



UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN

Campus Loma Bonita

INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

ESTUDIO SOBRE LA VIABILIDAD DE IMPLEMENTAR UNA RED WIFI
PARA TODA LA UNPA CAMPUS LOMA BONITA

Tesis

Que para obtener el título de:

Ingeniero en Mecatrónica

PRESENTA:

IVAR IVAN MARTÍNEZ GÓMEZ

DIRECTOR DE TESIS:

DR. EDUARDO SÁNCHEZ SOTO

LOMA BONITA, OAXACA,

2016



UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN

INGENIERIA EN MECATRONICA

LA PRESENTE TESIS TITULADA "ESTUDIO SOBRE LA VIABILIDAD DE IMPLEMENTAR UNA RED WIFI PARA TODA LA UNPA CAMPUS LOMA BONITA" PRESENTADA POR EL SUSTENTANTE DE LICENCIATURA C. IVAR IVAN MARTINEZ GOMEZ BAJO LA DIRECCION DEL DR. EDUARDO SANCHEZ SOTO, HA SIDO REVISADA Y ACEPTADA POR EL COMITÉ EXAMINADOR PARA SER DEFENDIDA EN EL EXAMEN PROFECIONAL Y OBTENER EL TITULO DE INGENIERO EN MECATRÓNICA.

M. en C. José Luis Nájera Sánchez
Jefe de la carrera de Ingeniería en
Mecatrónica



Dr. Eduardo Sánchez Soto
Director de tesis

M. en C. Rafael Fernando González Z.
Presidente

Dr. Eduardo Sánchez Soto
Secretario

Dr. Hiram Nezahualcoyotl García Lozano
Vocal

ESTUDIO SOBRE LA VIABILIDAD DE IMPLEMENTAR UNA RED WIFI PARA TODA LA UNPA CAMPUS LOMA BONITA

Ivar Ivan Martínez Gómez

SINODALES:

Dr. Eduardo Sánchez Soto (Director)

Dr. Hiram Nezahualcoyotl García Lozano

M. en C. Rafael Fernando González Zarate

Índice general

Agradecimientos	II
Lista de figuras	V
Lista de tablas	VII
1. Introducción	1
1.1. Ancho de banda	2
1.2. Bit, byte y velocidad de transmisión	2
1.2.1. Relación de velocidad con ancho de banda	3
1.3. Relación S/N	3
1.3.1. Indicador de Fuerza de Potencia Recibida de la Señal (RSSI)	4
1.4. Capacidad de un canal	4
1.4.1. Ancho de banda de Nyquist (canal sin ruido)	5
1.4.2. Modelo de Claude Shannon (canal con ruido)	6
1.5. Modulación	7
1.5.1. Tipos de modulación	7
1.5.2. Modulación MPSK	9
1.5.2.1. Modulación QPSK	9
1.5.3. Modulación QAM	10
1.5.4. Tipos de modulación utilizadas en campo	10
1.5.4.1. Modulación OFDM	10
1.5.4.2. Modulación FHSS	11
1.5.4.3. Modulación DSSS	11
1.6. Empaquetados de bit	12
1.6.1. Baudío	12
1.7. Protocolo 802.11x (Wi-Fi)	12

ÍNDICE GENERAL	4
2. Propagación de ondas electromagnéticas	14
2.1. Introducción	14
2.1.1. Rayos y Frentes de onda	14
2.1.1.1. Frente de onda plana	15
2.1.1.2. Frente de onda producido por una fuente puntual	15
2.1.1.3. Ley del cuadrado inverso	16
2.2. Antenas	16
2.2.1. Antenas direccionales	17
2.2.2. Antenas omnidireccionales	17
2.2.3. Ganancia de una antena	18
2.2.3.1. Uso de las unidades dB	18
2.3. Pérdidas de la señal en el espacio libre	19
2.3.1. Atenuación	20
2.3.2. Absorción	20
2.3.3. Modelo de propagación en el espacio libre	20
2.3.3.1. Región de Fraunhofer	23
2.4. Propagación terrestre de las ondas electromagnéticas	23
2.4.1. Propagación de ondas terrestres	24
2.4.2. Propagación de ondas espaciales	25
2.4.3. Propiedades de las ondas de radio	26
2.4.3.1. Refracción	26
2.4.3.2. Reflexión	27
2.4.3.3. Difracción	27
2.4.3.4. Interferencia	28
2.5. Potencia de enlace	29
2.5.1. Etapa de transmisión	31
2.5.1.1. Potencia del Transmisor	31
2.5.1.2. Pérdida en el cable	31
2.5.1.3. Pérdidas en los conectores	32
2.5.1.4. Ganancia de la antena	32
2.5.2. Pérdidas en la propagación	33
2.5.2.1. Ecuación para las pérdidas en el espacio libre	33
2.5.3. Nivel mínimo de la señal recibida	34
2.5.3.1. Consideraciones del Margen de desvanecimiento	34

<i>ÍNDICE GENERAL</i>	5
3. Equipo de trabajo	36
3.1. Punto de acceso inalámbrico (Acces Point)	36
3.1.1. Modos de un Acces Point	38
3.2. Adaptador inalámbrico USB	38
3.3. Laptop	39
3.4. Firmware DD-WRT	39
3.4.1. Instalación del Firmware DD-WRT	39
4. Mediciones de potencia	44
4.1. Delimitación del área de zona de cobertura y asignación de los Access Point	44
4.2. Enlace del proyecto	47
4.2.1. Establecimiento del primer AP	47
4.2.2. Cálculo de presupuesto de potencia del enlace del primer Acces Point	48
4.2.3. Cálculo de presupuesto de potencia del enlace del segundo Access Point	50
4.2.4. Cálculo de presupuesto de potencia del enlace del tercer Access Point	52
4.2.5. Cálculo de presupuesto de potencia del enlace del cuarto Access Point	55
4.2.6. Análisis de los cálculos realizados	58
4.3. Evaluación de la potencia de la señal recibida	59
4.3.1. Medición de Potencia recibida desde el primer Access Point	59
4.3.2. Medición de Potencia recibida desde el segundo Access Point	60
4.3.3. Medición de Potencia recibida desde el tercer Access Point	61
4.3.4. Medición de Potencia recibida desde el cuarto Access Point	62
4.3.5. Análisis de resultados	63
5. Conclusiones	65
Bibliografía	67
A. Hoja de datos	68

*Dedicado a
mi familia*

Agradecimientos

Agradesco a todos los profesores de la carrera de ingeniería en mecatrónica, que me brindaron los conocimientos necesarios para concluir este nivel profesional. En especial al Dr. Eduardo Sánchez Soto que acepto ser mi director de tesis, y me apoyó durante los dos años que me tomó terminarla.

También le agradezco a los compañeros con los que compartí cinco años de momentos divertidos y agradables, otros de pesares y circunstancias difíciles. A aquellos que se se fueron quedando en el camino y los que lograron llegar hasta el final.

Finalmente le agradezco a mi familia por todo el apoyo durante el tiempo que me tomó terminar la carrera. Por confiar en mi y estar a mi lado en los buenos y malos momentos, sin ellos no habría podido concluir este viaje.

A todos ¡Gracias!

Resumen

El uso de internet se ha convertido en una herramienta imprescindible para estudiantes y profesores de todos los niveles académicos, a través del internet hay acceso a infinidad de informaciones como revistas científicas, libros, manuales, tutoriales, entre otros. También permite la comunicación y el intercambio de información entre personas de diferentes partes del mundo. Por esta razón es importante que las universidades tengan este servicio para ayudar a mejorar el rendimiento académico de sus estudiantes. En la actualidad, la Universidad del Papaloapan campus Loma Bonita ofrece acceso a Internet en ciertas áreas del campus como la biblioteca, salas de computo, edificios de oficinas donde se encuentran profesores e investigadores y el Centro de Idiomas. Sin embargo, estos puntos de acceso son insuficientes para satisfacer las demandas del cuerpo académico. Es por ello que esta tesis presenta una propuesta para establecer una red WiFi que se pueda incorporar en todas las áreas de trabajo de la universidad. Esta propuesta se centra principalmente en la designación de sitios estratégicos que son más adecuados para instalar los access points, que son dispositivos que irradian señal WiFi, y tratar de cubrir todas las áreas de interés dentro del campus. Para conseguir este objetivo, la intensidad de la señal también debe ser capaz de ser controlada con el fin de aumentar o disminuir la señal de acuerdo con las necesidades que se requieren.

Palabras clave: Access point, sitios estratégicos y señal WiFi.

Abstract

The use of internet has become an indispensable tool for students and teachers of all academic levels, through internet there is access to endless information such as scientific journals, books, manuals, tutorials, among others. It also allows for communication and the exchange of information between people from different parts of the world. For this reason it is important that universities have this service to help improve the academic performance of their students. Currently the University of the Papaloapan campus Loma Bonita provides internet access in certain areas of the campus such as the library, computer rooms, office buildings where teacher-researchers are located and the Language Center. However, these access points are insufficient to meet the demands of the academic body. That is why this thesis presents a proposal to establish a WiFi network which can be incorporated into all work areas of the university. This proposal focuses primarily on designating strategic sites that are most suitable to install access points which are devices that radiate WiFi signal, attempting to cover all areas of interest within the campus. To achieve this objective, the signal strength must also be able to be controlled in order to increase or decrease the signal according to the needs that are required.

keywords: Access points, strategic sites and WiFi signal.

Índice de figuras

1.1. Definición de ancho de banda de 3dB.	2
1.2. S/N grande.	3
1.3. S/N pequeña.	3
1.4. Tasa de error en una transmisión.	6
1.5. Señales moduladas en AM y FM.	8
1.6. Técnicas básicas de modulación digital.	9
1.7. OFDM divide un canal dado en muchas subportadoras más estrechas.	10
1.8. Canales de transmisión en FHSS utilizados en diferentes intervalos de tiempo.	11
1.9. Canales de transmisión utilizados en una modulación DSSS.	12
2.1. Frente de onda plana.	15
2.2. Frente de onda producida por una fuente puntual.	15
2.3. Camino seguido por ondas.	17
2.4. Patrón de radiación de una antena direccional.	17
2.5. Patrón de radiación de una antena omnidireccional.	18
2.6. Absorción atmosférica de ondas electromagnéticas.	21
2.7. Modos de propagación de ondas.	24
2.8. Propagación de ondas terrestres.	25
2.9. Propagación de ondas espaciales.	25
2.10. Ondas espaciales y horizonte de radio.	26
2.11. Refracción en una frontera plana entre dos medios.	26
2.12. Reflexión electromagnética en una frontera plana entre dos medios.	27
2.13. Difracción de ondas de luz.	28
2.14. Suma lineal de dos vectores con distintos ángulos de fase.	28
2.15. Nivel de potencia a lo largo de un sistema de radioenlace.	30
3.1. Access Point Wireless-G modelo WRT54G.	37

3.2. Adaptador Inalámbrico USB TL-WN7200ND.	39
3.3. Página de descarga de DD-WRT.	40
3.4. Descarga del firmware.	40
3.5. Reseteo del AP.	41
3.6. Actualización de la versión mini del firmware DD-WRT.	42
3.7. Botón de reset del AP.	42
3.8. Actualización de la versión completa del DD-WRT.	43
4.1. Principales áreas que se desean cubrir con la red WiFi.	45
4.2. Ubicaciones que cuentan con acceso a una red.	46
4.3. Medidas de potencia en las aulas A16 - A22.	48
4.4. Medidas de potencia alrededor de las aulas A16 - A22.	49
4.5. Medidas de potencia en las cercanías de la biblioteca.	50
4.6. Medidas de potencia dentro del lab. de mecánica	51
4.7. Medidas de potencia alrededor de las aulas A14 y A15 par el tercer Access Point.	52
4.8. Medidas de potencia alrededor de las aulas A1 - A8 para el tercer Access Point.	53
4.9. Medidas de potencia en las cercanías del laboratorio de multimedia para el tercer Access Point.	54
4.10. Medidas de potencia alrededor del A10 para el cuarto Access Point	56
4.11. Medidas de potencia alrededor de las aulas A14 y A15 para el cuarto Access Point.	56
4.12. Medidas de potencia alrededor de las aulas A1 - A8 para el cuarto Access Point.	57

Índice de tablas

1.1. Valores de referencia del RSSI	4
1.2. Características generales del estándar 802.11a, 802.11b, 802.11g.	13
2.1. Variación de la potencia en factor de 3 dBm	19
2.2. Variación de la potencia en factor de 10 dBm.	19
2.3. Valores típicos de pérdidas en los cables coaxial para la banda de 2.4 GHz.	32
2.4. Sensibilidad de recepción del TL-WN7200ND para 802.11g/b.	34
3.1. Especificaciones del Acces Point WRT54G.	37
4.1. Datos técnicos de los dispositivos.	47
4.2. Cálculos de FSL y M_d del primer AP.	49
4.3. Cálculos de FSL y M_d del segundo Access Point.	52
4.4. Cálculos de FSL y M_d del tercer Access Point.	55
4.5. Cálculos de FSL y M_d del cuarto Access Point.	58
4.6. Acces Point ubicado en el centro de idiomas.	60
4.7. Acces Point ubicado en la biblioteca.	61
4.8. Acces Point ubicado en el laboratorio de multimedia.	62
4.9. Acces Point ubicado en el aula A10.	63

Capítulo 1

Introducción

La finalidad de este trabajo es establecer un punto de partida para implementar una red WiFi que provea de internet de buena calidad, con cobertura a todo el campus universitario de Loma Bonita. Por ello, en esta introducción se presentan los conceptos fundamentales para comprender el funcionamiento de una red WiFi.

De manera general, la calidad de una señal se mide a través de la cantidad de datos enviados y recibidos por unidad de tiempo, es decir, la velocidad de transmisión. Un análisis de todos los elementos que intervienen en ella, determina que la potencia de la señal es el único factor plausible a modificar. Esto debido a que las redes WiFi operan bajo ciertas normas establecidas por el estándar 802.11 que determina las características de la red.

La manipulación de la potencia de la señal depende directamente del dispositivo seleccionado para transmitir la señal WiFi y así mismo de la configuración propia del dispositivo. Tanto el dispositivo como el software debe cumplir con la normatividad del estándar 802.11, en el cual se establece que es posible transmitir la señal WiFi a través de distintos canales sobre cierto rango de frecuencias. Esto para evitar que la señal sufra de solapamiento debido a otras redes inalámbricas que se encuentren en las cercanías o interferencias generadas por dispositivos electrónicos.

En conclusión, la potencia de la señal juega un papel crucial en la cantidad de datos que se reciben y transmiten. Existe una relación entre la potencia de la señal y la del ruido (Signal-Noise S/N) (la cual se tratará mas adelante), esta relación establece que al incrementar la potencia de la señal aumenta la relación S/N ya que se considera que la potencia del ruido permanece constante mejorando la transmisión de datos.

A continuación se presentan algunos conceptos que permiten una mejor comprensión del término S/N y ayudarán en la selección de los dispositivos a utilizar.

1.1. Ancho de banda

Se define como el intervalo de frecuencias, entre la más baja y más alta, utilizado para una aplicación. Estos límites son considerados en los puntos donde una señal cae 3 dB por debajo del nivel medio (de la potencia o energía) de la banda de paso, o por debajo del nivel en una frecuencia de referencia. En la Figura 1.1 se puede observar que el ancho de banda B se toma desde la frecuencia f_L hasta la frecuencia f_H , donde las frecuencias fuera de ese rango, la señal decae 3 dB.

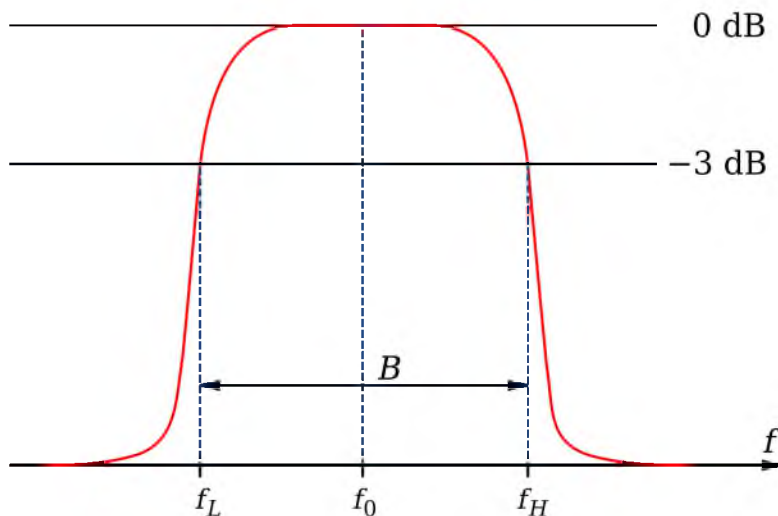


Figura 1.1: Definición de ancho de banda de 3dB.

1.2. Bit, byte y velocidad de transmisión

La cantidad de información enviada y recibida se mide en bytes/segundo (bps). El byte se define como el conjunto de 8 bits. El bit es la unidad básica de información y es una abreviación de dígito binario. Algunos lo llaman la unidad mas pequeña de información ya que puede tomar uno de dos estados, 1 ó 0. Todos los bits tienen el mismo periodo y son contiguos. Esto solo es verdad en transmisiones síncronas, donde un bit es seguido directamente por el siguiente a lo largo de todo un paquete de bits. Las transmisiones síncronas utilizan relojes a fin de que la información se envíe a una velocidad constante. Esto permite dar respuestas inmediatas, haciendo que el emisor y el receptor tenga una comunicación fluida [4].

1.2.1. Relación de velocidad con ancho de banda

Cuando se transmite información el ancho de banda a utilizar depende directamente de la cantidad de información enviada por unidad de tiempo. Por ejemplo, 2400 b/s requerirá de un ancho de banda de 2400 Hz. Para transmitir una señal sin deformación se requiere de un ancho de banda infinito. Todo medio de transmisión disminuye el ancho de banda, razón por la cual todas las señales sufren alguna deformación.

1.3. Relación S/N

El ruido es cualquier señal no deseada que aparece en la transmisión e interfiere con ella perturbando la comunicación. La relación de la potencia de la señal y la potencia del ruido, S/N es un factor importante en la transmisión. Esta determina la máxima velocidad de transmisión. De manera formal, estos valores se obtienen de acuerdo de acuerdo a la capacidad de canal de Shannon [10]. La potencia S de la señal está relacionada con la calidad de transmisión. Al incrementar S , se reduce el efecto del ruido de canal, y la información se recibe con mayor exactitud, o con menos incertidumbre.

$$S/N = \frac{\text{Potencia media de la señal } (P_S)}{\text{Potencia media del ruido } (P_N)} \rightarrow S/N_{dB} = 10 \log_{10} (S/N) \quad (1.1)$$

S/N es la relación entre lo que se quiere (señal) y lo que no se quiere (ruido) (ver Figura 1.2). Una S/N baja indica que la señal esta muy "afectada" por el ruido (ver Figura 1.3).

