
ESPOCH-PORTAL	DC:CE:C1:72:88:F0	-55	11	g, n	216.7 Mbps
CIENCIAS QUIMICA	F0:7D:68:8D:A5:9C	-91	1+5	b, g, n	150 Mbps

Figura 21-2 Señal recibida en el peor de los casos, modular de Electrónica
 Fuente: Software "Acrylic WIFI", 2017

Para la sala de profesores del piso 1 y 2 del edificio principal de la FIE, se propone la ubicación de un punto de acceso en cada lugar respectivamente, ya que ahí no existen redes emitidas por equipos de cada piso. Los modelos propuestos se pueden observar en las *Figura 18-2* y *Figura 19-2*.

2.6 Diseño del prototipo

El diseño de la red prototipo Bluetooth, es básicamente la conexión entre un dispositivo denominado maestro y otro esclavo, *Figura 22-2*.

La implementación tanto para el esclavo y maestro, se realizó sobre una placa Arduino UNO y un módulo bluetooth HC-05; este prototipo de red tiene un alcance de hasta 20 metros para mantener la conexión.

2.7 Modelos para el posicionamiento indoor por Bluetooth

Para el posicionamiento indoor mediante la tecnología bluetooth es necesario su implementación desde cero. En las siguientes figuras se muestra el modelo óptimo que se debería efectuar como base.

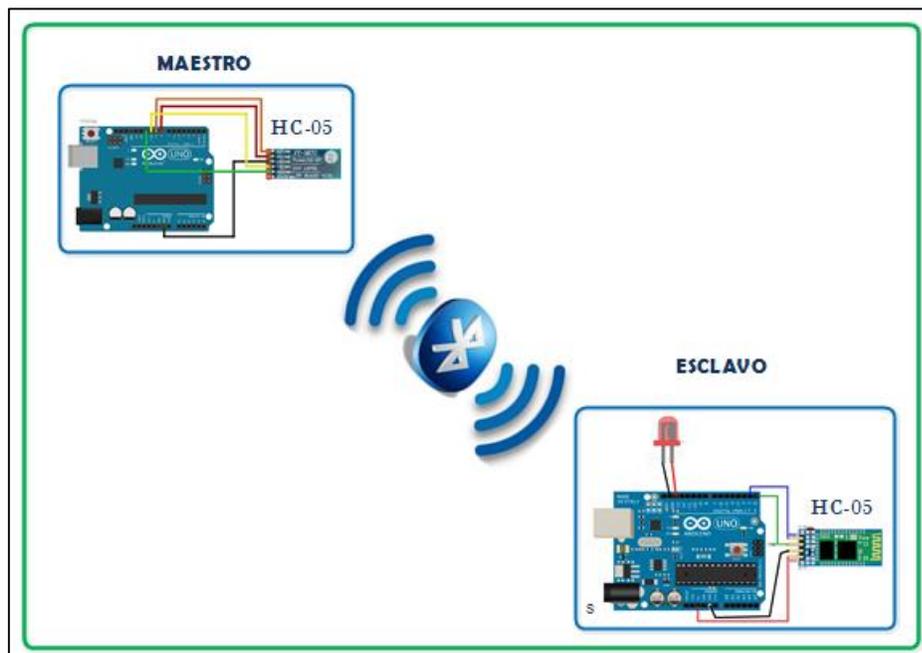


Figura 22-2 Diseño de prototipo de red Bluetooth
Realizado por: Marilu Torres Romero, 2017

El escenario que se presenta es ideal y funcionará correctamente cuando no existan grandes perturbaciones es decir interferencias, obstáculos, multitud de estudiantes u otros.

En la *Figura 23-2* se muestra el número de dispositivos necesarios para la sala de profesores de la planta baja del modular de electrónica, en este caso se requieren de 15 dispositivos de tecnología bluetooth.

La *Figura 23-2* y *Figura 24-2* indican que en cada escenario propuesto se forma un scatternet de dos piconets y en la *Figura 25-2* se forma un scatternet de tres piconets ya que se requieren de 17 dispositivos.

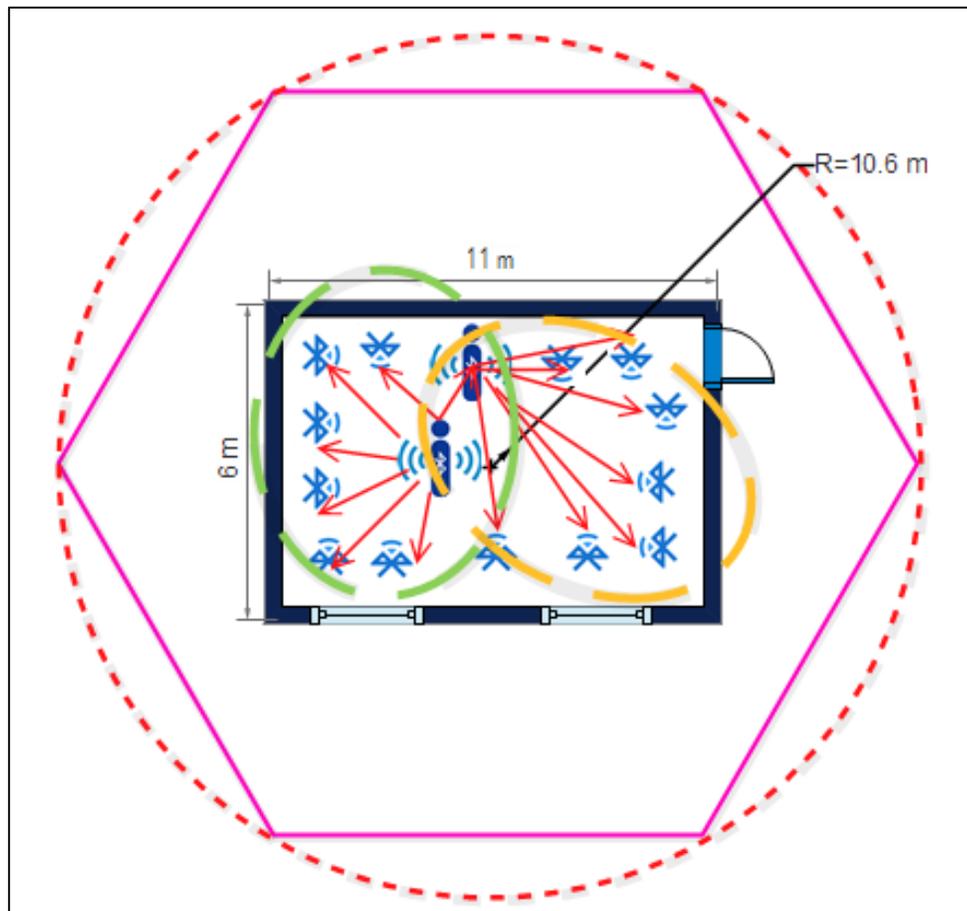


Figura 23-2 Red con tecnología Bluetooth, modular Electrónica, planta baja
Realizado por: Marilu Torres Romero, 2017

