



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**TESIS**

**ESTUDIOS DE CAMPO Y SELECCIÓN DE  
ANTENAS PARA REDES 802.11BG**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO**

**PRESENTA:**

**JETZE EMMANUEL BENGOCHEA CRUZ**



**DIRECTOR DE TESIS:  
DR. JAVIER GÓMEZ CASTELLANOS**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, MÉXICO**

**2011**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*Dedico este trabajo a las personas más importantes en mi vida: mi padre Miguel, mi madre Guadalupe, mis hermanos Abimael y Misael, mi abuela María Luisa, mi tía abuela María de Jesús, mi abuelo materno Ubaldo e.p.d., mi abuelo paterno Miguel e.p.d. y mi novia Liliana.*

## **AGRADECIMIENTOS.**

Doy gracias a mis padres Miguel y Guadalupe por el cuidado y guía que me han dado a lo largo de mi vida, por la confianza que han depositado en mí y por el apoyo que me han brindado en cada momento.

Agradezco a mis hermanos Abimael y Misael por estar conmigo en la niñez y juventud, siempre que los he necesitado he podido contar con ellos.

Quiero dar gracias a mis abuelos, mi tía abuela y tíos por el cuidado que me dieron cuando niño, sin duda han sido parte fundamental de mi crecimiento y los guardo con un enorme cariño; siempre les estaré agradecido.

Agradezco a mi novia Liliana por su comprensión de los sacrificios que han sido necesarios para la realización de este trabajo y por estar a mi lado durante la realización de éste.

Mis más sinceros agradecimientos al Dr. Javier Gómez Castellanos por haber aceptado ser director de tesis y por el tiempo dedicado para la guía de este trabajo.

Agradezco a cada uno de mis sinodales por aceptar participar en este proyecto tan importante para mí, por el tiempo dedicado para la revisión y por las sugerencias las cuales enriquecieron este trabajo y dieron como resultado el sentirme satisfecho por lo realizado.

Les agradezco a mi hermano Abimael y a mi madre Guadalupe por el apoyo y disposición para la revisión de este trabajo.