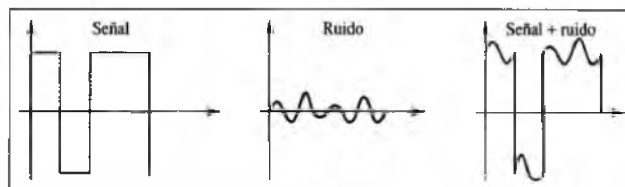


Figura 1.2: S/N grande.

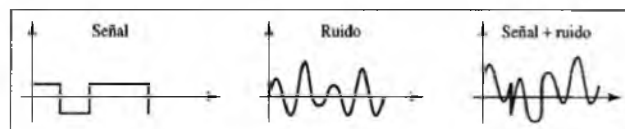


Figura 1.3: S/N pequeña.

1.3.1. Indicador de Fuerza de Potencia Recibida de la Señal (RSSI)

RSSI es la abreviatura en inglés de Received Signal Strength Indication, (Indicador de fuerza de señal de recepción). Este término se usa comúnmente para medir el nivel de potencia de las señales recibidas en las redes inalámbricas (por ejemplo en WiFi o en telefonía móvil). La escala tiene al valor 0 (cero) como centro; representa 0 dBm. Teóricamente puede darse el caso de medir valores positivos, sin embargo la escala se expresa dentro de valores negativos; cuanto más negativo es el RSSI, se tiene mayor pérdida de potencia de la señal. El RSSI indica intensidad recibida. En el caso de las redes WiFi un nivel de 0 dBm es igual a 1 mW. Los valores se expresan en dBm porque es la intensidad de señal recibida respecto a 1 mW. En la Tabla 1.1 se expresa la intensidad de la señal según el valor RSSI.

RSSI en dBm	Interpretación de los valores
0	Señal ideal, se logra solo en laboratorio.
-1 a -39	Señal excelente, muy difícil de conseguir en un entorno normal.
-40 a -59	Señal idónea con tasas de transferencia estables.
-60 a -69	Enlace bueno; ajustando la potencia del transmisor TX y la velocidad básica se puede lograr una conexión estable al 80 %.
-70 a -79	Enlace normal - bajo; es una señal medianamente buena, aunque se pueden sufrir problemas con lluvia y viento
-80	Es la señal mínima aceptable para establecer la conexión, aunque puede ocurrir caídas en el enlace.

Tabla 1.1: Valores de referencia del RSSI

Esta escala se aplica a algunos dispositivos. El fabricante es el que indica que significa la escala, (si son dbm, dbuV, entre otros) y en función de la modulación se saben los márgenes aceptables.

1.4. Capacidad de un canal

Se llama capacidad de un canal a la velocidad, expresada en b/s a la que se pueden transmitir los datos en un canal de comunicaciones. La capacidad de cada canal de comunicación se ve afectada directamente por las limitaciones en el ancho de banda y que surgen de las propiedades físicas de los medios de transmisión o por las limitaciones que se imponen deliberadamente en el transmisor para prevenir interferencia con otras fuentes que comparten el mismo medio. Lo deseable es conseguir la mayor velocidad de transmisión posible dado un ancho de banda limitado, sin superar la tasa de errores permitida. Sin embargo sabemos que el mayor inconveniente para conseguir este objetivo es el ruido presente en el canal y las interferencias.

1.4.1. Ancho de banda de Nyquist (canal sin ruido)

H. Nyquist fue un pionero en la teoría de la información. En su trabajo básicamente estableció que teóricamente la transmisión libre de errores de dos bits de información puede ser transportada en 1 Hz de ancho de banda. Esto a menudo se llama la velocidad de Nyquist o ancho de banda de Nyquist. En otras palabras, si tenemos 1000 Hz de ancho de banda, en teoría, se puede transportar 2000 b/s "libre de errores". Nyquist supuso en su teorema un canal exento de ruido (ideal), por lo tanto la limitación de la velocidad de transmisión permitida en el canal, es la impuesta exclusivamente por el ancho de banda del canal [10].

El teorema de Nyquist establece que:

La velocidad máxima de transmisión en bits por segundo para un canal (sin ruido) con ancho de banda B (Hz) es:

$$C = 2B \log_2 M \quad (1.2)$$

Dónde

C : Capacidad de transmisión del canal, en b/s

B : Ancho de banda del canal, en Hz

M : Número de niveles (de voltaje) transmitidos

Se podría pensar que, dado un B específico, se puede conseguir cualquier velocidad incrementando los niveles M de la señal. La idea es correcta, pero en la práctica existe un límite. Si se incrementan los niveles de la señal, se impone una carga en el receptor, por ejemplo, si los niveles son 64, el receptor debe ser muy sofisticado para distinguirlos. En otras palabras, incrementar los niveles de la señal reduce la fiabilidad del sistema.

Si $M = 2$ el receptor distingue fácilmente entre 0 y 1, entonces, por lo tanto:

$$C = 2B \quad (1.3)$$

1.4.2. Modelo de Claude Shannon (canal con ruido)

Claude Shannon propuso un modelo diferente en el que considera el ruido del canal de comunicaciones como medida de desempeño del mismo. Dado un nivel de ruido, cuanto mayor es la velocidad de transmisión mayor es la tasa de errores (ver Figura 1.4) [10].



Figura 1.4: Tasa de error en una transmisión.

Shannon desarrolló la fórmula denominada Capacidad de Shannon, para determinar la máxima tasa de bits teórica de un canal. El teorema de Shannon establece que:

$$C = B \log_2 \left[1 + \frac{S}{N} \right] \text{ b/s} \quad (1.4)$$

donde

C : Capacidad teórica máxima del canal (dígitos binarios o bits por segundo)

B : Ancho de banda del canal (en Hz)

S/N : Relación señal a ruido (S/N en watts)

En esta ecuación, no se hace referencia directa al nivel de voltaje de la señal. Esto significa que, sin importar los niveles que se tengan, no se puede conseguir una velocidad mayor que la capacidad del canal [3].

Para un nivel de ruido dado, la velocidad de transmisión se puede aumentar incrementando tanto la energía de la señal como el ancho de banda. Sin embargo, al aumentar la energía de la señal también lo hacen las no linealidades del sistema dando lugar a un aumento en el ruido. Debido a que el ruido se ha supuesto blanco, cuanto mayor sea el ancho de banda, mas ruido se introducirá al sistema. Por lo tanto, cuando aumenta B , disminuye S/N .

En la práctica, es necesario usar ambos métodos para encontrar los límites y los niveles de la señal.

- La capacidad del teorema de Shannon proporciona el límite superior de transmisión de datos.
- La tasa de bits de Nyquist específica cuantos niveles de señal son necesarios.

1.5. Modulación

Las señales de banda base, $m(t)$, producidas por diferentes fuentes de información no son siempre adecuadas para la transmisión directa a través de un canal dado. Estas señales son en ocasiones fuertemente modificadas para facilitar su transmisión. Este proceso de conversión se conoce como modulación, en el cual se utiliza la señal de banda base para modificar algún parámetro de una señal portadora de alta frecuencia.

Una portadora es una señal senoidal de alta frecuencia, en la cual se varía uno de sus parámetros en proporción a la señal de banda base $m(t)$, tal como la amplitud, la frecuencia o la fase. En el receptor, la señal modulada debe pasar a través de un proceso inverso que se llama demodulación con el fin de recuperar la señal de banda base [1].

1.5.1. Tipos de modulación

Existen dos tipos de modulación: Modulación analógica: Es realizada a partir de señales analógicas de información, ejemplo la voz humana, audio y video en su forma eléctrica (ver Figura 1.5).

- AM (Modulación en amplitud): La amplitud de la portadora varía según la señal de información.
- FM (Modulación en frecuencia): Esta modulación consiste en variar la frecuencia de la onda portadora de acuerdo con la intensidad de la onda de información.
- PM (Modulación en fase): En este caso el parámetro de la señal portadora que variará de acuerdo a señal moduladora es la fase.

Modulación digital: Se realiza a partir de señales generadas por fuentes digitales, ejemplo: una computadora (ver Figura 1.6).

- ASK (Modulación por desplazamiento de amplitud, apagado-encendido): Es una forma de modulación en la cual se representa los datos digitales como variaciones de amplitud de la onda portadora. La amplitud de una señal portadora análoga varía conforme a la corriente de bit (modulando la señal), manteniendo la frecuencia y la fase constante. El nivel de amplitud puede ser usado para representar los valores binarios 0s y 1s. Se puede pensar en la señal portadora como un interruptor ON/OFF.

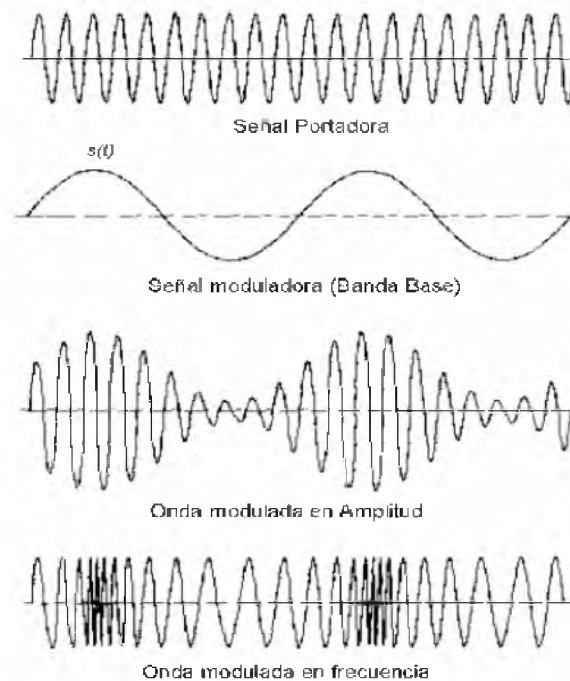


Figura 1.5: Señales muduladas en AM y FM.

- FSK (Modulación por desplazamiento de frecuencia): Es una técnica de transmisión digital de información binaria (ceros y unos) utilizando dos frecuencias diferentes. La señal moduladora solo varía entre dos valores de tensión discretos formando un tren de pulsos donde un cero representa un "1" o "marca" y el otro representa el "0" o "espacio".
- PSK (Modulación por desplazamiento de fase): Tipo de modulación que se caracteriza porque la fase de la onda portadora varía directamente de acuerdo con la señal modulante, resultando una señal de modulación en fase. Se obtiene variando la fase de una señal portadora de amplitud constante, en forma directamente proporcional a la amplitud de la señal modulante. La modulación de fase no suele ser muy utilizada porque se requieren equipos de recepción más complejos que los de frecuencia modulada. Además puede presentar problemas de ambigüedad para determinar por ejemplo si una señal tiene una fase de 0° o 180° .

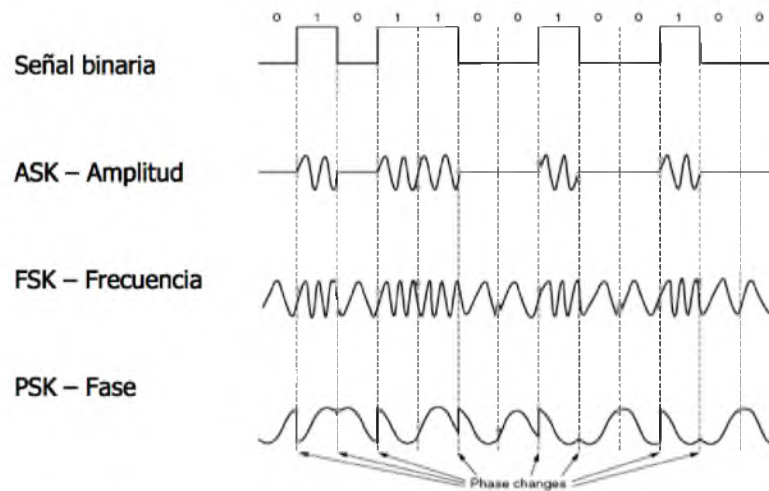


Figura 1.6: Técnicas básicas de modulación digital.

1.5.2. Modulación MPSK

M-ary Phase Shift Keying (MPSK) es una extensión de la técnica de modulación digital PSK. Si la señal PSK tenía dos posibles fases de salida (fases absolutas), en MPSK la señal modulada tiene M fases posibles para una misma frecuencia portadora [5]. Esto puede ser representado de la siguiente forma:

$$M = 2^k \quad (1.5)$$

Donde:

k : Número de bits

M : Número de combinaciones de salida posibles con k bits

En este proceso se convierten grupos de k bits de información en una señal analógica de amplitud constante y con 2^k fases posibles.

1.5.2.1. Modulación QPSK

Quaternary Phase Shift Keying, es un tipo de modulación MPSK en la que $M=4$, es decir, la señal portadora de frecuencia w_c puede tener 4 fases de salida diferentes, y por consiguiente $k = 2$ ($2^2 = 4$). Por lo tanto en QPSK los datos de entrada binarios están compuestos por grupos de 2 bits que reciben el nombre de *dibits* y producen 4 posibles combinaciones: 00, 01, 10, y 11 [5].

1.5.4.2. Modulación FHSS

En un sistema de espectro disperso de salto de frecuencia *Frequency Hopping Spread Spectrum* (FHSS), un transmisor da "saltos" entre las frecuencias disponibles (ver Figura 1.8). Cierta cantidad de datos se transmite en una banda estrecha. En este momento, el transmisor sintoniza a otra frecuencia y transmite de nuevo. El receptor por lo tanto es capaz de saltar sobre su frecuencia en un determinado ancho de banda varias veces por segundo, se transmite en una frecuencia durante un cierto periodo de tiempo, entonces salta a otra frecuencia y transmite de nuevo [2].

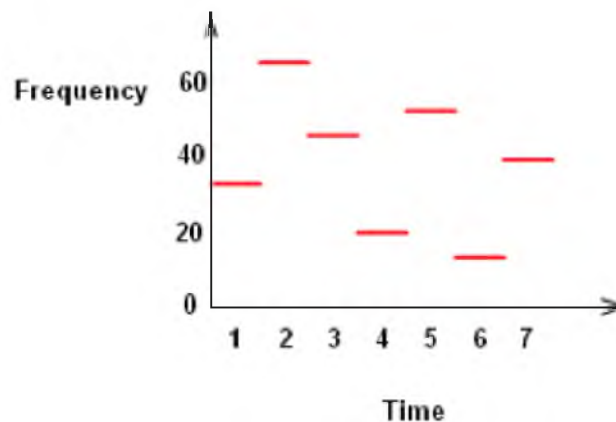


Figura 1.8: Canales de transmisión en FHSS utilizados en diferentes intervalos de tiempo.

1.5.4.3. Modulación DSSS

En la técnica de Espectro Expandido por Secuencia Directa (DSSS), los datos son mezclados ordenadamente con ruido. Estos son transmitidos, primero en una frecuencia A, luego en otra B y en una tercera C. La cantidad de frecuencias utilizadas y el orden de la mezcla son determinadas por un algoritmo específico (ver Figura 1.9). Solo los receptores que han recibido antes el código de mezcla con ruido o de expansión de datos pueden deshacer la mezcla y entender los datos [2].

DSSS

- Espectro Expandido de Secuencia Directa (DSSS)

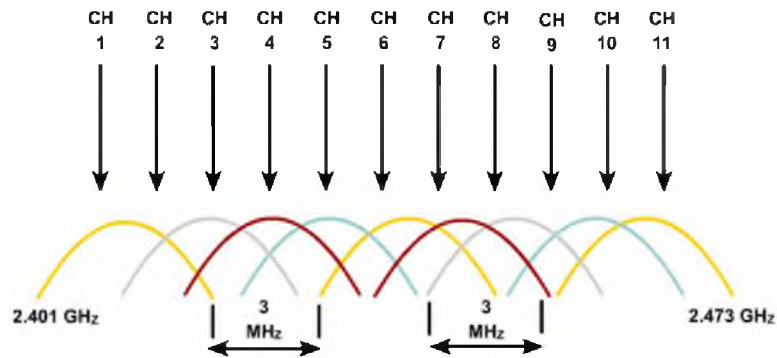


Figura 1.9: Canales de transmisión utilizados en una modulación DSSS.

1.6. Empaquetados de bit

El empaquetado de bits permite transmitir a mayores velocidades de bit que lo sugerido por Nyquist.

Sin embargo, hay un precio para la aplicación de esta técnica. Este precio, siguiendo la ecuación de la capacidad de Shannon, es pagado en un aumento de S/N a medida que aumentan los niveles M de codificación de información [4].

1.6.1. Baudio

El término baudio es la medida de la velocidad de modulación o el número de transiciones por segundo. En el caso del modem de 2400 b/s, la velocidad de modulación es de 1200 baudios. Para cada transición con QPSK, dos bits son transmitidos [4].

1.7. Protocolo 802.11x (Wi-Fi)

Dentro de las redes de área local inalámbricas (WLAN) el protocolo más utilizado es el IEEE 802.11x, en el cual se definen una serie de estándares, mejor conocidos como WiFi. Hasta la fecha, existen grupos de trabajo creados para el estándar IEEE 802.11 (cada uno con tareas específicas). Los grupos que

más importancia han tenido y que en la actualidad se han consolidado como estándares son el 802.11a, 802.11b y 802.11g. En la Tabla 1.2 se resumen las características generales de estos estándares.

	802.11a	802.11b	802.11g
Fecha de aprobación	Septiembre de 1999	Septiembre de 1999	Junio de 2003
Banda de frecuencia	5.150 - 5.35 GHz 5.725 - 5.825 GHz	2.4 - 2.4835 GHz	2.4 - 2.4835 GHz
Ancho de banda disponible	300 MHz	83.5 MHz	83.5 MHz
Número de canales sin traslape	12 (Interior/exterior)	3 (Interior/exterior)	3 (Interior/exterior)
Tasa de transmisión por canal	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54, Mb/s	1, 2, 5.5, 11, Mb/s	54 Mb/s
Tipo de modulación	OFDM	DSSS	FHSS, DSSS

Tabla 1.2: Características generales del estándar 802.11a, 802.11b, 802.11g.

Capítulo 2

Propagación de ondas electromagnéticas

2.1. Introducción

Dado que el propósito de este trabajo es la transmisión de información a través de señales moduladas en el espacio libre, es necesario estudiar la forma en que estas señales se transmiten. Esto se conoce como propagación.