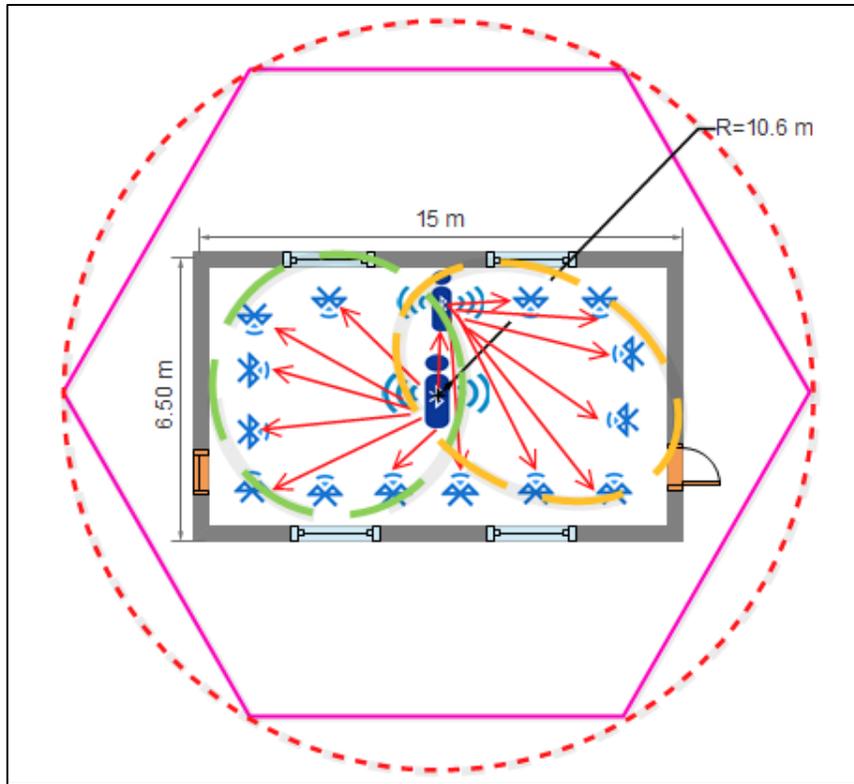


Figura 24-2 Red con tecnología Bluetooth, edificio principal FIE, piso 1
 Realizado por: Marilu Torres Romero, 2017

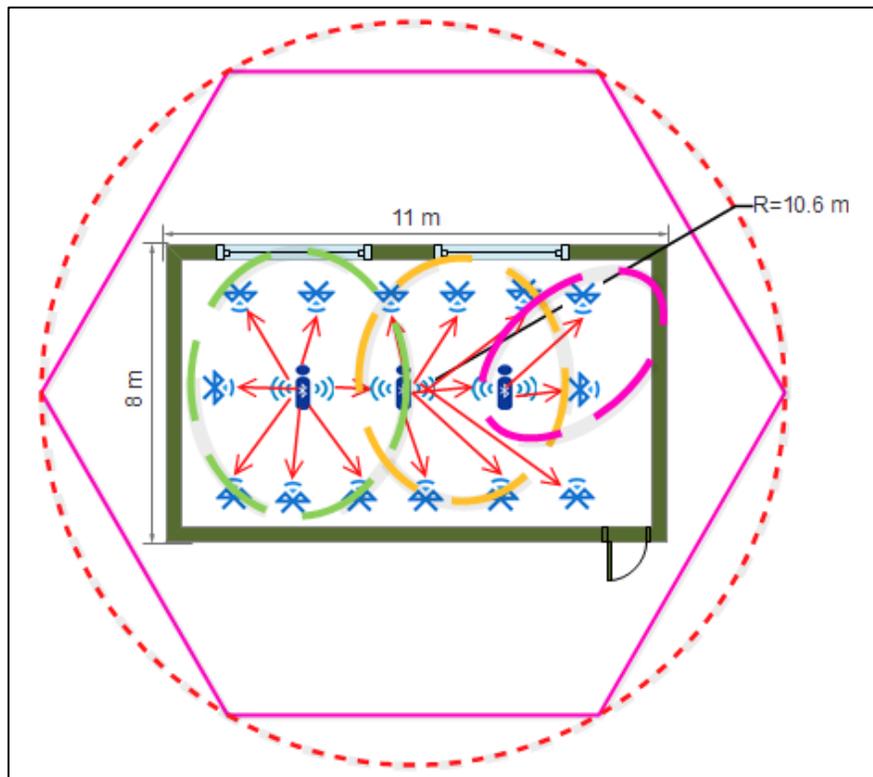


Figura 25-2 Red con tecnología Bluetooth, edificio principal FIE, piso 2
 Realizado por: Marilu Torres Romero, 2017

2.7.1 Verificación de conexión

En la siguiente figura se muestra la conexión establecida en el prototipo de red bluetooth, esta conexión se pierde al exceder la distancia máxima de cobertura o cuando se presentan grandes obstáculos que no permiten su correcto funcionamiento.

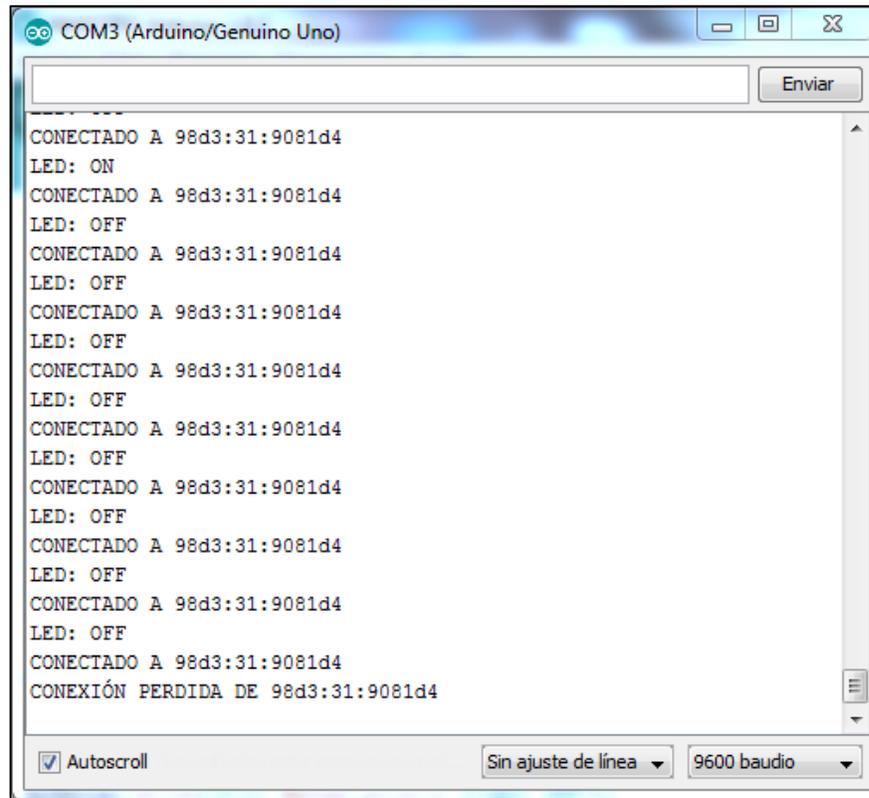


Figura 26-2 Conexión en el prototipo de red bluetooth
Realizado por: Marilu Torres Romero, 2017

2.8 Base de datos para verificación de conexión.

Se debe realizar la asignación de la dirección MAC de un dispositivo Wi-Fi o Bluetooth a cada docente de todas las salas de profesores, para crear una base de datos con esta información que permita verificar la conexión de los dispositivos, para lo cual se propone el siguiente modelo, *Tabla 2-2*.

