

**DISEÑO DE UNA RED CON TECNOLOGÍA INALÁMBRICA PARA EL EDIFICIO DE
LABORATORIOS DE PESADOS DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER**

MARÍA ALEJANDRA BARRERO STRAUCH



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
BUCARAMANGA
2008**

**DISEÑO DE UNA RED CON TECNOLOGÍA INALÁMBRICA PARA EL EDIFICIO DE
LABORATORIOS DE PESADOS DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER**

MARÍA ALEJANDRA BARRERO STRAUCH

Este proyecto es presentado como requisito para optar
al título de Ingeniero de Sistemas

Director

Henry Arguello Fuentes

Magíster en Potencia Eléctrica

Codirector

Benjamín Augusto Pico Merchán

Administrador de la red de datos de la UIS

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
BUCARAMANGA
2008**

DEDICATORIA

A Dios por ser la fuerza que mueve los seres humanos, y por guiarme durante toda mi existencia.

A mi divina madre por ser tú la única y fiel persona que a mi lado siempre estará, apoyándome y compartiendo conmigo todos los momentos de mi vida.

A toda mi familia por darme ánimos para luchar por mis metas.

A Oscar Javier por ser ese hombre especial y cariñoso quien me hace feliz tan solo con su presencia, gracias por acompañarme en el transitar de la búsqueda de este sueño.

A mis amigos y compañeros de estudio por permitirme entrar en sus corazones para compartir alegrías, tristezas, decepciones, emociones, pero sobre todo una gran amistad.

María Alejandra.

AGRADECIMIENTOS

El autor del proyecto desea expresar sus más sinceros agradecimientos:

A **Henry Arguello Fuentes**, Director de este proyecto, quien a pesar de sus múltiples ocupaciones siempre estuvo dispuesto a colaborar con sus conocimientos, además de su apoyo incondicional en el transcurrir de esta labor.

A **Benjamín Pico**, Co-director, su gran experiencia en la materia fue clave para dar fin al proyecto.

A **Samuel Pinzón** quien desde su lejanía también fue una persona importante quien aportó a la tesis.

A **Libardo Lizcano Pulido** por dar tan valiosas recomendaciones proporcionadas gracias a su gran experiencia laboral en la universidad.

A todos mis compañeros de carrera y del grupo GIIB quienes de alguna u otra forma ayudaron a hacer realidad este trabajo.

Finalmente a la Universidad Industrial de Santander por brindarme los medios tanto físicos como humanos, necesarios para hacer realidad el sueño de todo estudiante universitario, lograr ser un gran profesional en su área.

CONTENIDO

	Pag.
INTRODUCCIÓN	19
OBJETIVOS	21
1. FUNDAMENTOS SOBRE REDES INALÁMBRICAS WLAN	22
1.1 GENERALIDADES DE LAS REDES INALÁMBRICAS	22
1.1.1 Antecedentes	22
1.1.2 Definición	23
1.2 ALGUNOS ESTÁNDARES DE REDES INALÁMBRICAS	23
1.2.1 Home RF	23
1.2.2 HiperLAN	24
1.2.3 Bluetooth	24
1.2.4 Wi-Fi	25
1.2.4.1 802.11a	25
1.2.4.2 802.11b	26
1.2.4.3 802.11g	26
1.2.4.4 802.11n	27
1.3 APLICACIONES DE LAS WLANs	28
1.3.1 Ad Hoc	28
1.3.2 Extensión de una red cableada	29
1.3.3 Interconexión de edificios	29
1.4 SEGURIDAD EN REDES INALÁMBRICAS	30
1.4.1 Seguridad en redes 802.11	31
1.4.1.1 WEP	31
1.4.1.2 Filtrado de direcciones MAC	31
1.4.1.3 WPA	32
1.4.1.4 802.11i	33
1.4.1.5 Otras opciones	34
1.5 ADMINISTRACIÓN DE REDES INALÁMBRICAS	35
2. ESPECIFICACIONES Y DISEÑO DE LA WLAN	37

2.1 ESTADO DEL ARTE EN LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL SANTANDER	37
2.2 CARACTERÍSTICAS DEL ENTORNO DE LA WLAN	38
2.2.1 Descripción de la red de la UIS	38
2.2.2 Descripción del edificio Laboratorios de Pesados de la UIS	38
2.2.3 Especificación de las zonas a cubrir dentro del edificio	46
2.3 DISEÑO DE LA RED INALÁMBRICA	48
2.3.1 SELECCIÓN DEL ESTÁNDAR ADECUADO PARA LA RED	48
2.3.2 Arquitectura de la red	50
2.3.3 Definición del protocolo	51
2.3.4 Banda de frecuencia	55
2.3.5 Tecnología de transmisión	57
2.3.6 Cobertura y tasa de transferencia	58
2.3.7 Tipo de enlace	58
2.3.8 Descripción de los usuarios	58
2.3.9 Proyecciones de demanda	63
2.3.10 Seguridad	64
2.3.11 Administración de la WLAN	66
3. MEDICIONES Y DISEÑO FINAL	67
3.1 FUENTES DE ATENUACIÓN	67
3.2 LOCALIZACIÓN DE LOS AP	68
3.3 PRUEBAS DE LOCALIZACIÓN DE LOS AP	73
3.3.1 Pruebas con RPS y en el edificio	73
3.3.1.1 Pruebas en el sótano	75
3.3.1.2 Pruebas en el primer piso	78
3.3.1.3 Pruebas en el segundo piso	79
3.3.1.4 Pruebas en el tercer piso	83
3.4 SELECCIÓN Y COSTOS DE LOS DISPOSITIVOS DE LA RED	93
3.5 CONFIGURACIÓN Y CONEXIÓN DE LOS DISPOSITIVOS	93
CONCLUSIONES	98
RECOMENDACIONES	100
BIBLIOGRAFÍA	102
ANEXOS	107

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1. Multicaminos en la tecnología MIMO.	27
Figura 2. Arquitectura ad hoc	28
Figura 3. Modo infraestructura	29
Figura 4. Conexión punto a punto	30
Figura 5. Conexión punto multipunto	30
Figura 6. Lista de direcciones MAC	32
Figura 7. Concepto de WVLAN	34
Figura 8. Pasillo interno izquierdo sótano	39
Figura 9. Pasillo interno derecho sótano	39
Figura 10. Pasillo interno izquierdo piso 1	40
Figura 11. Pasillo interno derecho piso 1	40
Figura 12. Pasillo interno izquierdo piso 2	41
Figura 13. Pasillo interno derecho piso 2	41
Figura 14. Pasillo interno izquierdo piso 3	42
Figura 15. Pasillo interno derecho piso 3	42
Figura 16. Pasillo interno central piso 3	43
Figura 17. Pasillo centro de estudios piso 3	43
Figura 18. Plano sótano con medidas	44
Figura 19. Plano primer piso con medidas	44
Figura 20. Plano segundo piso con medidas	45
Figura 21. Plano tercer piso con medidas	45
Figura 22. Zonas de cobertura en el sótano	46
Figura 23. Zonas de cobertura en el primer piso	47
Figura 24. Zonas de cobertura en el segundo piso	47
Figura 25. Zonas de cobertura en el tercer piso	48
Figura 26. Topología estrella o infraestructura	50
Figura 27. Topología malla o ad hoc	51
Figura 28. Banda de 2.025 a 2.483 GHz	56
Figura 29. Banda de 5 GHz	56

Figura 30. Porcentaje de personas con o sin dispositivo inalámbrico	59
Figura 31. Plano sótano con zonas de ubicación de usuarios	60
Figura 32. Plano primer piso con zonas de ubicación de usuarios	61
Figura 33. Plano segundo piso con zonas de ubicación de usuarios	62
Figura 34. Plano tercer piso con zonas de ubicación de usuario	62
Figura 35. Porcentaje de personas que planean comprar un dispositivo dentro de cierto tiempo	63
Figura 36. Plano sótano con ubicación de AP	69
Figura 37. Plano primer piso con ubicación de AP	70
Figura 38. Plano segundo piso ubicación de AP	71
Figura 39. Plano tercer piso con ubicación de AP	72
Figura 40. Interfaz RPS	74
Figura 41. Plano sótano con distribución de la señal del AP	76
Figura 42. Plano primer piso con distribución de la señal del AP	78
Figura 43. Plano segundo piso con distribución de la señal del AP 1	80
Figura 44. Plano segundo piso con distribución de la señal del AP 2	82
Figura 45. Simulación completa del segundo piso con los dos dispositivos Inalámbricos	83
Figura 46. Plano tercer piso con distribución de la señal del AP 1	84
Figura 47. Plano tercer piso con distribución de la señal del AP 2	87
Figura 48. Plano tercer piso con distribución de la señal del AP 3	87
Figura 49. Simulación completa del tercer piso con los tres dispositivos Inalámbricos	89
Figura 50. Superposición de zonas de cobertura	91
Figura 51. Conexión APs en la misma red	95
Figura 52. Conexión de APs en redes independientes por piso	97

LISTA DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1. Características del estándar IEEE 802.11g	52
Tabla 2. Comparación de tasas de transferencia en cada versión del estándar IEEE 802.11	53
Tabla 3. Capacidad de red en cada versión del estándar IEEE 802.11	53
Tabla 4. Cobertura en un ambiente de oficina abierta para cada versión del estándar IEEE 802.11	54
Tabla 5. Características del estándar IEEE 802.11g	57
Tabla 6. Densidad de usuarios en el sótano	60
Tabla 7. Densidad de usuarios en el primer piso	61
Tabla 8. Densidad de usuarios en el segundo piso	61
Tabla 9. Densidad de usuarios en el tercer piso	62
Tabla 10. Proyección de aumento de usuarios de la red	64
Tabla 11. Materiales del edificio	67
Tabla 12. Calidad del enlace según el nivel de intensidad recibido	75
Tabla 13. Resultados de las mediciones en el sótano	77
Tabla 14. Resultados de las mediciones en el primer piso	79
Tabla 15. Resultados de las mediciones en el Laboratorio José Alberto Villabona	80
Tabla 16. Resultados de las mediciones en el aula de ingeniería electrónica	82
Tabla 17. Resultados de las mediciones en el Ceis	85
Tabla 18. Resultados de las mediciones en el Laboratorio de hardware	86
Tabla 19. Resultados de las mediciones en Biomédica	88
Tabla 20. Costos de equipos e implementación de la red con access point Linksys	92
Tabla 21. Costos de equipos e implementación de la red con access point 3Com	93
Tabla 22. Costos de equipos e implementación con AP WRVS4400n.	94
Tabla 23. Configuración equipos inalámbricos	96

LISTA DE ANEXOS

	Pag.
ANEXO A. FICHA TÉCNICA DE LA ENCUESTA HECHA A LOS ESTUDIANTES	107
ANEXO B. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS DISPOSITIVOS INALÁMBRICOS UTILIZADOS	109
B1. Especificaciones Router de banda ancha Wireless-G marca Linksys WRT54G	109
B2. Especificaciones Intel® PRO/Wireless 3945ABG Network Connection	110
B3. Especificaciones Access Point 3Com 8760 Dual Radio 11a/b/g PoE	111
ANEXO C. HERRAMIENTAS SOFTWARE USADAS EN LAS MEDICIONES	113

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO DE UNA RED CON TECNOLOGÍA INALÁMBRICA PARA EL EDIFICIO DE LABORATORIOS DE PESADOS DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER *

AUTOR: MARÍA ALEJANDRA BARRERO STRAUCH **

PALABRAS CLAVE: Diseño, tecnología inalámbrica, punto de acceso, cobertura.

DESCRIPCIÓN:

En este proyecto se plasma el diseño de una red local inalámbrica para el edificio Laboratorios de Pesados de la Universidad Industrial de Santander, el cual especifica una guía para facilitar la implementación de los equipos de la red. Se presentan también los análisis hechos en cuanto a tecnologías, estándares, velocidades, usuarios y demás variables para determinar las características de la WLAN (Red de Área Local Inalámbrica).

La realización de pruebas con equipos inalámbricos buscó determinar la distribución y ubicación de los puntos de acceso a través de todos los niveles de la edificación, obteniendo la propuesta de diseño que aquí se plantea, teniendo en cuenta que la red pretende ser una extensión de la LAN (Red de Área Local) de la Universidad para dar cobertura y servicio inalámbrico principalmente a estudiantes, en sitios como pasillos, aulas de clase, centros de estudio e investigación.

Finalmente, se detallan opciones de seguridad, administración, costos de equipos y montaje de la red. Con estas especificaciones de diseño expuestas en el documento se superan dos etapas principales en el proceso de adecuación de una red inalámbrica, el análisis y el diseño, quedando como último paso su implementación.

Se recomienda realizar un análisis profundo a los equipos que se pretende usar en el montaje de la infraestructura inalámbrica.

* Proyecto de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico - Mecánicas. Escuela de Ingeniería de sistemas e informática. Henry Arguello Fuentes. Benjamín Augusto Pico Merchán.

ABSTRACT

TITLE: DESIGN OF A NETWORK WITH WIRELESS TECHNOLOGY FOR LABORATORIOS DE PESADOS'S BUILDING OF THE INDUSTRIAL UNIVERSITY OF SANTANDER*

AUTHORS: MARÍA ALEJANDRA BARRERO STRAUCH**

KEY WORDS: Design, wireless technology, access point, coverage.

DESCRIPTION:

In this project embodies the design of a wireless network, for the building of heavy laboratories in the Industrial University of Santander; it specifies a guide to facilitate the task of finding the specific location of the devices that make up the entire network. Some analysis concerning to technologies, standards, transfers speeds, user's profiles and many other variables, are presented, in order to determinate the WLAN Characteristics (Wireless Local Area Network).

Numerous tests were made using wireless equipment, to find the distribution and the exact location of the access points trough each level in the edification; obtaining at the end the design proposal; having always in mind that the network will be planned as an extension for the LAN that already exists in the University, and it will be implemented to offer coverage and service specifically to the student population in areas like corridors, classrooms, studying and investigation centers, etc.

Finally, the aspects about security, administration, costs and infrastructure are detailed. With these design specifications expressed in the document, two mayor steps, in the process of building a wireless network, are fulfilled, the analysis and the design stages; just to leave to the end, the implementation stage.

It is recommended to conduct a deep analysis equipment to be used in the assembly of wireless infrastructure.

* Final Project

** Physics and Mechanics Engineering College, Systems and Informatics School.
Henry Arguello Fuentes. Benjamín Augusto Pico Merchán.

GLOSARIO

Ancho de Banda: Cantidad de datos que pueden pasar por un determinado canal de comunicación por unidad de tiempo. También se conoce como la capacidad del canal.

Antena: Dispositivo cuya función es interceptar o irradiar ondas electromagnéticas. Las receptoras transforman las ondas electromagnéticas en corriente eléctrica.

Autenticación: Es el proceso de identificación de un usuario. Este se realiza mediante un nombre de usuario y contraseña.

Atenuación: Pérdida de la potencia de una señal, bien sea óptica u eléctrica, en relación a la distancia recorrida al viajar por cualquier medio de transmisión.

BSS: (Basic Service Set). Elemento básico de una red inalámbrica que en modo infraestructura se puede establecer a partir de un punto de acceso y una estación enlazada a él. Sin embargo el conjunto básico de un BSS pueden ser dos estaciones en modo IBSS. La cobertura de un punto de acceso se denomina BSS y cada uno de ellos tiene un identificador conocido como SSID.

Canal: Es el camino por donde transitan las señales eléctricas.

DHCP: (Protocolo de configuración dinámica de host). Servidor que les proporciona a los clientes de una red IP la configuración necesaria para que puedan tener acceso a ella. Algunos de los parámetros que suministra el DHCP son la máscara de subred, la puerta de enlace, la dirección IP etc. Este protocolo facilita la administración de la red.

DSSS: (Espectro ensanchado por secuencia directa). Técnica que combina una señal de datos con otra secuencia de bit llamada código chip. Esta es mas usada que por salto de frecuencia.

ESS: (*Extended service set*). Es el conjunto de varios BSS unidos por un sistema de distribución bien sea alambrado o no.

Espectro Ensanchado: En las comunicaciones se trata de una técnica que utiliza un bajo pico de potencia y un ancho de banda amplio en frecuencia.

Ethernet: Tecnología basada en tramas, de medio compartido, mas utilizada en el medio de las comunicaciones que entrega los mensajes que se emiten de un nodo a todos los demás nodos dentro del segmento de red. Por su modo de señalización puede presentar colisiones.

FHSS: (Espectro ensanchado por salto de frecuencia). Técnica que modula la señal por la que viajan los datos con una portadora la cual salta de frecuencia en frecuencia sobre una banda de frecuencias que va desde los 2.4 GHz hasta los 2.483 GHz.

IBSS: (Independent Basic Service Set). Conjunto de estaciones que se comunican unas con otras pero no están conectadas a una red cableada como internet o una LAN corporativa.

ICM Banda: (Banda para aplicaciones industriales, científicas y médicas). Banda que no necesita aprobación de la ITU-R para ser utilizada, los servicios de radiocomunicación que funcionen allí, deben aceptar las interferencias perjudiciales resultantes de estas aplicaciones, pero no pueden perjudicar otros servicios por fuera de esta banda.

Modelo OSI: (Modelo de interconexión de sistemas abiertos). Es un conjunto de estándares que la ISO creó con el fin de asegurar compatibilidad entre los diferentes tipos de tecnología de red que los fabricantes producen a nivel mundial. Consta de siete capas que son en su orden: Física, enlace, red, transporte, sesión, presentación y aplicación.

MAC: (Control de Acceso al Medio). Conjunto de protocolos encargados de mantener el orden cuando los dispositivos desean acceder al medio compartido. Se basan en una dirección física única que cada uno tiene.

Modulación: Alteración sistemática de las características (frecuencia, fase o amplitud) de una portadora por la acción de un onda moduladora con el fin de transportar información a través de un canal de comunicación.

OFDM: (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*). Es una modulación robusta, que se encarga de enviar un conjunto de alrededor de cientos o incluso miles de portadoras con diferentes frecuencias las cuales cada una lleva su correspondiente información, para ser moduladas en QAM o PSK.

PoE: (Power over ethernet). Tecnología que por medio del cable de datos UTP o STP en una red Ethernet permite la alimentación eléctrica de los equipos.

Puente: Dispositivo de capa 2 del modelo OSI, utilizado para dividir o segmentar una red. Reúnen y permiten pasar tramas de datos entre dos segmentos de red, aprendiendo las direcciones MAC de los dispositivos de cada segmento.

Punto de Acceso (AP): Uno de los componentes de las WLAN que interconecta los dispositivos inalámbricos para formar la red.

Roaming: Facultad que tienen los dispositivos de una red para desplazarse de la zona de cobertura de una celda a otra sin perder la conexión a esta.

SSID: (*Service set identifier*). Identificador de la red inalámbrica.

STP: (*Shielded Twisted Pair*). Cable de par trenzado blindado que combina técnicas de blindaje, trenzado y cancelación de cables. Reduce la interferencia electromagnética y la de radiofrecuencia externa. Es más costoso y complejo para instalar que el UTP.

Switch: Es un puente multipuerto, generalmente de capa 2, pero hay algunos de capa 3. Toman decisiones de envío con base a las direcciones MAC que van en las tramas que envían los dispositivos.

Throughput: (Rendimiento, velocidad). Medida que proporciona la capacidad de procesamiento o de transmisión de información en una red de datos *Ethernet* o inalámbrica, suele medirse en bits por segundo.

UTP: (Unshielded Twisted Pair). Cable de par trenzado no blindado. Tiene cuatro pares de hilos revestidos cada uno de un material aislante. Maneja velocidades de 10 100 y 1000 Mbps según sea la categoría del cable.

VLAN: (Red de área local virtual). Mecanismo para crear redes lógicamente independientes pero dentro de una misma red física. Las LAN virtuales permiten agrupar a los usuarios por departamento u equipo y la única forma de lograr comunicación entre ellas es por medio de un enrutador.

Wi-Fi: (Wireless Fidelity). Marca de la Wi-Fi Alliance que tiene como fin certificar la interoperabilidad y compatibilidad entre los equipos *wireless* de diferentes fabricantes bajo el estándar IEEE 802.11 y sus diferentes versiones.

Wireless: (Sin alambre). Forma de transmisión de la información en redes que omite el empleo de cobre como el alambre y por el contrario utiliza el aire, el agua o algún otro medio.

INTRODUCCIÓN

Analizando el indudable e inevitable crecimiento de las tecnologías inalámbricas en el país, es importante deducir que no es un tema ajeno en el entorno y su ignorancia o aislamiento sólo provocará una pérdida de disponibilidad de recursos para el desempeño educativo o empresarial. Para que esto no suceda, el desarrollo de ésta tesis está dirigido en cierta forma a contrarrestarla, ya que abre la posibilidad de suplir la necesidad que tienen algunos estudiantes, de conectividad con otras redes como Internet en espacios donde la red cableada no llega o tiene poca cobertura, como aulas pasillos, centros de estudio etc. del edificio Laboratorios de Pesados de la UIS.

De esta forma, la tecnología sin cables permite tanto a sus usuarios como al que la implementa, un sin número de posibilidades extras que las redes alámbricas no proporcionan como movilidad, confort, conectividad, facilidad de instalación. Por esto, su aplicabilidad y conocimiento se convierte en variables vitales para el desarrollo de una comunidad.

Es muy probable que este tipo de tecnologías sean cada vez mas utilizadas por su buen desempeño, bajos costos y facilidad de adquisición, claro está que por ahora no son la primera opción al momento de diseñar una red para toda una entidad y tampoco compiten con las redes cableadas porque la velocidad y seguridad que ellas demandan para la transmisión y protección de la información, el medio de transmisión que es el aire, todavía no las logra alcanzar. De esta forma falta tiempo para que lo dicho anteriormente suceda, mientras tanto su implementación en ciertos casos es más factible que tener que invertir altos costos en cables.

En esa misma línea y por las razones expuestas anteriormente surge la idea de realizar un diseño óptimo teniendo en cuenta múltiples variables como las características del entorno, la velocidad, la cobertura radial, la densidad de usuarios, los costos, etc. y analizando la ubicación de los puntos de acceso mediante software y pruebas propiamente en el recinto.

Finalmente, el diseño de la red inalámbrica se presenta en este documento el cual sirve como soporte o referencia para implementaciones y futuros proyectos de este tipo.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Realizar el diseño de la red inalámbrica del edificio Laboratorios de Pesados de la Universidad Industrial de Santander.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un análisis de la infraestructura del edificio Laboratorios de Pesados para determinar las zonas de cobertura y la demanda de las mismas.
- Realizar un estudio de propagación electromagnética para determinar la ubicación exacta de los dispositivos emisores de señal, teniendo en cuenta las condiciones de seguridad para estos dispositivos.
- Determinar los equipos y los costos involucrados en la implementación de la red inalámbrica.

1. FUNDAMENTOS SOBRE REDES INALÁMBRICAS WLAN

1.1 GENERALIDADES DE LAS REDES INALÁMBRICAS

1.1.1 Antecedentes

En 1979, cuando se hizo público los resultados de un experimento que realizaron algunos ingenieros de la IBM en Suiza, se dice que las redes WLAN tuvieron su origen con ello.

Las pruebas que realizaron consistieron en crear una red local para una fábrica mediante enlaces infrarrojos. Después de este hecho y de seguir con largas investigaciones no solo para fábricas sino también para aplicaciones de inteligencia militar, en Mayo de 1985 el FCC¹ (Comisión Federal de Comunicaciones) asignó las bandas ICM² para aplicaciones industriales, científicas y médicas 902-928 MHz, 2.400-2.4865 GHz, 5.725-5.850 GHz a las redes inalámbricas basadas en espectro ensanchado.

Desde el año 1985 hasta más o menos 1990 se siguieron trabajos con las redes inalámbricas pero ya encaminadas a la fase de desarrollo que con la asignación de una banda en el espectro electromagnético, respaldó y propició una mayor actividad industrial y comercial, por lo que tuvieron que pasar del laboratorio a su real construcción. Y no fue hasta 1991 que se conoció la operación de una WLAN que superaba la velocidad de 1Mbps, la mínima establecida por la norma IEEE 802³ que considera realmente esta, una LAN.

¹ Agencia estadounidense encargada de la regulación de telecomunicaciones nacionales e internacionales por televisión, redes inalámbricas, radio, cable y satélite.

² Banda que no necesita licencia para su uso.

³ Grupo y comité de estudios de estándares que pertenece al Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos que actúa sobre redes de área local.

1.1.2 Definición

Las redes inalámbricas o mayormente conocidas como WLAN fueron creadas para permitir a las redes de área local cableadas o LAN una funcionalidad adicional complementaria. Este sistema de comunicación de datos flexible es capaz de reemplazarlas totalmente o bien ampliarlas.

Estas redes transportan datos mediante ondas de radio, los cuales por medio de un proceso de modulación son sobrepuestos en una onda portadora, actuando ella como medio de transmisión y olvidándose de los cables.

Consecuentemente las WLAN están en la capacidad de proporcionar facilidades como movilidad a los usuarios dentro del área cubierta, simplicidad en la instalación ya que pueden llegar a los lugares en donde una LAN no podría hacerlo, escalabilidad, ahorro en recursos y mantenimiento y muchas más.

Los elementos que conforman estas redes generalmente son un punto de acceso que se conecta a la LAN, y los dispositivos remotos o clientes los cuales se conectan de forma inalámbrica a los elementos nombrados anteriormente.

1.2 ALGUNOS ESTÁNDARES DE REDES INALÁMBRICAS

Las redes inalámbricas al igual que muchas otras tecnologías de comunicaciones son regidas por normas o patrones que facilitan la interoperabilidad de estos sistemas. Dentro de las tecnologías para redes inalámbricas se hallan las de alcances cortos, medios y largos, en función del alcance geográfico de las señales radioeléctricas. En consecuencia se prosigue a describir algunos de los estándares para redes inalámbricas de alcance medio ya que estos serían los posibles candidatos a usarse para la red del edificio.

1.2.1 HomeRF

HomeRF es un estándar basado en el protocolo SWAP (Protocolo de Acceso Inalámbrico Compartido) para comunicaciones digitales entre dispositivos electrónicos (teléfonos inalámbricos, PCs, PDAs) encaminando sus pasos hacia la conectividad sin cables dentro del hogar. Sobre una interfaz radio común soporta tanto servicios de voz

con 75 canales de 1 MHz de ancho de banda como de datos a velocidades de 1 y 2 Mbps operando con técnicas de espectro ensanchado en la banda de los 2.4 GHz [19]. Dentro de sus características utiliza como método de acceso al medio CSMA/CA (acceso múltiple por detección de portadora con evasión de colisiones) y TDMA (Acceso Múltiple por División en el Tiempo) para soporte simultaneo de telefonía multilínea, acceso de datos de banda ancha y múltiples sesiones multimedia. Su rango de cobertura es de unos 50 metros en teoría.

También hay otra versión llamada HomeRF2 cuyas velocidades van desde los 5 hasta los 10 Mbps cubriendo la misma área y utilizando la misma banda del espectro que la anterior versión.

1.2.2 HiperLAN

Es un estándar Europeo, cuyas siglas traducen High Performance Radio LAN, conducido por el grupo *Redes de acceso radio de banda ancha* de la ETSI⁴ con el fin de proveer acceso de banda ancha a redes ATM, las basadas en IP y las móviles de tercera generación. Trabaja en la banda de los 5GHz del espectro electromagnético a velocidades de hasta 54 Mbps en HiperLAN/2. Comparte en el tiempo los canales de 20 MHz mediante TDMA proporcionando Calidad del Servicio (QoS⁵) a través de tecnologías ATM.

HiperLAN/2 comparte similitudes con 802.11a en la capa física como la modulación con OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) y la banda de los 5 GHz, pero en su capa MAC 802.11 usa CSMA/CA para el acceso al medio mientras que HiperLAN/2 se sirve de TDMA como se dijo anteriormente. En hiperLAN mediante un enlace radio los terminales móviles MT se comunican con los access points y pueden moverse libremente dentro del área de cobertura de estos.