# ÍNDICE.

|   |           |
|---|-----------|
| <b>INTRODUCCIÓN .....</b>                                 | <b>1</b>  |
| <b>1 FUNDAMENTOS DE COMUNICACIONES.....</b>               | <b>2</b>  |
| 1.1 SISTEMAS DE COMUNICACIONES Y RADIOCOMUNICACIONES..... | 2         |
| 1.1.1 Espectro Electromagnético y Radioeléctrico.....     | 2         |
| 1.2 ANTENAS.....  | 3         |
| 1.3 ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS.....                          | 3         |
| 1.3.1 Longitud de Onda, Frecuencia, Amplitud y Fase.....  | 4         |
| 1.3.2 Ganancia y Pérdida.....                             | 4         |
| 1.3.3 Reflexión y Refracción.....                         | 4         |
| 1.3.4 Dispersión.....                                     | 4         |
| 1.3.5 Absorción.....                                      | 5         |
| 1.4 PROPAGACIÓN.....                                      | 5         |
| 1.4.1 Modelos de Propagación para Exteriores.....         | 5         |
| 1.4.2 Modelos de Propagación para Interiores.....         | 7         |
| 1.5 MEDIDAS DE GANANCIA.....                              | 8         |
| 1.5.1 dB.....   | 9         |
| 1.5.2 dBm.....  | 9         |
| 1.5.3 dBi.....  | 9         |
| 1.6 RESUMEN.....  | 10        |
| <b>2 ESTÁNDARES DE REDES INALÁMBRICAS 802.11.....</b>     | <b>11</b> |
| 2.1 ESTÁNDARES DE REDES INALÁMBRICAS LOCALES.....         | 11        |
| 2.2 RADIOFRECUENCIAS DISPONIBLES.....                     | 13        |
| 2.3 CANALES DE OPERACIÓN.....                             | 13        |
| 2.4 RESUMEN.....  | 14        |
| <b>3 FUNDAMENTOS DE REDES INALÁMBRICAS 802.11.....</b>    | <b>15</b> |
| 3.1 COMPONENTES DE REDES INALÁMBRICAS 802.11.....         | 15        |
| 3.1.1 Estaciones (hosts).....                             | 15        |
| 3.1.2 Access Points.....                                  | 15        |
| 3.1.3 Servicio del Sistema Distribuido.....               | 15        |
| 3.2 TOPOLOGÍAS DE REDES.....                              | 16        |
| 3.2.1 Conjunto Básico de Servicio Independiente.....      | 16        |
| 3.2.2 Conjunto Básico de Servicio.....                    | 17        |
| 3.2.3 Conjunto de Servicio Extendido.....                 | 17        |
| 3.3 EQUIPO PARA REDES 802.11.....                         | 18        |
| 3.3.1 Antenas Omnidireccionales.....                      | 18        |
| 3.3.2 Antenas Semidireccionales.....                      | 21        |
| 3.3.3 Antenas Altamente Direccionales.....                | 28        |
| 3.3.4 Access Points.....                                  | 29        |
| 3.4 SEGURIDAD.....  | 30        |
| 3.4.1 Seguridad Pre-RSNA.....                             | 30        |
| 3.4.2 Seguridad RSNA.....                                 | 31        |
| 3.5 COBERTURA.....  | 31        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 3.5.1    | Cobertura orientada a máximo alcance. ....                          | 32        |
| 3.5.2    | Cobertura orientada a máxima tasa de transmisión.....               | 33        |
| 3.6      | RESUMEN. ....   | 34        |
| <b>4</b> | <b>ESTUDIO DE CAMPO Y DISEÑO DE RED. ....</b>                       | <b>35</b> |
| 4.1      | ESTUDIOS DE CAMPO.....  | 35        |
| 4.1.1    | Estudio de Campo Manual.....  | 35        |
| 4.1.2    | Estudio de Campo Asistido.....                                      | 35        |
| 4.1.3    | Estudio de Campo Teórico.....                                       | 36        |
| 4.2      | PREPARACIÓN PARA EL ESTUDIO DE CAMPO.....                           | 36        |
| 4.2.1    | Lugar y horario para realizar el Estudio de Campo.....              | 36        |
| 4.2.2    | Información específica del sitio. ....                              | 37        |
| 4.2.3    | Requerimientos para el personal que realiza el Estudio de Campo. 37 |           |
| 4.2.4    | Red actual de datos e Interferencia. ....                           | 37        |
| 4.2.5    | Seguridad de la Red. ....   | 37        |
| 4.2.6    | Mapa de Cobertura. ....   | 37        |
| 4.2.7    | Equipo para la realización del Estudio de Campo.....                | 37        |
| 4.2.8    | Software de medición de intensidad ....                             | 39        |
| 4.3      | REALIZACIÓN DEL ESTUDIO DE CAMPO Y DISEÑO DE RED. ....              | 39        |
| 4.3.1    | Definiendo los Límites de Células.....                              | 39        |
| 4.3.2    | Traslape entre Células.....   | 41        |
| 4.3.3    | Método para creación de Células. ....                               | 41        |
| 4.4      | DOCUMENTACIÓN DEL ESTUDIO DE CAMPO.....                             | 46        |
| 4.5      | RESUMEN. ....   | 46        |
| <b>5</b> | <b>DESARROLLO DE DISEÑO DE RED.....</b>                             | <b>47</b> |
| 5.1      | REALIZACIÓN DEL ESTUDIO DE CAMPO. ....                              | 47        |
| 5.1.1    | Estudio de Campo Manual.....  | 47        |
| 5.1.2    | Zona de Cobertura.....  | 48        |
| 5.1.3    | Análisis de Interferencia.....                                      | 48        |
| 5.1.4    | Equipo utilizado para la realización del Estudio de Campo.....      | 48        |
| 5.1.5    | Obtención de Mediciones y Plano de Cobertura.....                   | 48        |
| 5.1.6    | Diseño de Red y Condiciones de Infraestructura.....                 | 50        |
| 5.2      | PROPUESTA DE EQUIPOS. ....  | 51        |
| 5.2.1    | Access Point. ....  | 51        |
| 5.2.2    | Antenas.....  | 52        |
| 5.3      | RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD. ....                                  | 52        |
| 5.4      | RESUMEN. ....   | 52        |
| <b>6</b> | <b>CONCLUSIONES Y COMENTARIOS. ....</b>                             | <b>53</b> |
| <b>7</b> | <b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>   | <b>55</b> |