2.9 Prueba de conexión de dispositivos

Para las pruebas de conexión a los puntos de acceso en la red Wi-Fi de la EIE-TR de la FIE, se ingresó a la controladora Cisco 5508 a la cual están enlazados todos los AP's y se verificó la conexión de los dispositivos de prueba, en esta instancia trabajó el protocolo ARP el cual se encarga de asociar cada dirección IP con las direcciones MAC de los dispositivos y a partir de esto se generó un reporte de las conexiones.

Además, se implementó un prototipo de red Wi-Fi para realizar las pruebas de cobertura en las salas de profesores donde no se recepa ninguna señal emitida por los puntos de acceso ubicados para la EIE-TR.

La *Figura 21-2* indica un RSSI bastante bajo de -76dBm que se recepa en las esquinas de la sala de profesores de la planta baja del modular de electrónica, para este caso, se realizó las pruebas en el lugar de trabajo del Ing. Patricio Romero. A continuación, se realizó una prueba con el prototipo de red Wi-Fi para verificar que, si se coloca este equipo en el centro, la señal va a abastecer a toda la sala.

En la *Figura 27-2* se puede observar el RSSI de "RED Prueba" tomado en el mismo lugar del Ing. Patricio Romero, este valor que se presenta es muy bueno a comparación del valor anterior de la red "ESPOCH-PORTAL" que emite el equipo instalado para el lugar.

Tabla 2-1 Conexión de dispositivos de cada docente

USUARIO	MAC Address	LUGAR
Ing. Patricio Romero	14:30:c6:fe:84:e3	Modular de electrónica
Ing. Jose Luis Morales	48:45:20:c9:e2:cb	Modular de electrónica
Ing. Edwin Altamirano	14:30:c6:fe:84:e3	Modular de electrónica
Ing. Mónica Zabala	50:9e:a7:d4:71:69	Edificio principal de la FIE
Ing. Fabricio Santacruz	14:1f:78:1b:a4:eb	Edificio principal de la FIE
Ing. Lourdes Zúñiga	bc:44:86:ec:1e:39	Edificio principal de la FIE
Dr. Mario Paguay	bc:44:86:ec:1e:39	Edificio principal de la FIE
Ing. Oswaldo Martínez	00:5a:13:2a:db:69	Edificio principal de la FIE

Realizado por: Marilu Torres Romero, 2017

Para comprobar la conexión del dispositivo del Ing. Patricio Romero, se ingresó al equipo de prueba y se comparó la MAC Address 04:D3:CF:EC:D0:3C del dispositivo con el registro de las conexiones, *Figura 28-2*.

Según los resultados obtenidos, se concluye que para cubrir el área de la sala de profesores de la planta baja del modular de electrónica se debe reubicar el equipo al centro del área de la sala de profesores de la planta baja del modular de electrónica.

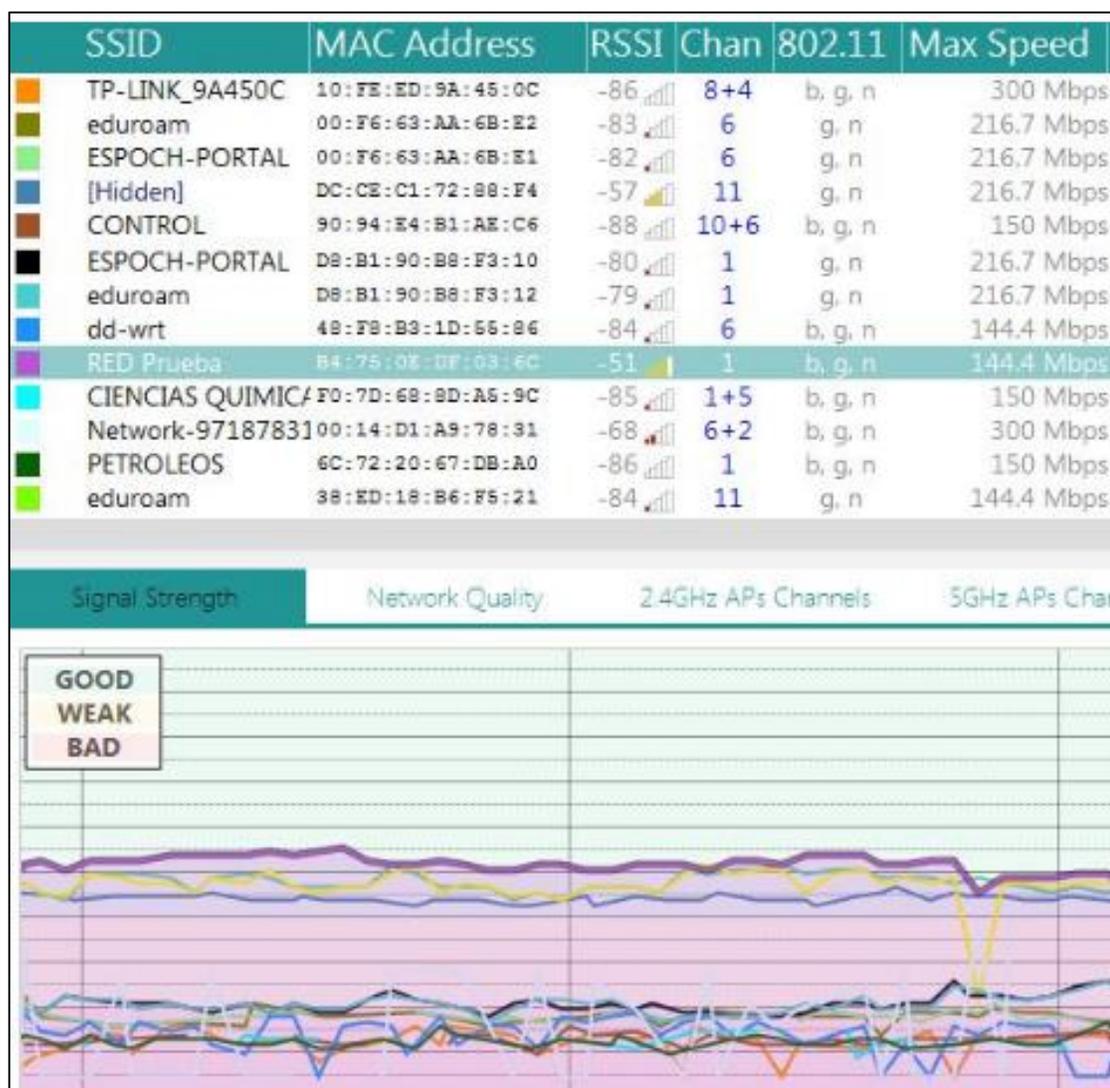


Figura 27-2 Monitoreo de prototipo de red en la sala de profesores del modular de electrónica.
Fuente: Software “Acrylic Wi-Fi”