1.2.3 Bluetooth

Aunque bluetooth es considerada una tecnología de corto alcance o WPAN⁶ existen aplicaciones WLAN en las que resultaría favorable su empleo por ello se describirán brevemente algunas de sus características [14].

⁴ ETSI: European Telecommunications Standard Institute

⁵ QoS: Son tecnologías que garantizan la transmisión de cierta cantidad de datos en un tiempo dado.

⁶ WPAN: Wireless Personal Area Network.

Bluetooth es una tecnología inalámbrica que utiliza técnicas de espectro expandido en saltos de frecuencia o FHSS (Espectro Ensanchado por salto de frecuencia).

Opera en la banda de los 2.4 GHz pero la localización exacta dentro de ella depende de la regulación de cada país. Los canales se definen mediante una secuencia de salto pseudoaleatoria a intervalos de 1MHz saltando por entre 79 canales.

Bluetooth especifica dos tipos de enlaces para soportar aplicaciones de voz y datos, uno asíncrono sin conexión (ACL⁷) y otro síncrono orientado a conexión (SCO⁸) [19].

La tasa de datos es de 1 Mbps con alcance de cerca de 10 metros usando una diminuta antena con alrededor de 1 mW de potencia. No obstante, la especificación permite usar antenas con mayores prestaciones para extender el rango de cobertura a unos 100 metros.

1.2.4 Wi-Fi

La IEEE en junio de 1997 definió este estándar con transmisiones de datos de 1 y 2 Mbps en la banda de los 2.4 GHz, usando técnicas de espectro ensanchado con saltos de frecuencia (FHSS), secuencia directa (DSSS) e infrarrojo. Sin embargo, debido a la saturación de la banda ISM de 2.4 GHz y también a las tasas de datos insuficientes para las grandes cantidades de datos que se transmiten, el comité 802.11 creó grupos de trabajo como extensiones del estándar para trabajar en una asignación de frecuencias diferentes y ofrecer mayores tasas de transmisión. A continuación se describen cada uno de ellos.

1.2.4.1 802.11a

Este estándar fue aprobado en 1999 y en el 2001 hizo su aparición en el mercado. 802.11a utiliza la banda de los 5GHz, opera a 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 y 54 Mbps aplicando multiplexación por división en frecuencia ortogonal (OFDM), ofreciendo con ella beneficios de disponibilidad de canales y de tasas de transmisión, respecto a las de espectro expandido. Presenta el mismo esquema de protocolos que el estándar original.

⁷ ACL: Conexión punto a multipunto entre el maestro y esclavos activos en la piconet sin reserva de ancho de banda.

⁸ SCO: Conexión punto a punto con ancho de banda fijo entre el maestro y un determinado esclavo.

Posee 12 canales no solapados, 8 son dedicados a red inalámbrica y 4 para conexiones punto a punto, cada uno de 20 MHz divididos individualmente en 52 subportadoras cada una con aproximadamente 300 KHz de ancho. No es compatible con equipos que implementen el estándar 802.11b por no operar estos en la misma banda de frecuencia. Una desventaja importante es que su alcance es limitado, alrededor de unos 50 metros lo que hace necesario incluir más puntos de acceso con el costo adicional que ello acarrea.

1.2.4.2 802.11b

Este estándar fue la primera modificación que sufrió el estándar original, se ratificó en 1999 antes que el 802.11a. Utiliza la banda de los 2.4 GHz, ofrece velocidades normalizadas de 1, 2, 5 y 11 Mbps y un alcance dependiendo de los obstáculos y la velocidad de entre 100 a 300 metros. También utiliza técnicas de espectro ensanchado pero con secuencia directa (DSSS) manteniendo compatibilidad con el anterior equipamiento especificado a la norma original de velocidades de 1 y 2 Mbps.

Se especifican solamente 11 canales de 22 MHz cada uno y 3 canales que no se solapan o comparten parte de su ancho de banda. También aplica el mismo método de acceso CSMA/CA que el original, además el cifrado de datos es por medio de RC4, 104 – bit, 40 – bit.

1.2.4.3 802.11g

Ratificado en Junio de 2003, es el perfeccionamiento del estándar 802.11b razón por la cual es compatible con este. Utiliza la banda de los 2.4 GHz pero opera a una velocidad teórica máxima de 54Mbps, que en promedio se reduce a una tasa de transferencia aproximada de 22 Mbps. Sin embargo, en redes bajo el estándar g con presencia de nodos regidos por el estándar b reduce significativamente la velocidad de transmisión alrededor de 8 a 13 Mbps. La técnica de modulación es la misma que la del estándar 802.11a es decir OFDM.

Este estándar ofrece una mayor tolerancia al multitrayecto que 802.11b y a pesar que la banda de los 2.4 GHz está bastante ocupada, esta tecnología es una buena combinación entre rango de cobertura y ancho de banda.

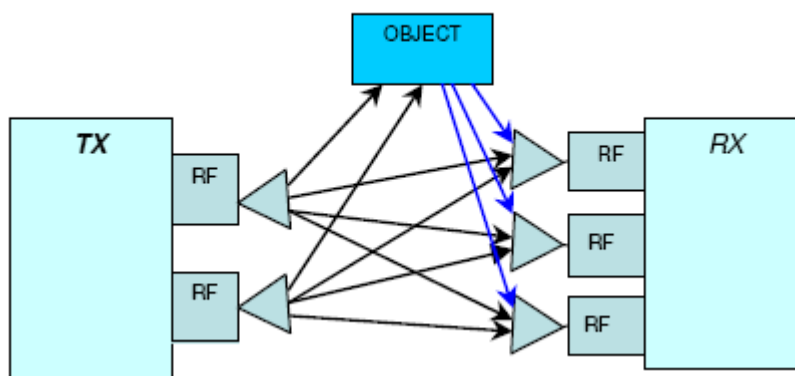
1.2.4.4 802.11n

La formación de este grupo de la IEEE se anunció en enero de 2004, con el fin de desarrollar mejoras en los lineamientos de los anteriores estándares, debido a la gran demanda que tienen las redes inalámbricas, pero todavía no ha sido aprobado.

Se espera una velocidad máxima teórica de transmisión de 600 Mbps o mas para obtener una tasa de *throughput* de alrededor de 74 Mbps, ampliando el rango de cobertura a unos 70 [m] en recintos cerrados y 250 [m] en ambiente outdoor. Otros de los componentes importantes de las especificaciones del borrador o pre-estándar de 802.11n es el hecho de implementar una nueva tecnología en la capa física llamada MIMO⁹ (Multiple Entrada Multiple Salida), como se puede apreciar en la Figura 1 al igual que compatibilidad con todos los estándares ratificados anteriormente, duplicando el canal de ancho de banda de 20 MHz a 40 MHz, con lo que se puede alcanzar tasas de transferencia de 144 Mbps hasta 300 Mbps.

En cuanto a la modulación puede ser mediante OFDM o DSSS según el caso en una banda de 2.4 GHz o 5GHz.

Figura 1. Multicaminos en la tecnología MIMO.



Fuente: Tomada de 802.11n: The new gave in WLAN Technology. Referencia [33] de la Bibliografía.

Una importante ventaja que se tendría con este nuevo estándar es la casi desaparición de puntos de sombra en el área cubierta.

⁹ MIMO: Tecnología nueva que implementa la utilización de mas de una antena en un dispositivo para obtener máxima cobertura y velocidad de transferencia de datos, aprovechando la propagación multicamino.

En cuanto al tema de seguridad no se tendrían mecanismos nuevos, lo más probable es que se siga utilizando WPA o WPA2 que implementa el algoritmo AES para la encriptación de los datos.

Finalmente, según las consideraciones de este nuevo estándar se podría llegar a reemplazar en cierta forma las redes Ethernet de 100 [Mbps]. Definitivamente no se está muy lejos de ello, con lo que en un ambiente de oficina perfectamente es posible pensar en redes inalámbricas regidas por este estándar.

1.3 APLICACIONES DE LAS WLANS.

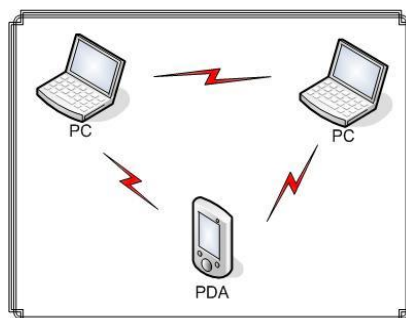
En el mundo de las redes inalámbricas existen varios tipos de aplicaciones para conseguir la comunicación entre los dispositivos de la red. A continuación se presentan las arquitecturas existentes para conseguir estos enlaces.

1.3.1 Ad Hoc

Esta es la configuración más sencilla, en la cual los terminales móviles se conectan entre si mediante una tarjeta de red inalámbrica siempre y cuando se encuentren dentro del área de cobertura de esta y no necesitan de un punto de acceso que los dirija, así como se muestra en la Figura 2. En esta configuración en algunas ocasiones determinado dispositivo puede ser el servidor y en otras puede realizar el papel de cliente.

Estas redes se establecen momentáneamente con el fin de satisfacer alguna necesidad inmediata y son fáciles de configurar.

Figura 2. Arquitectura ad hoc



Fuente: Autor del proyecto.

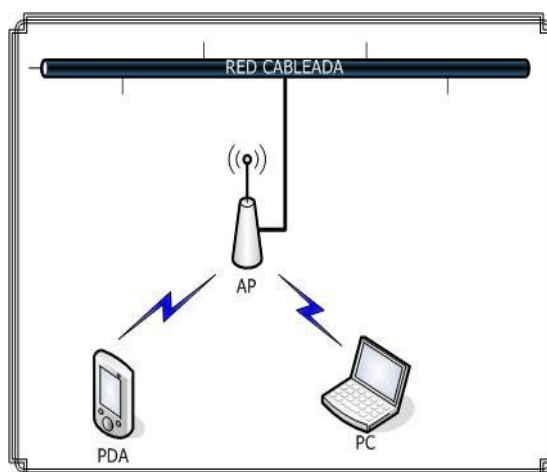
1.3.2 Extensión de una red cableada.

Si bien las redes inalámbricas al momento de pensar en implementar una solución para cierto espacio no son la primera opción, éstas si lo son para otros tipos de entornos en donde se quisiera llegar a sitios que las redes cableadas no llegan.

Por tal motivo se necesita una planificación cuidadosa y compleja ya que los puntos de acceso deben ubicarse estratégicamente evadiendo en lo posible obstáculos y evitar que algunas zonas queden sin cobertura de su señal. A pesar de ser complejas ofrecen movilidad a los usuarios.

La Figura 3 muestra la ubicación de un AP en modo infraestructura, y como se aprecia allí es una extensión de una red cableada local.

Figura 3. Modo infraestructura.

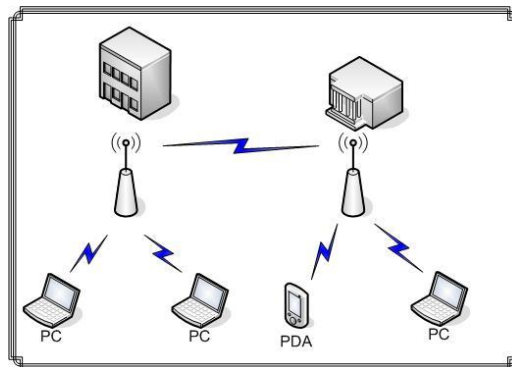


Fuente: Autor del proyecto

1.3.3 Interconexión de edificios

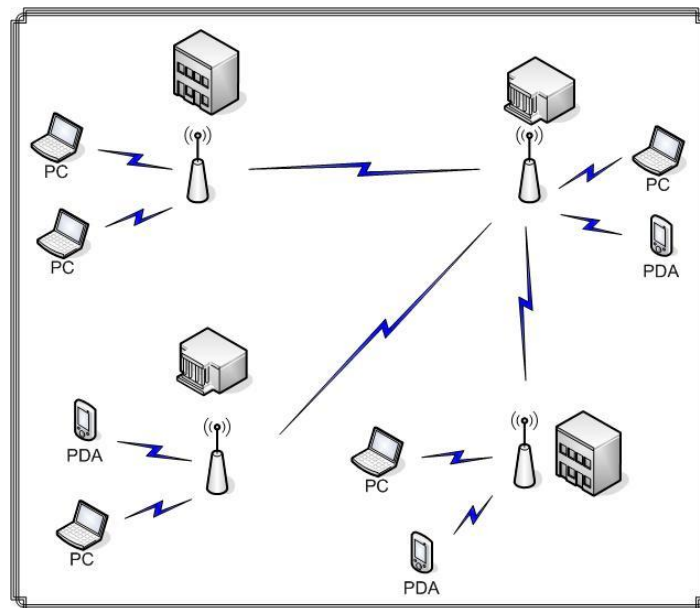
Otra opción es hacer conexiones punto a punto o punto multipunto, a través de un radio-enlace para enlazar segmentos de red, así como se aprecia en las Figuras 4 y 5. Con la primera opción se utilizan antenas directivas que soportan el canal de comunicaciones entre los extremos, bien sea RF o infrarrojo. En ciertas ocasiones se puede ampliar la cobertura usando antenas más robustas y potentes [8].

Figura 4. Conexión punto a punto



Fuente: Autor del proyecto

Figura 5. Conexión punto multipunto



Fuente: Autor del proyecto

1.4 SEGURIDAD EN REDES INALÁMBRICAS

El tema de seguridad en redes inalámbricas es bastante complejo e importante, el solo hecho de tener un punto de acceso irradiando señal es motivo de vulnerabilidad, debido a que el medio de propagación de ella es el aire y este es inseguro, cualquiera que la intercepte y logre ingresar al nodo puede disfrutar por ejemplo de Internet gratis. Por lo tanto se hace necesario implementar mecanismos de protección para garantizar una conexión fiable y auténtica.

Existen varios mecanismos para lograr que una red sea bastante segura, aunque es complicado garantizar la total seguridad, estos tratan de mantener en altos niveles la confiabilidad de la red combinando la autenticación del cliente con el cifrado de datos.

1.4.1 Seguridad en redes 802.11

1.4.1.1 WEP

Desde que la primera versión del estándar fue ratificada, se especificó junto con ella el protocolo WEP (Wired Equivalent Privacy) que sirve para proteger los datos transmitidos mediante el cifrado.

Este cifrado está basado en el algoritmo de flujo simétrico RC4 que usa una clave de 40 bits de longitud y un vector de inicialización aleatorio de 24 bits. Es decir que su longitud total es de 64 bits [6].

WEP proporciona la misma clave tanto para puntos de acceso como para estaciones y no contempla un distribuidor automático de claves, lo que hace que ella se tenga que introducir manualmente en cada uno de los elementos de la red.

Esto es una gran desventaja ya que la clave estará almacenada en todos sus componentes aumentando las posibilidades de ser obtenida por agentes externos al igual que un incremento en el proceso de mantenimiento.

1.4.1.2 Filtrado de direcciones MAC

Un método que se puede usar para lograr cierto nivel de seguridad en la autenticación del usuario mas no en el cifrado de los datos es el filtrado de direcciones MAC que consiste en la creación de una tabla de datos que contiene estas direcciones pertenecientes a cada tarjeta de red inalámbrica autorizada para incorporarse, en cada punto de acceso de la red. La tabla nombrada anteriormente se muestra en la Figura 6. Las direcciones MAC son únicas e irrepetibles por lo tanto se logra identificar al equipo [6].

Este método es adecuado para redes pequeñas o caseras ya que no existirían tantas direcciones MAC por escribir debido a que en este proceso de escritura por ser de formato hexadecimal no es amigable y se pueden cometer errores en la manipulación.

Figura 6. Lista de direcciones MAC

MAC Address Filter List

Enter MAC Address in this format: xxxxxxxxxxxx

Wireless Client MAC List

MAC 01:	<input type="text"/>	MAC 11:	<input type="text"/>
MAC 02:	<input type="text"/>	MAC 12:	<input type="text"/>
MAC 03:	<input type="text"/>	MAC 13:	<input type="text"/>
MAC 04:	<input type="text"/>	MAC 14:	<input type="text"/>
MAC 05:	<input type="text"/>	MAC 15:	<input type="text"/>
MAC 06:	<input type="text"/>	MAC 16:	<input type="text"/>
MAC 07:	<input type="text"/>	MAC 17:	<input type="text"/>
MAC 08:	<input type="text"/>	MAC 18:	<input type="text"/>
MAC 09:	<input type="text"/>	MAC 19:	<input type="text"/>
MAC 10:	<input type="text"/>	MAC 20:	<input type="text"/>
MAC 21:	<input type="text"/>	MAC 31:	<input type="text"/>
MAC 22:	<input type="text"/>	MAC 32:	<input type="text"/>
MAC 23:	<input type="text"/>	MAC 33:	<input type="text"/>
MAC 24:	<input type="text"/>	MAC 34:	<input type="text"/>
MAC 25:	<input type="text"/>	MAC 35:	<input type="text"/>
MAC 26:	<input type="text"/>	MAC 36:	<input type="text"/>
MAC 27:	<input type="text"/>	MAC 37:	<input type="text"/>
MAC 28:	<input type="text"/>	MAC 38:	<input type="text"/>
MAC 29:	<input type="text"/>	MAC 39:	<input type="text"/>
MAC 30:	<input type="text"/>	MAC 40:	<input type="text"/>

Fuente: Manual de instrucciones Router Lynksys wrt54g. Referencia [30] de la bibliografía.

Aparte es tedioso, si se aplica a redes medianas o grandes ya que cada vez que un usuario nuevo quiera ingresar, es necesario editar las tablas de direcciones MAC de todos los puntos. Proceso que después de cierto número de equipos se torna inmanejable y complicado.

1.4.1.3 WPA

Es un estándar soportado por la industria Wi-Fi Alliance, cuyo objetivo principal es solucionar los problemas inherentes a WEP, ofreciendo un mecanismo de autenticación y perfección del cifrado de datos.

Utiliza el protocolo TKIP (*Temporary Key Integrity Protocol*) para cifrado de los datos, cambia la clave compartida entre el cliente y el punto de acceso cada cierto tiempo,

aumenta su longitud de 40 a 128 bits, la clave pasa de ser estática y única a ser dinámica para cada usuario, para cada sesión y para cada paquete enviado. Basándose en la clave principal generada mediante EAP¹⁰ y conocida por los extremos (cliente y access point) se genera un conjunto de claves que se emplean en el cifrado [6,8].

La autenticación la realiza mediante 802.1X que es un protocolo orientado a la autenticación de puertos el cual restringe al usuario el acceso a los servicios de la red antes de ser autenticado. Se sirve de varios métodos como EAP-TLS, PEAP y EAP-TTLS para hacer este proceso gracias al protocolo EAP.

Además de lo anteriormente mencionado, se emplea un mecanismo que retoma el CRC usado por WEP y le añade otra capa de verificación para mejorar la integridad de los paquetes.

1.4.1.4 802.11i

WPA2 se puede decir que es la versión certificada del estándar 802.11i. Fue aprobada a mediados del año 2004 y contempla la seguridad en dos niveles autenticación y cifrado.

En cuanto a la autenticación emplea 802.1x para la identificación de usuarios y distribución automática de claves y para el cifrado de información no usa TKIP sino otro método de encriptación basado en el algoritmo AES (*Advanced Encryption Standard*).

Este método usa la misma clave tanto para cifrar como descifrar y de todos los modos de operación que presenta, en el estándar 802.11i se ha escogido el CCM (*Counter Mode With CBC-MAC*) que emplea un vector de inicialización de 48 bits [8].

Por ello se dice que usa CCMP para la encriptación, además es un algoritmo más robusto.

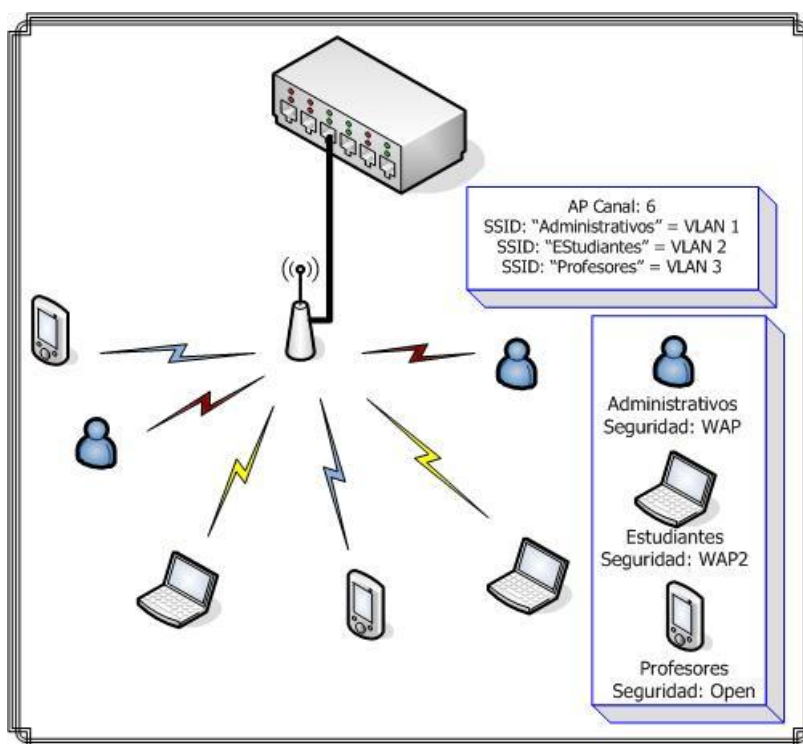
¹⁰ EAP: Protocolo de autenticación extensible.

1.4.1.5 Otras opciones

Con el fin de ir más allá de la autenticación y el cifrado e incrementar los niveles de seguridad es posible implementar políticas típicas de las redes cableadas, entre ellas pueden ser los firewalls las redes virtuales privadas y las WVLANs [8].

Las redes WVLAN se entienden como extensión del concepto de VLAN para redes cableadas. Sirven para reducir el número de puntos de acceso necesarios para servir a varios grupos de trabajo. En la Figura 7 se aprecia mejor este concepto.

Figura 7. Concepto de WVLAN.



Fuente: Autor del proyecto

Por su parte las redes privadas virtuales emplean recursos públicos de un operador para crear un canal privado sobre una red de uso público. Funcionan sobre cualquier tipo de hardware inalámbrico y mejoran las prestaciones de WEP.

Por último los *firewalls* al igual que en las redes cableadas es posible ubicarlos con el fin de proteger la WLAN de amenazas externas. Está formado por uno o varios equipos que se sitúan entre la red interna y externa, de tal forma que el tráfico dirigido hacia éstos equipos bien sea de entrada o de salida, es analizado para determinar si

será bloqueado o no, creando una barrera para intrusos externos que quieren acceder a servicios o información interna.

1.5 ADMINISTRACIÓN DE REDES INALÁMBRICAS

El tema de la administración en una red inalámbrica es casi igual de importante que el de seguridad, además van de la mano y en coordinación el uno con el otro para lograr un buen desempeño de la red.

Una buena administración debe permitir planificar, desplegar y monitorizar constantemente los equipos inalámbricos de esta forma los problemas repentinos pueden ser detectados y solucionados a tiempo. Sus costos no pueden ser muy altos y es conveniente que el trabajo del administrador sea sencillo.

En el mercado existe gran variedad de herramientas que ofrecen múltiples servicios que facilitan el monitoreo y el control de la red, pero al momento de escoger alguna es necesario verificar si implementan la mayoría de las siguientes características.

- a) Permitir el seguimiento y monitoreo constante a cada punto de acceso.
- b) Suministrar reportes del rendimiento, archivos históricos y tendencias de la red.
- c) Administración centralizada, es decir que desde un solo equipo se pueda controlar toda la red [30].
- d) Soportar hardware de diferentes fabricantes.
- e) Actualización de forma sencilla.
- f) Que se integre fácilmente a la infraestructura existente.
- g) Fácil de usar.
- h) Actualización del firmware fácilmente.
- i) Reportes de errores de comunicación.

Empresas como AirWave, Cisco, Wavelink, Symbol entre otras ya ofrecen software para administrar de forma centralizada.

La tecnología inalámbrica fue construida diferente a como construyeron las redes alambradas, por lo tanto no se puede administrar de la misma forma, por ello los siguientes pasos son importantes y para tener en cuenta en la administración de una WLAN:

1. Descubrir los dispositivos de WLAN.
2. Control de la WLAN. Buscar que dispositivos están “abajo”.
3. Configuración de dispositivos de la WLAN.
4. Administración y cambios de AP, controladores etc.

2. ESPECIFICACIONES Y DISEÑO DE LA WLAN

2.1 ESTADO DEL ARTE EN LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL SANTANDER.

Existen dentro del campus principal de la Universidad Industrial de Santander algunas redes inalámbricas que contribuyen en el desarrollo del aprendizaje de los estudiantes al igual que dan soporte al trabajo en la parte administrativa en ciertas oficinas. Cabe mencionar que la instalación de algunas de ellas ha sido para cubrir necesidades que han ido surgiendo con el tiempo.

Algunas de las edificaciones que poseen puntos de acceso en su interior son Biblioteca central, CEDEDUIS, Ingeniería Mecánica, CICELPA, Camilo Torres en la escuela de Física y Matemáticas, Laboratorios Pesados en el decanato de Físico-Mecánicas, Jorge Bautista en la escuela de Petróleos, entre otros que no son conocidos.

El edificio de administración posee cuatro access point marca 3com 8750 uno en cada piso, que cumplen con el estándar WiFi, soporta IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, IEEE 802.11g y configurado con cifrado WPA con PSK. Están ubicados estratégicamente para no perder conexión a medida que se avanza por las escaleras (*Roaming*).

Dentro de la universidad también hay una construcción nueva conocida como el Centro de Tecnologías de Información y Comunicación Centic, la cual está dotada por una red cableada y una inalámbrica que consta de dos access point por piso marca Avaya que se encuentran instalados en zonas de descanso. Los equipos que estén en el interior del edificio y cuenten con tarjeta de red inalámbrica tienen la posibilidad de acceder sin ningún tipo de clave. Su administración es realizada por personal de la División de Servicios de Información.

En alta tensión en el edificio de ingeniería eléctrica próximamente contará con servicios inalámbricos.

Los *access points* nombrados anteriormente, son equipos que directamente la división de servicios de información implementó en dichos lugares, por lo tanto ellos mismos realizan su administración.

También existen equipos que fueron comprados e instalados dentro del edificio de manera independiente es decir, la división de servicios de información no participó en su instalación, como en el grupo de investigación Biomédica, Grupo SIMON los cuales tienen un Linksys WRT54G, centro de estudios de ingeniería de sistemas y algunos otros sitios.

2.2 CARACTERÍSTICAS DEL ENTORNO DE LA WLAN

2.2.1 Descripción de la red de la UIS.

Canarias es el nombre de la red de la Universidad Industrial de Santander cuya tecnología está basada en Ethernet. La topología de la red es tipo estrella y se compone de un *backbone* colapsado tipo *Switched Ethernet* de fibra óptica el cual colapsa sobre los switches situados dentro de los centros de cableado de los diferentes edificios dentro y fuera de su campus principal.

A su vez el *Core* se conecta al proveedor de servicios de la red canarias que en este caso es Telecom. Esta conexión es soportada por dos enrutadores que en caso de falla de alguno de los dos, el otro se encarga de mantener la red funcionando mientras se soluciona el problema.

En los centros de cableado del edificio Laboratorios de Pesados se encuentran *switches* marca 3com con puertos de 100 Mbps, los cuales proveen las salas de informática, centros de estudio, oficinas y demás dependencias.

2.2.2 Descripción del edificio Laboratorios de Pesados de la UIS.

Laboratorios de Pesados es una edificación rodeada por los edificios de Música, Geología y Química, compuesta por cuatro niveles, un sótano y tres pisos. Las Figuras 8 y 9 recrean el sótano, allí se encuentran aulas, oficinas, centro de estudio, salas de informática, un grupo de investigación y baños correspondientes a la escuela de ingeniería civil.