# INTRODUCCIÓN.

El diseño de redes inalámbricas involucra el conocimiento teórico que permite la realización de un diseño inicial, el cual es reforzado con mediciones de potencia para asegurar que cumplirá los niveles de señal requeridos. Por esta razón se analizan los elementos básicos de las redes 802.11 y se explican los conceptos necesarios para entender su funcionamiento. Un aspecto fundamental en el desarrollo de este tipo de redes es el conocimiento de hardware, dando un peso muy importante a las antenas. Dependiendo de cada aplicación es necesario hacer un análisis de la tecnología y los elementos que compondrán la infraestructura. Se propone el uso de redes inalámbricas basadas en el estándar de la IEEE 802.11b, las cuales son una evolución de las redes inalámbricas 802.11 cuyo estándar fue liberado en 1997 por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE).

Este trabajo se orienta al desarrollo de una red inalámbrica basada en el estándar 802.11b ya que cumple con las tasas requeridas para el funcionamiento de aplicaciones tipo TELNET. Se muestran los pasos principales en la realización de un estudio de campo (para el cual se realizan ciertas consideraciones de operación). Se da una revisión de las antenas disponibles para las redes inalámbricas 802.11 (2.4GHz) y se exponen las características principales para realizar su selección.

Las redes inalámbricas evolucionan rápidamente, y en casos muy específicos han reemplazado a las redes cableadas. El último estándar para redes inalámbricas 802.11 es el 802.11n y fue liberado en octubre del 2009. Actualmente se continúa trabajando en nuevos estándares, los cuales prometen dar un desempeño mucho mejor a los actuales y ser muy útiles en aplicaciones muy demandantes como voz y video. La industria en torno a las redes inalámbricas es gigantesca y se sigue apostando al desarrollo de estas tecnologías.

# 1 Fundamentos de Comunicaciones.

*Las radiocomunicaciones han sido un elemento importante en el desarrollo de las telecomunicaciones. A través de su crecimiento, han desempeñado un papel crucial en el desarrollo productivo y económico de la sociedad. En el presente capítulo se da una revisión de conceptos generales de comunicaciones y radiocomunicaciones, además de los conceptos necesarios para el estudio de las ondas electromagnéticas.*

## 1.1 Sistemas de Comunicaciones y Radiocomunicaciones.

Un sistema de comunicación es un grupo de elementos que tienen una tarea en específico: el intercambio de información entre dos puntos. Puede haber diferentes sistemas de comunicaciones, pero los componentes que son comunes a todos son: transmisor, receptor y canal de transmisión (cable coaxial, par trenzado, fibra óptica y espacio libre).

Un sistema de comunicación en particular es el de radiocomunicación. Lo que hace diferente a este sistema de los demás es que la transmisión de información se realiza por medio de ondas electromagnéticas a través del espacio libre.

### 1.1.1 Espectro Electromagnético y Radioeléctrico.

Debido a que es de interés especial la frecuencia en la que operan las redes inalámbricas 802.11a y 802.11b (2.4GHz y 5GHz respectivamente), resulta conveniente ubicarlas dentro de las clasificaciones que existen. Se hablará del espectro electromagnético y espectro radioeléctrico para poder situarnos en la frecuencia de interés.