En el ANEXO 1 se observa la conexión del dispositivo de prueba del Ing. Patricio Romero, que logró conectarse a la red, pero la conexión fue inestable porque se hizo desde una de las esquinas donde el punto de acceso no tenía una buena recepción de señal.

Para las salas de profesores ubicadas en el piso 1 y 2 del edificio principal de la FIE, tal como se muestra en la Figura 29-2 y Figura 30-2, no existe buena recepción de señal emitidas por los equipos.

Para las salas de profesores del edificio principal de la FIE, de igual forma, se realizaron las pruebas necesarias mediante un equipo “TP-Link”, con SSID “Sala FIE” ubicado en el centro de cada sala. En la Figura 31-2 y Figura 32-2, se muestra la recepción de la señal en una de las esquinas que sería el peor de los casos, además, se observa una disminución de la señal, ya que el monitoreo se realizó primeramente en el centro del lugar y luego en una de las esquinas, pero aun así se presentó una buena recepción que permite trabajar sin ninguna complicación.

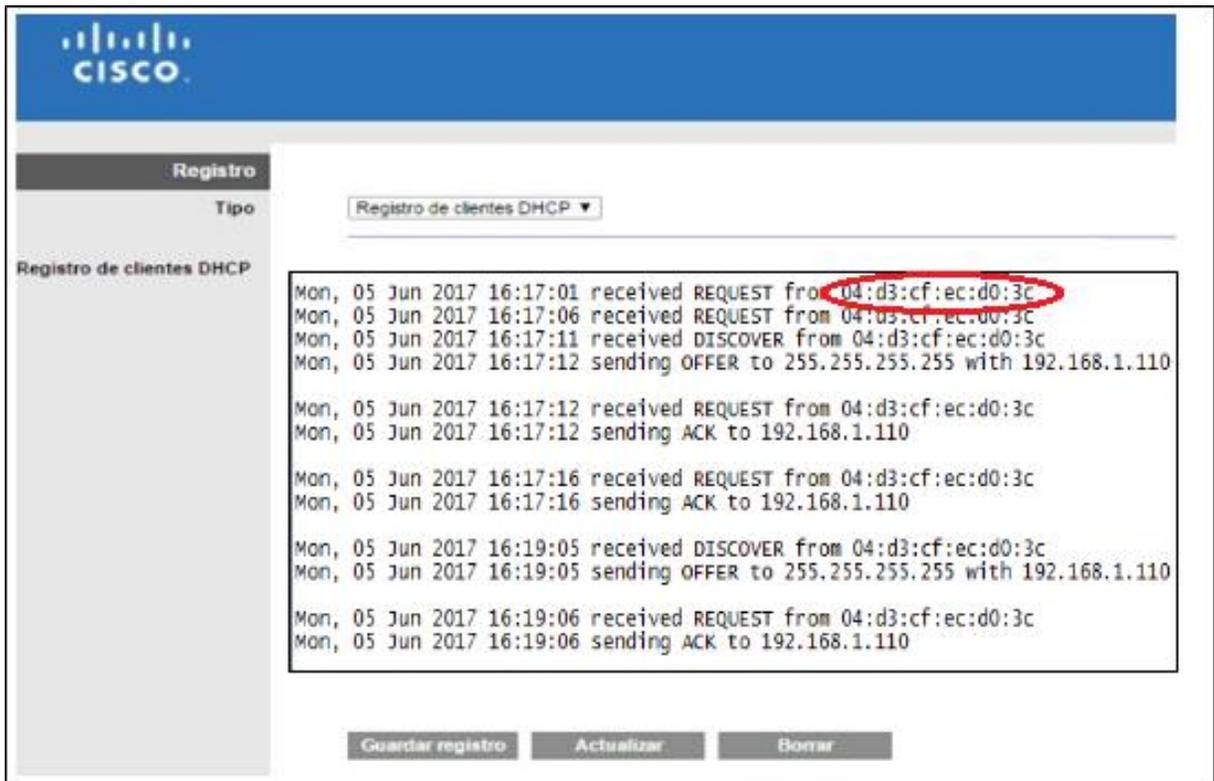


Figura 28-2 Conexión del dispositivo a la red de prueba

Fuente: Registro de conexiones del equipo de prueba, 2017

SSID	MAC Address	RSSI	Chan	802.11	Max Speed
DOCENTESEIA	B4:75:0E:AB:74:AA	-83	1	b, g, n	144.4 Mbps
Netlife-Patricio Yan	08:96:AD:CF:FA:10	-90	1	b, g, n	144.4 Mbps
eduroam	0C:F5:A4:EE:56:F2	-80	1	g, n	144.4 Mbps
SANTORUM	26:6D:57:65:81:29	-87	11	g, n	150 Mbps
FM-UCOMPUTO	48:F8:B3:1D:55:B8	-85	1	b, g, n	144.4 Mbps
[Hidden]	0A:0E:DC:44:89:C2	-83	9	b, g, n	144.4 Mbps
ESPOCH-WiFi	64:00:F1:14:02:D0	-91	5	b, g, n	300 Mbps
ESPOCH-PORTAL	00:26:99:F0:CC:30	-91	4	b, g	54 Mbps
Sarita	88:53:D4:B2:2B:00	-85	11+7	b, g, n	270 Mbps
LUNA	F8:D1:11:90:2F:8A	-89	7+3	b, g, n	150 Mbps
Andreita	88:C6:8E:8D:9D:38	-85	11	b, g, n	65 Mbps
FM_DIRECCION_EI/	B4:75:0E:AB:79:DC	-88	6	b, g, n	144.4 Mbps
KnhEcuador	58:6D:8F:E0:74:DE	-90	6	b, g, n	144.4 Mbps

Figura 29-2 Monitoreo de redes en la sala de profesores del primer piso del edificio principal de la FIE

Fuente: Software “Acrylic Wi-Fi”