Figura 8. Pasillo interno izquierdo sótano



Fuente: Autor del Proyecto

Figura 9. Pasillo interno derecho sótano



Fuente: Autor del Proyecto

Subiendo se encuentra el primer piso funcionando en este baños, aulas y laboratorios de ingeniería mecánica, eléctrica y electrónica, oficinas de profesores y secretaría de postgrado de ingeniería civil, aulas y una sala de cómputo pertenecientes a la escuela de sistemas. En las dos imágenes siguientes se observan los pasillos internos del primer piso.

Figura 10. Pasillo interno izquierdo Piso 1



Fuente: Autor del Proyecto

Figura 11. Pasillo interno derecho Piso 1



Fuente: Autor del Proyecto

En el segundo piso, Figuras 12 y 13 funcionan baños, salas de informática, oficinas y secretaría de ingeniería de sistemas, oficinas de profesores, laboratorios y aulas de eléctrica y electrónica.

Figura 12. Pasillo interno izquierdo Piso 2



Fuente: Autor del Proyecto

Figura 13. Pasillo interno derecho Piso 2



Fuente: Autor del Proyecto

Las figuras 14, 15, 16 y 17 pertenecen en su totalidad al tercer piso en el cual funciona la escuela de ingeniería de sistemas e informática junto con dos laboratorios de geología. Baños, aulas, centro de estudio, grupos de investigación, oficinas de postgrado y la terraza son espacios en donde los estudiantes desarrollan diariamente sus labores de aprendizaje.

Figura 14. Pasillo interno izquierdo Piso 3



Fuente: Autor del proyecto

Figura 15. Pasillo interno derecho Piso 3



Fuente: Autor del proyecto

Figura 16. Pasillo interno central Piso 3



Fuente: Autor del proyecto

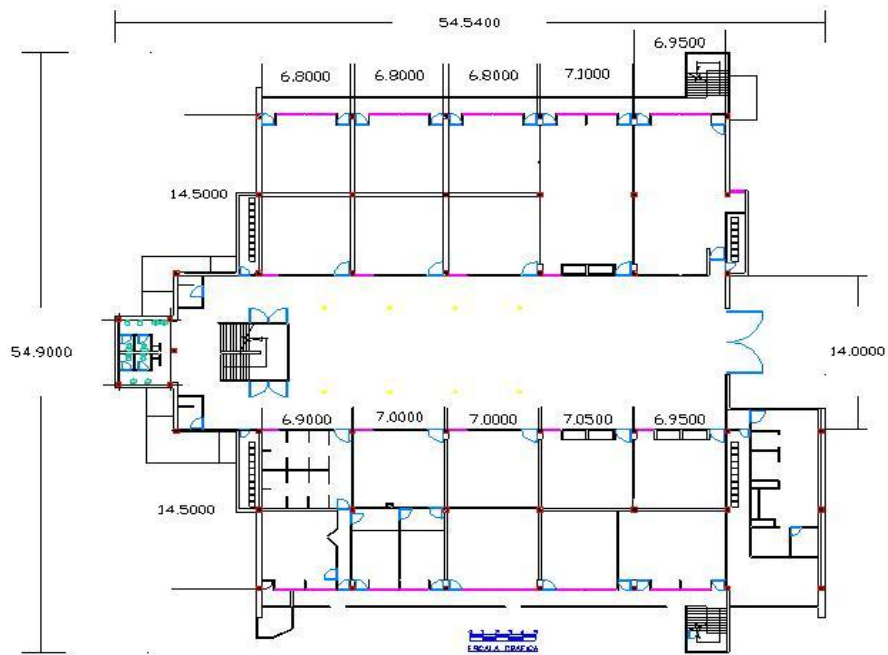
Figura 17. Pasillo centro de estudios Piso 3



Fuente: Autor del proyecto

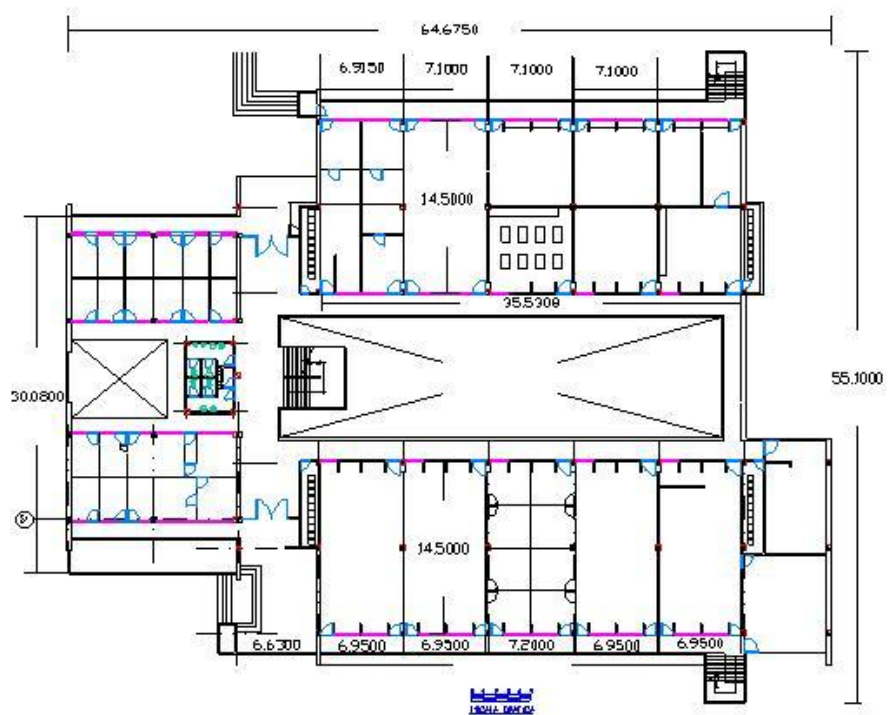
La altura del sótano, primero y segundo piso es de 2.90 m mientras que la del tercer piso es de 2.60 m y sus dimensiones a lo largo y a lo ancho del edificio según cada piso se muestran en las figuras 18, 19, 20 y 21 respectivamente.

Figura 18. Plano sótano con medidas.



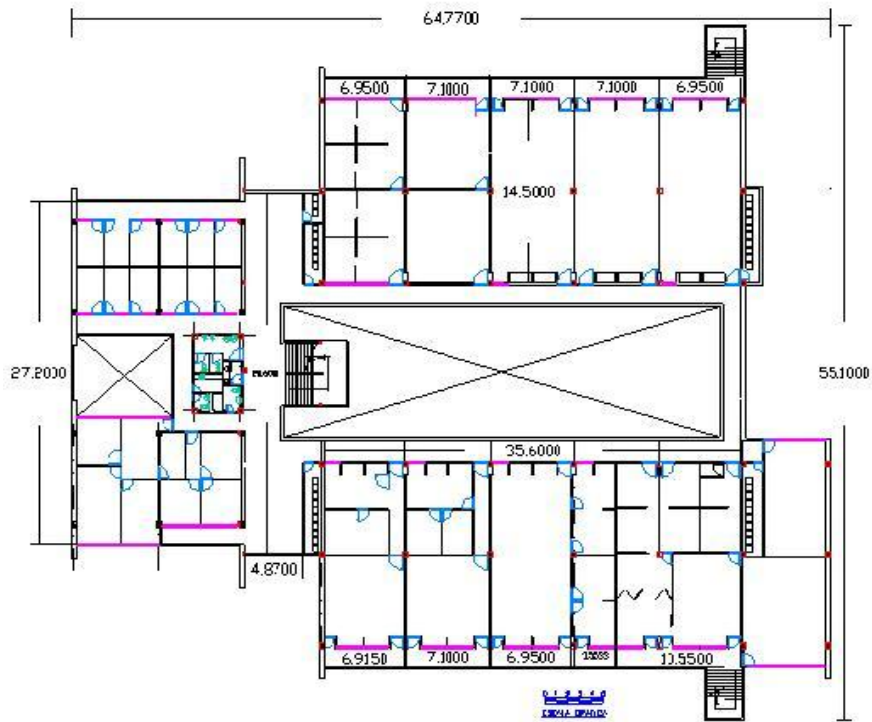
Fuente: Planeación UIS

Figura 19. Plano primer piso con medidas.



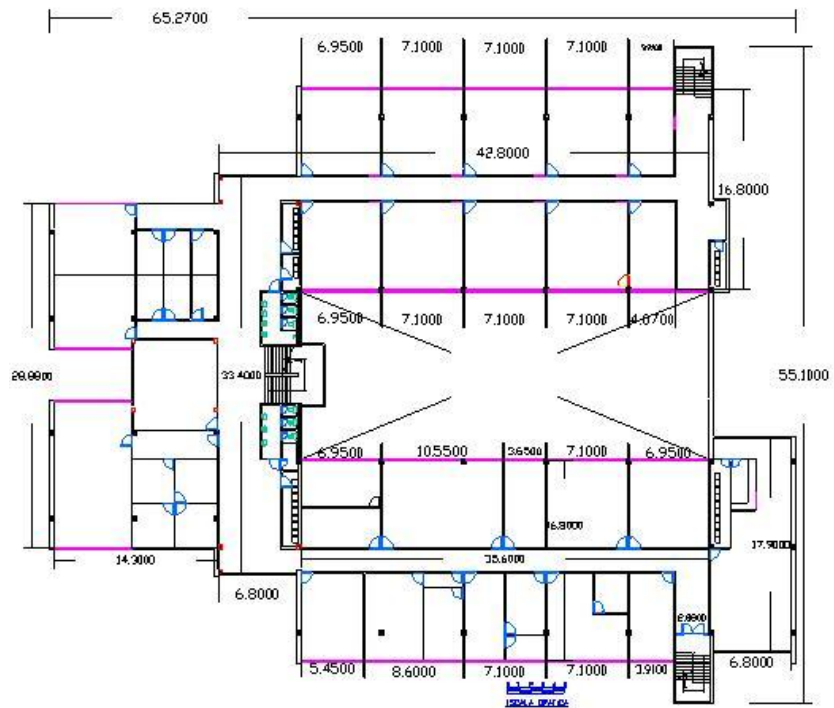
Fuente: Planeación UIS

Figura 20. Plano segundo piso con medidas.



Fuente: Planeación UIS

Figura 21. Plano tercer piso con medidas.



Fuente: Planeación UIS

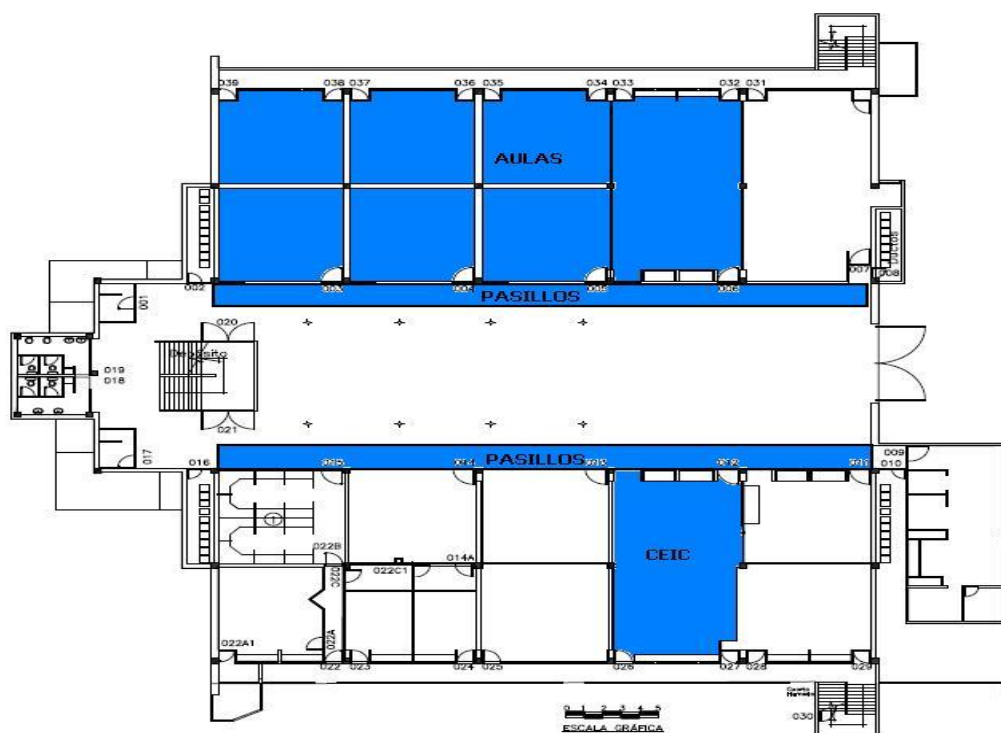
2.2.3 Especificación de las zonas a cubrir dentro del edificio.

Dentro del recinto es necesario definir los lugares esenciales y para los cuales la red va a proveer sus servicios, teniendo en cuenta que el enfoque prestacional de ella es dirigido a los estudiantes mas que a cualquier otro perfil de usuario. Es importante destacar que las zonas propuestas a continuación están sujetas a ampliarse debido a la dificultad para desviar las señales de radiofrecuencia que emiten los access point, igualmente este proceso no tendría sentido alguno realizarlo ya que la idea es satisfacer la mayor cantidad de personas posibles.

Según la encuesta realizada referente a los lugares en donde los estudiantes desean cobertura inalámbrica los sitios mayormente nombrados fueron aulas de clase, pasillos, centros de estudio y la terraza del último piso, por consiguiente estos lugares serán de prioridad al momento de ubicar los aparatos.

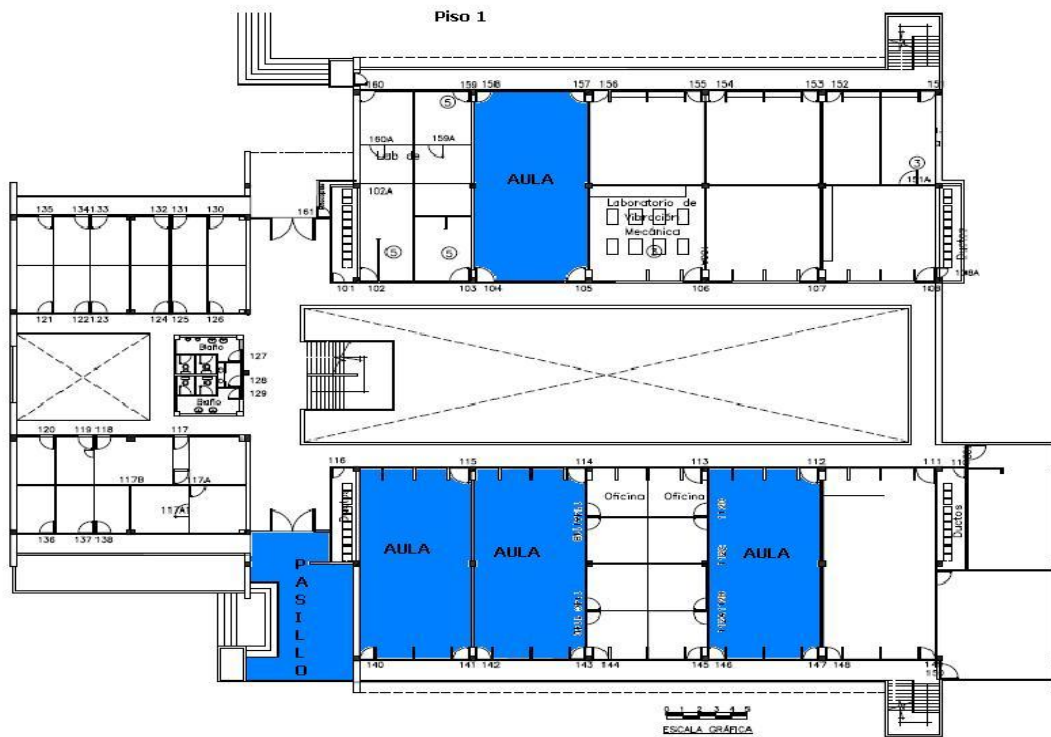
En las siguientes cuatro figuras o planos se aprecian en concreto las áreas mencionadas anteriormente para cada uno de los niveles del edificio.

Figura 22. Zonas de cobertura en el sótano.



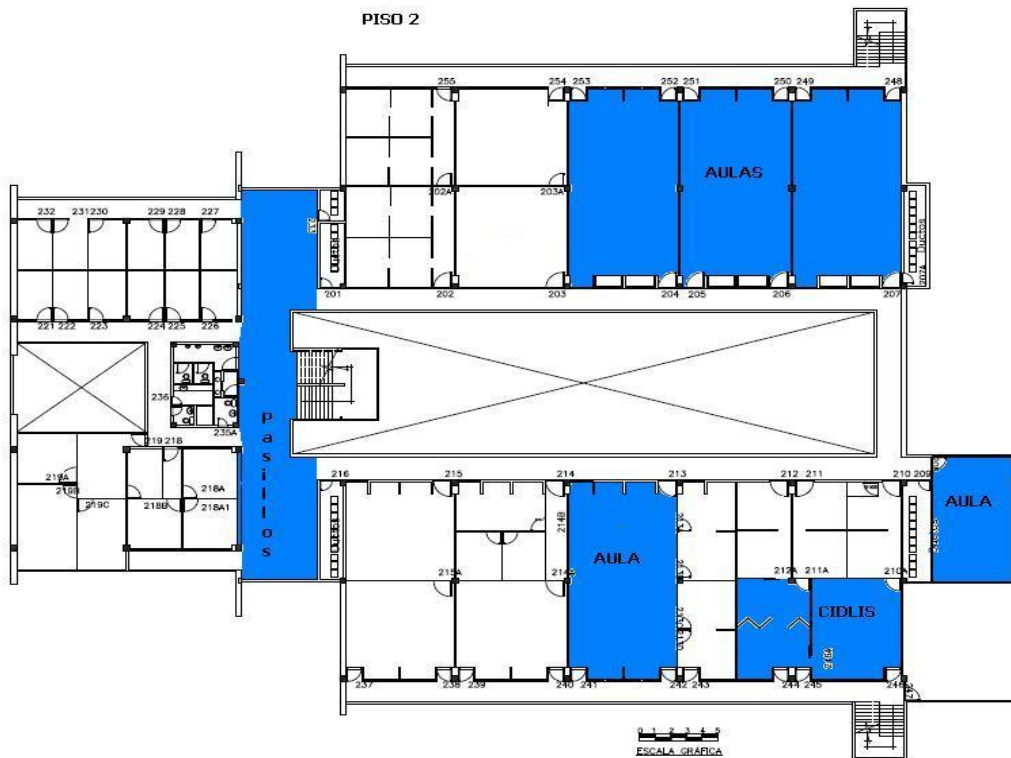
Fuente: Planeación UIS

Figura 23. Zonas de cobertura en el primer piso.



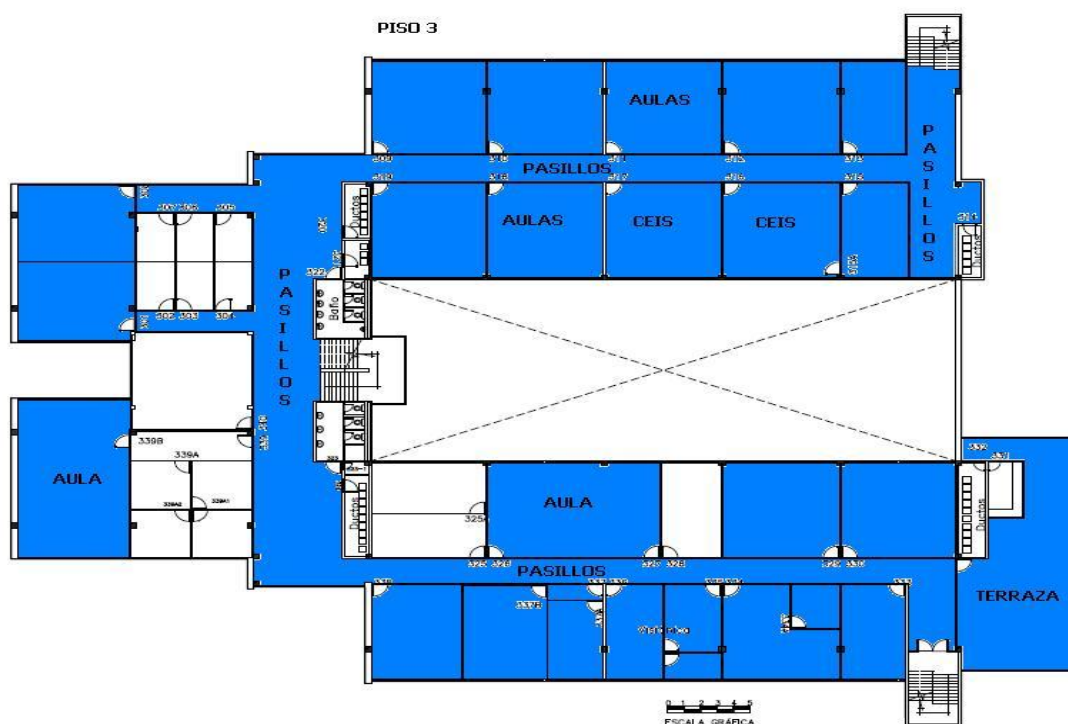
Fuente: Planeación UIS

Figura 24. Zonas de cobertura en el segundo piso.



Fuente: Planeación UIS

Figura 25. Zonas de cobertura en el tercer piso.



Fuente: Planeación UIS

Existen lugares los cuales pudieron haber cambiado su función, es decir, pudieron haber dispuesto más aulas para estudiantes o recoger material que no se utiliza y ubicarla en algún sitio que antes funcionaba normalmente como salón.

2.3 DISEÑO DE LA RED INALÁMBRICA.

2.3.1 Selección del estándar adecuado para la red.

La red inalámbrica del edificio debe funcionar bajo un estándar propicio que cumpla con las características y perfiles de los usuarios, logrando con lo anterior poder seleccionar dispositivos que no tendrán problemas de funcionalidad y compatibilidad al momento de trabajar en conjunto.

Existen varios estándares o tecnologías bajo las cuales funciona una WLAN¹¹, presentando cada una ventajas o desventajas según las prestaciones y servicios que

¹¹ WLAN: Red de Área Local Inalámbrica

se quieran proporcionar al cliente en este caso profesores, administrativos y principalmente estudiantes que desempeñen labores dentro del edificio en mención.

Los estándares para este tipo de redes reconocidos internacionalmente fueron descritos en detalle en la sección anterior capítulo 1.2. A continuación se presenta un análisis de ellos con el propósito de seleccionar el estándar que mejor se adecue y tenga la capacidad de cumplir con ciertos requerimientos de la red.

HomeRF es una tecnología que ofrece beneficios en la transmisión de voz y de datos a velocidades nominales de hasta 10 Mbps, pero tiene una cobertura limitada debido a que su enfoque es hacia aplicaciones en el hogar. Además, comercialmente no es muy difundido.

Por su parte HiperLAN es un estándar europeo que compite con el estándar 802.11a por trabajar en la misma banda del espectro, pero su instalación es compleja y se considera un estándar que tiende a desaparecer por el liderazgo que viene teniendo Wi-Fi. Estos estándares realmente no son buenas opciones debido que la red que se desea implementar requiere gran soporte, cobertura y facilidad de instalación de sus equipos, características que ellos no ofrecen.

El diente azul o bluetooth se podría considerar como alternativa si se quisiera abarcar zonas poco amplias y en las que la cantidad de usuarios sea realmente pequeña ya que cubre alrededor de unos 10 metros y dentro de su *piconet*¹² acepta un máximo de 7 nodos conectados simultáneamente. Cabe decir que sus tasas de transferencias son muy bajas para lo que se quiere diseñar, y aunque comercialmente está bien posicionada definitivamente no soportaría la cantidad de usuarios que se proyectan usaría la red y las tasas de transmisión serían efectivamente muy bajas.

Terminando el análisis aparece el estándar IEEE 802.11 o también conocido como Wi-Fi con sus diferentes versiones 802.11, 802.11a, 802.11b, 802.11g y 802.11n. Todos ellos presentan diversas tecnologías, trabajan en bandas de frecuencia distintas, esquemas de modulación, velocidades y demás características en las que difieren.

¹² Piconet: Red de 2 o hasta 7 dispositivos bluetooth que comparten un mismo canal.

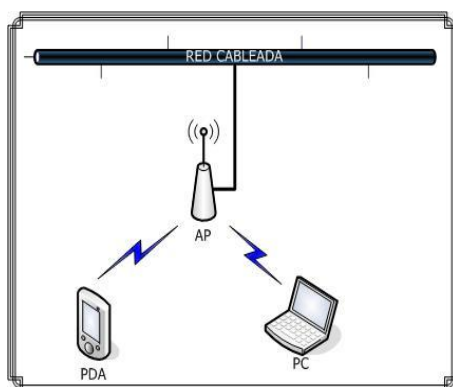
Wi-Fi es el que proporciona mayores tasas de transferencia, mayores alcances y rendimientos, en consecuencia se perfila como estándar de la red.

Dado que las zonas que se desean cubrir dentro del edificio mostradas anteriormente superan fácilmente los 10 metros, se escoge finalmente el estándar IEEE 802.11 o Wi-Fi, porque es el que mejor se ajusta por sus técnicas de funcionamiento, particularidades y beneficios.

2.3.2 Arquitectura de la red.

En el contexto de las redes inalámbricas las topologías empleadas son la malla y la topología estrella. Estos tipos de configuraciones se pueden realizar con los modos de operación del estándar IEEE 802.11 según tengan o no un nodo central que dirija las estaciones conectadas a él. En la sección 1.3 se explicaron estos conceptos. La topología tipo estrella posee un acceso central que administra la comunicación con los dispositivos enlazados a este. Si uno de ellos desea comunicarse con otro, la información que va dirigida al receptor debe ser enrutada o guiada por el AP o nodo central.

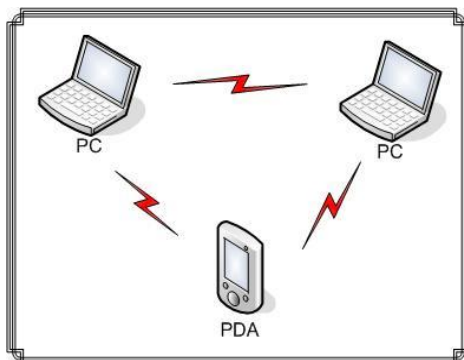
Figura 26. Topología estrella o infraestructura



Fuente: diseño del autor

En la topología malla mostrada en la Figura 27 no hay un nodo central que dirija el envío y recepción de información, por el contrario en unos momentos una estación puede ser servidora y en otros cliente, eso depende del que posea la información que se quiere compartir.

Figura 27. Topología malla o ad hoc.



Fuente: diseño del autor

La red inalámbrica del edificio es una extensión de la red cableada de la UIS, porque es una alternativa para que las personas tengan acceso a ciertas aplicaciones no solo en salas de computadores y demás sitios donde hay red LAN, sino por ejemplo en una cafetería, en los salones, pasillos y centros de estudio, lugares a donde la red alámbrica no llega.

Por tal motivo la WLAN debe ser una red en modo infraestructura o tipo estrella, que necesita de nodos centrales que gestionen y den cobertura a las partes mencionadas anteriormente. Para tener una idea de esto, en la Figura 26 se observa esta configuración.

2.3.3 Definición del protocolo.

Así mismo hay que entrar a analizar también cual versión del estándar Wi-Fi es el adecuado a implementar, debido a las grandes diferencias operacionales y prestacionales que ofrecen, por ende, a continuación se muestran los parámetros estudiados que ayudaron a decidir sobre la versión a utilizar.

- **Transmisión de datos:** El estándar 802.11a al igual que el 802.11g usan multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM) que es un recurso más eficiente que evita la interferencia y el multitrayecto que el espectro expandido por secuencia directa el cual es usado por 802.11b. En la siguiente tabla se muestran las velocidades que soporta 802.11g las cuales en realidad son la combinación de las que soportan los estándares a y b.