El espectro electromagnético está conformado por todas las frecuencias que puede tener una onda electromagnética. El espectro electromagnético además de contener todas las ondas del espectro radioeléctrico, contiene las correspondientes a los rangos de infrarrojo, luz visible, ultravioleta, rayos x y rayos gama, entre otros.

El rango de frecuencias que van desde 1Hz hasta 300GHz corresponde al espectro radioeléctrico. Dependiendo de la literatura, se puede encontrar que el espectro radioeléctrico está conformado solamente por las ondas electromagnéticas que están en el rango de 1MHz hasta 1GHz, pero para efectos de este trabajo se consideran las ondas de radiofrecuencia dentro del rango mencionado al inicio del párrafo.

Existe una clasificación que utiliza solamente el espectro radioeléctrico y va de acuerdo a la frecuencia que utiliza la onda electromagnética, ésta se muestra en la tabla 1.1.

| <b>Banda</b> | <b>Denominación</b>                                       | <b>Frecuencia</b> | <b>Longitud de Onda.</b> |
|--------------|---|-------------------|--------------------------|
| ELF          | Frecuencia Extremadamente Baja (Extremely Low Frequency)  | <3KHz             | > 100Km                  |
| VLF          | Frecuencia Muy Baja (Very Low Frequency)                  | 3-30KHz           | 100-10Km                 |
| LF           | Frecuencia Baja (Low Frequency)                           | 30-300KHz         | 10-1Km                   |
| MF           | Frecuencia Media (Medium Frequency)                       | 300-3000KHz       | 1000 – 100m              |
| HF           | Frecuencia Alta (High Frequency)                          | 3-30MHz           | 100 – 10m                |
| VHF          | Frecuencia Muy Alta (Very High Frequency)                 | 30-300MHz         | 10 – 1m                  |
| UHF          | Frecuencia Ultra Alta (Ultra High Frequency)              | 300-3000MHz       | 100 – 10cm               |
| SHF          | Frecuencia Super Alta (Super High Frequency)              | 3-30GHz           | 10 – 1cm                 |
| EHF          | Frecuencia Extremadamente Alta (Extremely High Frequency) | 30-300GHz         | 10 – 1mm                 |
| -            | -   | 300-3000GHz       | 1 – .1mm                 |

*Tabla 1.1 Bandas de Frecuencias del Espectro Radioeléctrico (fuente: Introduction to RF Propagation [19]).*

De acuerdo a la clasificación mostrada, las ondas que operan bajo el estándar 802.11a se ubican en la banda de SHF mientras que las ondas 802.11bg se sitúan en la banda UHF.

## 1.2 Antenas.

Un elemento primordial en un sistema de radiocomunicación es la antena; ya que ésta permite la transmisión o recepción de las ondas electromagnéticas, en pocas palabras una antena actúa como un transductor desde o hacia el sistema.

Existe una gran variedad de antenas y una extensa teoría que nos ayuda a entender su comportamiento. Más adelante se hace una revisión que nos ayuda a comprender su forma de operación y conocer las más utilizadas para redes inalámbricas 802.11.

## 1.3 Ondas Electromagnéticas.

Existen fenómenos naturales que no podemos ver físicamente, por lo que resulta útil hacer una analogía para entender su comportamiento. En la mayoría de la literatura se establece que una onda electromagnética es una combinación de campos eléctricos y magnéticos perpendiculares, que son dependientes y se propagan a la velocidad de la luz sobre el espacio libre, ¿pero cómo se podría interpretar físicamente una onda electromagnética? Podemos entenderla como una vibración que se propaga en el vacío hacia todas las direcciones posibles a una velocidad muy rápida, que conforme llega a obstáculos sufre efectos de desviación y absorción.

### 1.3.1 Longitud de Onda, Frecuencia, Amplitud y Fase.

Existen varias características de las ondas electromagnéticas que son muy útiles para su entendimiento.