SSID	MAC Address	RSSI	Chan	802.11	Max Speed
ESPOCH-PORTAL	0C:F5:A4:EE:56:F1	-80	1	g, n	144.4 Mbps
eduroam	0C:F5:A4:EE:56:F2	-80	1	g, n	144.4 Mbps
DOCENTES_EIA	B4:75:0E:AB:79:91	-88	1	b, g, n	144.4 Mbps
eduroam	DC:CE:C1:72:8F:C2	-77	6	g, n	216.7 Mbps
ESPOCH-PORTAL	DC:CE:C1:72:8F:C1	-77	6	g, n	216.7 Mbps
ESPOCH-PORTAL	0C:F5:A4:EE:4F:A1	-85	1	g, n	144.4 Mbps
eduroam	0C:F5:A4:EE:4F:A2	-85	1	g, n	144.4 Mbps
ESPOCH-WIFI-P2	48:F8:B3:1D:54:87	-86	6	b, g, n	144.4 Mbps
Netlife-Patricio Yan	08:96:AD:CF:FA:10	-90	1	b, g, n	144.4 Mbps

Figura 30-2 Monitoreo de redes en la sala de profesores del segundo piso del edificio principal de la FIE

Fuente: Software “Acrylic Wi-Fi”

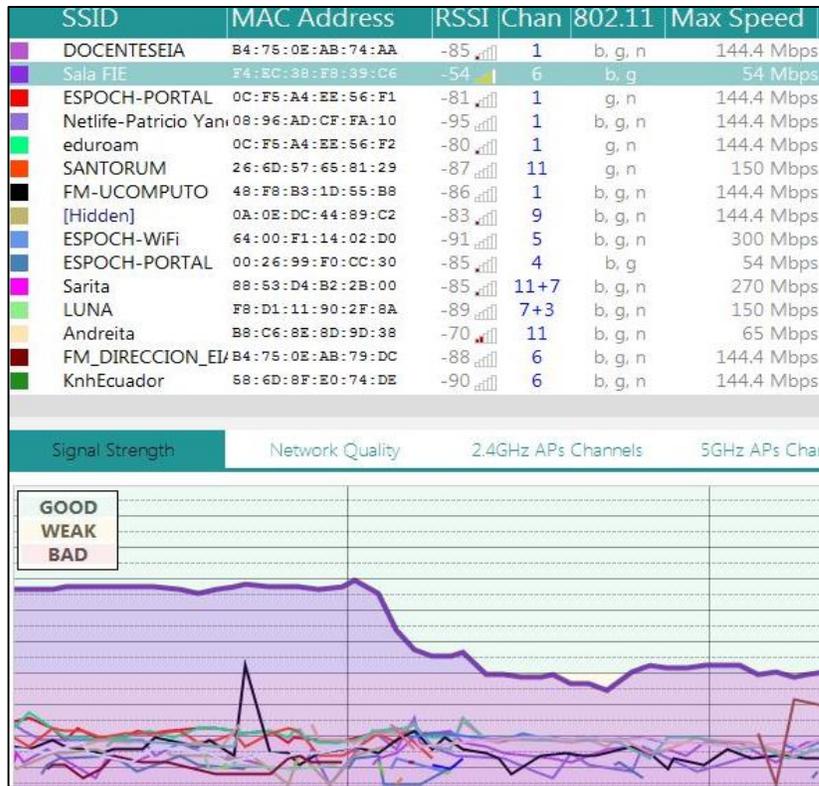


Figura 31-2 Monitoreo de red de prueba, piso 1, edificio principal de la FIE
Fuente: Software "Acrylic Wi-Fi"

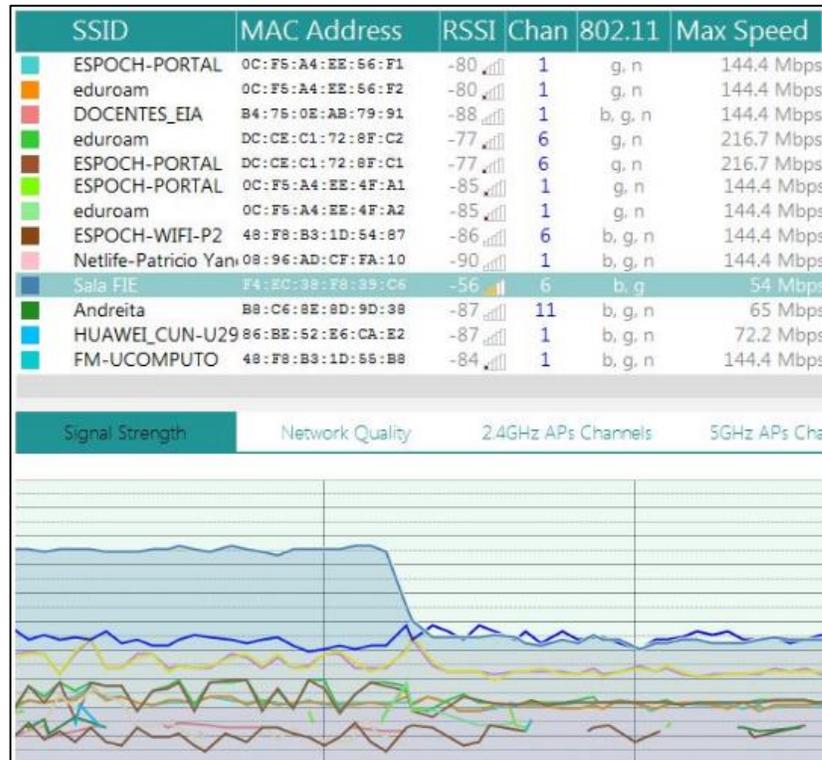


Figura 32-2 Monitoreo de red de prueba, piso 2, edificio principal de la FIE
Fuente: Software "Acrylic Wi-Fi"

CAPÍTULO III

3 ANÁLISIS Y RESULTADOS

A partir del análisis, para la red con tecnología Wi-Fi, se propone utilizar la infraestructura actual para el posicionamiento interno, que requiere la reubicación de un equipo y la implementación de dos puntos de acceso.

Para utilizar la red con tecnología bluetooth para el posicionamiento indoor, se propone el desarrollo de la infraestructura para cada sala de profesores para lo cual se requiere implementar un equipo que inicialmente actuará como maestro y un receptor para cada docente.

3.1 Análisis comparativo de tecnologías para el posicionamiento interno

Después de las propuestas de diseño y en base a las condiciones del estudio, para la comparación de la tecnología Wi-Fi se toma en cuenta el modelo real, esta tecnología resulta adecuada ya que permite reutilizar y optimizar la red existente, mientras que, para la tecnología Bluetooth, al no existir una infraestructura previa, se parte de cero y se propone un prototipo de red bluetooth óptimo diseñada específicamente para el posicionamiento, *Tabla 1-3*.