La propagación de ondas electromagnéticas en el espacio libre se suele llamar propagación de radio frecuencia (RF). Aunque el espacio libre incluye tanto al vacío como a la atmósfera terrestre, no son iguales, ya que la atmósfera terrestre introduce pérdidas de la señal que no se encuentran en el vacío.

Las ondas electromagnéticas se propagan a través de un medio, el cual puede ser un material dieléctrico (aire), sin embargo no puede ser propagada a través de medios conductores con pérdidas (como el agua de mar). Las ondas de radio se consideran ondas electromagnéticas como la luz y al igual que esta, viajan a través del espacio libre en línea recta con una velocidad de $300 \times 10^6 \text{ m/s}$. Estas ondas se propagan por la atmósfera terrestre, las cuales son emitidas por una fuente a cierta potencia, posteriormente se recibe por un receptor. La transmisión y la captura de estas señales son funciones de las antenas. A continuación se mencionan algunos conceptos que nos permiten analizar la transmisión, propagación y recepción de ondas electromagnéticas.

2.1.1. Rayos y Frentes de onda

Las ondas electromagnéticas son invisibles, por lo tanto deben ser analizadas por métodos indirectos, por ejemplo mediante esquemas. Los conceptos de rayos y de frentes de onda son auxiliares para ilustrar los efectos de la propagación de ondas electromagnéticas a través del espacio vacío.

Los rayos se usan para mostrar la dirección relativa de la propagación de la onda electromagnética. Un rayo es una línea trazada a lo largo de la dirección de propagación de una onda electromagnética.

Un frente de onda representa una superficie de ondas electromagnéticas de fase constante. El frente de onda es formado cuando se unen los puntos de igual fase en rayos que se propagan desde la misma fuente.

Los frentes de onda tienen diferentes formas, a continuación se describen algunos de ellos.

2.1.1.1. Frente de onda plana

Un frente de onda plana tiene una superficie que es perpendicular a la dirección de propagación. En la Figura 2.1 se muestra un frente de onda plana perpendicular al rectángulo ABCD.

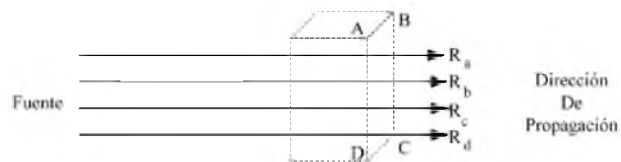


Figura 2.1: Frente de onda plana.

2.1.1.2. Frente de onda producido por una fuente puntual

Una fuente puntual propaga los rayos uniformemente en todas direcciones. El frente de onda que genera se asemeja a una esfera con su respectivo radio, y su centro está en el punto donde se originan las ondas, como se observa en la Figura 2.2.

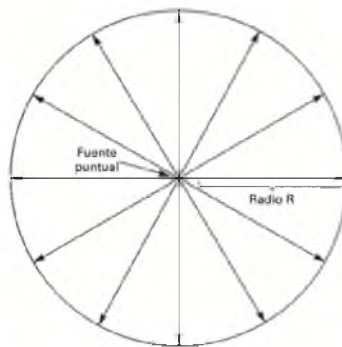


Figura 2.2: Frente de onda producida por una fuente puntual.

La densidad de potencia de los frente de onda depende directamente de la distancia que tiene con la fuente que lo produjo. Esta relación es presentada en la ley del cuadrado inverso.

2.1.1.3. Ley del cuadrado inverso

La densidad de potencia radiada se define como la potencia por unidad de superficie en una determinada dirección. La ley del cuadrado inverso establece que entre más se aleje el frente de onda de la fuente transmisora, la densidad de potencia es más pequeña. Esto es debido a que el área de la esfera aumenta directamente proporcional a su radio elevado al cuadrado.

El medio por el cual es emitida (recibida) una onda electromagnética se conoce como antena. En la siguiente sección se describe características, tipos y funcionamiento de estos dispositivos.

2.2. Antenas

Una antena es un conductor metálico capaz de emitir o recibir ondas electromagnéticas. La función de una antena emisora es convertir señales eléctricas en ondas electromagnéticas y emitirlas. La antena receptora por su parte, convierte las ondas electromagnéticas que recibe en señales eléctricas.

La transmisión de ondas desde desde la antena emisora hasta la antena receptora se puede hacer por dos vías:

- Directamente desde la antena emisora hasta la antena receptora.
- Reflejando las ondas. La antena emisora envía las ondas electromagnéticas hacia la ionosfera. Esta refleja las ondas a la Tierra donde las recibe la antena receptora [8].

La Figura 2.3 muestra estas dos formas de transmisión.

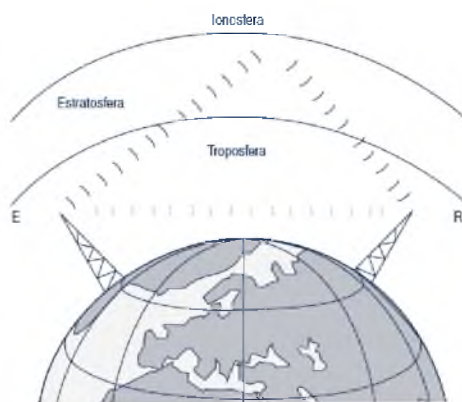


Figura 2.3: Camino seguido por ondas.

Existen diferentes tipos de antenas, de acuerdo al uso, potencia, a la distancia de transmisión, la vía por la cual va transmitir, entre otras. En este trabajo se presenta solamente las antenas direccionales y la omnidireccionales que son las mas utilizadas para conectividad WiFi.

2.2.1. Antenas direccionales

Las antenas direccionales envían información en una dirección y ángulo fijo, por lo cual su alcance es mayor. Sin embargo fuera de la zona de cobertura no se puede establecer comunicación con el receptor (ver Figura 2.4).

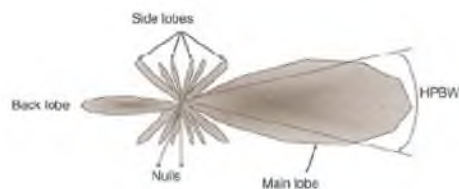


Figura 2.4: Patrón de radiación de una antena direccional.

2.2.2. Antenas omnidireccionales

Las antenas omnidireccionales orientan la señal en todas direcciones con un haz amplio, pero de corto alcance. Las antenas omnidireccionales envían, en teoría, la información a 360 grados lo hace posible

establecer comunicación con el receptor independientemente del punto en el que se encuentre. (ver Figura 2.5).



Figura 2.5: Patrón de radiación de una antena omnidireccional.

No importando el tipo o la forma de la antena una de sus principales características es la ganancia de la antena y esta suele medirse en dB. A continuación se profundiza en estos temas.

2.2.3. Ganancia de una antena

La ganancia de una antena se define como la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección por una antena en particular y la densidad de potencia que radiaría una antena de referencia, a igualdad de distancias y potencias entregadas a la antena.

Las dos referencias que se utilizan comunmente son la antena isotrópica y la antena de dipolo de media onda. La ganancia se calcula con la siguiente ecuación.

$$G_P = 10 \log \left(\frac{P_1}{P_{ref}} \right) [dB] \quad (2.1)$$

donde:

P_a : Potencia en watts de una antena determinada

P_b : Potencia en watts de la antena de referencia

2.2.3.1. Uso de las unidades dB

El dB es una unidad relativa de medida utilizada en comunicaciones para describir la ganancia o atenuación de potencia. La intensidad de una señal varía logarítmicamente y no linealmente, así que los dB simplifican los números para variaciones muy grandes.

La relación dB se calcula tomando el logaritmo de la relación de la potencia medida o calculada P_2 con respecto a la potencia de referencia P_1 . [6]

$$Relacion (dB) = 10 \log\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$$

Los decibeles pueden sumarse o restarse (multiplicando y dividiendo sus correspondientes relaciones), por ejemplo, cada vez que el nivel de potencia se duplica o se divide entre dos se suma o resta respectivamente 3 dB al valor inicial, esto corresponde a una ganancia o reducción del 50%. Otro caso es cuando la potencia sufre una ganancia de 10 dB, su valor inicial aumenta 10 veces y si sufre una pérdida de -10 dB su valor se reduce a un décimo de su valor inicial.

Los dBm se obtienen al usar como potencia de referencia un mW, y para convertir la potencia de mW a dBm se utiliza la relación:

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

La variación de la potencia en dBm y sus respectivos valores en mW se presentan en las Tablas 2.1 y 2.2.

-12 dBm	-9 dBm	-6 dBm	-3 dBm	0 dBm	+3 dBm	+6 dBm	+9 dBm	+12 dBm
62.25 μ W	125 μ W	250 μ W	500 μ W	1 mW	2 mW	4 mW	8 mW	16 mW

Tabla 2.1: Variación de la potencia en factor de 3 dBm

-40 dBm	-30 dBm	-20 dBm	-10 dBm	0 dBm	+10 dBm	+20 dBm	+30 dBm	+40 dBm
100 nW	1 μ W	10 μ W	100 μ W	1 mW	10 mW	100 mW	1 W	10 W

Tabla 2.2: Variación de la potencia en factor de 10 dBm.

2.3. Pérdidas de la señal en el espacio libre

Cuando las ondas electromagnéticas se encuentran en el vacío, se dispersan reduciendo su densidad de potencia, a esto se le llama atenuación. La atmósfera terrestre contiene partículas que pueden absorber

la energía electromagnética y a este tipo de reducción de potencia se le llaman pérdidas por absorción. A continuación se describen estos conceptos.

2.3.1. Atenuación

El campo electromagnético continuo se dispersa a medida que el frente de onda se aleja de la fuente, lo que hace que las ondas electromagnéticas se alejen cada vez más entre sí. En consecuencia, la cantidad de ondas por unidad de área es menor. La atenuación de la onda se debe a la dispersión esférica de la misma, esto también se denomina atenuación espacial de la onda. Cabe destacar que no se pierde ni se disipa nada de la potencia irradiada por la fuente a medida que el frente de onda se aleja, sino que el frente se extiende cada vez más sobre un área mayor lo que provoca una pérdida de potencia.

2.3.2. Absorción

La causa de la absorción de las ondas electromagnéticas al viajar por el aire son los átomos y moléculas de distintas sustancias gaseosas, líquidas y sólidas que pueden absorber las ondas electromagnéticas causando pérdidas. Cuando la onda electromagnética se propaga a través de la atmósfera terrestre, se transfiere energía de la onda a los átomos y moléculas atmosféricas.

En caso de contar con lluvias intensas y neblina densa, las ondas electromagnéticas tienden a ser absorbidas en mayor proporción que cuando se encuentran en una atmósfera normal.

En la Figura 2.6 muestra la absorción atmosférica, en decibeles por kilómetro, debida al oxígeno y al vapor de agua, para radiofrecuencias mayores de 10GHz. A ciertas frecuencias se afectan más la absorción y se producen picos y valles en las curvas.

2.3.3. Modelo de propagación en el espacio libre

El modelo de propagación en el espacio libre es usado para predecir el comportamiento de la potencia de la señal recibida cuando el transmisor y el receptor tienen línea de vista entre ellos. La energía recibida en el espacio libre es función de la distancia y esta dada por la ecuación 2.2:

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L} \quad (2.2)$$

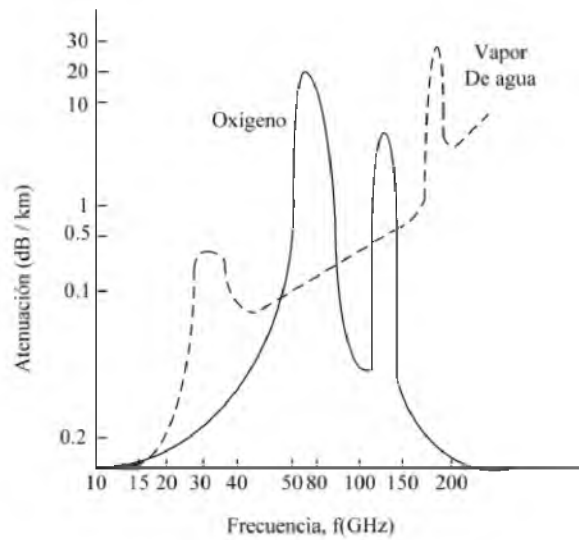


Figura 2.6: Absorción atmosférica de ondas electromagnéticas.

donde:

$P_r(d)$: Potencia recibida que es función de la distancia entre el transmisor y el receptor.

P_t : Potencia transmitida.

G_t : Ganancia de la antena transmisora.

G_r : Ganancia de la antena receptora.

d : Distancia de separación entre el transmisor y el receptor en metros.

L : Factor de pérdida del sistema no relacionado con la propagación ($L \geq 1$).

λ : Longitud de onda en metros.

La ganancia de cualquier antena está relacionada con su apertura efectiva, A_e y está dada por:

$$G = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2}$$

donde:

A_e : Está relacionada con la medida física de la antena

λ : Longitud de onda que se determina como:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{2\pi c}{\omega_c}$$

donde:

f : frecuencia de la portadora en Hz.

ω_c : frecuencia de la portadora en rad/s

c : velocidad de la luz en m/s

Los valores para P_t y P_r deben de estar expresados en las mismas unidades.

La ecuación del espacio libre muestra que la potencia recibida decae al cuadrado de la distancia de separación entre las antenas. Esto implica que la potencia recibida decae con la distancia a medida de 20 dB/década.

Para una antena isotrópica, la potencia efectiva radiada isotrópicamente (EIRP) está definida por $EIRP = P_t G_t$ y representa el máximo de la potencia radiada disponible desde el transmisor en dirección de la máxima ganancia de la antena.

En la práctica, la potencia radiada efectiva (ERP) es usada en lugar de EIRP para denotar el máximo de la potencia radiada como comparación con una antena bipolar de media onda. Como la antena bipolar tiene una ganancia de 1.64 (2.15 dB arriba de la antena isotrópica), el ERP será 2.15 dB más chico que el EIRP para el mismo sistema de transmisión.

Las pérdidas por trayectoria que presenta la atenuación de la señal como una cantidad positiva medida en dB, son definidas como la diferencia en dB entre la potencia transmitida efectiva y la potencia recibida. Las pérdidas por trayectoria para el modelo en el espacio libre están dadas por:

$$PL(dB) = 10 \log \frac{P_t}{P_r} = -10 \log \left[\frac{\lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \right] \quad (2.3)$$

donde:

$PL(dB)$: Pérdidas por trayectoria.

P_t : Potencia de transmisión.

P_r : Potencia de recepción.

λ : Longitud de onda.

2.3.3.1. Región de Fraunhofer

La región de Fraunhofer de una antena transmisora es definida como la región más allá de la distancia de Fraunhofer d_f . Esta distancia se relaciona con la dimensión lineal más larga de la apertura de la antena transmisora y la longitud de onda de la portadora. La distancia de Fraunhofer está dada por:

$$d_f = \frac{2D^2}{\lambda}$$

donde:

d_f : Distancia de Fraunhofer.

λ : Longitud de onda.

D : Mayor dimensión lineal física de la antena. Adicionalmente, para estar en la región de Fraunhofer, debe de ser $d_f \gg D$ y $d_f \gg \lambda$

La ecuación que define la potencia recibida en la antena receptora no afecta para $d = 0$. Por esta razón, los modelos de propagación usan una distancia cercana d_0 conocida como punto de referencia de la potencia recibida. La potencia recibida, $P_r(d)$ a cualquier distancia $d > d_0$ puede ser relacionada con la P_r en d_0 . El valor $P_r(d_0)$ puede ser predecido por los modelos de propagación. La distancia de referencia debe de ser escogida tal que ésta caiga en la región de Fraunhofer, esto es $d_0 \geq d_f$ y d_0 es escogida para ser más pequeña que cualquier distancia práctica usada en cualquier sistema de comunicaciones. Por esto la potencia recibida está dada por:

$$P_r(d) = P_r(d_0) \left(\frac{d_0}{d}\right)^2 \quad d \geq d_0 \geq d_f \quad (2.4)$$

Donde

$P_r(d)$: Potencia recibida.

$P_r(d_0)$: Potencia recibida a d_0 .

d : Distancia entre las antenas.

2.4. Propagación terrestre de las ondas electromagnéticas

Las ondas terrestres son todas las ondas electromagnéticas que viajan dentro de la atmósfera terrestre. Existen tres formas de propagación de ondas electromagnéticas dentro de la atmósfera: las ondas terrestres, ondas espaciales y ondas celestes o ionosféricas, estas se muestran en la Figura 2.7.

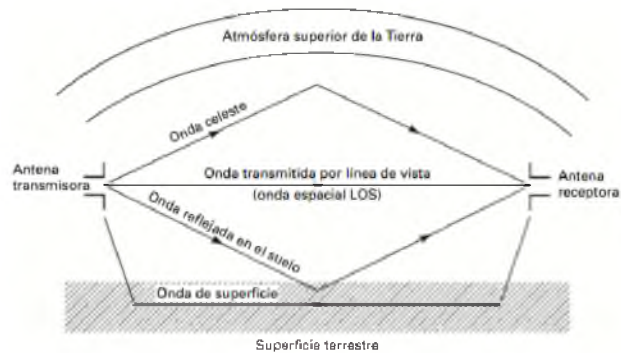


Figura 2.7: Modos de propagación de ondas.

Cuando las ondas viajan directamente del transmisor al receptor se le llama transmisión de línea de vista.

2.4.1. Propagación de ondas terrestres

Una onda terrestre es una onda electromagnética que viaja por la superficie de la tierra. Las ondas terrestres deben estar polarizadas verticalmente debido a que el campo eléctrico en una onda polarizada horizontalmente sería paralelo a la superficie de la tierra, y esas ondas se pondrían en corto por la conductividad del suelo. Con las ondas terrestres, el campo eléctrico variable induce voltajes en la superficie terrestre, lo que hace circular corrientes muy parecidas a las de una línea de transmisión [11].

La señal que se propaga por la superficie terrestre también tiene pérdidas por resistencia y por dieléctrico. La atmósfera terrestre tiene un gradiente de densidad, es decir, la densidad disminuye en forma gradual conforme aumenta la distancia a la superficie terrestre. Esto hace que el frente de onda se incline en forma progresiva hacia delante. Así, la onda terrestre se propaga en torno a la Tierra y queda cerca de su superficie, pudiéndose propagar más allá del horizonte o incluso por toda la circunferencia de la Tierra como se muestra en la Figura 2.8.