Una de las propiedades principales es la longitud de onda ( $\lambda$ ), que se calcula como la distancia entre dos crestas de una onda. Por otro lado, la frecuencia ( $f$ ) hace referencia a la cantidad de oscilaciones que genera la onda en cierto intervalo de tiempo (generalmente segundos). Se sabe que existe una relación entre la longitud de onda y la frecuencia: si aumenta la frecuencia disminuye la longitud de onda.

La frecuencia  $f$  y la longitud de onda  $\lambda$  quedan relacionadas por la siguiente ecuación:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1.1)$$

donde  $c$  es la velocidad de la luz.

La fase es un parámetro, medido en grados o radianes, que define la diferencia de una onda con respecto a una referencia.

### 1.3.2 Ganancia y Pérdida.

Es muy importante conocer si existe un incremento o disminución de la intensidad de una señal al pasar por un elemento (amplificador, antena, atenuador, etc.). En caso de obtener un incremento hablamos de que existe una ganancia y que la señal fue amplificada, mientras que si tenemos una disminución estamos hablando de una pérdida y que la señal fue atenuada.

### 1.3.3 Reflexión y Refracción.

Cuando una onda electromagnética llega a un medio que tiene diferentes propiedades ocurren los fenómenos de reflexión y refracción. Pensemos el caso en el que una señal choca contra una superficie; tendremos como resultante dos señales a partir de la original. La primera señal rebota de la superficie (señal reflejada) y la otra señal traspasa la superficie (señal refractada).

### 1.3.4 Dispersión.

Existen dos formas de dispersión que pueden afectar a una onda electromagnética, la primera se refiere al choque contra una partícula (que tiene un diámetro igual o menor a la longitud de onda), y la segunda contra una superficie no regular. Para el primer caso, el fenómeno que se presenta es una reflexión y refracción a nivel microscópico. Ejemplos de algunos eventos que presentan este fenómeno son: una nube, humo y lluvia. Para el segundo caso el fenómeno consiste en una combinación de varias ondas reflejadas con diferentes

ángulos debido a la irregularidad de la superficie. Estrictamente ocurre el fenómeno de refracción si el material no absorbe la onda y permite el paso de ésta.

### 1.3.5 Absorción.

Absorción es la conversión de una onda electromagnética en calor. Cuando las ondas pasan a través de materiales, los átomos que los componen pueden absorber parte de esta energía a una frecuencia específica. Varios materiales absorben ondas electromagnéticas a la frecuencia de 2.4GHz. Los más comunes son: agua, tabla roca, madera e incluso el cuerpo humano.

## 1.4 Propagación.

Las ondas de radiofrecuencia, durante su transmisión, experimentan varios fenómenos debido a los obstáculos que encuentran en su camino. Los modelos de propagación permiten predecir las pérdidas que tienen las ondas de radiofrecuencia durante su propagación.

Existe una gran variedad de modelos, pero para las redes inalámbricas locales resulta práctico clasificarlos de acuerdo a la zona de cobertura: exteriores o interiores.

### 1.4.1 Modelos de Propagación para Exteriores.

El modelo de propagación en el espacio libre, nos ayuda a entender el comportamiento que tiene una señal de radiofrecuencia al propagarse por el vacío. Este modelo nos proporciona la potencia recibida por un sistema en un ambiente abierto. La siguiente ecuación describe la potencia que llega al receptor:\*

$$P_R = \frac{P_T}{4\pi d^2} A_R \eta_R \quad (1.2)$$

Donde:

$P_R$ : Potencia recibida

$P_T$ : Potencia transmitida

$d$ : Separación entre transmisor y receptor

$A_R$ : Área efectiva de la antena receptora

$\eta_R$ : Eficiencia

Si consideramos que la antena tiene una ganancia  $G_T$  se tiene la siguiente ecuación:

$$P_R = \frac{P_T G_T}{4\pi d^2} A_R \eta_R \quad (1.3)$$

---

\* Mischa Schwartz, Mobile Wireless Communications, Cambridge University Press, 2005, p. 17.