Tabla 1. Características del estándar IEEE 802.11g

Tasa de datos (Mbps)	Tipo de transmisión	Esquema de modulación
54	OFDM	64 QAM
48	OFDM	64 QAM
36	OFDM	16 QAM
24	OFDM	16 QAM
18	OFDM	QPSK1
12	OFDM	QPSK
11	DSSS	CCK2
9	OFDM	BPSK3
6	OFDM	BPSK
5.5	DSSS	CCK
2	DSSS	QPSK
1	DSSS	BPSK

Fuente: Tomada del artículo "capacity, coverage, and deployment considerations for ieee 802.11g", referencia [24] en la bibliografía.

Estas tasas son realmente las más altas que existen hasta ahora con los estándares ratificados, por consiguiente IEEE 802.11g es la mejor opción puesto que provee mayores tasas de transmisión que a y b antes de establecerse el nuevo estándar IEEE 802.11n.

Sin embargo, hay que tener presente que el estándar nombrado anteriormente presentaría realmente las máximas tasas de transferencia teóricas que llegarían alrededor de 600 [Mbps] gracias a la tecnología MIMO que permite la utilización de varias antenas para enviar y recibir datos simultáneamente.

- **Compatibilidad entre estándares 802.11:** El estándar 802.11g por utilizar la banda de los 2.4 es compatible con 802.11b, por lo tanto no es compatible con a y se presenta con ello dos opciones. Seleccionar a o seleccionar g y por consiguiente b.

Aunque el estándar IEEE 802.11n sería compatible con todos los anteriores por trabajar en la banda de los 2.4 y 5 GHz, para este tipo de red sería el mas adecuado pero por ser éste un borrador aún, y además dentro de la Universidad todavía no han implementado equipos que soporten algún *Draft* de 802.11n, definitivamente el estándar que mejor se acopla en cuanto a compatibilidad es el 802.11g que es compatible con 802.11b por trabajar ambos en la misma banda del espectro radioeléctrico.

- **Capacidad:** En el contexto de redes inalámbricas se entiende por capacidad a la multiplicación entre la tasa de transferencia y el número de canales disponibles. En la Tabla 2 se muestra una comparación de tasas de transferencias de las versiones de 802.11, para luego obtener su capacidad.

Tabla 2. Comparación de tasas de transferencia en cada versión del estándar IEEE 802.11

Versión	Tasa de datos (Mbps)	Tasa de transferencia aprox. (Mbps)
802.11b	11	6
802.11g con clientes 802.11b en celda (CTS/RTS)	54	8
802.11g con clientes 802.11b en celda (CTS a libre)	54	13
802.11g (sin clientes 802.11b)	54	22
802.11a	54	25

Fuente: Tomada del artículo "capacity, coverage, and deployment considerations for IEEE 802.11g", referencia [24] en la bibliografía

Intel asegura haber comprobado que el equipamiento 802.11n y puede proporcionar en el mundo real tasas de transferencia aproximadas entre 100 Mbps y 140 Mbps [].

Teniendo las tasas de datos aproximadas se construye la Tabla 3 de capacidad de red para cada uno de los estándares [24].

Tabla 3. Capacidad de red en cada versión del estándar IEEE 802.11.

Versión	Tasa de transferencia (Mbps)	Canales	Capacidad (Mbps)
802.11b	6	3	18
802.11g (operación en modo combinado)	8 - 13	3	24 - 39
802.11g (operación sin clientes 802.11b)	22	3	66
802.11a	25	12	300
802.11a (con soporte 802.11h)	25	24	600

Fuente: Tomada del artículo "capacity, coverage, and deployment considerations for ieee 802.11g", referencia [24] en la bibliografía

Por consiguiente, el que brindaría mayor capacidad es el estándar 802.11a con soporte 802.11h con 600 Mbps.

- **Cobertura:** Es otro factor importante al momento de definir la versión, pues de ella depende la satisfacción de los usuarios, y del real aporte que la red pueda hacer al desarrollo del aprendizaje estudiantil.

La cobertura entre otros parámetros como los obstáculos, depende de la potencia de transmisión de la antena, entre más alta sea, mayor alcance tendrá, claro está sin sobrepasar los lineamientos de la resolución 689 de 2004 referentes a niveles máximos de potencia irradiada [10].

La selección del método de transmisión, bien sea OFDM o DSSS, tiene un efecto en la máxima potencia que el transmisor puede usar por tanto se verá el efecto en la cantidad de espacio con buena señal inalámbrica, además, las ondas que viajan por frecuencias mas altas tienden a ser mas sensibles que las que viajan por frecuencias bajas.

Tabla 4. Cobertura en un ambiente de oficina abierta para cada versión del estándar IEEE 802.11.

Tasa de datos (Mbps)	Rango de 802.11a (40 mW con una antena patch de diversidad de ganancia ¹³ 6 dBi)	802.11b (100 mW con antena dipolo de diversidad de ganancia 2.2 dBi)	802.11g (30 mW con una antena dipolo de diversidad de ganancia 2.2 dBi)
54	13 m	-	27 m
48	15 m	-	29 m
36	19 m	-	30 m
24	26 m	-	42 m
18	33 m	-	54 m
12	39 m	-	64 m
11	-	48 m	48 m
9	45 m	-	76 m
6	50 m	-	91 m
5.5	-	67 m	67 m
2	-	82 m	82 m
1	-	124 m	124 m

Fuente: Tabla tomada del artículo "capacity, coverage, and deployment considerations for ieee 802.11g", referencia [24] en la bibliografía.

En lo que respecta al estándar por ratificar se tendría mayor alcance radial por parte de los equipos, por ende mejor cobertura - distancia debido a que la tecnología MIMO lo permitiría, eliminando el fenómeno del multicamino para que sus ondas permitan

¹³ Ganancia de una antena: Relación entre la intensidad de potencia de una antena isotrópica de referencia y la intensidad de radiación en una dirección determinada. Se expresa en [dBi].

ese mayor alcance. Se podría obtener una cobertura *indoor* de aproximadamente unos 70 [m] reales y en ambiente *outdoor* alrededor de unos 250 [m] [nueva biblio agregada].

En la Tabla 4, se muestran los rangos comparativos de cobertura en un ambiente de oficina abierta a través de las paredes de los cubículos.

Se puede apreciar fácilmente que los mayores rangos de cobertura los proporciona el estándar g, a pesar que la velocidad va disminuyendo sigue cubriendo a ciertas distancias lejanas destacando que la potencia usada en cada antena es diferente y el menor valor le corresponde a este.

En consecuencia el estándar que mejor cobertura proporciona es el 802.11g, teniendo en cuenta que no se podría escoger la versión por aprobar es decir la 802.11n puesto que no es realmente un estándar todavía, solo es un pre-estándar pero sin duda este sería el adecuado [25].

Con el análisis de las variables anteriores, es posible definir cual de las versiones de Wi-Fi proporciona un mejor desempeño y capacidad para que los clientes finalmente se sientan satisfechos con la red.

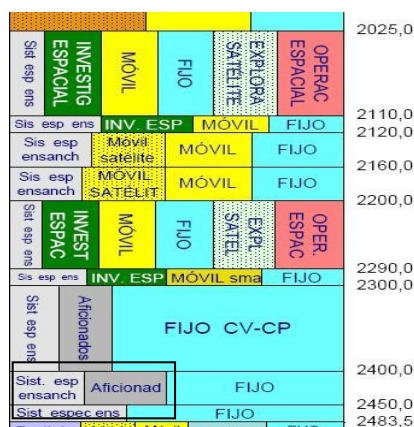
Por mayor área de cobertura, tasas de transmisión y compatibilidad, de los estándares aprobados el estándar 802.11g es el propicio para este tipo de redes inalámbricas y a pesar que trabaje en una banda muy congestionada como lo es la de los 2.4 GHz, éste es una buena combinación entre rango y ancho de banda factores que darían confiabilidad y satisfacción entre beneficiarios.

2.3.4 Banda de frecuencia.

El espectro radioeléctrico está dividido en una gran cantidad de rangos de frecuencias, desde las más bajas que van desde los 3 KHz hasta las más altas que llegan a 300 GHz, siendo éste un subconjunto del espectro electromagnético. Dentro de estos valores se encuentra la banda de los 2.400 a 2.483 GHz al igual que la de los 5.725 a 5.875 GHz, las cuales están designadas a aplicaciones cuyo fin es el desarrollo industrial, científico y médico con beneficio general (ICM). En ellas trabajan las redes inalámbricas de área local que utilicen tecnologías de espectro ensanchado, modulación digital y baja potencia [6].

Anteriormente se definió la versión 802.11g como estándar para la red, por consecuente la red funcionaría en la banda de los 2.4 GHz, la cual que se puede apreciar en la Figura 28, teniendo un ancho de banda total de 83 MHz, que comparada con los 300 MHz proporcionados por la FCC¹⁴ para operar sin licencia en la banda de los 5 GHz (Figura 29) es realmente estrecha.

Figura 28. Banda de 2.025 a 2.483 GHz



Fuente: Imagen tomada del cuadro de atribución de frecuencias, referencia [23] en la bibliografía

Figura 29. Banda de 5 GHz



Fuente: Imagen tomada del cuadro de atribución de frecuencias, referencia [23] en la bibliografía

Cabe resaltar que las señales que viajan por frecuencias más altas no penetran tanto como las que van por bajas frecuencias, es decir, que a pesar de que la banda de los 2.4 GHz esté congestionada, sus ondas proporcionan un mayor alcance que las que se transmiten por la de los 5 GHz, lo que se convierte en ventaja para la red.

¹⁴ FCC: Federal Communications Commissions.

El estándar 802.11n trabajaría en las dos bandas nombradas anteriormente.

2.3.5 Tecnología de transmisión.

Los dispositivos inalámbricos manejan diferentes tecnologías de transmisión para el envío de la señal. Estos esquemas se utilizan para transportar simultáneamente la información sobre una onda portadora¹⁵, con el fin de aprovechar mejor el canal de comunicación. Dentro de ellas, las redes WLAN emplean técnicas de espectro expandido o modulación digital. Los sistemas de espectro expandido se caracterizan por tener un ancho de banda amplio en frecuencia y un bajo pico de potencia, método usado por el estándar 802.11b, pero más exactamente la técnica DSSS.

Por el contrario 802.11a emplea el esquema de modulación digital conocido como OFDM. Ésta es muy robusta frente al multitrayecto (*multi-path*), que es muy habitual en los canales de radiodifusión, frente a las atenuaciones selectivas en frecuencia.

Para mostrar de manera amplia los tipos de transmisión en el estándar 802.11g que fue el escogido finalmente y de acuerdo a sus tasas de datos, se presenta la siguiente tabla ilustrativa.

Tabla 5. Características del estándar IEEE 802.11g.

Tasa de datos (Mbps)	Tipo de transmisión	Esquema de modulación
54	OFDM	64 QAM
48	OFDM	64 QAM
36	OFDM	16 QAM
24	OFDM	16 QAM
18	OFDM	QPSK1
12	OFDM	QPSK
11	DSSS	CCK2
9	OFDM	BPSK3
6	OFDM	BPSK
5.5	DSSS	CCK
2	DSSS	QPSK
1	DSSS	BPSK

Fuente: Tomada del artículo "capacity, coverage, and deployment considerations for ieee 802.11g", referencia [24] en la bibliografía

¹⁵ Onda portadora: Señal analógica que se utiliza para la transmisión de información, mediante modulación.

El estándar escogido para la red por combinar las velocidades de los estándares a y b, hace uso de las dos técnicas explicadas anteriormente, OFDM para tasas de 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 y 54 Mbps y DSSS para 1, 2, 5.5 y 11 Mbps.

Los esquemas de modulación en cada tasa de transferencia varían, usando BPSK para 1 Mbps y 64 QAM para alcanzar la máxima tasa.

2.3.6 Cobertura y tasas de transferencia.

Esta característica importante de la red ya fue especificada en la sección 2.3.3 en la cual se concluyó que las tasas de transferencia disminuyen a medida que la distancia aumenta, y que el estándar que mejor cobertura y tasas de transferencia tiene de acuerdo a esto es el 802.11g.

2.3.7 Tipo de enlace.

Las redes inalámbricas pueden usar dos tipos de enlace, punto a punto y punto multipunto. Un ejemplo de enlace punto a punto son las redes ad hoc conformadas por terminales de los usuarios.

Dado que la red es en modo infraestructura necesita de puntos de acceso puestos estratégicamente con el fin de suministrar señal inalámbrica, en donde se esperan se enlacen al nodo varios equipos al mismo tiempo, empleando un enlace punto multipunto.

2.3.8 Descripción de los usuarios.

Para realizar el diseño de una red inalámbrica hay que entrar a definir o conocer el perfil de los usuarios de la red, con el objetivo de direccionar la planeación hacia cómo lograr la satisfacción de ellos, sabiendo si son usuarios permanentes o esporádicos, si es vital para ellos que la red funcione todo el tiempo entre otras cosas, con esto la etapa de diseño puede llegar a ser sencilla y logrará que se realice una excelente implementación de la misma.

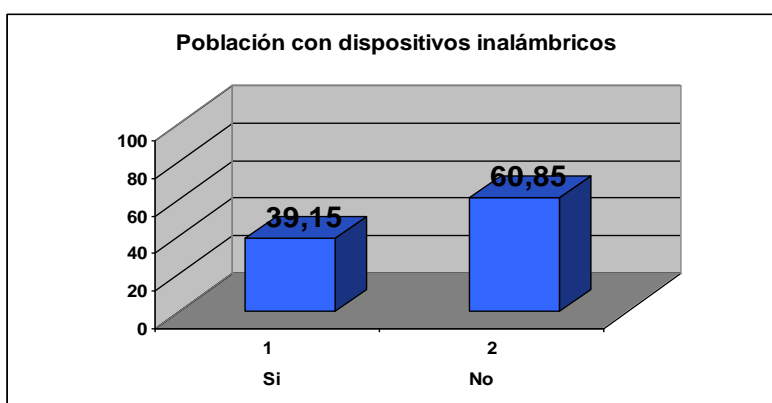
Los estudiantes de la universidad industrial de Santander más exactamente los de carreras como ingeniería de sistemas, civil, eléctrica, electrónica, mecánica, química, petróleos, geología entre otros, desempeñan labores dentro del edificio al igual que los integrantes de centros de investigación, profesores y administrativos. Todos ellos

serán los usuarios de la WLAN resaltando el estudiantado, ya que la red está guiada para incentivar y soportar el buen aprendizaje.

Así mismo, son beneficiarios permanentes que necesitan de la red para llevar a cabo sus trabajos e investigaciones, mantenerse actualizados y un aspecto importante para propiciar la unión y compañerismo.

Para poder conocer un poco los deseos de los estudiantes en cuanto a posicionamiento, cobertura y futuros reales usuarios ¹⁶ se les realizó un sondeo en el que se indagaba por la tenencia o no de dispositivos inalámbricos, frecuencia de utilización de ellos y lugares de preferencia actual y futura para trabajar con el aparato dentro del recinto en los diferentes pisos.

Figura 30. Porcentaje de personas con o sin dispositivo inalámbrico



Fuente: Autor del proyecto

Los resultados muestran que de un total de 235 personas encuestadas, 92 es decir el 39.15% posee algún dispositivo inalámbrico, porcentaje bastante considerable e importante. En la Figura 30 se observa la gráfica de porcentajes de personas con o sin dispositivo.

Con este porcentaje es posible considerar un número no exacto de usuarios que la red puede tener, teniendo en cuenta que se encuestaron alrededor de un 10% de la población total, unos 920 usuarios es de esperarse aproveche la red en diferentes espacios de tiempo.

¹⁶ Futuros reales usuarios: Se refiere a los estudiantes que actualmente poseen algún dispositivo inalámbrico bien sea un computador portátil, una palm etc.

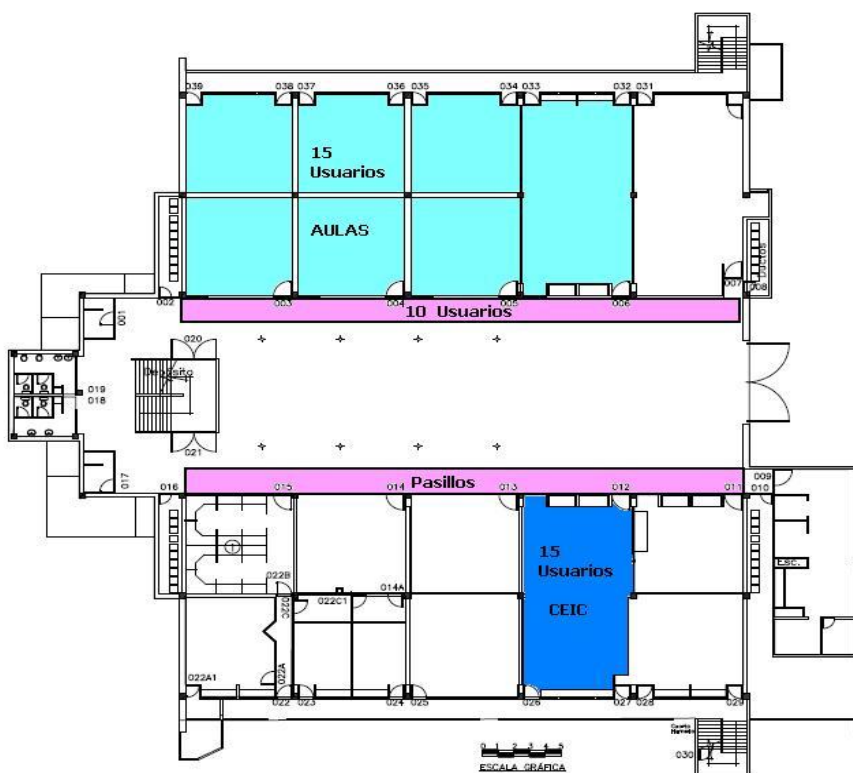
Es casi imposible por cuestiones de espacio, que al mismo tiempo estén 920 personas conectadas a la red, por esto las Tablas 6, 7, 8 y 9 al igual que las Figuras 31, 32, 33 y 34 muestran el análisis y distribución de usuarios simultáneos aproximados que emplearían la red en los diferentes niveles del recinto según las encuestas, teniendo en cuenta que en ellas se indagó por preferencias de ubicación de la red.

Tabla 6. Densidad de usuarios en el sótano.

NIVEL	ZONA	CANTIDAD
Sótano	Aulas	15
	Pasillos	10
	CEIC (Centro de estudios de ingeniería civil)	15
	TOTAL	40

Fuente: Autor de proyecto

Figura 31. Plano sótano con zonas de ubicación de usuarios.



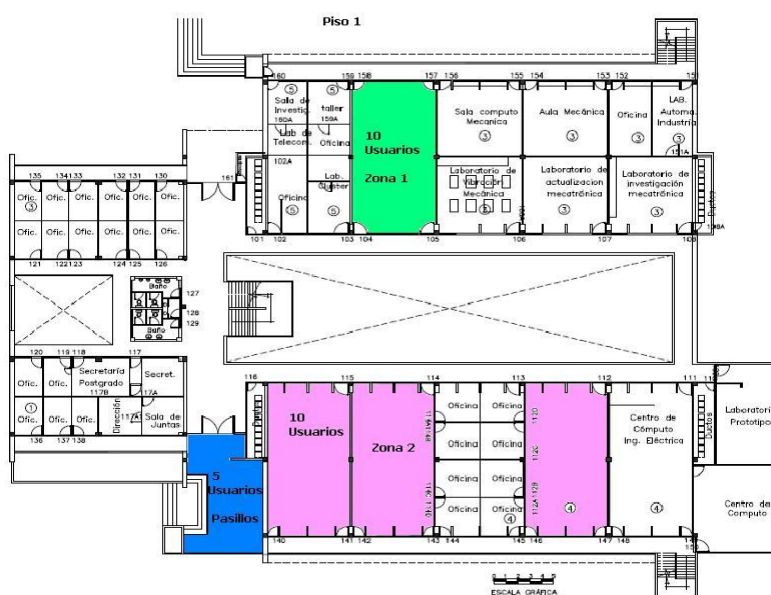
Fuente: Planeación UIS

Tabla 7. Densidad de usuarios en el Primer Piso.

NIVEL	ZONA	CANTIDAD
1er Piso	Zona 1	10
	Pasillos	5
	Zona 2	10
	TOTAL	25

Fuente: Autor del proyecto

Figura 32. Plano primer piso con zonas de ubicación de usuarios



Fuente: Planeación UIS

Tabla 8. Densidad de usuarios en el Segundo Piso.

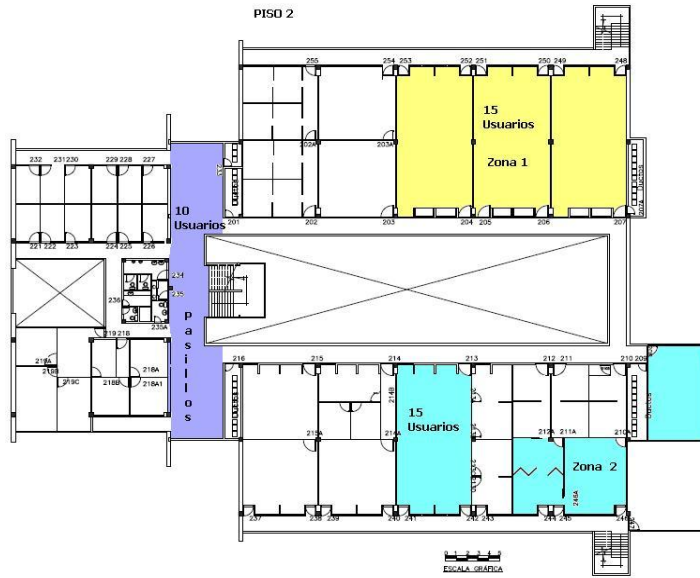
NIVEL	ZONA	CANTIDAD
2do Piso	Zona 1	15
	Pasillos	10
	Zona 2	15
	TOTAL	40

Fuente: Autor del proyecto

De acuerdo a las tablas 6, 7, 8 y 9, es posible que la red esté disponible para alrededor de unas 170 personas al mismo tiempo, distribuidas en todos los niveles del edificio.

Aunque el valor sea relativo, es referencia para el diseño de la red.

Figura 33. Plano segundo piso con zonas de ubicación de usuarios



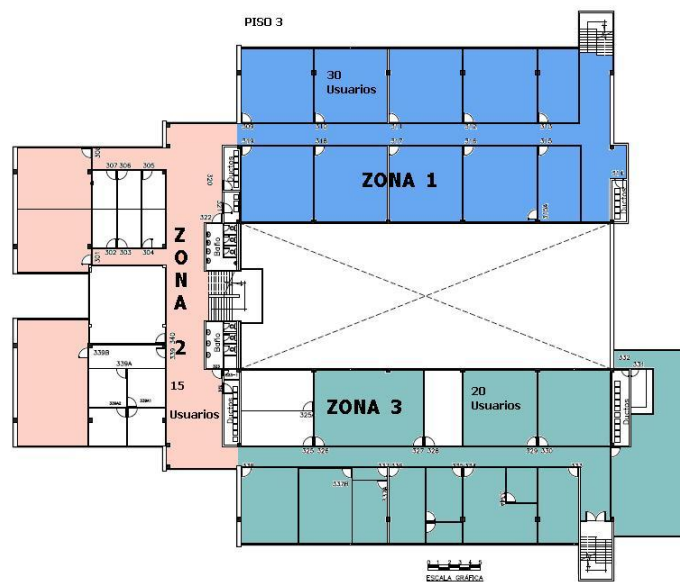
Fuente: Planeación UIS

Tabla 9. Densidad de usuarios en el Tercer Piso.

NIVEL	ZONA	CANTIDAD
3er Piso	Zona 1	30
	Zona 2	15
	Zona 3	20
	TOTAL	65

Fuente: Autor del proyecto

Figura 34. Plano tercer piso con zonas de ubicación de usuarios



Fuente: Planeación UIS

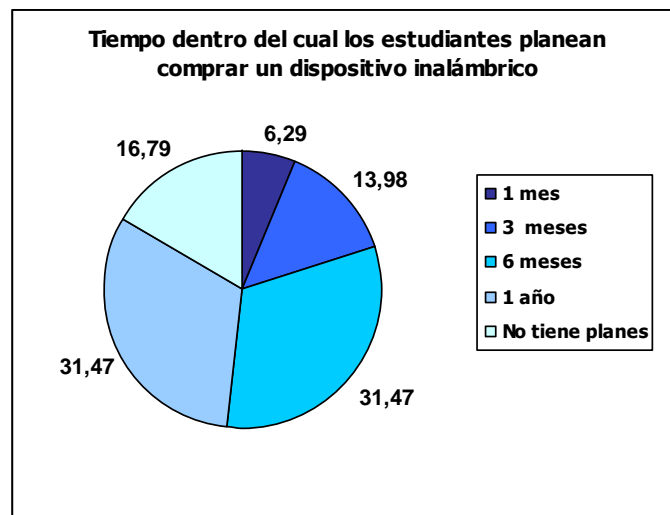
2.3.9 Proyecciones de demanda.

Realmente, determinar proyecciones de demanda depende directamente de la capacidad adquisitiva de las personas que aún no tienen aparatos inalámbricos que en este caso son estudiantes y analizando esta condición, es poco probable que la mayoría los adquiera dentro de un corto tiempo.

Aunque según las encuestas la mayoría de estudiantes piensa comprar por lo menos un portátil dentro de los próximos seis a doce meses, tiempo relativamente cercano y siendo así haría que la red se congestionara rápidamente.

Cabe destacar que existe una pequeña posibilidad de que al ver ya implementada la red, estas personas consigan uno por otros medios, como puede ser un amigo o familiar, pero ello no es representativo para la WLAN al momento de soportarlos, debido a que efectivamente no serían gran cantidad.

Figura 35. Porcentaje de personas que planean comprar un dispositivo dentro de cierto tiempo



Fuente: Autor del proyecto

Por otra parte, las personas que desean adquirir dentro de 1 a 3 meses equivalen al 20.27 % y los que no tienen planes por el momento son un 16.79%.

Tabla 10. Proyección de aumento de usuarios de la red.

Estudiantes que planean comprar a mediano plazo	No tienen dispositivo	Tiempo para adquirir dispositivo	Porcentaje	
	9	1 mes	6,29%	
	20	3 meses	13,98%	
90	45	6 meses	31,47%	62,94%
	45	12 meses	31,47%	
	24	no planean	16,79%	
	TOTAL 143			

Fuente: Autor del proyecto

En conclusión, de un total de 143 personas indagadas que no tienen portátil u algún otro aparato inalámbrico, 90 estudiantes es decir un 62.94% planean comprarlo a mediano plazo, dato que se sirve para prever que en el caso de darse la situación, los usuarios de la red podrían duplicarse de seis a doce meses.

2.3.10 Seguridad

El tema de seguridad es fundamental al momento de diseñar bien sea redes alámbricas o inalámbricas, pero sobre todo estas últimas porque su medio de transmisión de datos como tal es inseguro y cualquier persona con aparatos adecuados puede detectar señales e intentar ingresar a nodos que se encuentren altamente desprotegidos.

La seguridad de una WLAN va ligada en parte a las opciones de configuración que lleven consigo los puntos de acceso, por tal motivo al momento de escogerlos se debe estudiar que es lo que se pretende ofrecer en cuestiones de privacidad.

La red inalámbrica del edificio de Laboratorios pesados de la Universidad Industrial de Santander estará sometida a las políticas de seguridad que directamente la División de Servicios de Información desee implementar en ella, sin embargo aquí se plasman análisis de ciertos mecanismos que no serían recomendables y se proponen algunas características que se podrían tener en cuenta, de acuerdo a dos enfoques que son la encriptación de los datos y la autenticación de los usuarios.