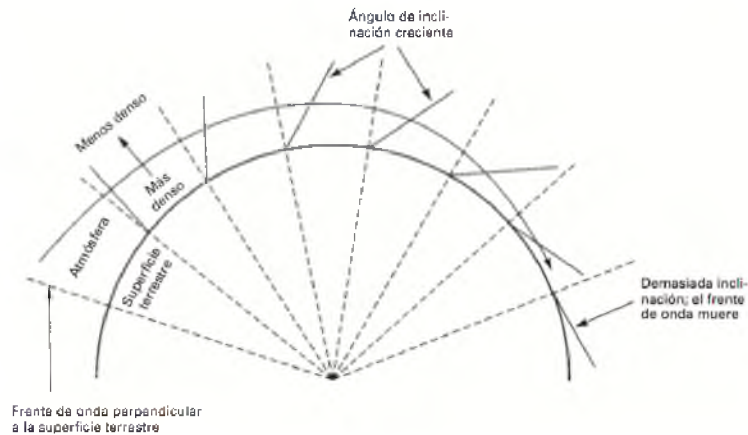


Figura 2.8: Propagación de ondas terrestres.

2.4.2. Propagación de ondas espaciales

Esta clase de propagación corresponde a la energía irradiada que viaja en los kilómetros inferiores de la atmósfera terrestre. Las ondas espaciales son todas las ondas directas y reflejadas en el suelo como se muestra en la Figura 2.9.

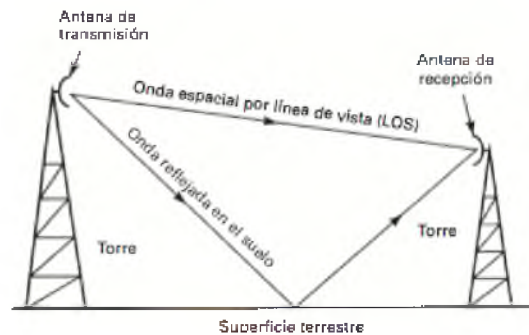


Figura 2.9: Propagación de ondas espaciales.

Las ondas directas viajan esencialmente en línea recta de la antena transmisora a la receptora. Esta transmisión se le llama transmisión de línea de vista. Esta se encuentra limitada principalmente por la curvatura de la tierra debido a que presenta un horizonte en la propagación de las ondas espaciales, que se suele llamar el horizonte de radio. Aproximadamente, el horizonte de radio se encuentra a cuatro tercios del horizonte óptico mostrado en la Figura 2.10.

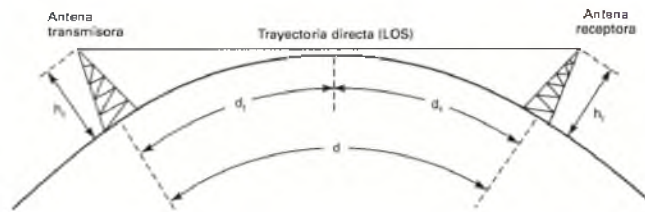


Figura 2.10: Ondas espaciales y horizonte de radio.

2.4.3. Propiedades de las ondas de radio

En la atmósfera terrestre, la propagación de frentes de onda y rayos puede diferir del comportamiento en el espacio libre debido a efectos ópticos. Estos efectos son principalmente clasificados en refracción, reflexión, difracción e interferencia. A continuación se explican estos conceptos.

2.4.3.1. Refracción

La refracción se refiere al cambio de dirección de un rayo al pasar en dirección oblicua de un medio a otro con distinta velocidad de propagación. La velocidad a la que se propaga una onda electromagnética es inversamente proporcional a la densidad del medio en el que lo hace. Por lo tanto, hay refracción siempre que una onda de radio pasa de un medio a otro con distinta densidad, Figura 2.11.

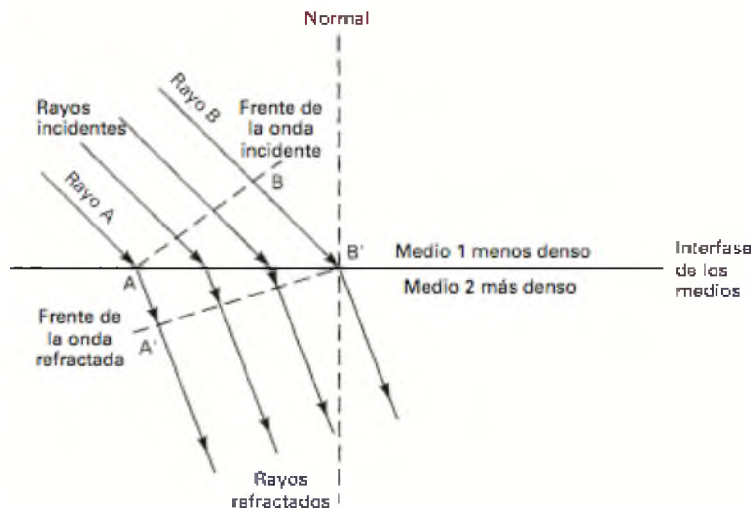


Figura 2.11: Refracción en una frontera plana entre dos medios.

Se le llama ángulo de incidencia al ángulo que forma la onda incidente y la normal y el ángulo de refracción es el formado por la onda propagada en el medio y la normal.

2.4.3.2. Reflexión

La reflexión refiere al choque de la onda electromagnética con la frontera entre dos medios. Parte o toda la potencia de la onda no se propaga en el medio, sino que es reflejada en dirección opuesta al segundo medio, como se muestra en la Figura 2.12. Aquí el frente de onda incidente choca con el medio 2 con un ángulo de incidencia θ_i . Este frente de onda es reflejado en su totalidad con un cambio de dirección llamado θ_r .

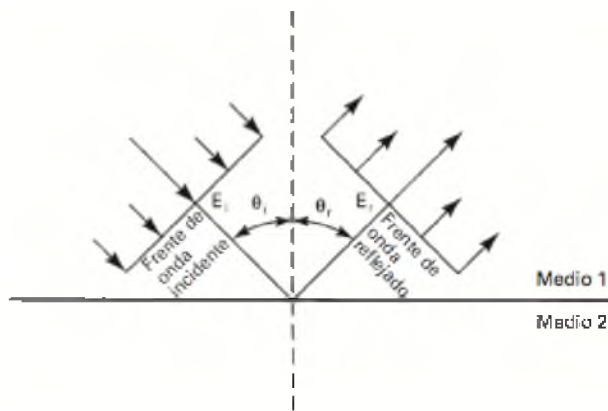


Figura 2.12: Reflexión electromagnética en una frontera plana entre dos medios.

2.4.3.3. Difracción

La difracción se refiere a la modulación, o redistribución de la energía, de un frente de onda al pasar cerca de la orilla de un objeto opaco. Por ejemplo cuando un objeto opaco se encuentra entre la fuente puntual de luz y una pantalla, como se muestra en la Figura 2.13, la frontera entre las regiones sombreadas e iluminada sobre la pantalla no está definida. Una inspección cuidadosa de la frontera muestra que una pequeña cantidad de luz se desvía hacia la región sombreada. La región fuera de la sombra contiene bandas alteradas brillantes y oscuras, donde la intensidad de la primera banda es más brillante que la región de iluminación uniforme. La difracción es el fenómeno que permite que las ondas luminosas o de radio se propaguen en torno a las esquinas.

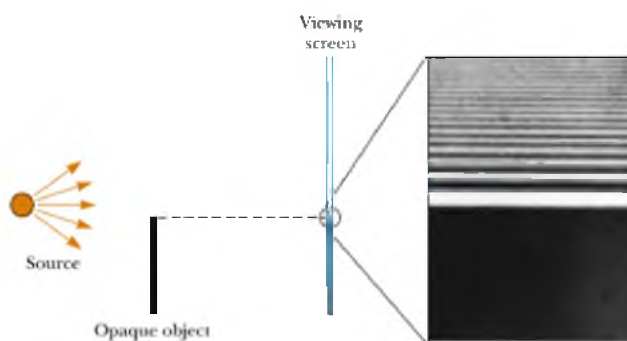


Figura 2.13: Difracción de ondas de luz.

2.4.3.4. Interferencia

La interferencia es producida siempre que se combinan dos ondas electromagnéticas de tal manera que el resultado es pérdida de la información. La interferencia está sujeta al principio de superposición lineal de las ondas electromagnéticas. Esta se presenta siempre que dos o más ondas ocupan el mismo punto en el espacio en forma simultánea. El principio de la superposición lineal establece que la intensidad total de voltaje, en un punto dado en el espacio, es la suma de los vectores de onda individuales. En la Figura 2.14 se muestra la suma lineal de dos vectores de voltaje instantáneo, cuyos ángulos de fase difieren en el ángulo θ . Se aprecia que el voltaje total no es tan solo la suma de las dos magnitudes vectoriales, sino más bien la suma fasorial.

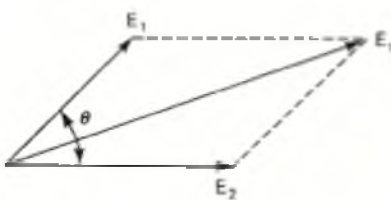


Figura 2.14: Suma lineal de dos vectores con distintos ángulos de fase.

2.5. Potencia de enlace

Mientras las ondas viajan a través del medio éstas van cambiando su dirección de propagación, su nivel de intensidad y en general su comportamiento. Este cambio se debe a que en el universo en realidad no existe espacio libre (para ser así no debe existir absolutamente nada entre dos antenas que están en comunicación). En la vida real el medio que separa dos antenas siempre tiene "algo".

Dado lo anterior, para el estudio de la viabilidad de un enlace WiFi, con una configuración determinada, se necesita llevar a cabo el cálculo de las ganancias y pérdidas de los componentes del enlace, desde el transmisor al receptor, pasando por los cables, conectores, antenas y el canal (en este caso el espacio libre). Para realizar la mejor estimación se debe considerar los valores de potencia en las diferentes partes del enlace WiFi. Como punto de partida se puede afirmar que un enlace WiFi está formado por tres aspectos básicos:

1.- La transmisión (*Potencia efectiva de transmisión*).

2.-Las Pérdidas en la propagación.

3.- La recepción (*Sensibilidad efectiva de recepción*).

Se denomina presupuesto de radio de enlace a la suma de todos los aportes (en decibeles) en el camino de las tres partes principales. A continuación se presenta una manera de calcular este presupuesto.

Potencia del transmisor [dBm] - Pérdidas en el cable y conectores TX [dB] + Ganancia de antena TX [dBi] – Pérdidas en la trayectoria en el espacio abierto [dB] + Ganancia de antena RX [dBi] – Pérdidas en el cable y conectores RX [dB] = Margen – Sensibilidad del receptor [dBm].

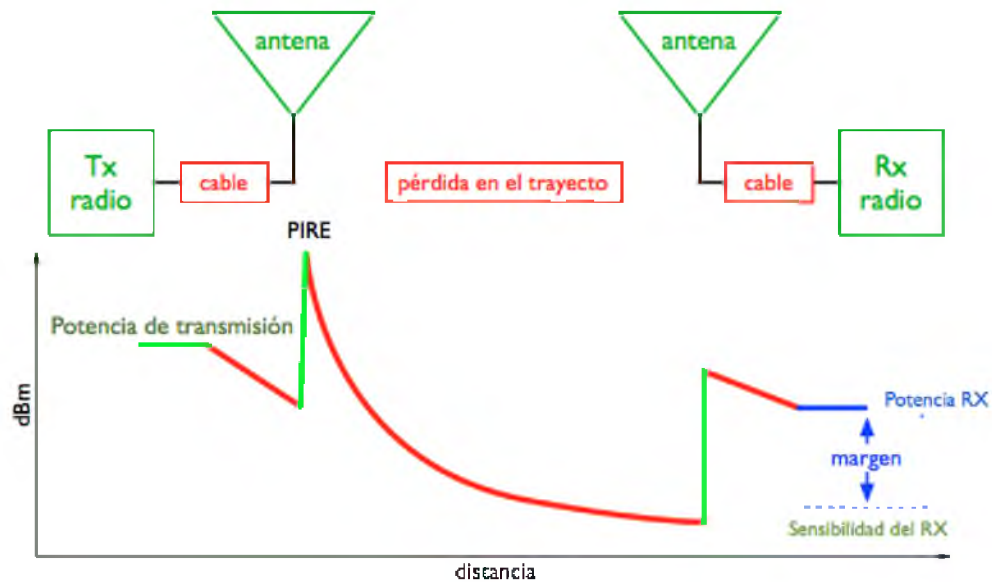


Figura 2.15: Nivel de potencia a lo largo de un sistema de radioenlace.

En la gráfica de la Figura 2.15 se muestra el nivel de potencia a lo largo de la trayectoria de un enlace de radio. El transmisor produce una cierta potencia P_{TX} , de la cual una pequeña cantidad se pierde en la atenuación A_{TX} del cable entre el transmisor y la antena. La antena transmisora enfoca la potencia hacia la dirección deseada, sumando una ganancia G_{TX} . A la salida de la antena transmisora tenemos el nivel máximo de potencia en todo el enlace. Este nivel se denomina PIRE (Potencia Isotrópica Irradiada Equivalente) y se expresa en dBm.

Luego se tienen las pérdidas en el espacio (que aumentan cuadráticamente con la distancia entre los extremos del enlace) y las pérdidas debidas a la absorción. La suma de estas es la pérdida en el trayecto (path loss). La antena receptora suministra una ganancia G_{RX} al recibir la señal, mientras que el cable entre la antena receptora y el receptor induce la atenuación A_{RX} . Si la potencia P_{TX} que llega a la entrada del receptor es mayor que la sensibilidad del receptor, por un cierto margen M_d , el enlace es viable.

Para conseguir un buen funcionamiento de una WLAN, la Potencia efectiva emitida + Pérdidas en la propagación + Sensibilidad efectiva de recepción debe ser mayor que 0. Dicho valor nos indica el margen de funcionamiento que tiene el sistema. El margen de desvanecimiento M_d es la potencia extra de señal que un enlace necesita para asegurarse que continuará en funcionamiento aunque sufra efectos anómalos (condiciones atmosféricas adversas, desvanecimientos por multitrayectoria, entre otras). Un buen enlace WiFi debería tener un margen de al menos 10 dB y para enlaces críticos un valor mínimo

de 20 dB.

Para obtener el M_d se utiliza la siguiente ecuación:

$$M_d = P_{TX} - A_{TX} + G_{TX} - P_{FSL} + G_{RX} - A_{RX} - S_{RX} \quad (2.5)$$

donde:

M_d : Margen de desvanecimiento [dBm]

P_{TX} : Potencia del transmisor [dBm]

A_{TX} : Pérdida en el cable de TX [dB]

G_{TX} : Ganancia de antena TX [dBi]

P_{FSL} : Pérdidas en la propagación en espacio libre [dB]

G_{RX} : Ganancia de antena de RX [dBi]

A_{RX} : Pérdidas en el cable de RX [dB]

S_{RX} : Sensibilidad del RX [dBm]

La mayoría de estos valores se obtiene de los datos que proporciona el fabricante de los dispositivos, solo en el caso de las pérdidas por propagación en el espacio libre se calcula mediante la ecuación 2.9.

2.5.1. Etapa de transmisión

2.5.1.1. Potencia del Transmisor

P_{TX} es la potencia de salida del equipo de radio y es especificado por el fabricante. El límite máximo permitido depende de las regulaciones vigentes en cada país.

La potencia de transmisión típica en los equipos IEEE 802.11 varía entre 15-26 dBm (30-400 mW) y depende de la tipología a usar.

2.5.1.2. Pérdida en el cable

La unión entre el equipo de transmisión con el sistema irradiante (antenas) se realiza mediante cables específicos para RF. La selección adecuada de los mismos nos permitirá minimizar las atenuaciones, sin embargo, independientemente de la calidad del cable a utilizar, siempre habrá pérdidas. Las pérdidas

dependen del tipo de cable y la frecuencia de operación. Normalmente se miden en dB/m (decibel por metro), por lo tanto, el cable hacia la antena debe ser lo más corto posible. En la Tabla 2.3 se enlistan los cables más utilizados en enlaces de radio y sus respectivas pérdidas en dB por metro.

Tipo de cable	Pérdida [dB/100m]
RG58	CA 80 - 100
RG213	CA 50
LMR-200	50
LMR-400	22
Aircom plus	22
LMR-600	14
Flexline de 1/2"	12
Flexline de 7/8"	6.6
C2FCP	21
Heliac de 1/2"	12
Heliac de 7/8"	7

Tabla 2.3: Valores típicos de pérdidas en los cables coaxial para la banda de 2.4 GHz.

La pérdida típica está entre 0,1 dB/m y 1 dB/m y en general, mientras más grueso y más rígido sea el cable menor atenuación presentará.

El dispositivo transmisor utilizado en este proyecto, la antena se encuentra acoplada al transmisor por lo que se desprecia esta pérdida.

2.5.1.3. Pérdidas en los conectores

En la práctica se estima una pérdida de por lo menos 0,25 dB para cada conector. Sin embargo, en caso de que los conectores no tengan el desempeño deseado puede implicar pérdidas mayores. Si se usan cables largos, la suma de las pérdidas en los conectores está incluida en una parte de la ecuación de "Pérdidas en los cables". En la práctica se considera un promedio de 0,3 a 0,5 dB de pérdidas por conector como regla general. Para subsanar los efectos mencionados es conveniente el uso de protectores contra descargas eléctricas.

2.5.1.4. Ganancia de la antena

La ganancia de una antena típica varía entre 2 dBi (antena integrada) y 8 dBi (antena omnidireccional) hasta 21 a 30 dBi (antenas parabólicas grilladas o sólidas). Es necesario tener en cuenta que hay muchos factores que disminuyen la ganancia real de una antena. Las pérdidas están principalmente

relacionadas con una incorrecta instalación (pérdidas en la inclinación, en la polarización, objetos metálicos adyacentes).

2.5.2. Pérdidas en la propagación

Una parte fundamental en el diseño de una red inalámbrica consiste en planificar correctamente la trayectoria de propagación entre el transmisor y el receptor. También es importante considerar la pérdida de potencia de la señal en la trayectoria. Tomando en cuenta estos factores es posible determinar si la potencia de la señal que llega al receptor es suficiente para establecer un enlace. Este hecho es independiente del tipo de modulación, técnicas de codificación, protocolos, entre otros, siendo válido para redes analógicas y digitales

2.5.2.1. Ecuación para las pérdidas en el espacio libre

La Pérdida en el Espacio libre (FSL), se define como la potencia que se pierde debido a la dispersión geométrica del frente de onda electromagnética. La potencia de la señal se distribuye sobre un frente de onda esférica, de área cada vez mayor a medida que se aleja del transmisor, por lo que la densidad de potencia disminuye. La mayor parte de la potencia de la señal de radio se perderá en el aire. Aún en el vacío, una onda de radio pierde energía (de acuerdo con los principios de Huygens [9]) que se irradia en direcciones diferentes a la que puede capturar la antena receptora. Este hecho se considera por separado a la atenuación que produce la niebla, la lluvia o cualquier otro fenómeno adicional.