3.1.1 Ponderación de parámetros

Los parámetros que se toman en cuenta para obtener la ponderación son: topología de red, frecuencia, velocidad de datos, rango, consumo de energía, costo, equipos necesarios, infraestructura y centralización del sistema.

En base a la *Tabla 3-3* se elige la tecnología Wi-Fi como la más viable para el posicionamiento interno en la FIE.

Tabla 1-3 Comparación de parámetros de tecnologías

FACTORES	Wi-Fi	Bluetooth
TOPOLOGÍA DE RED	Estrella	Estrella
FRECUENCIA	2.4 o 5 GHz	2.4 GHz
VELOCIDAD DE DATOS	11 o 54 Mbps	1 a 3 Mbps
RANGO	Hasta 100 metros	Hasta 18 metros
CONSUMO DE ENERGÍA	Alto	Bajo
COSTO	Alto	Bajo
EQUIPOS NECESARIOS	3 puntos de acceso	47 dispositivos
INFRAESTRUCTURA	Nodos Wi-Fi existentes	A ser desarrollada
CENTRALIZACIÓN DEL SISTEMA	Si	No

Realizado por: Marilu Torres Romero, 2017.

Tabla 2-3 Valores de ponderación

VALORES DE PONDERACIÓN	
Muy bueno	76 -100
Bueno	51 -75
Regular	26 -50
Malo	0 – 25

Realizado por: Marilu Torres Romero, 2017.

Tabla 3-1 Ponderación de resultados

FACTORES	Wi-Fi	Bluetooth
TOPOLOGÍA DE RED	80	80
FRECUENCIA	100	50
VELOCIDAD DE DATOS	80	5
RANGO	100	18
CONSUMO DE ENERGÍA	0	100
COSTO	0	100
EQUIPOS NECESARIOS	90	5
INFRAESTRUCTURA	100	100
CENTRALIZACIÓN DEL SISTEMA	100	0
TOTAL	72.22%	50.89%

Realizado por: Marilu Torres Romero, 2017.

CONCLUSIONES

- Se puede hacer uso de la tecnología Bluetooth para el posicionamiento indoor en la Facultad de Informática y Electrónica, pero esta presenta ciertas desventajas y limitaciones a comparación de la tecnología Wi-Fi en la que se puede reutilizar la infraestructura ya implementada.
- Este estudio está enfocado al posicionamiento de los docentes de la EIE-TR en las salas de profesores basados en el diseño real propuesto, el mismo que sugiere la reubicación de un AP en el modular de electrónica y la instalación de dos AP's en el edificio principal en los pisos 1 y 2 de la FIE logrando así cubrir la totalidad de las salas.
- El modelo de diseño de ubicación de los AP's depende de la infraestructura de estudio, al ser la sala de profesores el punto de análisis, se considera un ambiente de oficina típica en donde se debe tomar en cuenta la resolución de posicionamiento y los valores de "X" y "Y" que son el ancho y largo de la figura del área de cobertura respectivamente.
- La ubicación de los puntos de acceso resulta a partir de los modelos existentes para el posicionamiento indoor, de las cuales depende el rendimiento y cobertura en base a la forma y radio. El modelo mosaico hexagonal tiene la ventaja de usar un 7% menos de puntos de acceso que el modelo mosaico cuadrado y 12% menos que el triangular, aunque con su uso se pueden presentar problemas en las esquinas del área.
- En base a la configuración del pool DHCP en cada punto de acceso, la capacidad de conexión es escalable, mientras que la red bluetooth presenta limitaciones en cuanto al número de dispositivos que se pueden conectar ya que una piconet puede conformarse de 8 dispositivos y dentro de un área solo pueden trabajar un máximo de 10 piconets que forman un scatternet.
- Para utilizar la tecnología bluetooth en el posicionamiento indoor se deben adquirir un total de 47 equipos para ser distribuidos en las diferentes salas de profesores, mientras que para la tecnología Wi-Fi, se requieren de 2 puntos de acceso.
- Los parámetros comunes en las tecnologías en estudio y que se compararon fueron la topología de red, frecuencia, velocidad de datos, rango, consumo de energía, costo, equipos

necesarios, infraestructura y centralización del sistema y en base a la ponderación de los valores de los parámetros de las tecnologías, se elige Wi-Fi, ya que esta resulta con un 72,22% con ventajas sobre bluetooth y mayor alcance.

➤ Los puntos de acceso de la red actual de la FIE fueron instalados para proveer de conexión a los estudiantes, esta red no fue considerada para servicios como el posicionamiento, es por eso, que la ubicación de estos equipos no coincide con el modelo óptimo diseñado.

RECOMENDACIONES

- Durante el desarrollo del trabajo de titulación se mencionan los diferentes modelos de diseño de los cuales el denominado como modelo propuesto que se diseñó bajo condiciones óptimas es el que se debe ejecutar en las tres salas de los docentes de la EIE-TR.
- Respecto al registro de los equipos asignados a cada docente, se sugiere que existan puntos de acceso específicamente para ellos y de esta forma continuar con la base de datos ya establecida.
- Así mismo, se recomienda que los puntos de acceso designados para los docentes se configuren en un canal diferente al de 2.4 GHz, como puede ser el de 5 GHz, para de esta forma evitar interferencias y problemas de utilidad de la red.
- Los dispositivos con tecnología Wi-Fi de los docentes, deben estar registradas en el D-TIC para de esta forma aplicar políticas de administración de red, para controlar la ubicación de los profesores en su lugar de trabajo bajo sus horarios establecidos.
- Para la instalación de los nuevos AP's se recomienda el uso de equipos administrables y similares a los ya instalados "Cisco AIR CAP 3501I-A-K9".
- Para el modelo propuesto que se plantea, el posicionamiento es limitado, únicamente para las salas de profesores, pero en caso de requerir el posicionamiento en las aulas se debe optar por el diseño óptimo que cubre la totalidad de las instalaciones.
- Con la información generada a partir de este estudio, se propone desarrollar a futuro un sistema de posicionamiento en tiempo real, tomando en cuenta las técnicas y algoritmos de posicionamiento. Este sistema debe orientarse no solo para los computadores sino para los Smartphones a través de aplicaciones, ya que hoy en día casi todas las personas utilizan uno de estos.

BIBLIOGRAFÍA

Acrylic Wifi, [Citado el: 18 Mayo 2017] [En línea] Disponible en: <https://www.acrylicwifi.com/>.