Se estudió el cifrado WEP que es un mecanismo vulnerable con herramientas software como AirSnort como se probó en la tesis titulada "Propuesta de un esquema de seguridad para las redes inalámbricas (WLAN) del campo principal de la Universidad Industrial de Santander", al tomar un access point y tres portátiles uno de ellos con la herramienta nombrada anteriormente. Además emplearlo es bastante tedioso porque el administrador debe proporcionar manualmente esta clave tanto a los usuarios antiguos como nuevos es decir a todos los dispositivos de la red (estaciones y AP) y en este caso ésta es bastante amplia lo que ocasionaría mayores trámites al momento en que por ejemplo un estudiante que nunca haya accedido desee enlazarse con urgencia.

Por su parte las listas de direcciones MAC tampoco serían un método recomendable para la autenticación de los usuarios ya que se tendrían que conocer todas las MACs de las estaciones inalámbricas y en realidad determinarlas en este ambiente tan extenso no tendría sentido, la red no sería tan asequible como se pretende implementar.

En cuanto a la configuración de fábrica que traen los access point debe ser modificada totalmente entre ellas el SSID, así como también debe configurarse una clave segura para la sesión de administración del AP. Con respecto a las direcciones IP, para acceso a la red LAN de los nodos deben ser fijas y la salida por DHCP (para las estaciones) estableciendo un rango de posibles direcciones.

Para proteger los datos que entre dispositivos se intercambian es posible utilizar WPA o WPA2 que es la versión certificada del estándar 802.11i, siempre y cuando las estaciones tengan la opción de soportar estos mecanismos. Estos utilizan algoritmos de cifrado como TKIP y AES los cuales fueron creados para corregir las deficiencias del sistema previo WEP. Al ser compatible WPA con equipos de múltiples marcas no hay restricciones en este sentido.

Por ende al momento de escoger los equipos, éstos deben contar no solo con la certificación Wi-Fi y WPA, sino que también deben soportar los mecanismos analizados como WEP y Filtro de MACs, debido a que en cualquier momento puede ser requerida este tipo de configuraciones.

2.3.11 Administración de la WLAN

En cuanto a la administración de los puntos de acceso será por parte de la División de Servicios de Información.

Su monitoreo puede ser con alguna herramienta software que junto con hardware especializado permitan el control centralizado de todos sus componentes, para que no solo la detección y corrección de errores sea mas eficiente sino que se pueda en cualquier momento cambiar la configuración de determinado AP fácilmente.

Empresas como 3com o cisco ofrecen equipos controladores para LANs inalámbricas. Por ejemplo el 3com Wireless LAN Switch WX1200 que junto con el software 3com wireless Switch Manager permite administrar y controlar hasta 12 APs.

Pero el precio de este dispositivo es bastante alto e incrementaría en gran medida los costos de la WLAN, sin embargo esto no significa que la no adquisición de ello implique el impedimento para poder administrar forma centralizada los nodos.

La solución se encuentra en ubicar a los APs en la misma red. Con esto es posible controlarlos a todos desde un mismo punto.

Es realmente importante hacer uso de ellas, ya que se pueden evitar intrusos que quieran apoderarse de información o simplemente husmear en la red.

3. MEDICIONES Y DISEÑO FINAL

3.1 FUENTES DE ATENUACIÓN

Teniendo definidas las especificaciones escritas en el capítulo anterior se prosigue a realizar el estudio de posicionamiento de los puntos de acceso en cada nivel de la edificación. Para ello se realizó una inspección preliminar con varios fines: el principal, era buscar posibles fuentes de interferencia y atenuación siendo el caso de equipos microondas y el tipo de material con que fue construido el recinto, pero también se pretendía localizar los centros de cableado por piso y puntos de acceso que estuvieran funcionando.

Finalmente, no se encontraron dispositivos microondas que pudieran interferir en la propagación de la señal de los puntos de acceso.

El análisis de los materiales con que fue construido el edificio, dio como resultado la siguiente tabla que nombra algunos de los que fueron encontrados.

Tabla 11. Materiales del edificio.

ESTRUCTURA	MATERIAL
Muros	Mampostería de ladrillo
Ventanas	Vidrio
Puertas	Madera
Vigas	Concreto
Placas	Concreto y casetón
Columnas	Concreto
Divisiones de oficina	Aluminio o Acero

Fuente: Autor del proyecto

Este análisis es fundamental ya que la propagación de la señal emitida por los nodos depende de los materiales con que fue edificada la estructura.

En cuanto a dispositivos inalámbricos como *access point* se hallaron varios de estos equipos en diferentes espacios como por ejemplo en el decanato de la Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, centro de estudios de ingeniería de sistemas, grupo SIMON entre otros para los cuales no se supo la ubicación exacta.

3.2 LOCALIZACIÓN DE LOS AP

Para comenzar a realizar la fase de ubicación de los aparatos inalámbricos, anteriormente se explicaron y especificaron las zonas a las que se quiere dar cobertura en cada piso, al igual que las fuentes de atenuación, todo esto para identificar posibles posiciones.

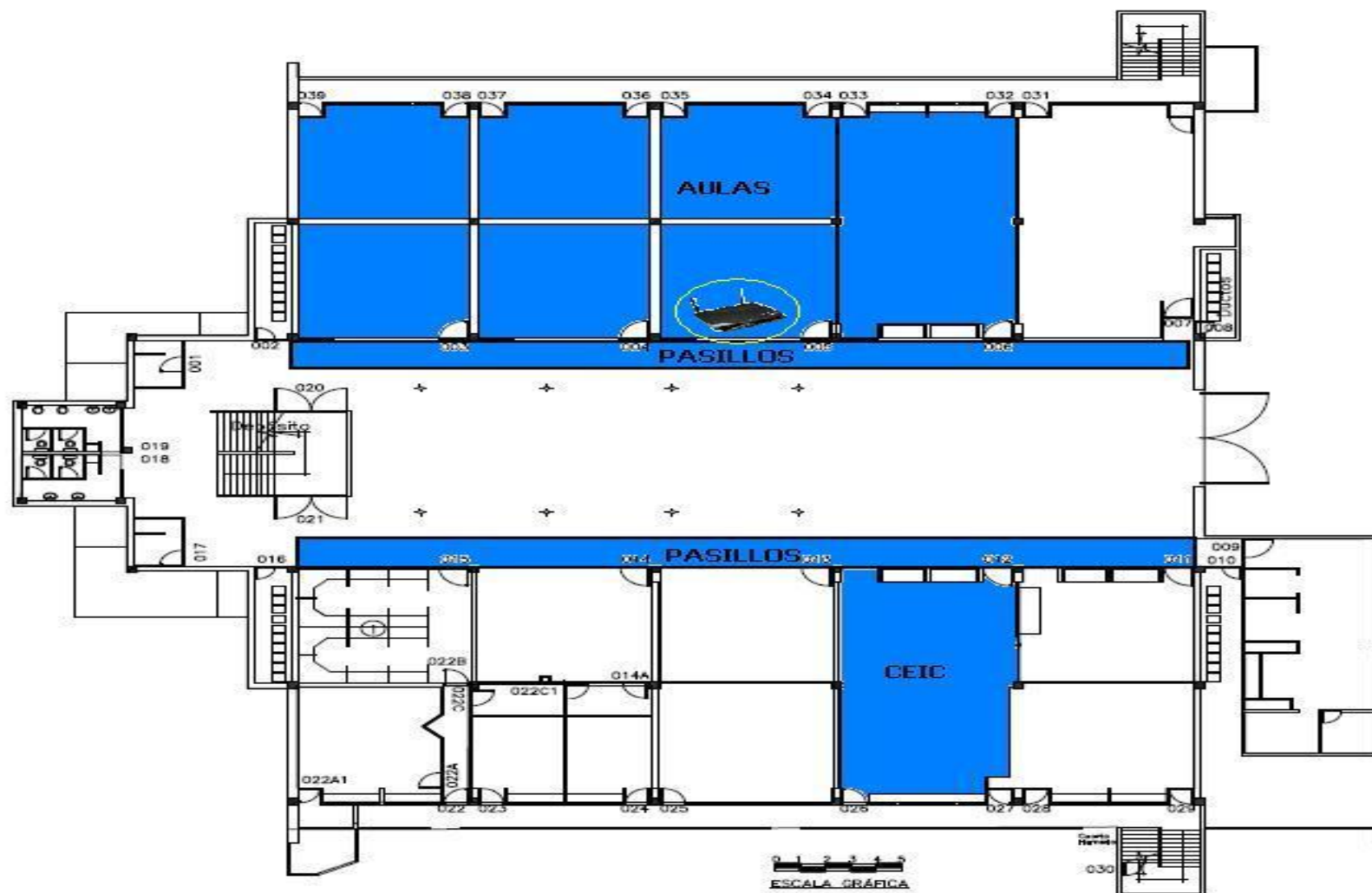
Con el firme objetivo de descubrir una adecuada localización y lograr un buen diseño de la red, se tuvieron en cuenta las siguientes características al momento de analizar los posibles puntos.

1. El radio de cobertura de un AP Linksys en ambiente *indoor* es de 40 [m] según las mediciones hechas en la tesis “Diseño de una WLAN para la Fundación Universitaria Agraria de Colombia Uniagraria”. Ver referencia [16] de la bibliografía.
2. Ubicar el AP en una posición que dado su radio de cobertura cubriera la mayor área posible. Esto se hizo teniendo en cuenta los planos del edificio.
3. Ubicar el AP a una determinada altura para que la señal no se vea tan afectada por los muros de la edificación los cuales algunos son fuente de gran atenuación debido a su grosor.
4. Tratar de no ubicar el AP en sitios inseguros¹⁷.
5. El diseño final no debe contar con nodos que estén subutilizados.

En las Figuras 36, 37, 38 y 39 se muestran los planos de cada piso con la respectiva posición del dispositivo inalámbrico. Estas posiciones se lograron especificar teniendo en cuenta las zonas en las que los estudiantes desean tener este tipo de servicio.

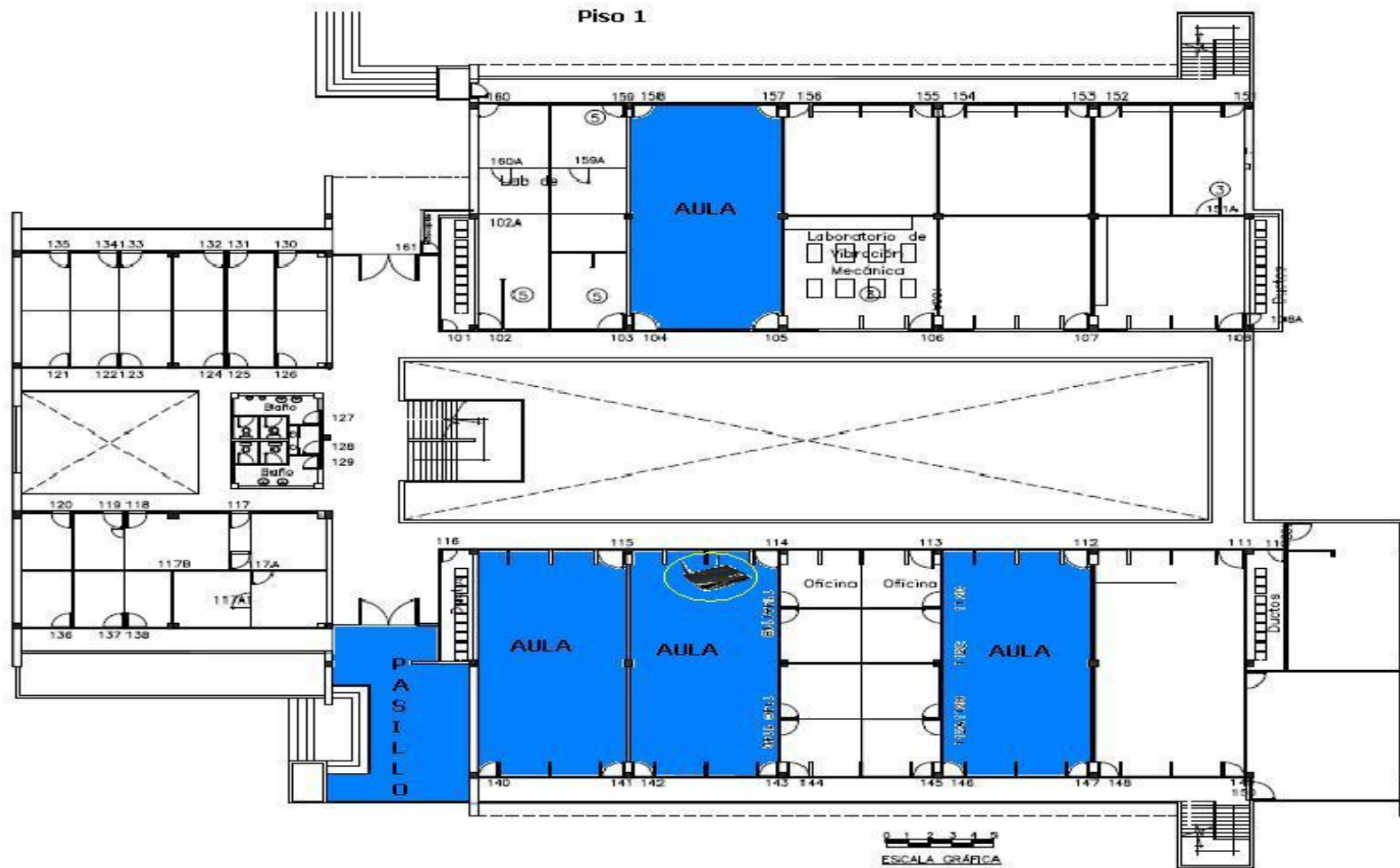
¹⁷ Sitios inseguros: Lugares al aire libre, por ejemplo los pasillos, en estas zonas los AP pueden ser vulnerados físicamente y no se tendría un control sobre ellos.

Figura 36. Plano sótano con ubicación de AP.



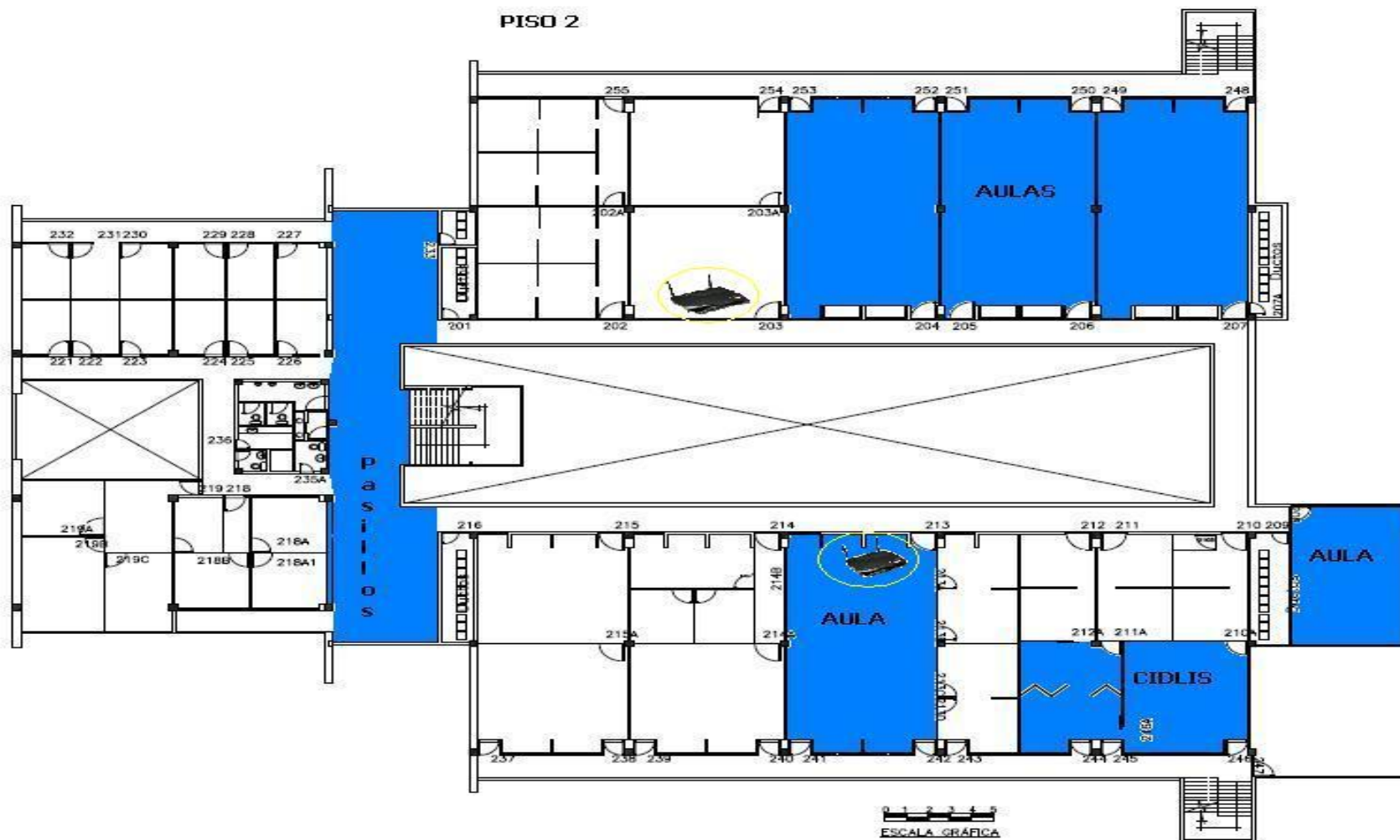
Fuente: Autor del proyecto.

Figura 37. Plano primer piso con ubicación de AP.



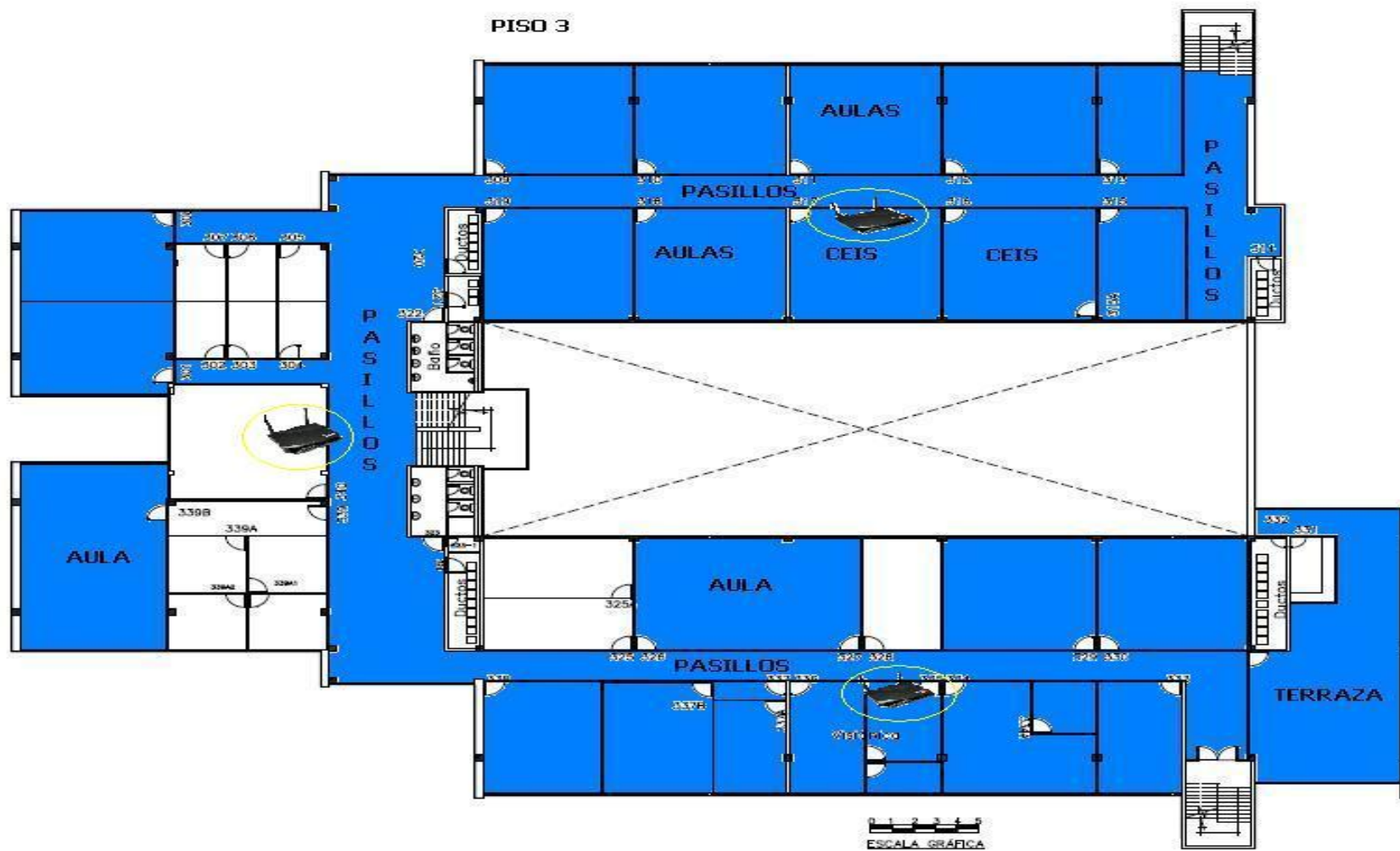
Fuente: Autor del proyecto.

Figura 38. Plano segundo piso con ubicación de AP.



Fuente: Autor del proyecto.

Figura 39. Plano tercer piso con ubicación de AP.



Fuente: Autor del proyecto.

Teniendo el diseño, es decir con las posiciones definidas en cada piso del recinto, se prosiguió a la realización de dos estilos de pruebas, la primera con el software *RPS* (*Radiowave Propagation Simulator*) versión estudiante, y la segunda propiamente en el edificio colocando un equipo inalámbrico en cada una de las posiciones mostradas en las respectivas figuras.

Con las pruebas se buscó corroborar la posición de ellos en el sentido de saber cual era el nivel de intensidad recibido al igual que conocer valores de *throughput* en puntos claves de las zonas.

3.3 PRUEBAS DE LOCALIZACIÓN DE LOS AP

3.3.1 Pruebas con RPS y en el edificio

RPS es una herramienta que permite realizar simulaciones o reproducir comportamientos de elementos inalámbricos como antenas tanto transmisoras como receptoras entre otros, y predecir cómo se comportan en ambientes reales pero analizados por computadora.

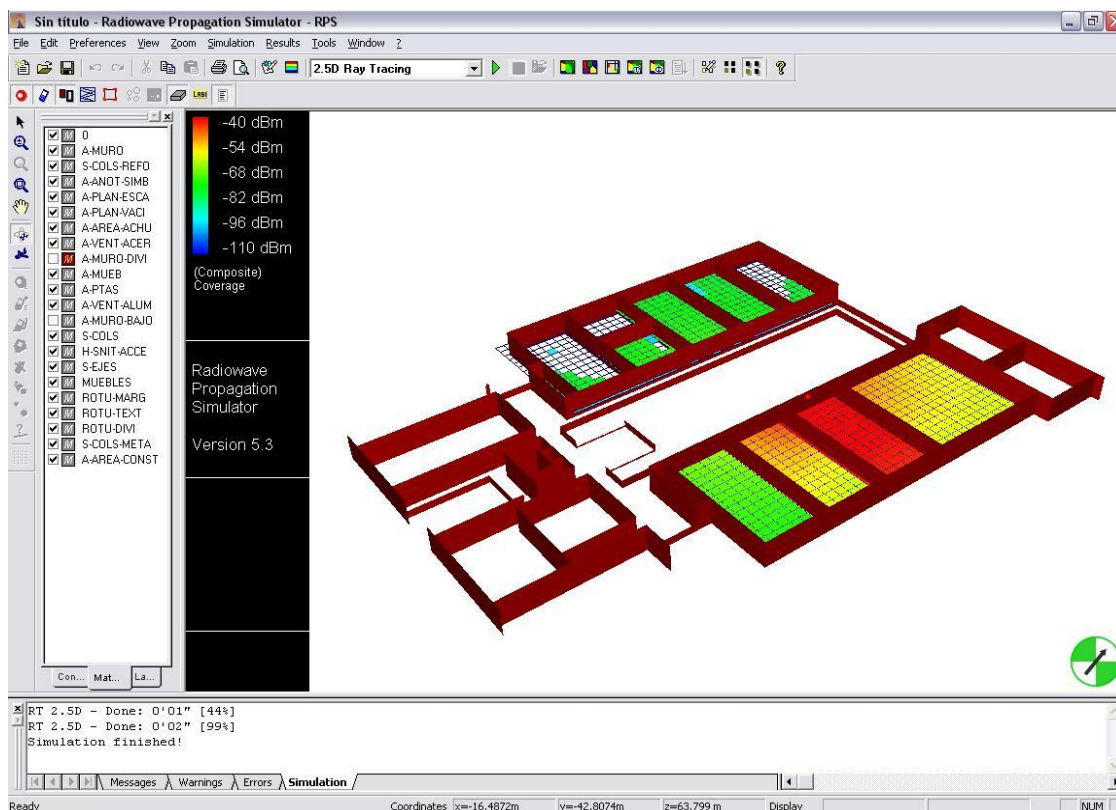
Dentro de sus características, ayuda en la planificación de redes inalámbricas que basada en la arquitectura del escenario, materiales de construcción presentes en la edificación es posible ubicar según lo desee el diseñador, transmisores y receptores con la finalidad de observar el comportamiento de la red [15].

Su interfaz gráfica, Figura 40, es bastante amigable y facilita la visualización de los elementos a analizar.

Las pruebas en este software se hicieron para analizar la cobertura de las antenas de los aparatos inalámbricos sobre las zonas a cubrir y se realizaron de la siguiente manera:

- Los planos de cada nivel fueron importados al software y con este se diseñó el edificio en vista tridimensional, pero no se tuvieron en cuenta los materiales del edificio, debido a que era bastante complejo simular exactamente el tipo de material de cada muro.

Figura 40. Interfaz RPS.



Fuente: Autor del proyecto

- Se posicionaron receptores a lo largo de las zonas especificadas anteriormente y se les configuraron variables como la altura y el tipo de antena.
- Los puntos de acceso se configuraron con parámetros como la potencia máxima de transmisión, el tipo de antena que poseen, la altura y la frecuencia en la que se quiere simular.
- Finalmente se exportaron las imágenes de cada simulación, en las que se muestra la cobertura de los nodos.

A su vez propiamente en el edificio se realizaron mediciones de *throughput* y del nivel de intensidad recibido (RSSI) en los puntos importantes.

El análisis y los resultados de las mediciones de RSSI hechas con el software y en el edificio en ciertos puntos del área se presentan a continuación en figuras y tablas cuyas columnas significan lo siguiente:

Punto: Es la cantidad de puntos de medida.

Distancia [m]: Es la distancia en metros que hay desde el punto de medida al AP.

RSSI [dBm]: Es la intensidad de la señal recibida en el punto, con las pruebas hechas en el edificio.

RSSI – RPS [dBm]: Es la intensidad de la señal recibida en el punto, con las pruebas hechas en el software.

Error %: Comparación de las columnas RSSI con RSSI – RPS, para conocer qué tan acertado es el software en las simulaciones de los AP. Siempre es positivo ya que es el valor absoluto.

Throughput [Mbps]: Cantidad de datos que se entregan por unidad de tiempo mediante un medio físico. Valor de esta variable en el punto correspondiente. Medida tomada sólo con las pruebas dentro del recinto.

Para el análisis de los resultados es importante recordar qué significan los valores de RSSI tomados de las dos pruebas. Para ello se presenta la Tabla 12 en la que se aclara cuándo un determinado valor de potencia recibida es adecuado o no para enlazarse al AP. Estos valores se determinaron gracias a las pruebas hechas dentro del edificio con un router inalámbrico y un portátil en el cual se medía la cantidad de señal recibida del nodo.

Tabla 12. Calidad del enlace según el nivel de intensidad recibido.