Para obtener el cálculo del FSL en decibeles se aplica la ecuación 2.6:

$$FSL[dB] = 20\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) + K \quad (2.6)$$

donde:

FSL : Las pérdidas por trayectoria en dB

f : Frecuencia

d : Distancia entre las antenas transmisora y receptora

K : Constante que depende de las unidades de d y f

Si se expresa la distancia en kilómetros y la frecuencia en GHz se obtiene la ecuación 2.7:

$$FSL[dB] = 20\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) + 92,4 \quad (2.7)$$

La ecuación (2.9) solo proporciona una aproximación teórica y el resultado puede diferir de manera significativa de las mediciones tomadas. El término "espacio libre" no es siempre tan "libre", y las pérdidas pueden ser más grandes debido a las influencias del terreno y las condiciones climáticas. En particular, las reflexiones en cuerpos de agua o en objetos conductores pueden introducir pérdidas significativas.

2.5.3. Nivel mínimo de la señal recibida

La sensibilidad de un receptor es el valor mínimo de potencia que necesita para poder decodificar/extraer "bits lógicos" y alcanzar una cierta tasa de bits. Cuanto mas baja sea la sensibilidad, mejor será la recepción. La potencia de recepción se expresa en dBm negativos (-dBm). En un receptor 802.11 la sensibilidad es aquella potencia necesaria para garantizar que no habrá un BER (Bit Error Rate) mayor de 10^5 . Las sensibilidades no están especificadas en el estándar, pero entre más bajos sean estos valores mejor será la calidad del equipo RX. Los fabricantes usualmente especifican la sensibilidad del receptor a diferentes tasas de transmisión de datos, entre más alta sea la tasa de datos, menor será su sensibilidad. Algunos datos sobre la sensibilidad de los receptores de acuerdo a la velocidad de transmisión se encuentran en la Tabla 2.4.

Tasa de datos (Mb/s)	Umbral (-dBm)
54	76
36	81
12	89
9	91
6	92
5.5	93
1	94

Tabla 2.4: Sensibilidad de recepción del TL-WN7200ND para 802.11g/b.

2.5.3.1. Consideraciones del Margen de desvanecimiento

En un trayecto dado, la variación de la pérdida en un periodo de tiempo puede ser grande. Este hecho hace necesario considerar un margen M_d para asegurar un enlace estable y de calidad, durante condiciones climáticas adversas. Un margen de 10 a 15 dB es lo típico en condiciones normales; cuando

hay variaciones en la atenuación de la potencia de la señal, se debe tener un margen aun mayor, del orden de 20 dB.

Capítulo 3

Equipo de trabajo

Una vez estudiada la teoría básica necesaria para entender el funcionamiento de una red WiFi, es necesario conocer las herramientas que serán de utilidad para establecer dicha red. Los equipos utilizados para las pruebas de conectividad, en este trabajo, fueron los disponibles en la universidad, sin embargo, no son los únicos que pueden ser empleados para la instalación de una red inalámbrica. Existe en el mercado una gran variedad de equipos que cumplen con las mismas funciones, variando simplemente ciertas características.

El equipo para la implementación de esta red esta compuesto de un router, un acces point, una antena de transmisión y un adaptador inalámbrico USB.

3.1. Punto de acceso inalámbrico (Acces Point)

Un punto de acceso inalámbrico (WAP o AP por sus siglas en inglés: Wireless Access Point) interconecta dispositivos de comunicación (clientes) para formar una red entre ellos. Estos dispositivos se encuentran siempre a la espera de nuevos clientes. Un WAP también puede conectarse a una red cableada. El punto de acceso recibe la información, la almacena y la transmite entre la WLAN (Wireless LAN) y la LAN cableada. Muchos WAPs pueden conectarse entre sí para formar una red aún mayor, permitiendo realizar "roaming". Los puntos de acceso inalámbricos tienen direcciones IP asignadas, para poder ser configurados.

Un único punto de acceso soporta un pequeño grupo de usuarios y puede funcionar en un rango de treinta metros y hasta varios cientos. Estos dispositivos normalmente son colocados en alto o pueden colocarse en donde se obtenga la cobertura de radio deseada.

El usuario accede a la red WLAN a través de adaptadores. Estos dispositivos proporcionan una interfaz entre el sistema de operación de red del cliente y las ondas electromagnéticas, utilizando una antena inalámbrica. En la Figura 3.1 se observa el Access Point WRT54G de la empresa Linksys el cual es uno de los más utilizados y el cual se utiliza en este trabajo. La Tabla 3.1 muestra las características de éste access point.



Figura 3.1: Access Point Wireless-G modelo WRT54G.

Estándares	IEEE 802.3, IEEE802.3u, IEEE802.11g, IEEE 802.11b
Canales	11 canales (la mayor parte de América del norte, del Sur y Central) 13 canales (la mayor parte de Europa y Asia)
Puertos	Internet: Un puerto 10/100 RJ-45 LAN: Cuatro puertos 10/100 RJ-45 conmutados Un puerto Power (Alimentación)
Botones	Reset (Reinicio), SecureEasySetup
Tipo de cables	Cable de red Ethernet
Luces	Power (Alimentación), DMZ, WLAN, LAN (1-4), Internet
Potencia de salida de radiofrecuencia	18 dBm
Seguridad inalámbrica	Wi-Fi Protected Access™ (acceso Wi-Fi protegido, WPA), WEP, Especificaciones del rutedor Wireless-G
Alimentación	Externa, 12 VCC, 0.5A

Tabla 3.1: Especificaciones del Acces Point WRT54G.

Mucha de la terminología ocupada en el diseño e implementación de redes inalámbricas WiFi ha sido desarrollada en el idioma inglés, así al dispositivo punto de acceso se le conoce como access point. De acuerdo a esto, en los párrafos siguientes, se nombra el término en español para un dispositivo o palabra técnica seguido por la terminología correcta en inglés, una vez especificada esta información solo se utilizará el término correcto en inglés.

3.1.1. Modos de un Acces Point

Los AP (Access Points) pueden funcionar en tres tipos de modo diferentes: Maestro (Root), Repetidos (Repeater) y puente (Bridge).

Modo Root: En este modo múltiples usuarios acceden al punto de acceso al mismo tiempo. En modo Root, los clientes con portátiles y PDA's pueden acceder a Internet a través de un solo AP compartiendo la conexión.

Modo Repeater: Cuando se requiere extender la señal más allá de los límites del AP es necesario utilizar el modo repeater. Un nuevo AP, en modo repeater, se coloca dentro del área de cobertura que se desea extender. Con esto la señal del AP en modo root se extiende a través del AP en modo repeater mejorando su alcance.

Modo Bridge: Como especifica el nombre, realiza un puente inalámbrico entre dispositivos. Este tipo de conexión es útil cuando se conectan dos localizaciones separadas, donde instalar cableado no resulta fácil o económicamente viable, por ejemplo cuando se conectan dos edificios.

En este trabajo el AP se utiliza en modo Root, ubicando los dispositivos en puntos dentro del campus universitario donde se cuenta con acceso a una red.

3.2. Adaptador inalámbrico USB

Un adaptador inalámbrico USB (tarjeta de red inalámbrica) es un dispositivo portátil que tiene la función de captar la señal proveniente de un AP.

Para las pruebas se utiliza el adaptador inalámbrico USB modelo TL-WN7200ND debido a que el driver cuenta con una aplicación que permite medir la potencia de una señal WiFi y obtener los resultados del RSSI en unidades dBm.



Figura 3.2: Adaptador Inalámbrico USB TL-WN7200ND.

3.3. Laptop

Una laptop es una computadora que funciona con una batería integrada. Esto permite utilizarla en cualquier parte sin la necesidad de que esté conectada a una toma de corriente. Esta característica posibilita realizar las pruebas de potencia en distintos sitios del campus universitario sin restricciones de movilidad.

3.4. Firmware DD-WRT

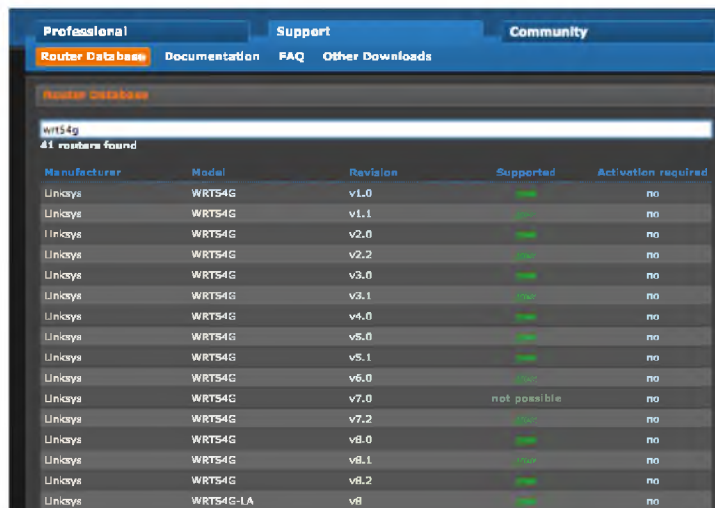
Llevar a cabo las pruebas de viabilidad de una red WiFi, requiere de modificar la potencia de emisión del AP con la finalidad de obtener la potencia deseada, sin embargo el firmware instalado en el AP WRT54G no cuenta con la opción de variar la potencia. Es por esta razón que en el AP de pruebas se instaló el firmware DD-WRT que permite modificar la potencia del AP. El firmware DD-WRT proporciona mayor flexibilidad para configurar las propiedades del AP, además cuenta con otras utilidades que permiten aprovechar al máximo la capacidad del dispositivo.

A continuación se describen los pasos a seguir para instalar el firmware DD-WRT en el AP.

3.4.1. Instalación del Firmware DD-WRT

1.- Descargar el Firmware

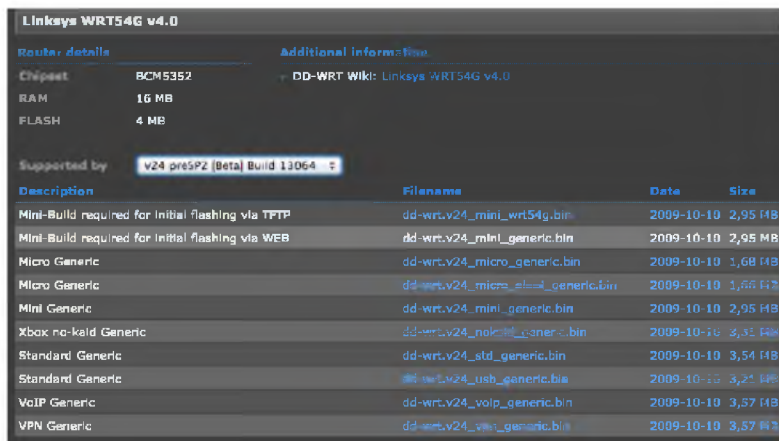
Como primer paso se ingresa al sitio de descarga de la página de DD-WRT (<http://www.dd-wrt.com/site/support/router-database>) y se escribe el modelo del AP para que la página despliegue las descargas disponibles, ver Figura 3.3.



Manufacturer	Model	Revision	Supported	Activation required
Linksys	WRT54G	v1.0	yes	no
Linksys	WRT54G	v1.1	yes	no
Linksys	WRT54G	v2.0	yes	no
Linksys	WRT54G	v2.2	yes	no
Linksys	WRT54G	v3.0	yes	no
Linksys	WRT54G	v3.1	yes	no
Linksys	WRT54G	v4.0	yes	no
Linksys	WRT54G	v5.0	yes	no
Linksys	WRT54G	v5.1	yes	no
Linksys	WRT54G	v6.0	yes	no
Linksys	WRT54G	v7.0	not possible	no
Linksys	WRT54G	v7.2	yes	no
Linksys	WRT54G	v8.0	yes	no
Linksys	WRT54G	v8.1	yes	no
Linksys	WRT54G	v8.2	yes	no
Linksys	WRT54G-LA	v8	yes	no

Figura 3.3: Página de descarga de DD-WRT.

Se descargan dos archivos, el primero es la versión mini y el segundo la versión completa con el nombre Standard.



Description	Filename	Date	Size
Mini-Build required for initial flashing via TFTP	dd-wrt.v24_mini_wrt54g.bin	2009-10-10	2,95 KB
Mini-Build required for initial flashing via WEB	dd-wrt.v24_mini_generic.bin	2009-10-10	2,95 KB
Micro Generic	dd-wrt.v24_micro_generic.bin	2009-10-10	1,68 KB
Micro Generic	dd-wrt.v24_micro_std_generic.bin	2009-10-10	1,68 KB
Mini Generic	dd-wrt.v24_mini_generic.bin	2009-10-10	2,95 KB
Xbox no-kald Generic	dd-wrt.v24_nokald_generic.bin	2009-10-10	3,35 KB
Standard Generic	dd-wrt.v24_std_generic.bin	2009-10-10	3,54 KB
Standard Generic	dd-wrt.v24_usb_generic.bin	2009-10-10	3,25 KB
VoIP Generic	dd-wrt.v24_voip_generic.bin	2009-10-10	3,57 KB
VPN Generic	dd-wrt.v24_vpn_generic.bin	2009-10-10	3,57 KB

Figura 3.4: Descarga del firmware.

2.- Conexión vía cable al AP.

Una vez desgargados los archivos se procede a la instalación. Con la computadora y el AP apagados,

por medio de un cable de red se conecta uno de los puertos numerados del AP al puerto de red de la computadora. Esto es debido a que en la documentación revisada refiere que de no hacerlo así puede haber daño físico en el equipo. A continuación se conecta la fuente de alimentación del AP y se espera a que el LED de la parte frontal con el nombre de DMZ encienda. Posteriormente se enciende la computadora.

En un navegador de internet, se ingresa a la siguiente dirección <http://192.168.1.1>. con el fin de acceder al firmware del AP. Se reinicia el AP accediendo a la sección **Administration** > **Factory Defaults**, ver Figura 3.5.



Figura 3.5: Reseteo del AP.

3.- Actualización a la versión.

El firmware original requiere de una actualización previa, debido a la cantidad limitada de información a la que se tiene acceso (no permite actualizaciones mayores a 3 Mb). Para ello se ingresa nuevamente a la dirección, <http://192.168.1.1>, después a la sección **Administration** > **Firmware Upgrade**. Se da click en **Browse** y se selecciona el archivo del firmware versión mini. Luego se selecciona Upgrade y se espera hasta que termine el proceso. Una vez que aparezca la página con el botón de **Continue** se da click sobre el (ver Figura 3.6).



Figura 3.6: Actualización de la versión mini del firmware DD-WRT.

4.- Reseteo manual del AP.

En el siguiente paso se vuelve a resetear el AP en forma manual, a través del botón reset en la parte trasera del AP por unos 30s (ver Figura 3.7).



Figura 3.7: Botón de reset del AP.

5.- Actualización de la versión completa.

La actualización del paso tres habilita al dispositivo a realizar actualizaciones de mas de 3Mb. A fin de tener todas las prestaciones de este software es necesario actualizar a la versión completa. Nuevamente se accesa a la página <http://192.168.1.1>. Ahora el AP ya tiene instalado el DD-WRT. Se actualiza el firmware con la versión completa, se vuelve a ir a: **Administración** > **Actualización**. Una vez ahí, se da click en **Seleccionar archivo** y se carga la versión completa. Al terminar de cargar el programa se elige la opción **Valores por Defecto** y después se presiona el botón **Actualizar**, ver Figura 3.8).

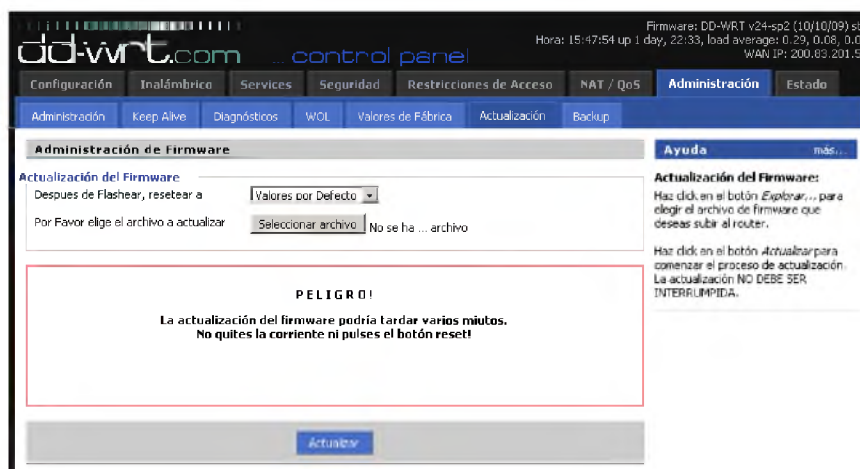


Figura 3.8: Actualización de la versión completa del DD-WRT.

Tras unos minutos se termina el proceso de actualización y finalmente el AP cuenta con la última versión del firmware DD-WRT.

Con el firmware DD-WRT instalado en el AP ya es posible variar la potencia de transmisión, sin embargo, se debe evitar aumentar la potencia de forma excesiva. El software permite un aumento de potencia de 240 mW, pero el hardware no está diseñado para generar una potencia de esa magnitud, por lo que puede haber un sobrecalentamiento del dispositivo, provocando su mal funcionamiento. En las pruebas de medición de potencia se utiliza una potencia de 80 mW (que es alrededor de 19 dBm), el cuál es un valor de potencia dentro del rango de trabajo del AP que satisface los requerimientos de cobertura.

Capítulo 4

Mediciones de potencia

4.1. Delimitación del área de zona de cobertura y asignación de los Access Point

Con todo el equipo necesario, se procedió a realizar las mediciones y los cálculos de presupuesto de potencia del enlace, lo cual permitirá, determinar la viabilidad de la red WiFi.

Las distintas áreas en la cuales se desea establecer cobertura de la red WiFi son las siguientes:

Aulas, distribuidas en los distintos edificios donde los alumnos reciben clases; Laboratorios, donde se llevan a cabo las prácticas y proyectos concernientes a las distintas carreras; Espacios abiertos, en las cercanías de los sitios mencionados anteriormente. Todas estas áreas tienen prioridad sobre las demás, debido a que es en estas donde los alumnos y profesores pasan la mayor parte del tiempo realizando sus actividades académicas. En la Figura 4.1 se presenta un mapa del campus donde se señalan las áreas de interés.