ARDUINO. *Arduino*. [Citado el: 20 Mayo 2017] [En línea] Disponible en: <https://www.arduino.cc/>

BARBA, F. B. Estudio de algoritmos de localización en interiores, para tecnologías móviles de última generación (tesis).(Maestría) Universidad Politécnica de Madrid, España 2012 [Citado el: 6 Mayo 2017] [En línea] Disponible en: http://www.dit.upm.es/~posgrado/doc/TFM/TFMs2011-2012/TFM_Felix_Barba_2012.pdf

Bean Features. PunchThrough. [En línea] [Citado el: 10 Marzo 2017] Disponible en: <https://punchthrough.com/bean/docs/guides/features/ibeacon/&prev=search/>

Bluetooth Beacons & Location Solutions. [En línea] [Citado el: 8 Abril 2017] Disponible en: <https://kontakt.io/>

Bluetooth SIG. 2017. [Citado el: 3 Abril 2017] [En línea] Disponible en: <https://www.bluetooth.com/what-is-bluetooth-technology/discover-bluetooth>

Estimote. 2013 [En línea] [Citado el: 3 Abril 2017] Disponible en: <https://estimote.com/>

Google Play. [Citado el: 20 Mayo 2017] [En línea] Disponible en: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.farproc.wifi.analyzer&hl=es_419

IEEE-SA. IEEE standards association 2014. [Citado el: 2 Mayo 2017] [En línea] Disponible en: <https://standards.ieee.org/>

Islas, Luis. F. V. Coexistencia de Redes WLAN & WPAN, (tesis de pregrado) Universidad de las Américas, Puebla 2011. [Citado el: 8 Abril 2017] [En línea] Disponible en: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/valle_i_lf/

JAKL, A. *Microsoft*. 2015 [En línea] [Citado el: 21 Mayo 2017]. Disponible en: <https://www.microsoft.com/es-ec/store/p/bluetooth-beacon-interactor/9nblggh1z24k>

MÉNDEZ, Ulises. *330 ohms*. 2017 [En línea] [Citado el: 20 Abril 2017]. Disponible en: <https://www.330ohms.com/blogs/blog/que-es-el-bluetooth>

Que es y para que sirve una API. 2016 [En línea] Disponible en: <http://www.internetya.com/que-es-y-para-que-sirve-una-api/> [Citado el: 21 Mayo 2017].

QUILLAY GUARACA, I. I.; & MACAS CARRASCO, J. J., 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 (tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba 2017. [Citado el: 10 Marzo 2017]. [En línea] Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/5442#sthash.haMk7yTG.dpuf>

Reina, D. G., Eficiencia y seguridad en Bluetooth y Zigbee (tesis de pregrado), Universidad de Sevilla España 2009, [Citado el: 25 Abril 2017]. [En línea] Disponible en: http://bibing.us.es/proyectos/buscar/sistema+pasarela+bluetooth+para+una+red+de+sensores+zigbee/en/todo/and//en/todo/limitado_a/todos/entre/1970/y/2017///1

SAMSUNG. *Samsung Support*. [En línea] [Citado el: 25 Abril 2017] Disponible en: <http://www.samsung.com/co/support/skp/faq/406370>

SAUCEDO, C. I., Sistema pasarela bluetooth para una red de sensores zigbee (tesis de pregrado) Universidad Nacional de México, México 2011. [Citado el: 16 Abril 2017], [En línea] Disponible en: <http://132.248.52.100:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/229>.

TORNATORE, E. & WEBER, M., *Boston Children's Hospital*. 2012. [En línea] [Citado el: 7 Marzo 2017]. Disponible en: <http://www.childrenshospital.org/news-and-events/2012/april-2012/boston-childrens-hospital-launches-new-myway-mobile-app>

ANEXOS

ANEXO A: Reporte de conexiones a la controladora, generado en “CISCO Prime Infraestructure”, Departamento de Monitoreo de Redes D-TIC.

Client IP Address	Client MAC Address	Association Time	Vendor	AP Name	Device Name	Map Location	SSID	Profile	Protocol	Session Duration
10.32.11.100	00:87:01:d5:92:34	2017-Jun-06, 08:19:27 ECT	Unknown	AP-FIE-ELE-PROF	WLC_ESPOCH	Root Area	ESPOCH-PORTAL	ESPOCH-PORTAL	802.11n(2.4 GHz)	1hrs0min 51sec
10.32.29.237	00:87:01:d5:92:34	2017-Jun-06, 11:28:52 ECT	Unknown	AP-FIE-ELE-PROF	WLC_ESPOCH	Root Area	ESPOCH-PORTAL	ESPOCH-PORTAL	802.11n(2.4 GHz)	25min 8sec
10.32.29.237	00:87:01:d5:92:34	2017-Jun-06, 11:18:26 ECT	Unknown	AP-FIE-ELE-PROF	WLC_ESPOCH	Root Area	ESPOCH-PORTAL	ESPOCH-PORTAL	802.11n(2.4 GHz)	5min 9sec
10.32.3.222	00:f8:1c:a5:b0:42	2017-Jun-06, 11:07:13 ECT	Unknown	AP-FIE-ELE-PROF	WLC_ESPOCH	Root Area	ESPOCH-PORTAL	ESPOCH-PORTAL	802.11n(2.4 GHz)	11min 9sec
10.32.21.111	04:d3:cf:ec:d0:3c	2017-Jun-06, 09:15:20 ECT	Unknown	AP-FIE-ELE-PROF	WLC_ESPOCH	Root Area	ESPOCH-PORTAL	ESPOCH-PORTAL	802.11n(2.4 GHz)	9min 50sec
10.32.21.111	04:d3:cf:ec:d0:3c	2017-Jun-06, 09:05:06 ECT	Unknown	AP-FIE-ELE-PROF	WLC_ESPOCH	Root Area	ESPOCH-PORTAL	ESPOCH-PORTAL	802.11n(2.4 GHz)	4min 56sec
10.32.21.152	08:ec:a9:6b:7d:a6	2017-Jun-06, 09:31:40 ECT	Unknown	AP-FIE-ELE-PROF	WLC_ESPOCH	Root Area	ESPOCH-PORTAL	ESPOCH-PORTAL	802.11n(2.4 GHz)	11min 5sec
10.32.12.212	68:a3:c4:5e:95:d2	2017-Jun-06, 07:10:27 ECT	Liteon	AP-EXT-FIE-01	WLC_ESPOCH	Root Area	ESPOCH-PORTAL	ESPOCH-PORTAL	802.11n(2.4 GHz)	5min 54sec
10.32.12.212	68:a3:c4:5e:95:d2	2017-Jun-06, 08:10:19 ECT	Liteon	AP-EXT-FIE-01	WLC_ESPOCH	Root Area	ESPOCH-PORTAL	ESPOCH-PORTAL	802.11n(2.4 GHz)	3min 33sec
10.32.12.212	68:a3:c4:5e:95:d2	2017-Jun-06, 07:47:15 ECT	Liteon	AP-EXT-FIE-01	WLC_ESPOCH	Root Area	ESPOCH-PORTAL	ESPOCH-PORTAL	802.11n(2.4 GHz)	5min 2sec
10.32.12.212	68:a3:c4:5e:95:d2	2017-Jun-06, 08:24:04 ECT	Liteon	AP-EXT-FIE-01	WLC_ESPOCH	Root Area	ESPOCH-PORTAL	ESPOCH-PORTAL	802.11n(2.4 GHz)	10min 5sec
10.32.12.212	68:a3:c4:5e:95:d2	2017-Jun-06, 07:57:26 ECT	Liteon	AP-EXT-FIE-01	WLC_ESPOCH	Root Area	ESPOCH-PORTAL	ESPOCH-PORTAL	802.11n(2.4 GHz)	5min 2sec
10.32.12.212	68:a3:c4:5e:95:d2	2017-Jun-06, 08:49:39 ECT	Liteon	AP-EXT-FIE-01	WLC_ESPOCH	Root Area	ESPOCH-PORTAL	ESPOCH-PORTAL	802.11n(2.4 GHz)	10min 2sec
10.32.17.77	08:81:bc:0c:29:f5	2017-Jun-06, 08:10:15 ECT	HongKong	AP-FIE-HALL-01	WLC_ESPOCH	Root Area	ESPOCH-PORTAL	ESPOCH-PORTAL	802.11n(2.4 GHz)	39min 15sec
10.32.24.71	08:d8:33:63:3e:5b	2017-Jun-06, 09:26:29 ECT	Shenzhen	AP-FIE-HALL-01	WLC_ESPOCH	Root Area	ESPOCH-PORTAL	ESPOCH-PORTAL	802.11n(2.4 GHz)	16min 16sec
10.32.30.75	08:d8:33:63:3e:5b	2017-Jun-06, 10:26:28 ECT	Shenzhen	AP-FIE-HALL-01	WLC_ESPOCH	Root Area	ESPOCH-PORTAL	ESPOCH-PORTAL	802.11n(2.4 GHz)	40min 41sec
10.32.24.71	08:d8:33:63:3e:5b	2017-Jun-06, 10:04:28 ECT	Shenzhen	AP-FIE-HALL-01	WLC_ESPOCH	Root Area	ESPOCH-PORTAL	ESPOCH-PORTAL	802.11n(2.4 GHz)	15min 12sec
10.32.24.71	08:d8:33:63:3e:5b	2017-Jun-06, 09:53:09 ECT	Shenzhen	AP-FIE-HALL-01	WLC_ESPOCH	Root Area	ESPOCH-PORTAL	ESPOCH-PORTAL	802.11n(2.4 GHz)	4min 58sec
10.32.21.152	08:ec:a9:6b:7d:a6	2017-Jun-06, 09:58:12 ECT	Unknown	AP-FIE-HALL-01	WLC_ESPOCH	Root Area	ESPOCH-PORTAL	ESPOCH-PORTAL	802.11n(2.4 GHz)	11min 15sec