RSSI [dBm]	Calidad de enlace
0 a -40	Enlace perfecto
-41 a -60	Enlace bueno
-61 a -70	Enlace normal - bajo
-71 a -80	Justo para establecer el enlace

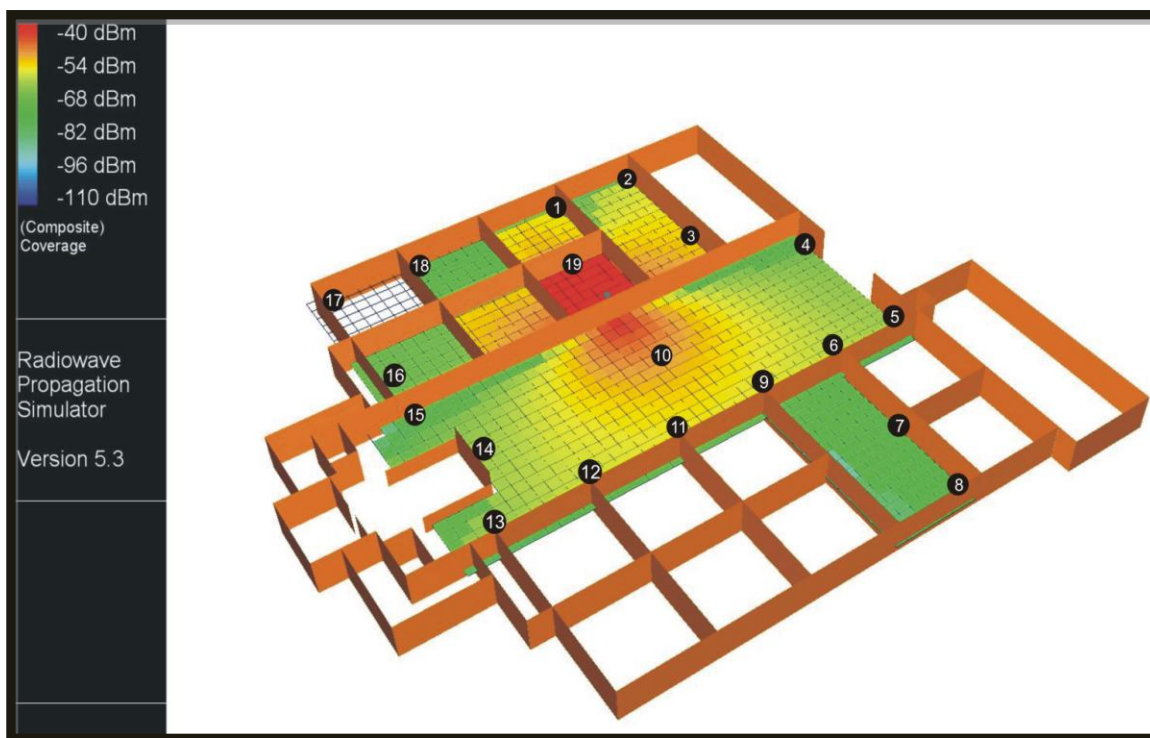
Fuente: Autor del proyecto

3.3.1.1 Pruebas en el sótano

La Tabla 13 muestra que la distribución de la señal del nodo es satisfactoria a lo largo de la zona, solo existen cinco puntos en los que la señal se encuentra entre -70 y -80 [dBm] sobre los cuales el enlace es normal pero tiende a bajar en condiciones de tormenta, y un solo punto que sobrepasa los -80 [dBm], nivel justo para alcanzar un enlace.

Teniendo en cuenta que según la referencia [24] de la bibliografía, la tasa promedio aproximada de throughput que se puede alcanzar en una red 802.11g sin clientes 802.11b dentro de la celda es de 22 Mbps, en estos cinco puntos no es tan alto porque la potencia de la señal es débil. Sin embargo en el resto de puntos sí se registran tasas altas de esta variable. El promedio de throughput en todo el piso es de 14.463 Mbps, un valor realmente bueno.

Figura 41. Plano sótano con distribución de la señal del AP.



Fuente: Autor del proyecto.

Los otros sitios de medida han arrojado valores de señal satisfactorios mayores que -70 [dBm] en los que el enlace es casi perfecto y se puede mantener sin problemas.

El promedio de RSSI en esta posición es de -61.84 [dBm], lo cual significa un enlace normal – bajo para los clientes inalámbricos.

En la simulación con la herramienta se aprecia la distribución de la señal a lo largo de la zona como se muestra en la figura inmediatamente anterior, además los datos arrojados son bastante cercanos a los proporcionados con las pruebas hechas en la edificación.

En la columna Error¹⁸ no hay valores mayores a 18.6 %, significa que el software en este caso estima bien el *access point* en esa posición.

Tabla 13. Resultados de las mediciones en el sótano.

Punto	Distancia [m]	RSSI [dBm]	RSSI – RPS [dBm]	Error %	Throughput [Mbps]
1	14	-61	-56,79	6,901639344	16,303
2	16,8	-58	-59,89	3,25862069	18,768
3	11,3	-55	-53,71	2,345454545	18,004
4	17,8	-60	-68,03	13,383333333	16,437
5	22,8	-65	-63,32	2,584615385	12,415
6	17,7	-55	-60,39	9,8	18,66
7	23,7	-70	-73,8	5,428571429	7,543
8	30,2	-79	-75,15	4,873417722	8,322
9	14,5	-59	-58,18	1,389830508	10,015
10	9,7	-52	-52,03	0,057692308	19,342
11	14,5	-59	-58,14	1,457627119	20,894
12	17,7	-53	-60,56	14,26415094	19,636
13	22,8	-58	-63,79	9,982758621	19,468
14	17,2	-53	-62,88	18,64150943	21,936
15	18	-70	-73,24	4,628571429	8,115
16	17,9	-74	-68,85	6,959459459	6,381
17	21,7	-81	-	-	5,04
18	16,8	-71	-72,59	2,23943662	7,96
19	7,2	-42	-37,86	9,857142857	22,561

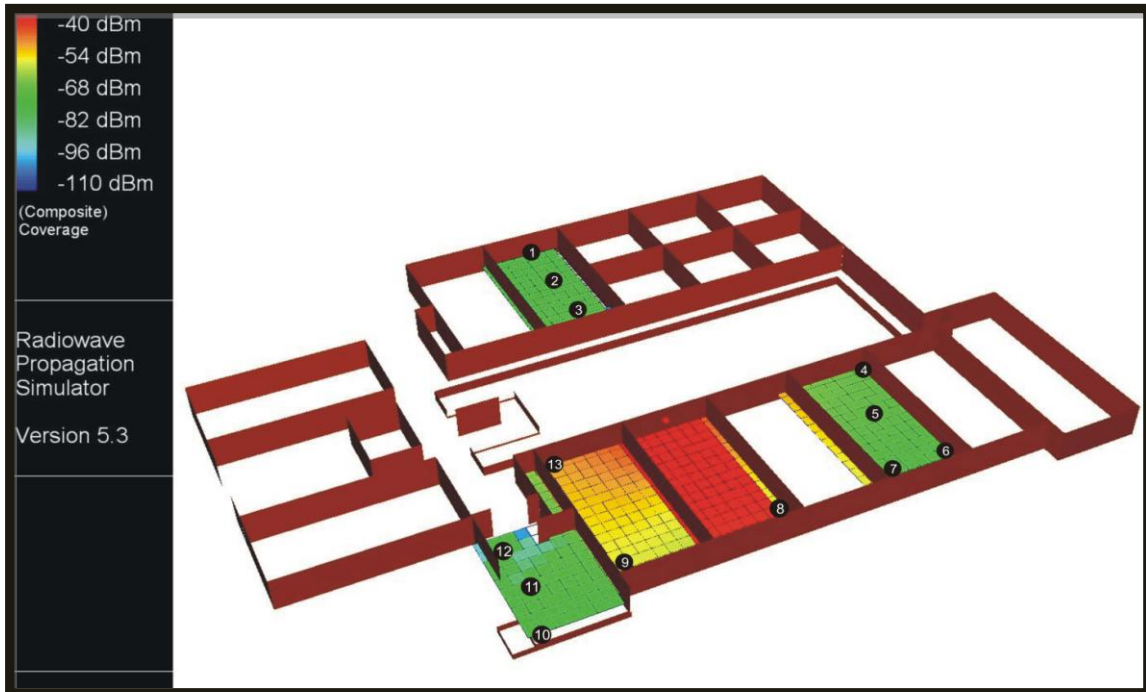
Fuente: Autor del proyecto.

La columna que muestra el RSSI medido con el software RPS tiene una casilla con un guión, esto significa que no se registró señal en ese punto. En las siguientes tablas también se encuentran estos guiones y tienen el mismo significado.

¹⁸ Columna Error %: Compara la columna RSSI con RSSI – RPS.

3.3.1.2 Pruebas en el primer piso

Figura 42. Plano primer piso con distribución de la señal del AP.



Fuente: Autor del proyecto.

En estos resultados se aprecia claramente la interferencia de los muros de la edificación ya que en la mayoría de los puntos la señal se encuentra entre -70 y -82 [dBm], al mismo tiempo no permite que la señal tenga valores mayores a -48 [dBm], aunque hay que tener en cuenta que los sitios escogidos están un poco retirados del dispositivo y con algunos muros de por medio.

Sin embargo, los registros de RSSI no son menores a -82 [dBm] lo cual significa que el enlace de clientes inalámbricos en esta zona es posible. La potencia de la señal tomada en el software da valores cercanos con respecto a los otros ya que no se encuentran errores mayores al 10%.

El promedio de throughput es de 9.92 Mbps. Es bajo por el distanciamiento con el nodo.

El promedio de RSSI es de -70.38 Mbps. Es normal – bajo y aunque no es una cantidad ideal, se garantiza el enlace de los dispositivos.

Observando la columna Error %, el máximo es de un 10,04%. Significa que en esta posición el software hace una mejor aproximación del comportamiento del AP.

Tabla 14. Resultados de las mediciones en el primer piso.

Punto	Distancia [m]	RSSI [dBm]	RSSI - RPS [dBm]	Error %	Throughput [Mbps]
1	28,8	-76	-75,87	0,171052632	5,638
2	21,8	-71	-73,86	4,028169014	8,724
3	14,4	-74	-70,89	4,202702703	7,566
4	17,9	-72	-71,46	0,75	8,62
5	16,2	-70	-70,44	0,628571429	9,74
6	21,6	-70	-72,85	4,071428571	9,823
7	18,3	-72	-73,14	1,583333333	9,637
8	13,8	-48	-43,18	10,04166667	22,038
9	18	-60	-59,39	1,016666667	16,446
10	23,9	-82	-75,52	7,902439024	4,144
11	19,4	-77	-73,36	4,727272727	5,927
12	18,4	-79	-76,35	3,35443038	5,325
13	10,5	-64	-52,51	17,953125	15,320

Fuente: Autor del proyecto.

3.3.1.3 Pruebas en el segundo piso

- Punto de acceso ubicado en el Laboratorio José Alberto Villabona de la escuela de ingeniería de sistemas.

Analizando la potencia de la señal medida propiamente en el edificio resultaron nueve puntos que registran señal entre -70 y -80 [dBm] los demás son mayores a estos generando una buena cobertura en el sitio.

Por otra parte, si se examina la potencia pero con el software, se puede ver que diversos puntos registran datos un poco lejanos con respecto a la anterior prueba.

Esto muestra que la herramienta es sensible a los obstáculos y cuando la señal debe atravesar más de dos muros por ejemplo, el cálculo resulta aún más lejano que cuando atraviesa solo uno o simplemente llega directamente.

En las demás simulaciones esta sensibilidad de la herramienta también se muestra, pero no es preocupación para el desarrollo del proyecto.

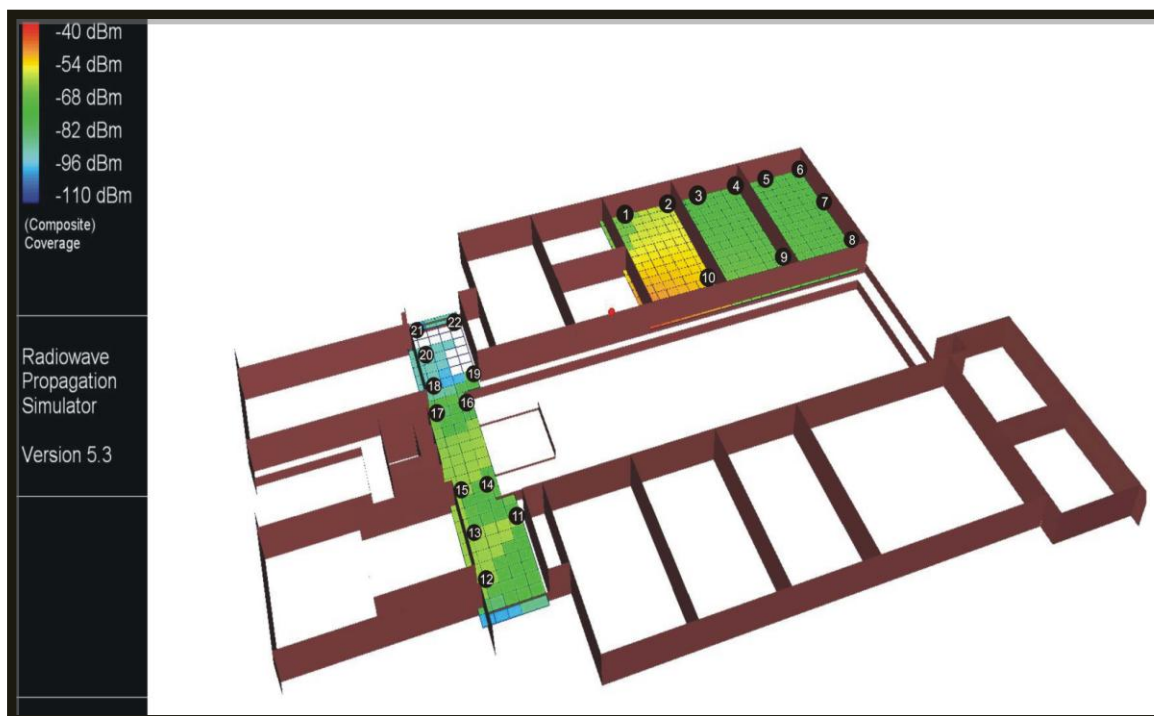
El promedio de RSSI según las pruebas dentro del recinto es de -67.5 [dBm], valor que se encuentra dentro del rango de un enlace normal – bajo.

En cuanto al *throughput*, el promedio en este lugar es de 9.688 Mbps que comparado con 22 Mbps, es un poco menos de la mitad, siendo así el promedio un poco bajo, pero es posible trabajar así.

Si comparamos los resultados de las pruebas con los de la herramienta, en este caso se presenta un error máximo de 33.67 % en el punto veinte.

En conclusión, RPS versión estudiante es un software limitado cuyas simulaciones se ven afectadas y sensibles con los materiales de los muros del edificio.

Figura 43. Plano segundo piso con distribución de la señal del AP 1.



Fuente: Autor del proyecto.

Tabla 15. Resultados de las mediciones en el Laboratorio José Alberto Villabona.

Punto	Distancia [m]	RSSI [dBm]	RSSI - RPS [dBm]	Error %	Throughput [Mbps]
1	15,7	-57	-67,42	18,28070175	14,783
2	16,6	-59	-60,49	2,525423729	19,818
3	19,7	-65	-73,76	13,47692308	11,37
4	21,6	-68	-73,72	8,411764706	13,221
5	25,1	-71	-74,18	4,478873239	5,927
6	27,5	-72	-74,66	3,694444444	4,345
7	26,1	-66	-73,03	10,65151515	4,086
8	25	-70	-71,86	2,657142857	4,126
9	17,8	-62	-68,81	10,98387097	15,886
10	10,6	-57	-53,48	6,175438596	20,357
11	18,8	-72	-62,29	13,48611111	10,473
12	26	-79	-63,62	19,46835443	6,243
13	23,2	-70	-63,47	9,328571429	3,906
14	18	-68	-71,89	5,720588235	12,194
15	21	-72	-63,15	12,29166667	11,835
16	14,5	-72	-76,77	6,625	8,857
17	18,1	-64	-66,29	3,578125	11,623
18	17,5	-64	-72,66	13,53125	13,531
19	12,4	-65	-80,89	24,44615385	14,988
20	17,3	-67	-89,56	33,67164179	14,751
21	18,7	-77	-97,24	26,28571429	11,009
22	14,3	-68	-88,94	30,79411765	14,114

Fuente: Autor del proyecto.

- Punto de acceso ubicado en un aula de ingeniería electrónica.

Las pruebas para medir el RSSI y el throughput en esta posición no se pudieron realizar porque en su momento se encontraban haciendo remodelaciones en el aula donde se ubicaría el aparato inalámbrico por lo que no era posible su conexión y correcto montaje. Por esto en la tabla de resultados no se pudieron llenar las columnas RSSI [dBm], Error % ni Throughput [Mbps]. No obstante, se simuló el nodo en el software y los resultados son los plasmados en la Tabla 16, en la columna RSSI – RPS [dBm].

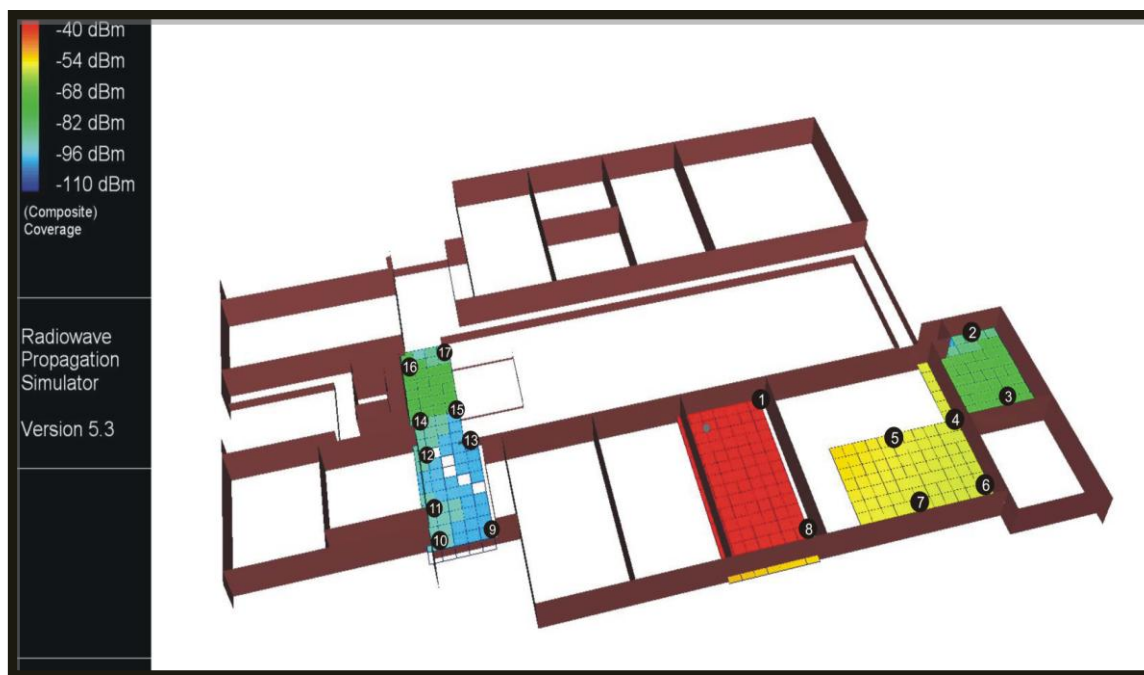
Por las restricciones que este tiene, la señal analizada es bastante débil en casi la mitad de los puntos y aunque es de esperarse que el nodo irradie mayor potencia, no se puede concluir que esa sea la correcta ubicación para este AP.

Tabla 16. Resultados de las mediciones en el aula de ingeniería electrónica.

Punto	Distancia [m]	RSSI [dBm]	RSSI - RPS [dBm]	Error %	Throughput [Mbps]
1	7	-	-37,84	-	-
2	27,1	-	-85,31	-	-
3	25,4	-	-73,01	-	-
4	21,4	-	-59,47	-	-
5	15,8	-	-57,64	-	-
6	22,1	-	-59,97	-	-
7	17,9	-	-59,14	-	-
8	10,7	-	-41,92	-	-
9	16,3	-	-97,19	-	-
10	21	-	-91,72	-	-
11	21	-	-90,52	-	-
12	21,2	-	-95,84	-	-
13	16,8	-	-97,06	-	-
14	22,2	-	-89,06	-	-
15	19,6	-	-88,67	-	-
16	25,8	-	-76,58	-	-
17	23,9	-	-86,89	-	-

Fuente: Autor del proyecto.

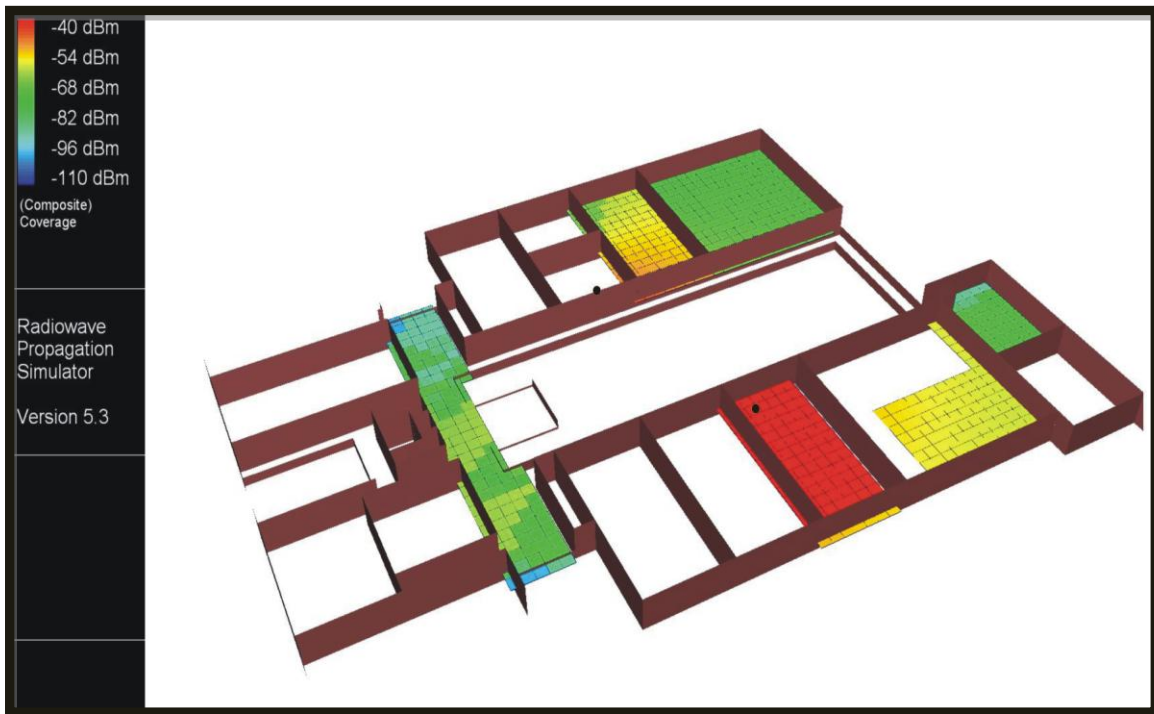
Figura 44. Plano segundo piso con distribución de la señal del AP 2.



Fuente: Autor del proyecto.

La figura que viene a continuación, muestra la distribución de la señal de los dos puntos de acceso a través del segundo piso, en los lugares que se desea cobertura inalámbrica.

Figura 45. Simulación completa con los dos dispositivos inalámbricos en el segundo piso.



Fuente: Autor del proyecto.

3.3.1.4 Pruebas en el tercer piso.

- Punto de acceso localizado en el centro de estudios de ingeniería de sistemas, CEIS.

Solo hay un punto donde la señal es de -70 [dBm], los demás son mayores lo que representa una muy buena cobertura de las aulas, pasillos y centro de estudios.

Al tener buen nivel de potencia en las zonas definidas, los valores de throughput se hacen altos y esto permite que los estudiantes puedan gozar de una red con buen rendimiento.

De todas las posiciones probadas, en este lugar es donde se obtienen uno de los mayores promedios de *throughput*, 18.277 Mbps. Este es un valor cercano al de

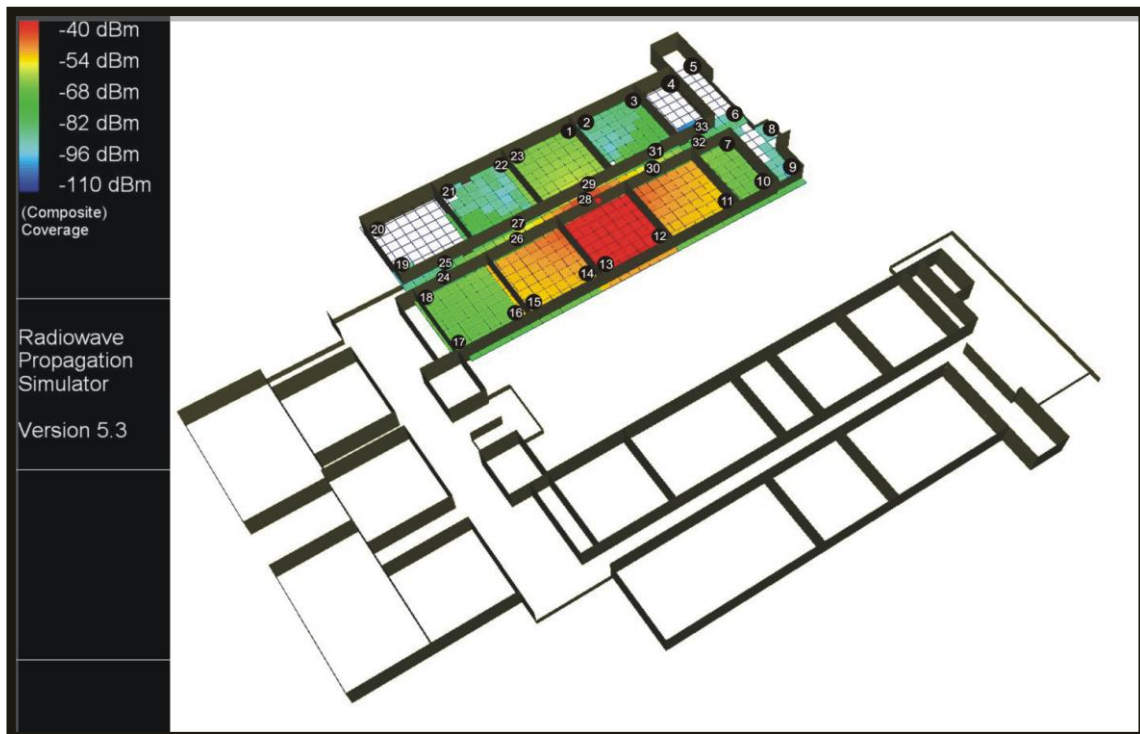
referencia que es 22 Mbps, por lo tanto se que la red funcione bastante bien para los estudiantes, en estos lugares.

Según la simulación, la señal del nodo no alcanza a llegar a los puntos 4, 5 y 20, como se aprecia en la Figura 46. Pero realmente esto no es tan perjudicial ya que las personas pueden buscar otras zonas de mejor señal para trabajar.

Aunque con las pruebas hechas allí, un dispositivo cliente si alcanza a recibir señal, ésta no es tan buena, pero cabe resaltar aquí que donde comenzó funcionando el centro de estudios de sistemas, se instaló un *router* inalámbrico el cual cubre dos de los puntos mencionados anteriormente, haciendo que se tenga un buen servicio inalámbrico en casi la totalidad de esta zona.

El promedio de RSSI es de -56.9 [dBm]. Es un valor alto en comparación a los otros promedios y se encuentra dentro del rango de un enlace bueno.

Figura 46. Plano tercer piso con distribución de la señal del AP 1.



Fuente: Autor del proyecto.

Tabla 17. Resultados de las mediciones en el CEIS.