Figura 4.1: Principales áreas que se desean cubrir con la red WiFi.

Sitios como la cafetería, las oficinas de rectoría y vicerrectoría fueron descartados por la simple razón de que en estos espacios los alumnos y catedráticos no llevan a cabo actividades escolares.

Otros sectores del campus, como los edificios de investigación, el laboratorio de software y la sala de cómputo, que son lugares en los que también se realizan actividades de investigación, no son tomados en consideración dentro de la cobertura de la red, puesto que estos cuentan con una red que proporciona internet en sus instalaciones. Sin embargo, si son tomados en cuenta al momento de elegir la ubicación más adecuada para que los AP puedan tener acceso a una red.

Una vez hecha la delimitación de las zonas de cobertura, es momento de designar la ubicación de los AP. Como ya se mencionó el AP requiere tener acceso a una red de internet. La Figura 4.2 muestra un croquis del campus universitario en donde se encuentran numerados los sitios en donde se cuenta con una red fija: el centro de redes [1], el centro de idiomas [2], la sala de cómputo [3], el laboratorio de software [4], la biblioteca [5], el instituto de agroingeniería [6], los cubículos de profesores [7] y laboratorio de multimedia [8].

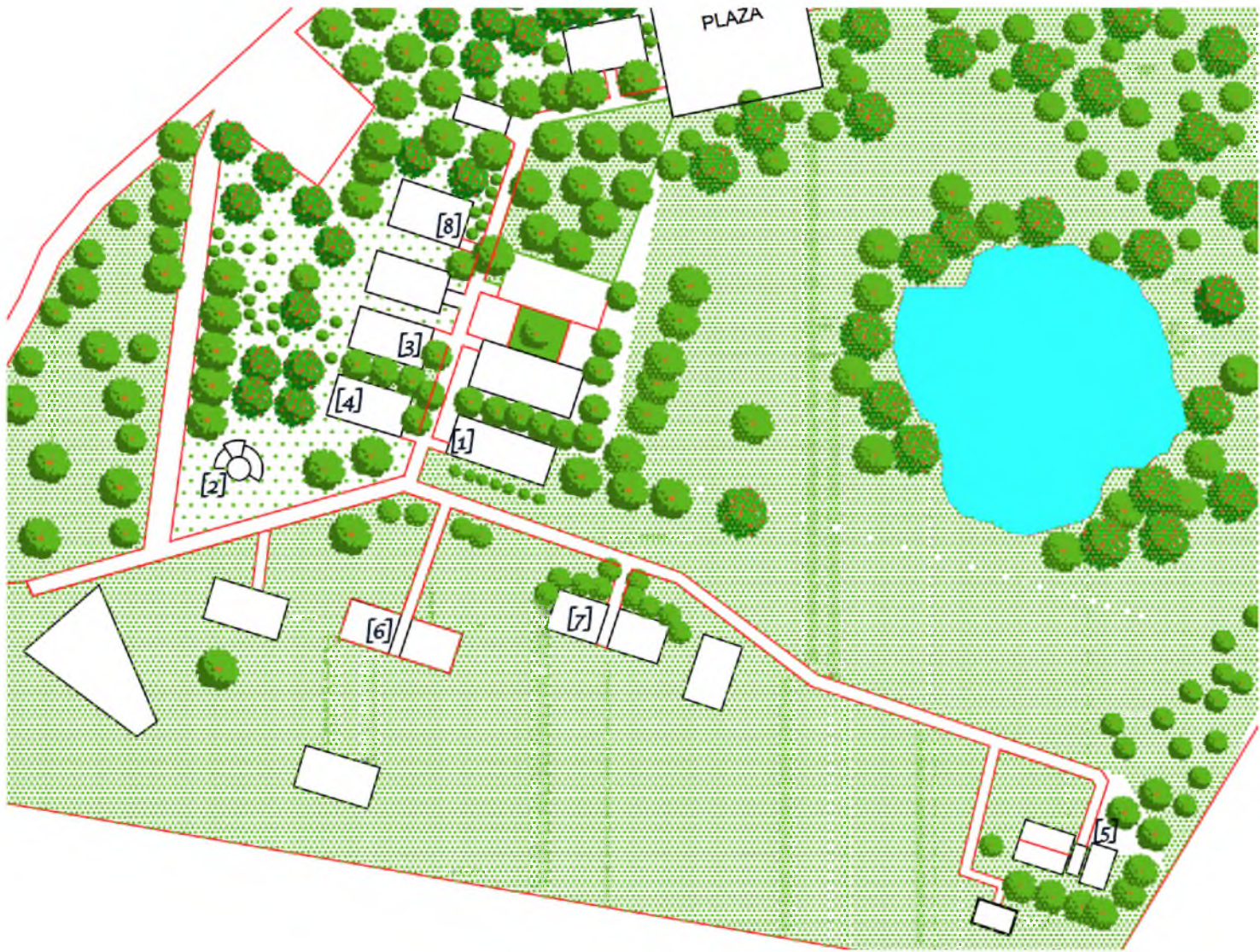


Figura 4.2: Ubicaciones que cuentan con acceso a una red.

Lo segundo a considerar es la distancia que existe entre el punto de acceso de la red y los puntos que se busca cubrir con la señal inalámbrica, esto es debido a que la potencia recibida en el espacio libre está en función de la distancia. Es muy importante considerar que existan la menor cantidad de obstáculos que puedan causar interferencia, esto es obtener una mejor línea de vista entre el AP y los usuarios. Los obstáculos que afectan en mayor medida con la propagación de la señal son: edificios, árboles, la maleza, ventanas y otras señales inalámbricas.

4.2. Enlace del proyecto

Evaluada las consideraciones planteadas, se determina que los sitios adecuados para la instalación de los AP son: el centro de redes, el centro de idiomas, el laboratorio de software y la biblioteca.

En las siguientes secciones se presenta una evaluación teórica de la viabilidad de la red con base al margen de desvanecimiento M_d , el cual me establece el mínimo requerido para establecer una conexión. Los valores obtenidos serán registrados en una tabla.

Posteriormente se realizarán pruebas de campo a fin de comparar resultados con las estimaciones teóricas.

Los cálculos de margen de desvanecimiento requieren como datos la ubicación del transmisor, la ubicación del receptor, y por consecuencia la distancia que hay entre ellos. Una vez que la localización del AP ha sido establecida, se definirán puntos específicos donde es de interés obtener una comunicación dentro de los márgenes establecidos.

4.2.1. Establecimiento del primer AP

Para iniciar a calcular del margen de desvanecimiento es necesario conocer los datos técnicos de los componentes que se utilizan para relizar el enlace durante las pruebas experimentales. En la Tabla 4.1 se presenta esta información.

Datos de la señal	Elementos	Valores
Tasa de transmisión: 54 Mb/s Frecuencia: 2.4 GHz	Potencia del transmisor	19 dBm
	Antena TX	5 dBi
	Cable y conector RX	0.5 dB
	Antena RX	5 dBi
	Cable y conector RX	0.5 dB
	Sensibilidad de RX	-76 dBm

Tabla 4.1: Datos técnicos de los dispositivos.

Estos valores se obtuvieron de las especificaciones técnicas proporcionadas por el fabricante del equipo. En el Apéndice A se encuentran las hojas de datos completas.

El cálculo de las pérdidas en el espacio libre FLS es necesario para calcular el M_d a partir de la ecuación 2.7, es decir, es necesario conocer la distancia entre la antena transmisora TX y la antena receptora RX . Sin embargo, la posición del RX estará cambiando, lo que implica que la distancia entre ellos también irá variando. En este trabajo se realizarán diversas mediciones variando la posición del RX , las cuales nos permitirán calcular sus valores correspondientes de las pérdidas por trayectoria FLS y obtener el margen de desvanecimiento (M_d) de los mismos.

4.2.2. Cálculo de presupuesto de potencia del enlace del primer Acces Point

El primer AP se emplazó en el centro de idiomas buscando cubrir con la red WiFi el edificio con las aulas A16 - A22. Se establecieron los puntos donde se tomarán las medidas de potencia emitida por el AP. Estos puntos se encuentran señalados y especificados en un orden numérico en las Figuras 4.3 y 4.4. En la Tabla 4.2 están registrados los cálculos de FLS y M_d de los respectivos puntos.



Figura 4.3: Medidas de potencia en las aulas A16 - A22.

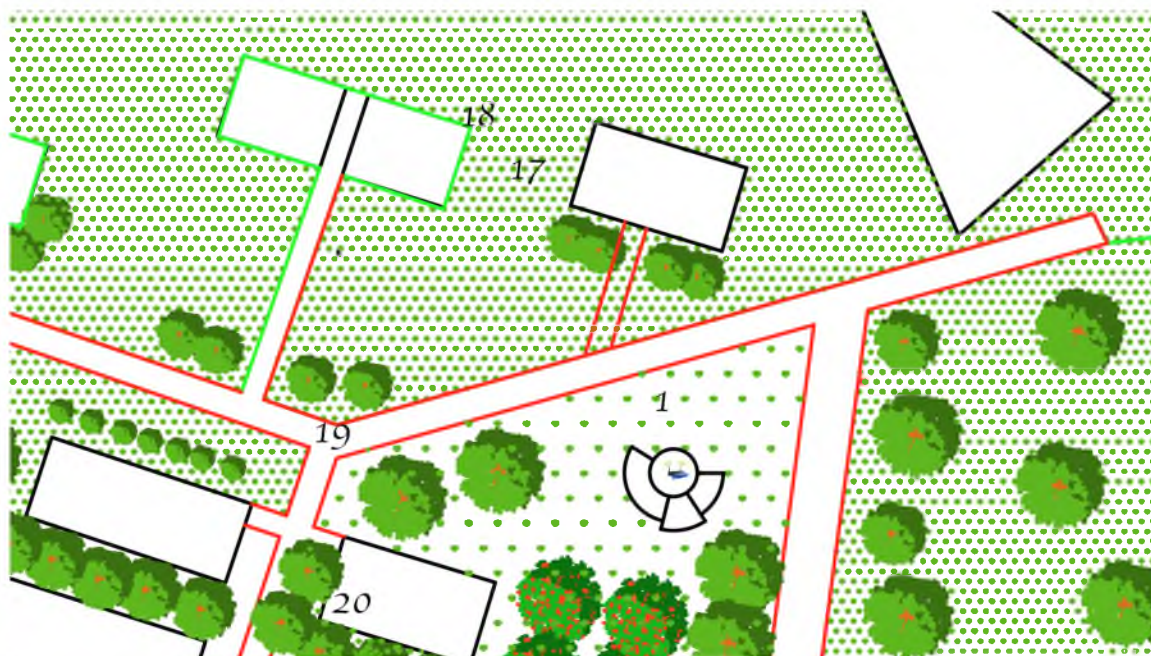


Figura 4.4: Medidas de potencia alrededor de las aulas A16 - A22.

Zona en el mapa	Distancia del enlace (m)	FSL [dB]	M_d [dB]
1	8.4	58.48	45.52
2	32.6	70.26	33.74
3	41	72.25	31.75
4	47.5	73.53	30.47
5	45	73.06	30.94
6	41.8	72.42	31.58
7	41.4	72.34	31.66
8	33	70.37	33.63
9	38.6	71.73	32.27
10	46.4	71.73	32.27
11	42	72.46	31.54
12	36	71.13	32.87
13	36.2	71.17	32.83
14	42.5	72.57	31.43
15	47	73.44	30.56
16	53	74.48	29.52
17	57.4	75.18	28.82
18	63.5	76.05	27.95
19	44	72.87	31.13
20	44	72.87	31.13

Tabla 4.2: Cálculos de FSL y M_d del primer AP.

4.2.3. Cálculo de presupuesto de potencia del enlace del segundo Access Point

El Segundo AP se ubica en la biblioteca, Para atender la cobertura requerida el laboratorio de mecatrónica. Las Figuras 4.5 y 4.6 están señalados en orden numérico los puntos asignados para la medición. En la Tabla 4.3 se observan las distancias que existen entre el AP y los puntos marcados, así como el cálculo correspondiente del FSL y M_d .

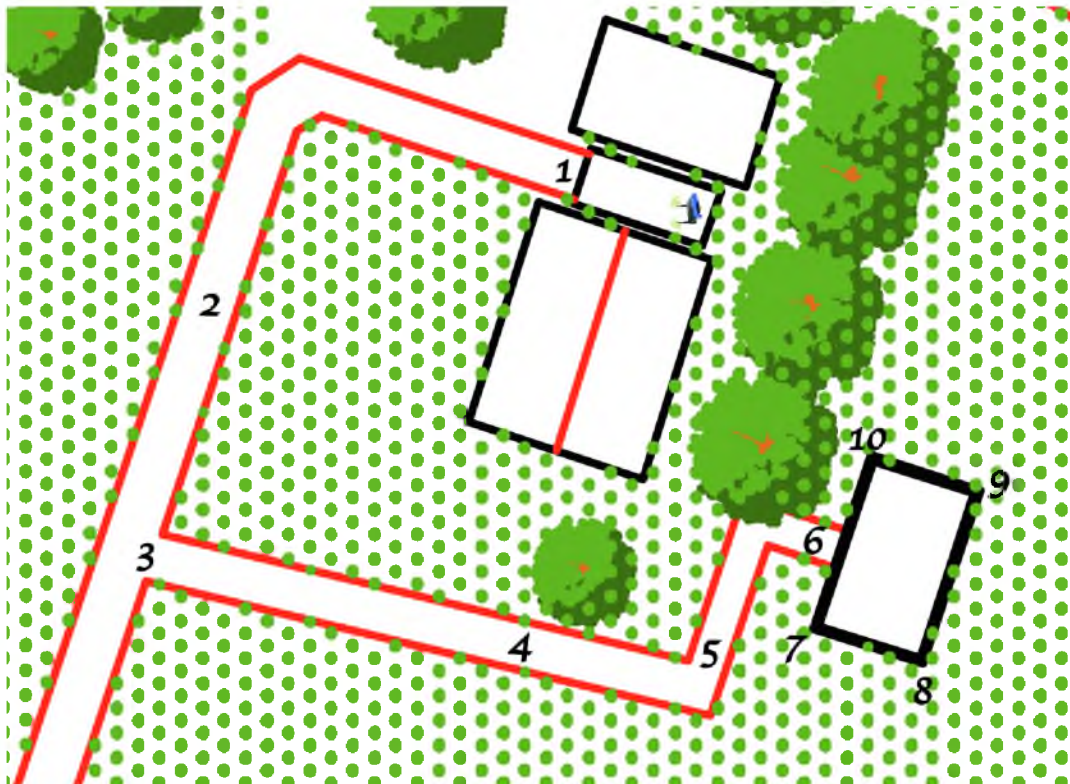


Figura 4.5: Medidas de potencia en las cercanías de la biblioteca.

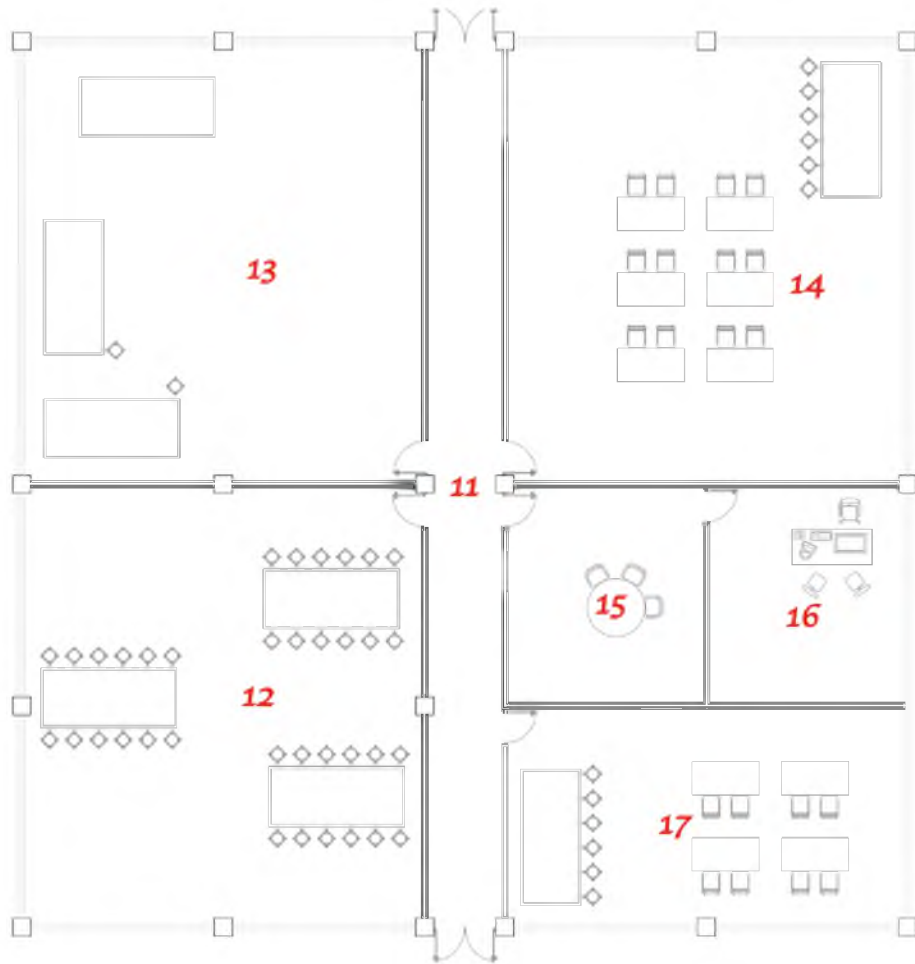


Figura 4.6: Medidas de potencia dentro del lab. de mecatrónica

Zona en el mapa	Distancia del enlace (m)	FSL [dB]	M_d [dB]
1	18	65.1	39
2	37.5	71.48	32.52
3	44.5	72.97	31.03
4	33.2	70.42	33.58
5	25.8	68.23	35.77
6	34.4	70.73	33.27
7	41.7	72.4	31.6
8	40.2	72.08	31.92
9	20.4	66.19	37.81
10	24.4	67.75	36.25
11	30.4	69.66	34.34
12	25.6	68.16	35.84
13	24	67.6	36.4
14	35	70.88	33.12
15	34.3	70.71	33.29
16	38.4	71.69	32.31
17	37	71.36	32.64

Tabla 4.3: Cálculos de FSL y M_d del segundo Access Point.