ANEXO B: Código de comunicación bluetooth, Maestro-Esclavo en Arduino.

```
#include <SoftwareSerial.h>

SoftwareSerial mySerial (2,3); //Definimos a pin 2 como Rx y a pin 3 como
Tx
unsigned long tiempo = 0;
unsigned long t_actualizado = 0;
unsigned long t_delay = 10;
void setup() {
Serial.begin (9600);          // Inicializamos la comunicación serial
mySerial.begin (9600);

}

void loop() {
tiempo = millis();

if ( tiempo < t_actualizado + t_delay ){
mySerial.write('1'); Serial.println ("LED: ON");

}
if (tiempo >= t_actualizado + t_delay) {
mySerial.write('0'); Serial.println ("LED: OFF");
t_actualizado = tiempo;
}
}
```

```
#include <SoftwareSerial.h>

int led=13;    //Pin de salida para el LED
int DATO=0;    // Variable de lectura serial

void setup() {
pinMode (led, OUTPUT);
digitalWrite (led, LOW);
Serial.begin (9600);

}

void loop() {

if (Serial.available(>0) {
DATO= Serial.read();
```

```
if (DATO == '0') {
    digitalWrite (led, LOW);
    Serial.println ("LED: OFF");
    Serial.println ("CONECTADO A 98d3:31:9081d4"); }

    if (DATO == '1') {
        digitalWrite (led, HIGH);
        Serial.println ("LED: ON");
        Serial.println ("CONECTADO A 98d3:31:9081d4");}
if (Serial.available()==0) {
    Serial.println ("CONEXIÓN PERDIDA DE 98d3:31:9081d4");
}
}
}
```

ANEXO C: Instalaciones de la FIE donde se realizó el estudio



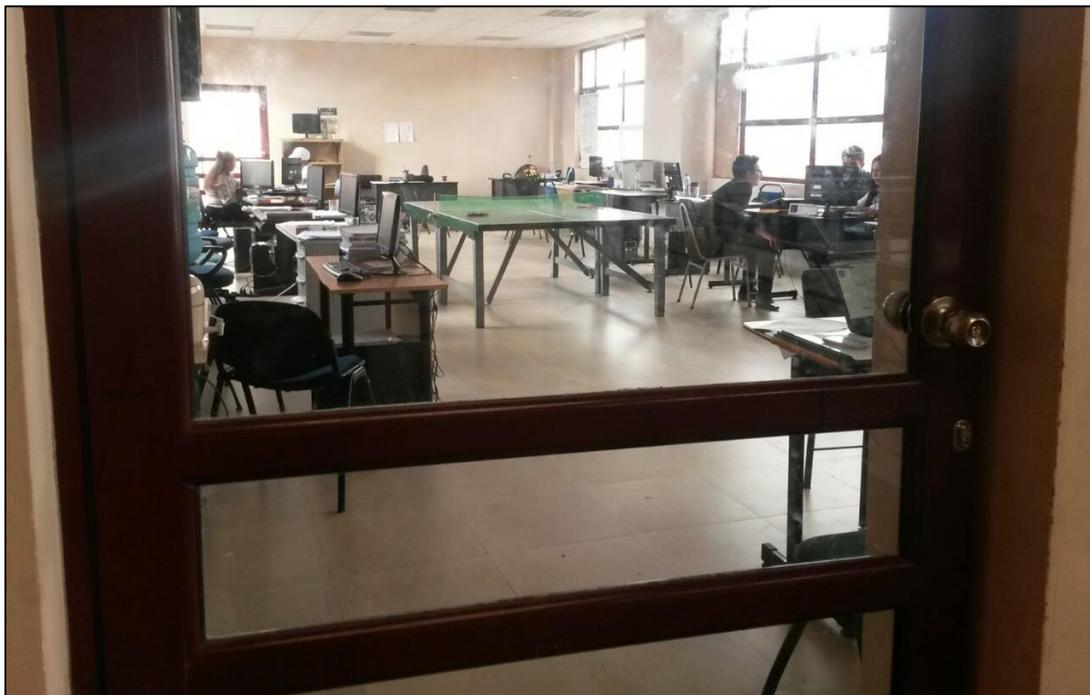
Modular de Electrónica



Edificio principal de la FIE



Sala de profesores del modular de Electrónica



Sala de profesores, primer piso del edificio principal de la FIE



Sala de profesores, segundo piso del edificio principal de la FIE