Punto	Distancia [m]	RSSI [dBm]	RSSI - RPS	Error %	Throughput [Mbps]
1	9,9	-53	-65,38	23,35849057	19,981
2	10,1	-59	-87,44	48,20338983	18,016
3	14	-63	-83,25	32,14285714	18,203
4	16,8	-61	-	-	12,454
5	19,7	-70	-	-	13,587
6	17,7	-60	-81,4	35,66666667	19,002
7	14,7	-58	-66,72	15,03448276	19,098
8	19,2	-65	-89,21	37,24615385	10,406
9	19	-69	-94,81	37,4057971	15,388
10	16,4	-61	-68,7	12,62295082	18,097
11	12,6	-51	-54,97	7,784313725	20,67
12	7,8	-39	-38,16	2,153846154	21,238
13	7,8	-38	-38,54	1,421052632	21,221
14	8	-45	-54,17	20,37777778	20,608
15	12,7	-50	-55,19	10,38	20,608
16	13	-54	-68,41	26,68518519	19,914
17	19,1	-67	-69,74	4,089552239	18,256
18	17,7	-65	-68,51	5,4	15,375
19	17,7	-66	-92,92	40,78787879	13,872
20	20	-68	-	-	14,754
21	14,1	-57	-91,14	59,89473684	18,56
22	10	-58	-87,73	51,25862069	13,077
23	10,1	-52	-65,86	26,65384615	18,269
24	14,2	-58	-87,84	51,44827586	17,15
25	14,5	-62	-82,56	33,16129032	18,951
26	7,2	-55	-75,03	36,41818182	19,063
27	7,5	-53	-59,52	12,30188679	21,057
28	0,8	-50	-42,02	15,96	21,063
29	2,2	-40	-43,95	9,875	21,094
30	7,2	-56	-75,13	34,16071429	21,111
31	7,5	-59	-59,52	0,881355932	21,198
32	14,2	-58	-85,51	47,43103448	21,196
33	14,5	-59	-78,96	33,83050847	20,611

Fuente: Autor del proyecto.

- Punto de acceso ubicado en el laboratorio de hardware de ingeniería de sistemas.

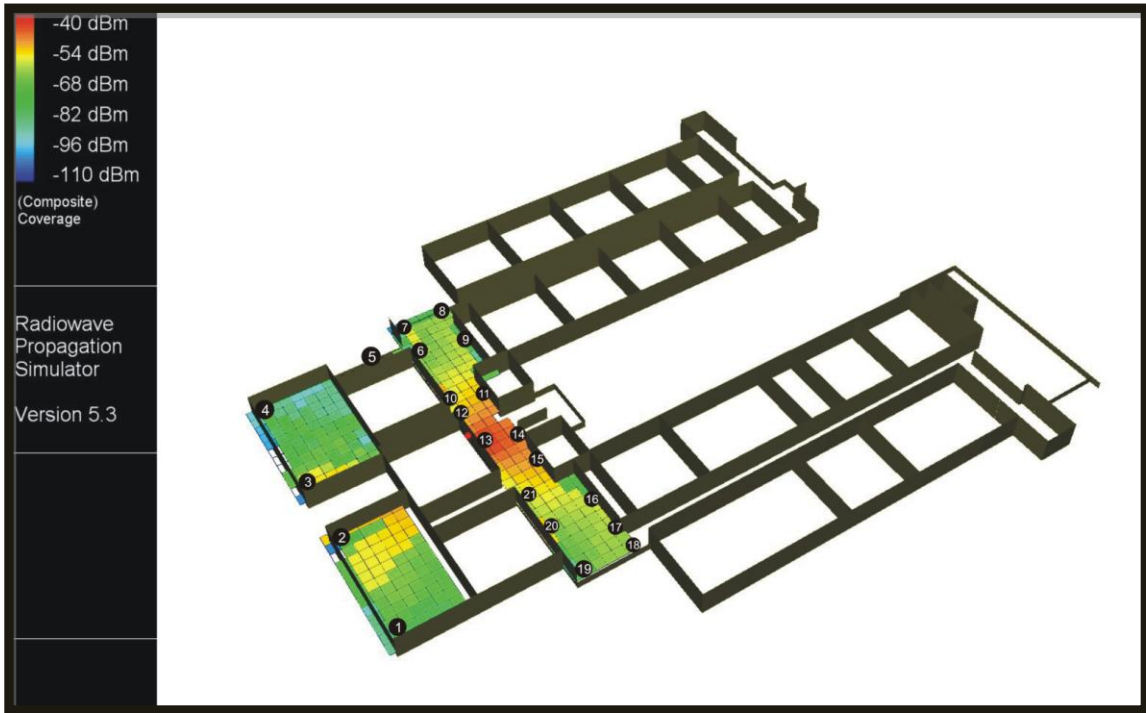
Tabla 18. Resultados de las mediciones en el laboratorio de hardware.

Punto	Distancia [m]	RSSI [dBm]	RSSI - RPS	Error %	Throughput [Mbps]
1	20,3	-59	-71,74	21,59322034	21,006
2	14,4	-53	-75,02	41,54716981	21,001
3	14,4	-63	-76,99	22,20634921	19,965
4	20,3	-66	-72,33	9,590909091	18,574
5	14,8	-58	-	-	16,635
6	11,9	-60	-65,19	8,65	18,351
7	16,5	-63	-59,09	6,206349206	18,971
8	17,6	-58	-63,59	9,637931034	20,582
9	13,1	-53	-60,75	14,62264151	20,012
10	4,7	-52	-57,74	11,03846154	20,063
11	6,1	-53	-53,1	0,188679245	20,678
12	2,8	-50	-52,99	5,98	20,584
13	0,5	-48	-42,01	12,47916667	20,577
14	4,3	-54	-48,39	10,38888889	20,172
15	6	-57	-51,62	9,438596491	19,558
16	12	-55	-60,29	9,618181818	20,197
17	15,5	-57	-61,94	8,666666667	20,139
18	17,5	-60	-64,55	7,583333333	20,246
19	16,3	-65	-77,82	19,72307692	19,812
20	11,7	-64	-66,22	3,46875	19,807
21	7	-55	-60,87	10,67272727	20,125

Fuente: Autor del proyecto.

En esta zona la señal del dispositivo llega a todos los puntos de medida como se puede ver en la Figura 47, con alta potencia de acuerdo a las pruebas en la edificación. El valor más bajo es de -66 [dBm], significa que habrá enlace sin inconvenientes con el nodo y la red tendrá un buen desempeño a nivel de *throughput*. El promedio de *throughput* es el más alto, su valor es 19.860 Mbps. El promedio de intensidad de señal recibida en los puntos es de -57.28 [dBm] y se encuentra dentro del rango de un enlace bueno.

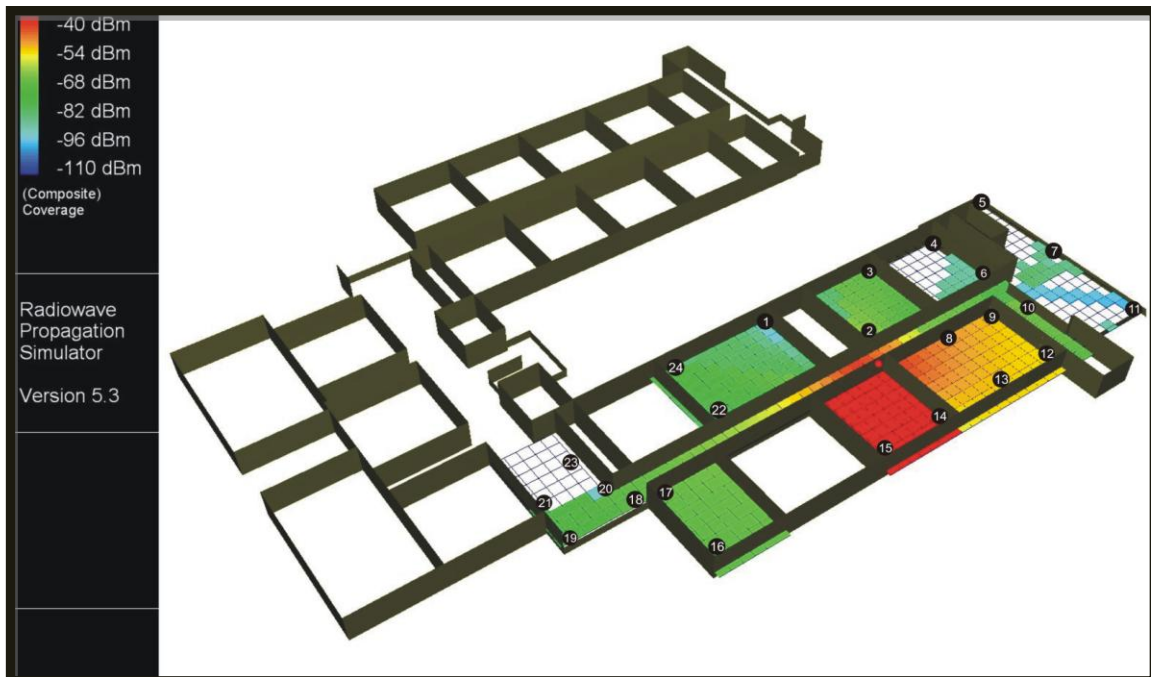
Figura 47. Plano tercer piso con distribución de la señal del AP 2.



Fuente: Autor del proyecto.

- Punto de acceso ubicado en biomédica.

Figura 48. Plano tercer piso con distribución de la señal del AP 3.



Fuente: Autor del proyecto.

Seis puntos se encuentran ente -70 y -83 [dBm], niveles no muy recomendados para conectarse ya que son enlaces normales – bajos y lo ideal serían valores más altos que estos. Por el contrario la potencia de los otros lugares es suficiente para conectarse perfectamente.

En el área de la cafetería no se pudo medir rendimiento puesto que no estuvo disponible en el tiempo que duraron las pruebas.

Tabla 19. Resultados de las mediciones en biomédica.

Punto	Distancia [m]	RSSI [dBm]	RSSI - RPS [dBm]	Error %	Throughput [Mbps]
1	10	-62	-85,92	38,58064516	19,562
2	2,6	-	-61,07	-	-
3	11,9	-	-70,06	-	-
4	17,3	-63	-	-	18,912
5	24,7	-83	-	-	-
6	15	-60	-88,68	47,8	18,051
7	22	-69	-85,61	24,07246377	-
8	7,5	-52	-50,67	2,557692308	17,378
9	11,4	-52	-53,58	3,038461538	19,016
10	14,7	-67	-67,78	1,164179104	14,335
11	23	-70	-	-	-
12	13,8	-60	-55,57	7,383333333	18,114
13	10,1	-46	-54,63	18,76086957	18,454
14	7,3	-33	-37,15	12,57575758	23,097
15	9,9	-50	-39,45	21,1	21,053
16	22,1	-	-70,45	-	-
17	20,8	-	-69,19	-	-
18	22,7	-61	-70,63	15,78688525	16,079
19	27,7	-70	-76,47	9,242857143	17,096
20	22,8	-81	-91,88	13,43209877	7,048
21	28,6	-80	-76,78	4,025	7,046
22	13,7	-60	-81,14	35,23333333	16,152
23	23,9	-77	-	-	4,37
24	16,5	-57	-73,89	29,63157895	19,003

Fuente: Autor del proyecto.

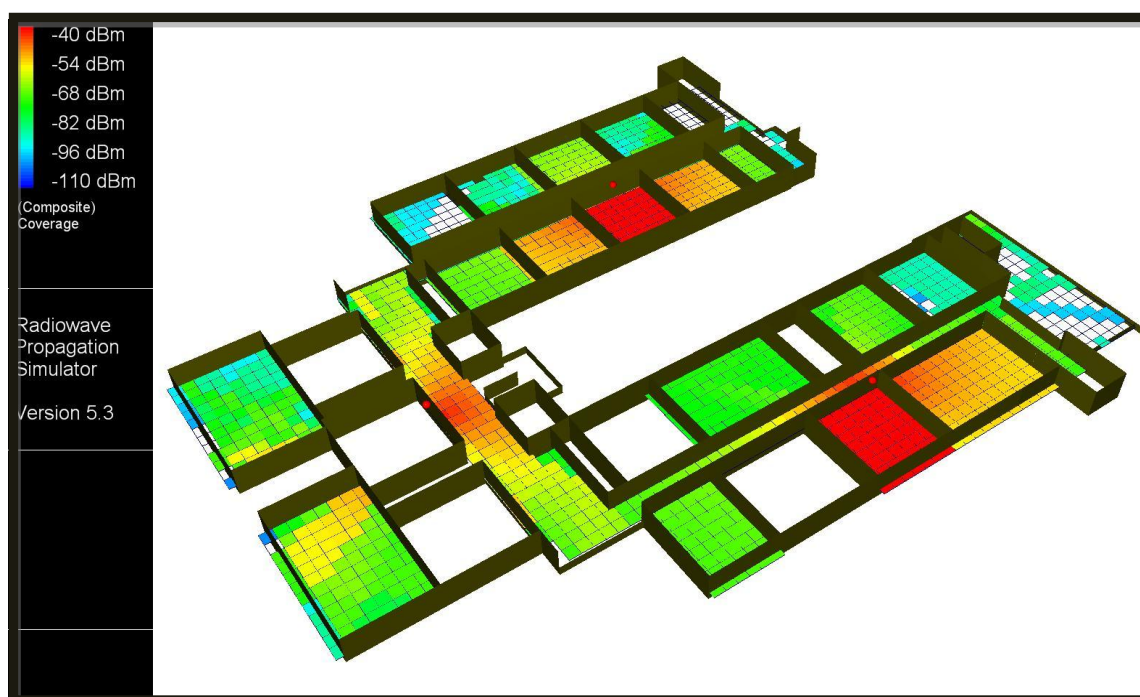
El promedio de *throughput* es de 16.163 Mbps, lo cual es bueno, porque se acerca al dato de referencia que se tiene que es de 22 Mbps.

El promedio de intensidad de señal recibida en los puntos es de -62.65 [dBm].

Las áreas con menos cobertura de este AP son la cafetería y parte del pasillo donde se encuentran los baños, debido a que están alejadas del nodo. En ciertos casos hay que sacrificar algunas zonas con el fin de brindarles mejor cobertura a otras.

Finalmente, la siguiente figura simula el cubrimiento de los tres nodos al mismo tiempo. Las partes rojas son de mayor intensidad de señal y se van degradando poco a poco por la distancia y los obstáculos.

Figura 49. Simulación completa del tercer piso con los tres dispositivos inalámbricos.



Fuente: Autor del proyecto.

La totalidad de los nodos serán instalados en la parte alta de cada piso, para que se logre un mejor aprovechamiento de la señal emitida.

En resumen, la gran parte de las zonas en las que se quiere servicio inalámbrico están cubiertas con buenos niveles de señal, pero existen ciertos lugares que sobrepasan los 20 [m] de distancia con el AP como algunos puntos de los pasillos, aulas y centro de estudios de ingeniería civil y la cafetería del tercer piso, en donde la intensidad de la señal se atenúa considerablemente. Es preciso aclarar que no necesariamente si un

cliente se encuentra a más de 20 [m] de distancia con el nodo, significa que no va a poder conseguir un buen enlace con este, esto depende principalmente de los obstáculos que haya entre ellos. Se puede tener perfectamente un enlace bueno según la Tabla 13 a 30 [m] de distancia siempre y cuando no exista obstáculo o sea insignificante.

La solución para que esto no afecte, es que el cliente busque los lugares con mejor cobertura inalámbrica.

En cuanto a la demanda esperada según el análisis realizado a las encuestas, es decir 170 clientes usando la red al mismo tiempo, los siete AP que componen la WLAN del edificio satisfacen exactamente esta cantidad de personas. Ver Tabla 23.

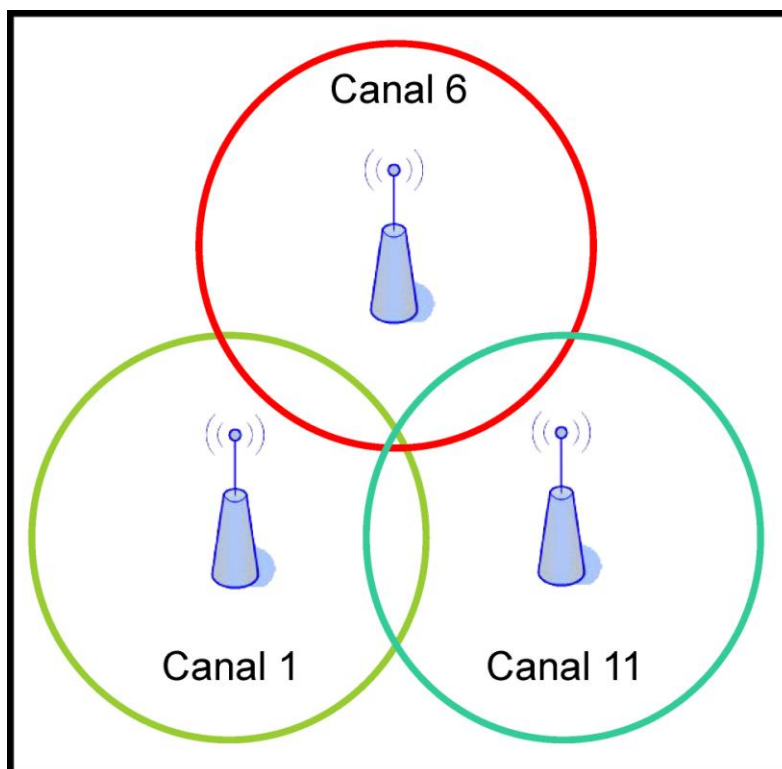
Así mismo, los niveles de throughput en el sótano y en el tercer piso son buenos ya que superan los 14 Mbps, mientras que en el primero y segundo piso esta medida es de alrededor de 10 Mbps. Este último dato se debe a los muros de mampostería que conforman la edificación, sin embargo, esta situación no es grave, puesto que al momento de instalar el AP en estos sitios, se pueden posicionar sus antenas de tal forma que su señal llegue directo a los clientes.

Este diseño propuesto, tuvo en cuenta un usuario que llega a determinado sitio, se conecta a la red mediante un nodo, realiza sus actividades, se desconecta de la red y luego se dirige a otro lugar para continuar con su rutina, es decir, no es necesario que al momento de desplazarse con su tarjeta inalámbrica ésta tenga que seguir conectada a la red todo el tiempo.

Caso contrario sucede con las redes celulares las cuales deben permitirle al usuario el desplazamiento de la zona de cobertura de una antena a otra sin perder la llamada o conectividad.

Sin embargo, la posición de los dispositivos de la wlan están estratégicamente distribuidos de tal forma que sus radios de cobertura se superponen o traslapan entre sí como se muestra en la Figura 50, ya que la distancia entre nodos adyacentes no supera los 40 [m], permitiendo que los usuarios tengan movilidad a lo largo del edificio sin perder conexión en ningún momento. Aunque para el usuario esto es transparente ya que él no se da cuenta a que nodo está conectado exactamente, los AP deben pertenecer todos a la misma red o subred y estar configurados en canales diferentes.

Figura 50. Superposición de zonas de cobertura.



Fuente: Autor del proyecto

3.4 SELECCIÓN Y COSTOS DE LOS DISPOSITIVOS DE LA RED

Dentro del mercado de los dispositivos tanto inalámbricos como cableados, existe gran variedad de empresas que producen este tipo de aparatos y que son reconocidas a nivel mundial, así como también los fabrican otras sin tener renombre.

La red de comunicaciones de La Universidad Industrial de Santander está dotada con equipos robustos y de la más alta calidad, por ello los dispositivos que se implementen para esta red deben ser de las mismas características.

Para las pruebas realizadas en el edificio se utilizaron dos *routers* inalámbricos WRT54G marca *Linksys* suministrados por la División de Servicios de Información y el grupo de investigación en ingeniería Biomédica. Estos aparatos son de la tan reconocida casa *Cisco Systems*.

Esta es una de las razones principales para sugerir que la red del edificio de Laboratorios de Pesados debe tener esos *routers*. Además es importante no solo la

compatibilidad con los equipos ya existentes sino también las características que ofrecen en cuanto a opciones de configuración principalmente para la seguridad.

En ese orden de ideas, con la marca y referencia definidas se prosigue a especificar sus costos, los cuales son mostrados a continuación en la Tabla 20.

Tabla 20. Costos de equipos e implementación de la red con access point Linksys.

Cantidad	Descripción	Vr. Unitario [\$]	Vr. Total [\$]
7	Instalación de puntos de red (Cable, toma rj45, mano de obra, patch core etc.)	-	1'747.600
7	Access Point Linksys WRT54G	144.500*	1'011.500
7	Instalación puntos eléctricos a todo costo	35.000	245.000
SUBTOTAL			3'004.100
	IVA (16%)		161.840
	TOTAL		3'165.940

*Los precios de estos equipos fueron suministrados en dólares. Se uso la TRM Dólar 20 Octubre de 2008: 2271.98 pesos para hacer la conversión a pesos colombianos.

Fuente: Autor del proyecto

Es preciso aclarar que se puede instalar otro tipo de access point que brinde mayor rendimiento e implemente nuevas tecnologías como el access point 3Com 8760 el cual presenta tecnología PoE, multiple SSID, funcionando en modo turbo puede alcanzar los 108 Mbps para el estándar 802.11g solamente. Por esto se presentan la siguiente tabla de costos.

Comparando las Tablas 20 y 21, se aprecia que la implementación de los equipos 3Com es más costosa que los Linksys, esto se debe a las características técnicas del equipo ya que fue lanzado al mercado mucho tiempo después que el Linksys, además

contiene otras opciones nuevas en cuanto a la configuración de la seguridad y soporte de usuarios.

Tabla 21. Costos de equipos e implementación de la red con access point 3Com

Cantidad	Descripción	Vr. Unitario[\$]	Vr. Total [\$]
7	Instalación de puntos de red (Cable, toma rj45, mano de obra, patch core etc.)	-	1'747.600
7	Access Point 3Com Ref. 8760	942.870*	6'600.090
SUBTOTAL			8'347.690
	IVA (16%)		1'056.014,4
	TOTAL		9'403.704,4

*Los precios de estos equipos fueron suministrados en dólares. Se uso la TRM Dólar 20 Octubre de 2008: 2271.98 pesos para hacer la conversión a pesos colombianos.

Fuente: Autor del proyecto

También pensando a futuro, la versión del estándar Wi-Fi que le seguirá al último que es IEEE 802.11g es el IEEE 802.11n será ratificado aproximadamente en un año, esto implicaría que los equipos a instalar deben soportar este estándar. Pero cuando una nueva tecnología es lanzada al mercado, ésta toma su tiempo en consolidarse lo que hace suponer que dentro de por lo menos unos tres o cuatro años el mercado de clientes 802.11n apenas estaría comenzando a popularizarse.

También hay que tener en cuenta que en la Universidad Industrial de Santander hasta el momento por parte de la división de servicios de información no se han implementado equipos que soporten el *Draft 2.0* de IEEE 802.11n ya que ellos se centran en instalar dispositivos con estándares vigentes.

Sin embargo, en el mercado actual existen routers inalámbricos como los Linksys WRT160n y el WRVS4400n que soportan el *Draft 2.0* de IEEE 802.11n teniendo el segundo equipo mejores rendimientos y opciones de configuración, por esto a continuación se presenta la Tabla 22 para mostrar los costos totales de la red con este

tipo de dispositivos, los cuales también podrían ser implementados siempre y cuando la división de servicios de información pueda instalarlos.

Tabla 22. Costos de equipos e implementación router WRVS4400n.

Cantidad	Descripción	Vr. Unitario[\$]	Vr. Total [\$]
7	Instalación de puntos de red (Cable, toma rj45, mano de obra, patch core etc.)	-	1'747.600
7	Access Point Linksys WRVS4400n	681.594*	4'771.158
7	Instalación puntos eléctricos a todo costo	35.000	245.000
SUBTOTAL			6'763.758
	IVA (16%)		763.385
	TOTAL		7'527.143

*Los precios de estos equipos fueron suministrados en dólares. Se uso la TRM Dólar 20 Octubre de 2008: 2271.98 pesos para hacer la conversión a pesos colombianos.

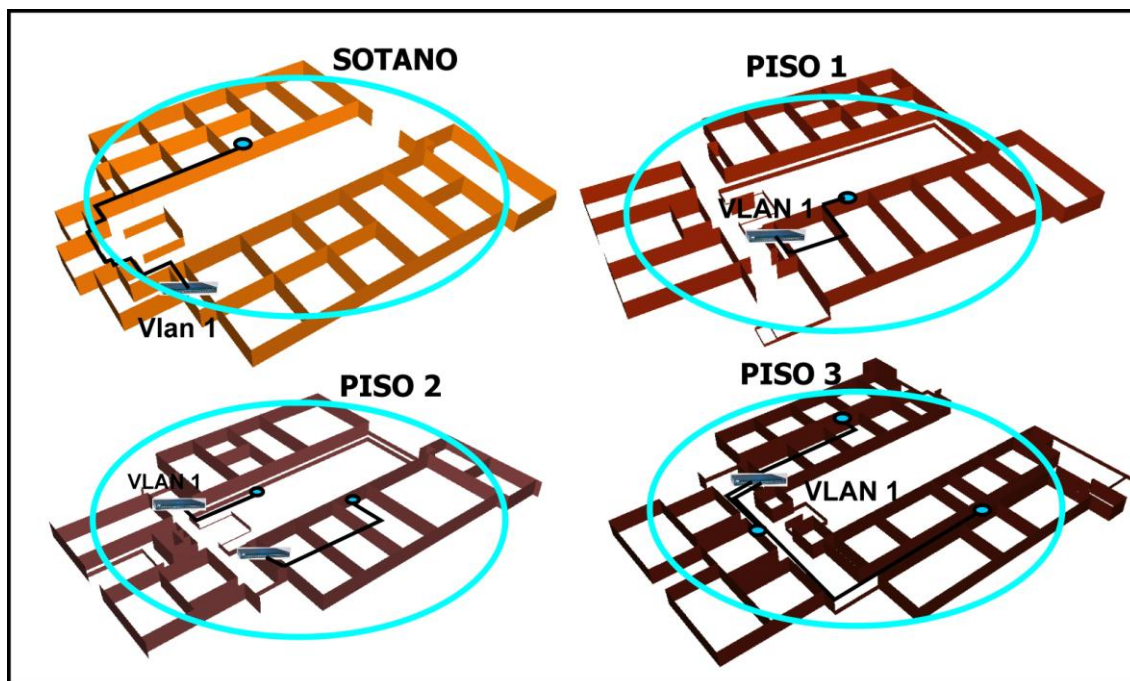
Fuente: Autor del proyecto

Dado que las posiciones de los dispositivos especificadas anteriormente son correctas para implementar equipos con el estándar IEEE 802.11g, en el caso que se decidiera comprar dispositivos con el estándar IEEE 802.11n no habría ningún problema con las posiciones ya establecidas, por el contrario provocaría mejoras tales como el aumento en la velocidad, así como en el área cubierta por los nodos la cual sería mucho mayor.

3.5 CONFIGURACIÓN Y CONEXIÓN DE LOS DISPOSITIVOS

Dado que el diseño de la red no tuvo en cuenta la movilidad de los usuarios a lo largo de todo el edificio, es posible realizar cierto tipo de configuración y conexión con el fin de obtenerla. A continuación se presenta la Figura 51 mostrando su respectiva conexión.

Figura 51. Conexión APs en la misma red.



Fuente: Autor del Proyecto.

Los dispositivos se conectan al Switch más cercano en el mismo piso o en el piso adyacente y adicionalmente a cada uno de ellos se les configura la misma VLAN, por lo tanto la dirección IP estática que cada uno tendría pertenece a igual red permitiendo el *roaming* a través de todos los pisos. Cabe aclarar que cada uno de estos switches debe estar conectado a un enrutador que permita la comunicación entre la VLAN creada para la WLAN. Además el canal entre nodos cercanos debe ser diferente y en lo posible escoger canales no solapados para evitar interferencia.

En cuanto a los usuarios permitidos en la red tendría la misma configuración que se muestra en la Tabla 23 columna # de usuarios.

Por el contrario si se desea implementar redes independientes cada uno de los 7 dispositivos debe ir conectado a una red diferente, además todos y cada uno de los nodos llevarían la siguiente configuración.