4.2.4. Cálculo de presupuesto de potencia del enlace del tercer Access Point

La instalación del tercer AP será en el laboratorio de multimedia para cubrir el área próximo a este. En las Figuras 4.7, 4.8 y 4.9 se observa la señalización de los puntos de interés para los cálculos de presupuesto de enlace. La Tabla 4.4 se hallan los resultados correspondientes.

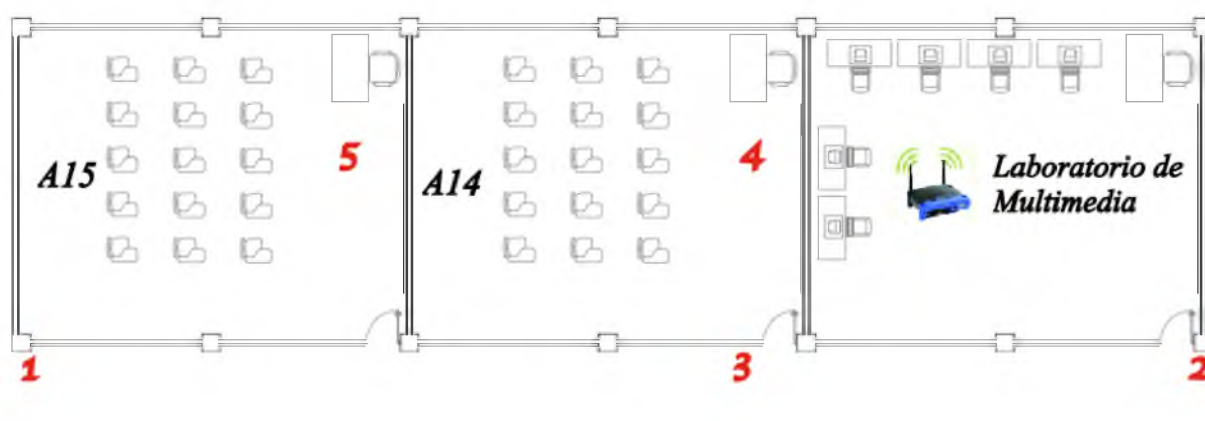


Figura 4.7: Medidas de potencia alrededor de las aulas A14 y A15 por el tercer Access Point.

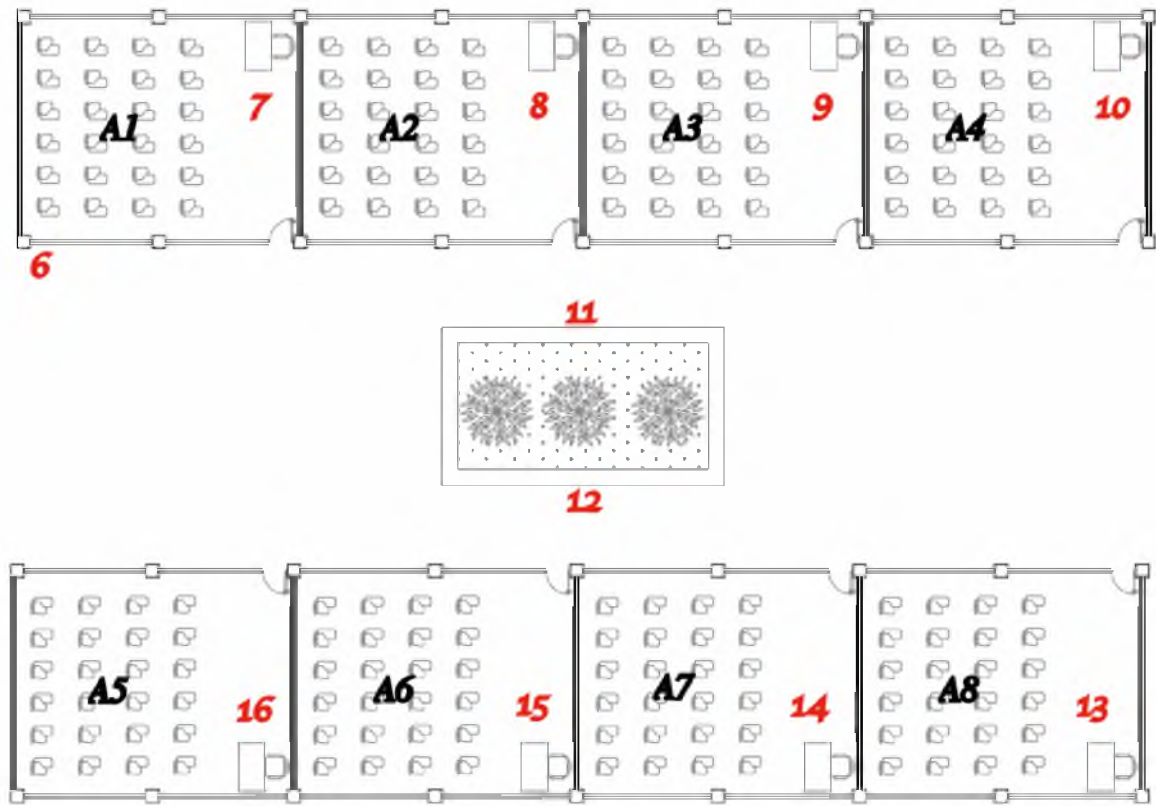


Figura 4.8: Medidas de potencia alrededor de las aulas A1 - A8 para el tercer Access Point.



Figura 4.9: Medidas de potencia en las cercanías del laboratorio de multimedia para el tercer Access Point.

Zona en el mapa	Distancia del enlace (m)	FSL [dB]	M_d [dB]
1	16.4	64.3	39.7
2	4	52.04	51.96
3	11.6	61.29	42.71
4	12	61.58	42.42
5	8.2	58.28	45.72
6	21	66.44	37.56
7	19	65.57	38.43
8	23	67.23	36.77
9	29	69.25	34.75
10	35	70.88	33.12
11	31	69.83	34.17
12	32	70.1	33.9
13	47.5	73.53	30.47
14	43.5	72.77	31.23
15	40.5	72.15	31.85
16	37.4	71.46	32.54
17	25.3	68.06	35.94
18	27.5	68.79	35.21
19	51.4	74.22	29.78
20	44	72.87	31.13

Tabla 4.4: Cálculos de FSL y M_d del tercer Access Point.

4.2.5. Cálculo de presupuesto de potencia del enlace del cuarto Access Point

El último AP se pretendía colocar dentro del centro de redes, para cubrir la zona de las aulas A10-A15. Sin embargo, debido que no fue accesible, se optó por instalarlo dentro del aula A10, que se encuentra a un lado de este. Esto con el fin de obtener una estimación de los valores que se podrían obtener al colocar el AP en el centro de redes. En las Figuras 4.10, 4.11 y 4.12 se encuentran señalados los sitios de interés para realizar los cálculos de presupuesto de enlace. En la Tabla 4.5 están los resultados de los cálculos.



Figura 4.10: Medidas de potencia alrededor del A10 para el cuarto Access Point

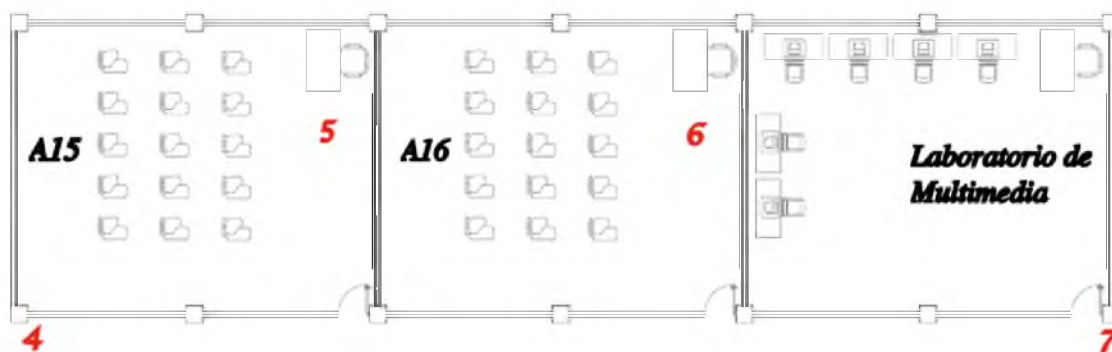


Figura 4.11: Medidas de potencia alrededor de las aulas A14 y A15 para el cuarto Access Point.

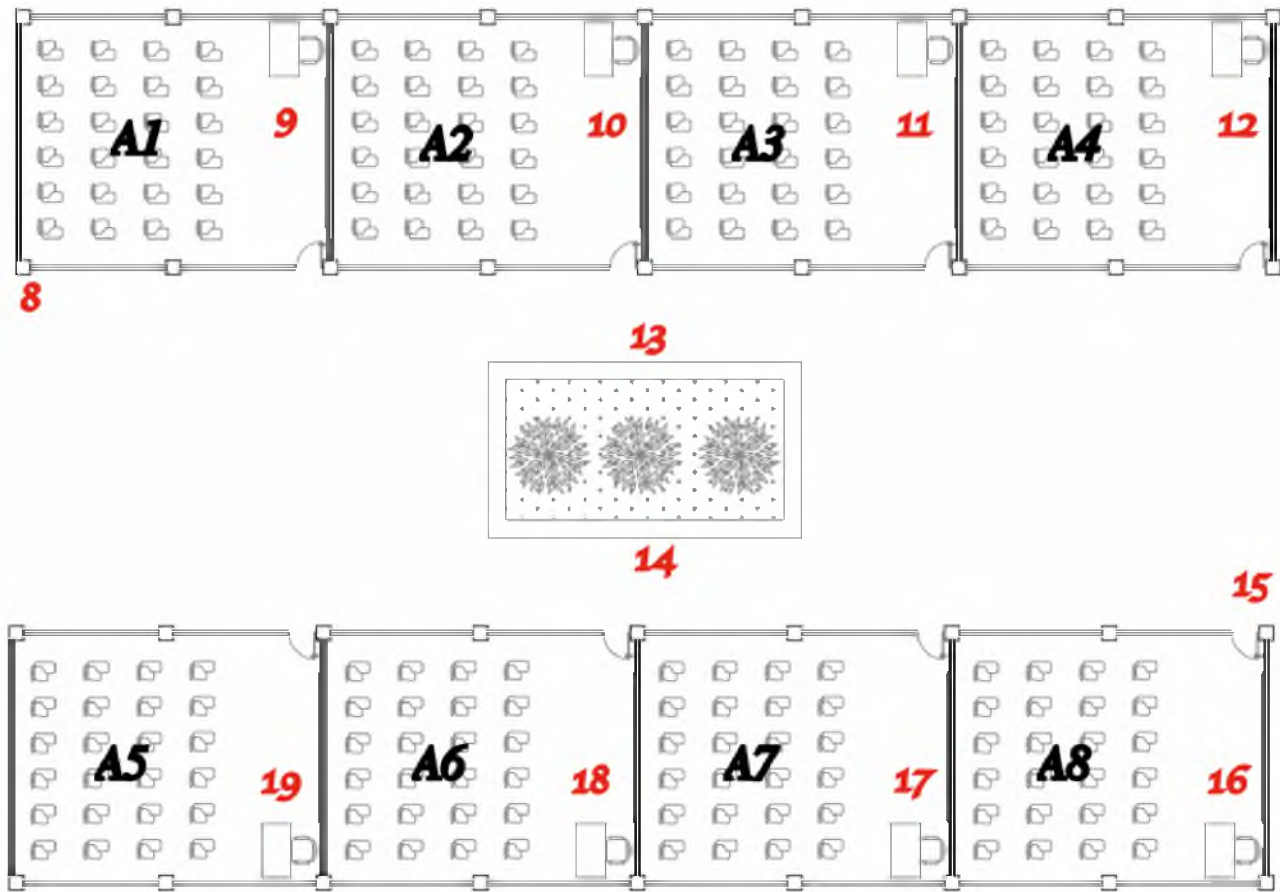


Figura 4.12: Medidas de potencia alrededor de las aulas A1 - A8 para el cuarto Access Point.

Zona en el mapa	Distancia del enlace (m)	FSL [dB]	M_d [dB]
1	23	67.23	36.77
2	57	75.12	28.88
3	55.5	74.89	29.11
4	53	74.48	29.52
5	46.3	73.31	30.69
6	32	70.1	33.9
7	37	71.36	32.64
8	37.5	71.48	32.52
9	37.5	71.48	32.52
10	38.8	71.78	32.22
11	27	68.63	35.37
12	22.3	66.97	37.03
13	22.5	67.04	36.96
14	16.6	64.4	39.6
15	13	62.28	41.72
16	11	60.83	43.17
17	10.3	60.26	43.74
18	23	67.23	36.77
19	40.5	72.15	31.85

Tabla 4.5: Cálculos de FSL y M_d del cuarto Access Point.

4.2.6. Análisis de los cálculos realizados

Como ya se mencionó, para contar con una conexión estable y con una buena transmisión de datos, se requiere de un margen de desvanecimiento M_d de al menos 20 dB. De acuerdo con los resultados teóricos de los valores de M_d , obtenidos para todos los puntos de interés, se puede inferir la viabilidad para la implementación de una red inalámbrica en la UNPA. Puesto que en todos los sitios evaluados el M_d es mayor a 20 dB, incluso en los puntos más alejados de los AP.

Los valores de M_d mas pequeños registrados fueron en los puntos 17 y 18 de la Tabla 4.2, con un valor de 28.82 dB y 27.95 dB respectivamente. Estos datos corresponden a los cálculos del primer AP ubicado en el centro de idiomas. En el mismo rango de valores de M_d se encuentra el punto 2 de la Tabla 4.5 con un valor de 28.88 dB correspondiente al cuarto AP situado en el A10. El resto de los valores se encuentran por arriba de los 30 dB, lo cual es indicador de una conexión estable, en la zona de cobertura. En estos resultados teóricos solo se considera las ganancias y pérdidas propias del sistema de radioenlace y las pérdidas por trayectoria, sin embargo no son tomados en cuenta las pérdidas que se puedan sufrir por obstáculos entre el transmisor y el receptor y las pérdidas por absorción. Aun así, con los valores que se obtuvieron se puede dictaminar que la implementación de una red WiFi en la

UNPA es viable.

4.3. Evaluación de la potencia de la señal recibida

En el apartado 4.2 se llevó a cabo un primer análisis teórico sobre la factibilidad de establecer una red WiFi en el campus Loma Bonita de la UNPA. Con la finalidad de corroborar estos resultados se realizaron una serie de mediciones de potencia de la señal que se recibe de los AP. Al igual que en los cálculos (FSL y M_d) las mediciones se realizaron con respecto a determinadas ubicaciones de los AP y a puntos estratégicos cercanos a ellos. Las mediciones se llevan a cabo bajo las mismas condiciones, registrando los valores de potencia en dB recibidas en los puntos indicados en las Figuras 4.3-Figura 4.12. En estas mediciones se utilizó un Access Point WRT54G con el firmware DD-WRT instalado y configurado para emitir una potencia de 19 dBm, el adaptador inalámbrico USB y una laptop con el driver Mediatek Wireless Lan instalado para obtener el valor de la potencia recibida en dBm.

4.3.1. Medición de Potencia recibida desde el primer Access Point

Se instaló el AP en el centro de idiomas en el área de lectura para los alumnos. Se seleccionó este punto debido a que cuenta con acceso a la red y además existe línea de vista con el edificio de las aulas A16-A22, esto beneficia la transmisión de la señal. Teniendo el AP en el lugar correspondiente, se procede a tomar las medidas de potencia, de acuerdo a los puntos indicados en las Figuras 4.3 y 4.4. Se fue recorriendo cada uno de los puntos, registrando en la Tabla 4.6, el valor de la potencia recibida.

Zona en el mapa	Distancia [m]	Potencia obtenida experimentalmente [dBm]
1	8.4	-31
2	32.6	-53
3	41	-57
4	47.5	-69
5	45	-67
6	41.8	-63
7	41.4	-60
8	33	-53
9	38.6	-65
10	46.4	-68
11	42	-49
12	36	-65
13	36.2	-49
14	42.5	-63
15	47	-67
16	53	-77
17	57.4	-63
18	63.5	-67
19	44	-67
20	44	-73

Tabla 4.6: Acces Point ubicado en el centro de idiomas.

4.3.2. Medición de Potencia recibida desde el segundo Access Point

El segundo AP se instaló en la biblioteca, posicionado cerca de una ventana que ofrece línea de vista al laboratorio de mecatrónica. Las mediciones se llevaron a cabo alrededor y dentro de las instalaciones del laboratorio. En las Figuras 4.5 y 4.6 están marcados los puntos de medición y en la Tabla 4.7 están registrados los valores medidos.

Zona en el mapa	Distancia [m]	Potencia obtenida experimentalmente [dBm]
1	18	-43
2	37.5	-63
3	44.5	-65
4	33.2	-57
5	25.8	-43
6	34.4	-65
7	41.7	-69
8	40.2	-47
9	20.4	-39
10	24.4	-49
11	30.4	-55
12	25.6	-53
13	24	-45
14	35	-63
15	34.3	-55
16	38.4	-67
17	37	-73

Tabla 4.7: Acces Point ubicado en la biblioteca.

4.3.3. Medición de Potencia recibida desde el tercer Access Point

La tercera ubicación del AP fue dentro del laboratorio de multimedia. Con este AP se busca cubrir la zonas de las aulas A1-A8, A14 y A15, también el área cercana a estos lugares, donde suele haber mayor concurrencia de alumnos. De la misma forma que con los dos AP anteriores, se fue valorando la potencia de recepción de cada uno de los puntos asignados, los cuales se observan en las Figuras 4.7, 4.8 y 4.9. La Tabla 4.8 muestra los datos obtenidos durante las mediciones.

Zona en el mapa	Distancia [m]	Potencia obtenida experimentalmente [dBm]
1	16.4	-57
2	4	-39
3	11.6	-45
4	12	-31
5	8.2	-43
6	21	-49
7	19	-51
8	23	-55
9	29	-61
10	35	-65
11	31	-65
12	32	-63
13	47.5	-81
14	43.5	-79
15	40.5	-69
16	37.4	-65
17	25.3	-57
18	27.5	-57
19	51.4	-59
20	44	-75

Tabla 4.8: Acces Point ubicado en el laboratorio de multimedia.

4.3.4. Medición de Potencia recibida desde el cuarto Access Point

El último AP se eligió posicionar en el aula A10, con el fin de obtener una cobertura para las aulas A13-A15. En las Figuras 4.10, 4.11 y 4.12 se indican los espacios donde se tomaron las medidas. En la Tabla 4.9 se encuentran los valores registrados.