1. Sus modos de operación será AP.
2. Para conectarse a la red cableada de la UIS, contarán con una dirección IP estática asignada por la dependencia encargada de administrar ésta LAN. Éste número IP dependerá de la subred a la que estará conectado.

3. La asignación de direcciones IP para los equipos cliente será mediante el protocolo DHCP. Serán direcciones IP privadas.
4. El número máximo de clientes que cada AP soportará están definidos en la Tabla 22 columna # de usuarios.
5. La sesión de administración y configuración por http se le asignará contraseña segura.
6. Cada nodo tendrá su respectivo canal, SSID y la emisión *broadcast* de este parámetro estará habilitada, para que los nodos clientes conozcan el nombre de la red, y les sea mucho más fácil su enlace.
7. El estándar que se configurará en cada dispositivo será el 802.11g.

A continuación se muestran las respectivas configuraciones de SSID, canal, #de usuarios de cada AP.

Tabla 23. Configuración equipos inalámbricos.

SSID	Canal	# de usuarios	Seguridad
LP_Sotano	1	40	*
LP_Piso1	5	25	*
LP_Piso2A	7	20	*
LP_Piso2B	2	20	*
LP_Piso3A	10	30	*
LP_Piso3B	5	15	*
LP_Piso3C	1	20	*
Total		170 usuarios	

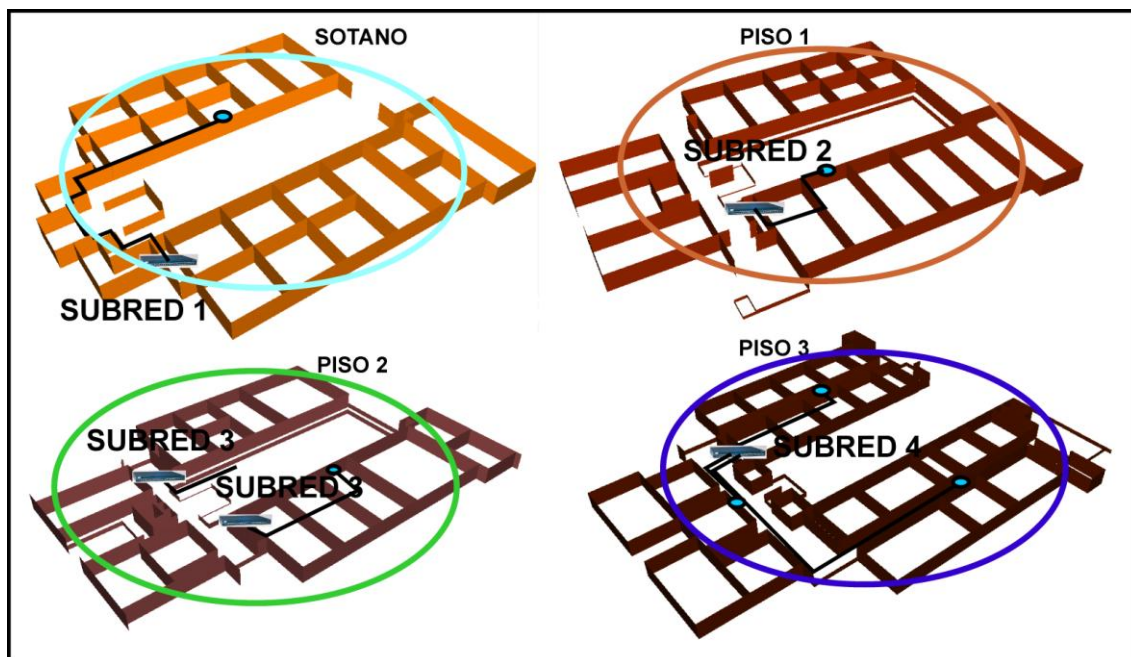
*En cuanto a la seguridad se recomienda habilitar WPA, aunque esto provocaría trámites engorrosos no muy aceptados por los clientes.

Fuente: Autor del proyecto

También se pueden obtener configuraciones por piso, es decir, que cada uno de ellos maneje una subred inalámbrica diferente para que el desplazamiento de los clientes por zonas de cobertura de un AP al otro sea transparente por nivel.

En la siguiente Figura se muestra cómo se pueden conectar a la LAN para que ocurra este fenómeno.

Figura 52. Conexión de APs en redes independientes por piso.



Fuente: Autor del Proyecto.

Cabe resaltar que no es importante manifestar a cual subred exactamente se estaría enlazando cada nodo inalámbrico, puesto que la LAN de la Universidad Industrial de Santander está diseñada para extenderse en caso de presentarse nuevas implementaciones como ésta, por ende ellos se conectarán a los switches que tengan puertos libres dependiendo de la cantidad de tráfico que cada uno maneje en las subredes del edificio, la conveniencia y disponibilidad con el fin de lograr la mejor distribución de los nodos.

Por ejemplo, el dispositivo del sótano se puede conectar a la subred de Civil, en el primer piso a la subred de electrónica, en el segundo piso los centros de cableado están vacíos, así que habría que conectarlos bien sea en el piso de arriba o en el de abajo, por mencionar una configuración, a la subred de mecánica y en el tercer piso a una de las subredes de sistemas.

En resumen, y con el objetivo de proveer a los clientes la mejor infraestructura para trabajar, lo ideal es que la WLAN pertenezca a una sola red para lograr el *roaming* en todos los pisos y aunque ello no sea vital, si es importante implementar calidad en esta red inalámbrica para satisfacción de la comunidad.

CONCLUSIONES

- Con la elaboración de este trabajo de grado se logró el diseño de la WLAN para el edificio de Laboratorios de Pesados de la UIS, es una red de tipo infraestructura, regida por el estándar IEEE 802.11g, libre y de fácil acceso para la comunidad universitaria, en especial estudiantes. La cobertura de esta red alcanza principalmente las zonas propuestas por el estudiantado. El diseño se planteó de tal forma que los dispositivos inalámbricos que proveen el servicio no interfirieran en el funcionamiento de otros equipos que previamente al desarrollo de este proyecto ya se habían instalado en varios sitios del edificio.
- Según las mediciones, se ha podido observar que en este ambiente *indoor*, la cobertura del AP Linksys wrt54g es buena hasta alrededor de unos 20 [m]. Después de esta distancia hay pocas posibilidades que un dispositivo cliente reciba valores de RSSI mayores a -58 [dBm]. Sin embargo, desde que no existan grandes obstáculos, principalmente muros de concreto o mampostería, la señal después de esta distancia puede llegar a ser buena entre ellos, en zonas lejanas dentro del edificio.
- Mediante una encuesta realizada a los estudiantes que acuden al edificio se logró conocer, analizar y determinar las zonas en las que deseaban tener cobertura inalámbrica, lo que ayudó en gran medida a la distribución y posicionamiento final de los dispositivos inalámbricos.
- El software RPS usado para simular la propagación de la señal de un AP dentro de un recinto, es bastante sensible con respecto a los materiales de éste, sin embargo en gran parte los resultados son bastante cercanos a los obtenidos con el AP instalado propiamente en la edificación. No obstante la herramienta es muy útil en el análisis y diseño de redes inalámbricas.

- Se realizó un estudio de propagación electromagnética mediante Software y pruebas directamente en el campo de estudio, el cual permitió definir los puntos exactos de ubicación de los nodos a lo largo de todo el edificio.
- La escuela de ingeniería de sistemas ahora cuenta con un documento en el que se plasma el diseño y los costos que implican los equipos junto con la implementación de la red inalámbrica del edificio donde se encuentra ubicada.
- El proyecto es innovador en una línea poco explorada en la escuela de ingeniería de sistemas como lo son las redes de comunicaciones y marcó la pauta para que no se deje a un lado el aprendizaje de esta temática.

RECOMENDACIONES

- El diseño planteado en este documento fue realizado teniendo en cuenta que los AP deben estar ubicados de tal forma que no puedan ser vulnerados físicamente; dichas apreciaciones en el diseño reducen en cierto grado la cobertura de la red, dado que los equipos inalámbricos se colocaron dentro de los recintos en donde las paredes de los mismos ocasionan interferencia. Se recomienda que en las áreas comprendidas por el segundo y tercer piso, en las cercanías del grupo de investigación de ingeniería biomédica, los AP se posicionen en los sitios propuestos pero con vista a los pasillos, teniendo presente la necesidad de acondicionar las medidas necesarias para su seguridad. Todo esto para así obtener mejores valores de potencia de la señal al igual que de *throughput* en los espacios mencionados.
- La seguridad de la red inalámbrica es vital ya que si no es bien administrada podría ocasionar perjuicios a la LAN de la universidad, para lo cual se podrían implementar los mismos mecanismos que se utilizan para proteger los demás sistemas inalámbricos que se tienen en el campus, siempre y cuando no interfieran con la facilidad de enlazarse a los dispositivos.
- Los usuarios que deseen conectarse a la red, pueden hacer uso de herramientas que le ayuden a definir la mejor ubicación según la potencia de la señal recibida en su antena receptora.
- No apartar de la formación del ingeniero en la escuela de ingeniería de sistemas una de las ramas mas importantes que el profesional debe conocer como es la de las redes de comunicaciones, ya que es fundamental para emprender con mayor seguridad nuevos retos y desafíos, por tanto el apoyo a este tipo de proyectos debe ser permanente.

- Dado que la mayoría de las herramientas que permiten realizar simulaciones de radiopropagación, son software propietario, y la adquisición de las licencias para su uso incrementaría los costos de diseño de redes WLAN, se recomienda iniciar proyectos de grado orientados a desarrollar este tipo de software.
- Al momento de decidir sobre los equipos a implementar en la red, se debe tener en cuenta qué es lo que le conviene no solo a los usuarios finales sino también a la Universidad, es decir pensando en un futuro, realizar un análisis de ventajas y desventajas en cuanto al nuevo estándar para redes inalámbricas, si realmente se debe implementar o no antes de que sea ratificado o si definitivamente el estándar 802.11g es el más útil.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] ANSI/IEEE Std. 802.11. "Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications." Estados Unidos: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2007.
- [2] ANSI/IEEE Std. 802.11g. "Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications. Amendment 4: Further Higher Data Rate Extension in the 2.4 GHz Band". Estados Unidos: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2003.
- [3] DEIBNER, J.; HÜBNER, J.; HUNOLD, D. y VOIGT, J. RPS Radiowave Propagation Simulator, User Manual – Versión 5.3. 2005.
- [4] DE LUQUE, Luis; DIAS, Irina y VASQUEZ, Sandra. Predicción del nivel de intensidad de la señal recibida (RSSI) en una red inalámbrica (WLAN 802.11b) mediante un modelo neuronal. Proyecto de grado dirigido por Oscar Gualdrón González. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, Bucaramanga 2005.
- [5] GÓMEZ, Luz Stella. Propuesta de un esquema de seguridad para las redes inalámbricas (WLAN) del campo principal de la Universidad Industrial de Santander. Proyecto de grado dirigido por Samuel Gonzalo Pinzón B. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, Bucaramanga 2006.
- [6] GONZALO, Samuel, Especialización en Telecomunicaciones – Redes Inalámbricas Cohorte VII – Ciclo II, Universidad Industrial de Santander, 2006.
- [7] GONZALO, Samuel. Predicción de la tasa de *throughput* en una red inalámbrica (WLAN 802.11b). Proyecto de grado dirigido por Oscar Gualdrón González. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, Bucaramanga 2005.

- [8] HUIDOBRO, José y ROLDAN, David. Comunicaciones en redes WLAN, Primera Edición, Creaciones Copyright, España 2006.
- [9] MINISTERIO DE COMUNICACIONES. “Resolución número 3382. Por la cual se autorizan sistemas que operan con tecnología de espectro ensanchado”. República de Colombia, 1995.
- [10] MINISTERIO DE COMUNICACIONES. “Resolución número 689. Por la cual se atribuyen unas bandas de frecuencias para su libre utilización dentro del territorio nacional, mediante sistemas de acceso inalámbrico y redes inalámbricas de área local, que utilicen tecnologías de espectro ensanchado y modulación digital, de banda ancha y baja potencia, y se dictan otras disposiciones.” República de Colombia, 2004.
- [11] ORTEGA, Edgar y MARTELO, Raúl. Diseño de una red haciendo uso de tecnología inalámbrica para el edificio Camilo Torres de la Universidad Industrial de Santander. Proyecto de grado dirigido por Samuel Pinzón B. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, Bucaramanga 2006.
- [12] OSPINO, Ladys G. Diseño red inalámbrica PAU’s TRANSMILENIO S.A. Proyecto de grado dirigido por Jorge Hernando Ramón S. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, Bucaramanga 2006.
- [13] ROJAS, Ronald y PADILLA, Omar. Desarrollo de un prototipo para el análisis de radiopropagación de redes inalámbricas en edificios utilizando archicad. Proyecto de grado dirigido por Henry Arguello Fuentes. Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática, Bucaramanga 2007.
- [14] ROLDÁN, David. Comunicaciones inalámbricas, Primera Edición, Alfaomega, México 2005.
- [15] SANDOVAL, Luis. Diseño de tutorial y de ejercicios de simulación de redes inalámbricas con el software RPS (Radiowave Propagation Simulator) de libre distribución y versión estudiantil. Proyecto de grado dirigido por Samuel Pinzón B. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, Bucaramanga 2008.

- [16] SERRANO, Giovanni. Diseño de una WLAN para la Fundación Universitaria Agraria de Colombia Uniagraria. Proyecto de grado dirigido por Oscar Mauricio Reyes Torres. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, Bucaramanga 2006.
- [17] SUAREZ, Martha. LAN'S INALÁMBRICAS: Diseño e implementación de una WLAN para el laboratorio de redes de datos de la E3T. Proyecto de grado dirigido por Oscar Gualdrón González. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, Bucaramanga 2004.
- [18] STALLINGS, William. Comunicaciones y redes de computadores, Sexta edición, Madrid España, Pearson Educación, 2000.
- [19] TRUJILLO, Pedro. Redes en el hogar. Reporte de tesis maestría. Universidad Industrial de Santander, 2002 pp. 61-85.
- [20] ANSI/IEEE Std. 802.11b. "Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications. Amendment 4: Further Higher Data Rate Extension in the 2.4 GHz Band". Estados Unidos: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2000. Disponible en:
<http://easy.intranet.gr/IEEE80211b.pdf>
- [21] ANSI/IEEE Std. 802.11a. "Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: High-speed Physical Layer in the 5 GHz." Estados Unidos: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1999. Disponible en:
<http://easy.intranet.gr/IEEE80211a.pdf>
- [22] Artículo "Using radio resource management to deliver secure and reliable WLAN services", 2005. Disponible en:
http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/wireless/ps6302/ps8322/ps6307/prod_white_paper0900aecd802c949b.pdf

[23] Cuadro espectro radioeléctrico, ministerio de comunicaciones, Colombia, 2004. Disponible en:

http://www.mincomunicaciones.gov.co/mincom/src/?page=../mods/contenido/view_paje&id_contents=215&l=2

[24] Artículo “Capacity, coverage, and deployment considerations for IEEE 802.11g”, 2005. Disponible en:

http://www.cisco.com/en/US/products/hw/wireless/ps430/products_white_paper09186a00801d61a3.shtml

[25] HERRERA, Eva; DIAZ, Arnoldo y T. CALAFETE, Carlos. Artículo, “Desarrollando el estándar IEEE 802.11n, un paso adelante”. México, 2007. Disponible en:

<http://cachanilla.itmexicali.edu.mx/~adiaz/Publicaciones/Estandar80211.pdf>

[26] PONCE, Enrique; MOLINA, Enrique y MOMPÓ, Vicente. Redes inalámbricas: IEEE 802.11. Disponible en:

<http://multingles.net/docs/Manual%20-%20Redes%20WiFi%20inalambricas.pdf>

[27] FERNANDEZ, Ramón. Redes inalámbricas de área local LAN de alta movilidad y flexibilidad, España, 2003 Disponible en:

<http://www.idg.es/dealer/articulo1.asp?clave=150864>

[28] Especificaciones tarjeta inalámbrica Intel, 2006. Disponible en:

http://download.intel.com/network/connectivity/resources/doc_library/tech_brief/31079601.pdf

[29] Especificaciones Router wrt54g, Cisco System, 2006. Disponible en:

http://www.co.linksys.com/servlet/Satellite?c=L_Product_C2&childpagename=CO%2FLayout&cid=1133202025830&pagename=Linksys%2FCommon%2FVisitorWrapper&lid=2583024439B05

[30] User Guide, Wireless-G Broadband Router – Lynksis wrt54g, Cisco System, 2006. Disponible en:

<http://wwwes.linksys.com/servlet/Satellite?blobcol=urldata&blobheadername1=ContentType&blobheadername2=ContentDisposition&blobheadervalue1=application%2Fpdf&b>

[lobheadervalue2=inline%3B+filename%3DWRT54Gv7EU_UG.pdf&blobkey=id&blobtable=MungoBlobs&blobwhere=1193774263115&ssbinary=true&lid=2648315232B04](#)

[31] WLAN de misión crítica, 2005. Disponibles en:

<http://www.idg.es/comunicaciones/articulo.asp?id=165261>

http://www.computerworld.net.ve/index.php?option=com_content&task=view&id=22&Itemid=28

[32] SHRIVASTAVA, Vivek; RAYANCHU, Shravan; YOON, Jongwon. 802.11n Under The Microscope. Grecia, 2008.

[33] YARALI, Abdulrahman y AHSAN, Babac. 802.11n: The new wave in WLAN Technology. Singapore, 2007.

[34] IEEE 802.11n Next Generation WiFi. Disponible en:

<http://pof.eslack.org/writings/80211n-mataro.pdf>

ANEXOS

ANEXO A. FICHA TÉCNICA DE LA ENCUESTA HECHA A LOS ESTUDIANTES.

ENCUESTA	FECHA: / /
Encuesta N°:_____	
1. ¿Qué carrera estudia?	
a. Ingeniería de Sistemas	b. Ingeniería Civil
c. Ingeniería Electrónica	d. Ingeniería Eléctrica
d. Geología	e. Otra:
Cual: _____	
2. Que semestre cursa?	

3. ¿Tiene algún dispositivo que posea tecnología inalámbrica (computador portátil, palm etc.)?	
a. Si	b. No
Cual: _____	
4. Con que frecuencia usa esos equipos en el edificio? (Si tiene dispositivo).	
a. Cada vez que viene al edificio.	
b. Dos veces por semana.	
c. Una vez cada quince días.	
d. Muy rara vez.	
5. ¿Cuándo se dispone a usar su equipo inalámbrico, en que lugares prefiere ubicarse en el edificio? (Si tiene dispositivo).	

6. Si el servicio de internet inalámbrico gratuito estuviera disponible en el edificio, consideraría traer su portátil con mayor frecuencia? (Si tiene dispositivo).

a. Si

b. No

7. ¿Si aun no tiene, en cuanto tiempo tiene planeado adquirir algún dispositivo inalámbrico? (Si no tiene dispositivo).

a. Dentro de un mes.

b. Dentro de tres meses.

c. Dentro de seis meses.

d. Dentro de un año.

e. No está dentro de los planes.

8. Exactamente en que espacios le gustaría que estuviera disponible el servicio de Internet inalámbrico en el edificio? (pasillos, salones, cafetería, oficinas,)?

¡Gracias por tu tiempo!

**ANEXO B. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS DISPOSITIVOS
INALÁMBRICOS UTILIZADOS**

**B1. Especificaciones Router de banda ancha Wireless-G marca Linksys
WRT54G**



Specifications

Model Number	WRT54G
Standards	IEEE 802.3, IEEE 802.3u, IEEE 802.11g, IEEE 802.11b
Channels	11 Channels (US, Canada) 13 Channels (Europe) 14 Channels (Japan)
Ports/Buttons	Internet: One 10/100 RJ-45 Port LAN: Four 10/100 RJ-45 Switched Ports One Power Port One Reset Button
Cabling Type	UTP CAT5
LEDs	Power, DMZ, WLAN, LAN (1, 2, 3, 4), Internet
RF Power Output	18 dBm
UPnP able/cert	Able
Security Features	Stateful Packet Inspection (SPI) Firewall, Internet Policy
Wireless Security	Wi-Fi Protected Access™ (WPA), WEP, Wireless MAC Filtering

Environmental

Dimensions	7.32" x 1.89" x 7.87" W x H x D (186 mm x 48 mm x 200 mm)
Unit Weight	17 oz. (0.48 kg)
Power	External, 12V DC, 1.0A
Certifications	FCC, IC-03, CE, Wi-Fi (802.11b, 802.11g), WPA
Operating Temp.	32°F to 104°F (0°C to 40°C)
Storage Temp.	-4°F to 158°F (-20°C to 70°C)
Operating Humidity	10% to 85% Non-Condensing
Storage Humidity	5% to 90% Non-Condensing

B2. Especificaciones Intel® PRO/Wireless 3945ABG Network Connection



Technical Specifications

Model Name	Intel® PRO/Wireless 3945ABG Network Connection
Dimensions (H x W x D)	2.00 in x 1.18 in x 0.18 in (50.95mm x 30mm x 4.5mm)
Weight	6g
Antenna Interface Connector	Hirose* U.FL-R-SMT mates with cable connector U.FL-LP-066
Dual Diversity Antenna	On-board dual diversity switching support for systems designed with two antennas
Radio ON/OFF controlx	Supported by both hardware and software

Connector Interface	Mini Card form factor, based on PCIe electrical interface
LEDs output	Link, Activity
Operating Temperature	0 to +80° Celsius
Humidity Non-Operating	50% to 92% RH non-condensing (at temperatures of 25°C to 80°C)
Operating System	Microsoft* Windows* XP (Professional, Home, Tablet), 2000
Wi-Fi Alliance	Wi-Fi CERTIFIED* for 2.4GHz and 5GHZ band, WMM, WPA and WPA2
Microsoft WHQL	YES
WLAN Standard Architecture	IEEE 802.11a, IEEE 802.11g and IEEE 802.11b Infrastructure or ad hoc (peer-to-peer)
Roaming	802.11a, 802.11g and 802.11b compliant for seamless roaming between respective access points (802.11b, 802.11g, 802.11a/b/g)

Security

Authentication	WPA and WPA2, 802.1X (EAP-TLS, TTLS, MD5, PEAP, LEAP, EAP-FAST), EAP-SIM
Authentication Protocols	PAP, CHAP, MD5, GTC, MS-CHAP, MS-CHAPv2
Encryption	64-bit and 128-bit WEP, AES-CCMP, CKIP, TKIP
Product Safety	UL, C-UL, CB (IEC 60590)

B3. Especificaciones Access Point 3Com 8760 Dual Radio 11a/b/g PoE



- **Interfaces** : RJ-45, IEEE 802.11a, 802.11b, 802.11g
- **Sensibilidad de recepción:** 802.11a

- **Usuarios soportados:** Hasta 128 usuarios inalámbricos 802.11a y 802.11b/g simultáneos
 - **Conformidad con estándares:** IEEE 802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11i, 802.3, 802.3af, 802.1X; WEP, AES, WPA, WPA2, Certificación Wi-Fi
 - **Velocidades de datos:** para modo normal: 11a: 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps. 11b,g: 1, 2, 5.5, 11, 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps. Para modo turbo (el modo turbo es para 11g (OFDM) y 11a): 72, 96, 108 Mbps.
 - **Alcance operativo:** 802.11a: hasta 50 metros para transmisión y recepción; 802.11b/g: hasta 100 metros para transmisión y recepción
 - **Alcance máximo sin obstáculos:** 457 metros
 - **Antena:** Dos antenas externas de banda dual de 2,4/5,15 GHz con conectores R-SMA
 - **Seguridad:** Encriptación WPA/WPA2, AES, y TKIP; encriptación WEP de 64/128/152 bits; 802.1X con EAP-TLS, EAP-TTLS, y PEAP; autenticación WPA-/WPA2-PSK; autenticación y filtrado de direcciones MAC; VLAN 802.1Q; múltiple SSID; AAA de cliente RADIUS
 - **Gestión de red:** Administración remota con navegador web sobre SSL o HTTPS; interfaz de línea de comando sobre SSH v2 o Telnet
 - **Características de rendimiento:** Modo SuperAG de 108 Mbps, soporte de bridging con WDS para modos PTP, PTMP, Repetidor, y Cliente, Clear Channel Select; cambio dinámico de velocidad; Wi-Fi Multimedia (WMM)
 - **Indicadores LED:** Alimentación, 10/100 Mbps, actividad 802.11a, 11b, o 11g
 - **Alimentador de energía:** 24 VDC, 300 mA
 - **Consumo de alimentación PoE:** 6W máx. (de puerto PoE)
 - **Banda de frecuencia:** 802.11a: 5 GHz; 802.11b/g: 2,4 GHz
 - **Técnica de modulación:** 802.11b: DSSS, 802.11g: OFDM y DSSS
 - **Protocolo de acceso a medios :** CSMA/CA
- 6 Mbps: =-87 dBm
 - 9 Mbps: =-86 dBm
 - 12 Mbps: =-84 dBm
 - 18 Mbps: =-82 dBm
 - 24 Mbps: =-79 dBm
 - 36 Mbps: =-75 dBm
 - 48 Mbps: =-72 dBm
 - 54 Mbps: =-71 dBm
- 802.11b/g
 - 1 Mbps: =-95 dBm
 - 2 Mbps: =-92 dBm
 - 5,5 Mbps: =-91 dBm
 - 6 Mbps: =-89 dBm
 - 9 Mbps: =-88 dBm
 - 11 Mbps: =-88 dBm
 - 12 Mbps: =-86 dBm
 - 18 Mbps: =-84 dBm
 - 24 Mbps: =-81 dBm
 - 36 Mbps: =-77 dBm
 - 48 Mbps: =-73 dBm
 - 54 Mbps: =-72 dBm
- **Aprobaciones reglamentarias y de organismos reguladores:** Seguridad UL/CSA 60950 EN/IEC 60950 1999 NOM-019-SCFI AS/NZS 60950 EMC/EMI FCC 15 Sub-parte C IC RSS-210 EN 300-328 EN 301 893 EN 301 489-1, -17 EN55024
 - **Condiciones Ambientales:**
 - **Temperatura de funcionamiento:** de -10 a 40°C
 - **Temperatura de almacenaje:** de -40° a +70°C
 - **Humedad:** de 10 a 95% (sin condensación)
 - **Dimensiones & Peso:** Altura: 26,7 cm
Anchura: 8,3 cm
Fondo: 3,2 cm
Peso: 200 g
 - **Contenidos del paquete**
 - 3Com Wireless 8760 Dual Radio 11a/b/g PoE Access Point
 - Dos antenas externas de banda dual de 2,4/5,15 GHz con conectores R-SMA
 - Hardware de montaje
 - Inyector PoE (3CNJPSE)
 - Cable de 1,6 m de Categoría 5
 - Guía de instalación rápida
 - Hoja de soporte y seguridad
 - Hoja de garantía
 - Hoja de gama de producto
 - CD-ROM con aplicación de detección y documentación.

ANEXO C. HERRAMIENTAS SOFTWARE USADAS EN LAS MEDICIONES.

HERRAMIENTA	DESCRIPCIÓN
RPS - VERSION ESTUDIANTIL:	Es posible con esta herramienta realizar simulaciones de elementos inalámbricos como antenas tanto transmisoras como receptoras entre otros, y predecir cómo se comportan en ambientes reales pero analizados por computadora. Ayuda en la planificación de redes inalámbricas.
Q-CHECK 3.0:	Software gratuito muy útil para comprobar el rendimiento de la red en cuanto a tasa de transferencia entre puntos, tiempo de respuesta etc. Se puede enviar tráfico TCP o UDP, para conocer por ejemplo el <i>throughput</i> entre nodos.
NETSTUMBLER:	Herramienta muy útil para el reconocimiento de redes inalámbricas, se pueden observar parámetros de cada una de ellas como el SSID, el canal, la velocidad, si tiene o no encriptación, la intensidad de la señal recibida en determinado punto, el ruido entre otros.