Zona en el mapa	Distancia [m]	Potencia obtenida experimentalmente [dBm]
1	23	-53
2	57	-63
3	55.5	-75
4	53	-71
5	46.3	-65
6	32	-51
7	37	-61
8	37.5	-43
9	37.5	-47
10	38.8	-49
11	27	-45
12	22.3	-41
13	22.5	-57
14	16.6	-41
15	13	-25
16	11	-23
17	10.3	-35
18	23	-53
19	40.5	-67

Tabla 4.9: Acces Point ubicado en el aula A10.

4.3.5. Análisis de resultados

A continuación se presentan los resultados obtenidos en las mediciones de potencia de los distintos AP.

La escala utilizada para interpretar la intensidad de la señal de una red inalámbrica es el RSSI durante las mediciones, es decir estamos midiendo la señal recibida en dBm utilizando como referencia un mW.

Para el primer AP los niveles de potencia registrados se encuentran dentro del rango de -60 dBm y -70 dBm, esto proporciona un buen enlace, una transmisión de datos fluida y sin interrupciones de hasta un 80 % de estabilidad según la norma.

Los resultados obtenidos corroboran, que como en la teoría, la magnitud de la potencia obtenida en uno de los puntos más alejado al AP, es menor a la magnitud de la potencia registrada en un sitio más cercano. También se observa que la intensidad de la señal es menor en los puntos donde existe interferencia, por ejemplo en un punto dentro de las aulas la intensidad de la señal es menor, que en uno fuera de ellas, aún cuando ambos puntos están a la misma distancia del transmisor.

En el área de cobertura del segundo AP, ubicado en la biblioteca, se obtienen valores que se encuentra dentro del rango de -40 dBm a -70 dBm. Esto según la escala RSSI indica una conexión óptima.

Para la localización del AP que cubrirá el área de aulas (A1 hasta A10), se seleccionaron dos puntos de prueba: el aula A10 y el laboratorio de multimedia. La distinta ubicación de cada uno de los AP generan resultados distintos, por lo que hay ciertas observaciones que cabe mencionar. En primer lugar, cuando se ubicó el AP en el lab. de multimedia, la potencia de la señal en el aula A10 está por debajo de los estándares mínimos. Esto se puede entender debido a las condiciones en las que se encontraba el AP. El AP del laboratorio de multimedia se encontraba dentro de una habitación rodeada completamente por cuatro muros que generaban interferencia en la propagación de la señal, y en consecuencia no se lograba la cobertura deseada.

Por otra parte, cuando el AP se encontraba ubicado en el A10 se logró la cobertura completa, tanto en aulas como en el lab. de multimedia. En este último se obtuvo una medición de potencia de -65 dBm, de acuerdo a la norma este valor es aceptable. Esto resulta interesante puesto que a pesar de que en ambos casos la distancia entre el transmisor y el receptor es la misma, el resultado difiere. La reducción de la interferencia del AP ubicado en el aula A10 se debe a que se encontraba frente a una ventana que da línea de vista hacia las aulas A5-A8. Con esta observación se puede concluir que los muros de los edificios generan mayor interferencia que los cristales de las ventanas; lo cual es un punto importante para tomarse en cuenta para futuras referencias.

Se observó que los árboles y la vegetación también influyen considerablemente en la calidad de la señal. Durante las pruebas se pudo apreciar que la potencia disminuye en donde existen árboles y arbustos entre el transmisor y el receptor. Por lo tanto es otro factor que afecta la calidad de la señal.

Capítulo 5

Conclusiones

Según el conocimiento popular, crear una red local inalámbrica WiFi, requiere solamente de colocar el AP y encenderlo. Sin embargo, crear una red de calidad requiere de conocimientos mas precisos que durante la carrera quedan hasta el punto teórico. Este proyecto de tesis permitió llevar a la práctica tales conocimientos, además de tomar en cuenta consideraciones prácticas referentes a la implementación.

La puesta en marcha de una red WiFi require de la valoración de varios factores que intervienen y afectan el rendimiento de la señal. Algunos de estos factores pueden obtenerse rapidamente del fabricante, como los datos relacionados con el equipo que integrará el sistema encargado de generar la señal inalámbrica, las características del transmisor: el tipo de protocolo 802.11 con el que trabaja y que determina la frecuencia de operación y la tasa de transmisión, la ganancia de la antena, el tipo de cables y conectores que utiliza, entre otros; también se pueden conocer los datos del receptor como la ganancia de la antena receptora, la sensibilidad de recepción entre otros. Es importante resaltar que los parámetros del hardware fueron modificados, dentro de los valores seguros en los que puede trabajar el equipo, por medio del firmware DD-WRT, adecuandolos a las necesidades de este trabajo.

Sin embargo existen otros factores que complican la cobertura que se quiere obtener. Estos factores pueden englobarse en las condiciones geográficas del lugar, las condiciones climatológicas y las edificaciones dentro de la institución. Por lo tanto los factores geográficos y la buena colocación de los APs, son más importantes que la potencia misma de la señal transmitida.

Por lo tanto, para determinar la ubicación de los AP se debio de tomar en cuenta la distribución de las aulas y la vegetación del campus. Al valorar estos factores y la línea de vista de propagación de la señal se estableció que solo era necesario utilizar tres APs colocados en lugares estratégicos.

Las mediciones de potencia realizadas se llevaron a cabo con el máximo posible que permite el AP WRT54G, sin que provoque un calentamiento en el dispositivo. Los valores de potencia medidos

permiten concluir que, como previsto en los cálculos, el alcance máximo de la señal cubre la totalidad del campus con una calidad de señal adecuada según lo previsto en la norma. De esta manera, los resultados determinan la viabilidad de la red.

Finalmente, se puede decir que una red WiFi es factible en el campus con un mínimo de tres APs, colocados en sitios donde existe ya la infraestructura necesaria.

Bibliografía

- [1] Carlson B. A., *Sistemas de comunicación*, U. S. A., Segunda edición, McGraw-Hill, 1975.
- [2] Colorado A. J. y Ramírez H. A., *Transmisión de información usando la modulación (DSSS) espectro ensanchado por secuencia directa*, <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/4681/62138C719.pdf;jsessionid=5E77071805817149A7EEADA44AEBEF59?sequence=1>, Consulta en línea [12/08/2016].
- [3] Coimbra G. E., *Comunicaciones Digitales*, http://coimbraweb.com/documentos/digital/4.1_senal_digitaly canal.pdf, Consulta en línea [24/04/2016].
- [4] Freeman L. R., *Bits, Symbols, Bauds, and Bandwidth*, IEEE Communications Magazine, 1998.
- [5] Luque R. J. y Clavijo S. S., *Modulación de señales digitales*, Universidad de Sevilla, Servicio de publicaciones Sevilla, 1995.
- [6] Matemáticas con dB, *Materiales de apoyo para entrenadores en redes inalámbricas*, International Centre for Theoretical Physics, 2010.
- [7] Modulación OFDM, *Estudio de un sistema CDMA-OFDM*, <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11244/fichero/Volumen+1>
- [8] Monachesi E., Frenzel A. M., Chaile G. y Carrasco A., *Conceptos generales de Antenas*, Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional, 1998.
- [9] Serway A. Raymond, *Física Para Ciencias e Ingeniería Tomo II*, Quinta edición, McGRAW-Hill,
- [10] Stallings W., *Comunicaciones y redes de Computadores*, Madrid, Pearson, 2004.
- [11] Tomasi W., *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*, Phoenix Arizona, Cuarta edición, Prentice Hall, 2003.

Apéndice A

Hoja de datos

The All-In-One Wireless-G Networking Solution



Wireless-G Broadband Router

Model No: **WRT54G**

PRODUCT DATA

All-in-one Internet-sharing Router, 4-port Switch, and Wireless-G (802.11g) Access Point

Shares a single Internet connection and other resources with Ethernet wired and Wireless-G and -B devices

Push button setup feature makes wireless configuration secure and simple

High security: Wi-Fi Protected Access™ 2 (WPA2), wireless MAC address filtering, powerful SPI firewall

PRODUCT DATA

Features

- Complies with 802.11g and 802.11b (2.4GHz) Standards
- Unsurpassed Wireless Security with Wi-Fi Protected Access™ 2 (WPA2)
- Enhanced Internet Security Management Functions including Internet Access Policies with Time Schedules
- All LAN Ports Support Auto-Crossover (MDI/MDI-X) - No Need for Crossover Cables
- SecureEasySetup push button makes it easy to configure your wireless devices

Wireless-G Broadband Router

The Linksys Wireless-G Broadband Router is really three devices in one box. First, there's the Wireless Access Point, which lets you connect both screaming fast Wireless-G (802.11g at 54Mbps) and Wireless-B (802.11b at 11Mbps) devices to the network. There's also a built-in 4-port full-duplex 10/100 Switch to connect your wired-Ethernet devices together. Connect four PCs directly, or attach more hubs and switches to create as big a network as you need. Finally, the Router function ties it all together and lets your whole network share a high-speed cable or DSL Internet connection.

Once your computers are connected to the Router and the Internet, they can communicate with each other too, sharing resources and files. All your computers can print on a shared printer connected anywhere in the house. And your computers can share all kinds of files—music, digital pictures, and documents. Keep all your digital music on one computer, and listen to it anywhere in the house. Organize all of your family's digital pictures in one place, to simplify finding the ones you want, and easing backup to CD-R. Utilize extra free space on one computer when another's hard drive starts to fill up.

The new push button setup feature makes it easy to configure your wireless devices. Just push the button on the router and on your other SecureEasySetup-enabled wireless device to automatically create an encryption-secured wireless connection. Wi-Fi Protected Access™ 2 (WPA2) protects your data and privacy with up to 128-bit industrial-strength encryption. The Router can serve as a DHCP Server, has a powerful SPI firewall to protect your PCs against intruders and most known Internet attacks, supports VPN pass-through, and can be configured to filter internal users' access to the Internet. Advanced configuration is a snap with the web browser-based interface.

With the Linksys Wireless-G Broadband Router at the center of your home or office network, you can share a high-speed Internet connection, files, printers, and multi-player games with flexibility, speed, security and simplicity!

PRODUCT DATA

Wireless-G Broadband Router

Specifications

Model	WRT54G
Standards	IEEE 802.3, IEEE 802.3u, IEEE 802.11g, IEEE 802.11b
Channels	11 Channels (US, Canada) 13 Channels (Europe, Japan)
Ports/Buttons	Internet: One 10/100 RJ-45 Port LAN: Four 10/100 RJ-45 Switched Ports One Power Port One Reset Button One SecureEasySetup Button
Cabling Type	CAT 5
LEDs	Power, DMZ, WLAN, LAN (1, 2, 3, 4), Internet, SecureEasySetup
RF Power Output	18 dBm
UPnP able/cert	Able
Security Features	Stateful Packet Inspection (SPI) Firewall, Internet Policy
Wireless Security	Wi-Fi Protected Access™ 2 (WPA2), WEP, Wireless MAC Filtering

Environmental

Dimensions	7.32" x 1.89" x 6.06" (186 x 48 x 154 mm)
Weight	13.09 oz. (371 g)
Power	External, 12V DC, 0.5A
Certification	FCC, IC-03, CE, Wi-Fi (802.11b, 802.11g), WPA2, WMM
Operating Temp.	0° C to 40° C (32° F to 104° F)
Storage Temp.	-20° C to 70° C (-4° F to 158° F)
Operating Humidity	10% to 85% Non-Condensing
Storage Humidity	5% to 90% Non-Condensing
Warranty	1-Year Limited

Package Contents

- Wireless-G Broadband Router
- Setup CD-ROM with Norton Internet Security
- User Guide on CD-ROM
- Power Adapter
- Ethernet Network Cable

Minimum Requirements

- Internet Explorer 6.0 or Firefox 1.0 or Higher for Web-based configuration
- CD-ROM Drive
- Windows 2000, XP, or Vista
- Network Adapter or Wireless Network Adapter

Linksys
A Division of Cisco Systems, Inc.
121 Theory
Irvine, CA 92617 USA

E-mail: sales@linksys.com
support@linksys.com

Web: www.linksys.com

Linksys products are available in more than 50 countries, supported by 12 Linksys Regional Offices throughout the world. For a complete list of local Linksys Sales and Technical Support contacts, visit our worldwide website at www.linksys.com

The maximum performance for wireless is derived from IEEE Standard 802.11 specifications. Actual performance can vary, including lower wireless network capacity, data throughput rate, range and coverage. Performance depends on many factors, conditions and variables, including distance from the access point, volume of network traffic, building materials and construction, operating system used, mix of wireless products used, interference and other adverse conditions.

Check the product package and contents for specific features supported. Specifications are subject to change without notice. Linksys is a registered trademark or trademark of Cisco Systems, Inc. and/or its affiliates in the U.S. and certain other countries. Copyright © 2007 Cisco Systems, Inc. All rights reserved. Other brands and product names are trademarks or registered trademarks of their respective holders.

70409NC BW

Model No: **WRT54G**

150Mbps High Power Wireless USB Adapter TL-WN7200ND



Delivers 8X the range of normal USB adapter due to high power and receive sensitivity

Sustains a reliable wireless connection even across multiple walls or floors

Easily establish a highly secured link at a push of QSS button



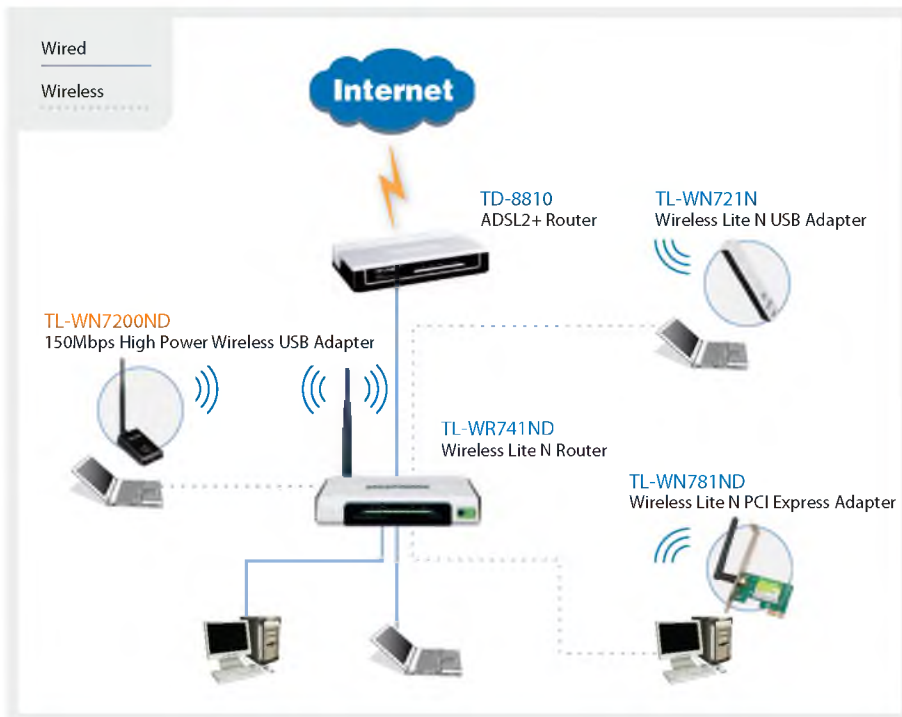
Description:

The TP-LINK high power wireless adapter TL-WN7200ND is a 150Mbps wireless client that allows users to enable their PCs or notebooks with extremely powerful wireless capability to deliver performance enhancements. The adapter adopting high power design features its stronger penetrability, which could effectively ensure that signal keeps useable and reliable when it passes through multiple walls or floors. And you can share a high-speed connection, play online gaming and stream videos by using TL-WN7200ND together with IEEE 802.11n routers (IEEE 802.11g is also compatible).

Specifications:

Standards	IEEE802.11n, IEEE 802.11g, IEEE 802.11b
Interface	Mini USB interface
Wireless Signal Rates	11n: 135/121.5/108/81/54/40.5/27/13.5Mbps 130/117/104/78/52/39/26/13Mbps
	11g: 54/48/36/24/18/12/9/6Mbps
	11b: 11/5.5/2/1Mbps
Frequency Range	2.4-2.4835GHz
Wireless Transmit Power	Up to 500mW
Modulation Type	OFDM/CCK/16-QAM/64-QAM
Receive Sensitivity	802.11n 135M: -68dBm
	108M: -72dBm
	81M: -76dBm
	802.11g 54M: -76dBm
	36M: -81dBm
	12M: -89dBm
	9M: -91dBm
	6M: -92dBm
	802.11b 11M: -91dBm
	5.5M: -93dBm
1M: -94dBm	
Security	64/128 bit WEP, WPA/WPA2, WPA-PSK/WPA2-PSK (TKIP/AES)
Certifications	CE, FCC
Support Operating System	Windows 2000/XP/Vista/7
Operating Temperature	0°C~40°C (32°F~104°F)
Storage Temperature	-40°C~70°C (-40°F~158°F)
Operating Humidity	10%~90% non-condensing
Storage Humidity	5%~90% non-condensing
Dimensions	3.6 x 2.4 x 1.0 in. (90.8 x 60.8 x 24.5mm)

Diagram:



Features:

- 150Mbps wireless data rates
- High power and high receive sensitivity
- Stronger penetrability over multiple walls or floors
- Easily setup a highly secured connection by QSS button
- Supports WPA/WPA2 mechanisms as well as WEP 64/128 bit encryption
- Supports soft AP mode for Windows XP/Vista
- Supports Sony PSP X-link for Windows XP
- Backward compatible with all IEEE 802.11b/g products
- 5dBi external detachable antenna
- Bundled CD provides hassle-free installation

Package:

- High Power Wireless USB Adapter TL-WN7200ND
- 5dBi detachable Omni directional antenna
- Quick Installation Guide
- 1.5m USB Extension Cable
- Resource CD, including:
 - TL-WN7200ND Wireless Client Utility and Drivers
 - User Guide
 - Other Helpful Information

Related Products:

- 150Mbps Wireless Lite N Router TL-WR741ND
- Wireless Lite N PCI Express Adapter TL-WN781ND
- Wireless Lite N USB Adapter TL-WN721N

Specifications are subject to change without notice. TP-LINK is a registered trademark of TP-LINK Technologies Co., Ltd. Other brands and product names are trademarks or registered trademarks of their respective holders. No part of the specification may be reproduced in any form or by any means or used to make any derivative such as translation, transformation, or adaptation without permission from TP-LINK Technologies Co., Ltd.