Donde:

$G_T$ : Ganancia de antena transmisora

Se sabe que existe una relación entre el área efectiva y la ganancia para la antena transmisora, pero de igual forma aplica para la antena receptora, por lo que tenemos la siguiente ecuación:

$$G_R = \frac{4\pi\eta_R A_R}{\lambda^2} \quad (1.4)$$

Donde:

$\lambda$ : Longitud de Onda

De la ecuación 1.3 se puede observar que la potencia recibida está en función del área efectiva; si se combinan las ecuaciones 1.3 y 1.4 se obtiene la siguiente ecuación, la cual recibe el nombre de ecuación de potencia recibida.

$$P_R = P_T G_T G_R \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 \quad (1.5)$$

Si expresamos el cociente de las dos potencias se obtiene la ecuación de Friis mostrada en la fórmula 1.7:\*

$$L = \frac{P_R}{P_T} \quad (1.6)$$

$$L = G_T G_R \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 \quad (1.7)$$

En la fórmula 1.10 se muestra la ecuación de Friis expresada en decibeles (nótese los signos negativos ya que expresa una pérdida):

$$L_{(dB)} = G_{TdB} + G_{RdB} + 10\log\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 \quad (1.8)$$

$$L_{(dB)} = G_{TdB} + G_{RdB} + 20\log\lambda - 20\log d - 20\log(4\pi) \quad (1.9)$$

$$L_{(dB)} = -G_T - G_R - 20\log\lambda + 20\log d + 22 \quad (1.10)$$

Puede darse el caso en que no se requieran considerar las ganancias de las antenas, por lo que se puede tener la siguiente ecuación:

$$L_{(dB)} = -20\log\lambda + 20\log d + 22 \quad (1.11)$$

Para entender las condiciones en las que la ecuación de Friis es válida tenemos que hacer referencia a las regiones en las que se divide el patrón de radiación de una antena. Existen tres regiones o zonas en las que puede ser dividido el patrón

---

\* John S. Seybold. Introduction to RF Propagation, John Wiley & Sons, Inc, 2005, p. 67.

de radiación de una antena en función de la distancia hacia la antena y son: *far-field*, *reactive near-field* y *radiating near-field*.<sup>\*</sup> En la región *near-field* el patrón de radiación no se encuentra definido, en la región *radiating near-field* el patrón de radiación empieza a tomar forma, sin embargo no está completamente establecido, mientras que en la región *far-field* el patrón de radiación ya se encuentra formado. El establecimiento de las regiones *reactive near-field*, *radiating near-field* y *far-field* queda delimitado por las ecuaciones 1.12, 1.13 y 1.14 respectivamente. La ecuación de Friis es válida solamente en la región *far-field*.

$$R > \frac{2L^2}{\lambda} \quad (1.12)$$

$$\frac{\lambda}{2\pi} < R < \frac{2L^2}{\lambda} \quad (1.13)$$

$$R < \frac{\lambda}{2\pi} \quad (1.14)$$

Donde:

R: Radio delimitador

L: Diámetro de la antena o de la menor esfera que encierre la antena

$\lambda$ : Longitud de onda

La ecuación de Friis predice solamente las pérdidas en el espacio libre. Existen elementos que pueden incrementar las pérdidas de una señal entre el transmisor y receptor, esas pérdidas deben ser consideradas para poder predecir de forma adecuada el nivel de la señal recibida.

#### 1.4.2 Modelos de Propagación para Interiores.

Se tiene que la mayoría de los modelos para interiores son válidos para ciertos rangos de frecuencia. Debido al interés en las redes inalámbricas 802.11, se hace referencia al Modelo de Pérdida de Trayectoria de Interiores ITU, ya que es válido para frecuencias de 2.4GHz.

La ecuación que describe este modelo es la siguiente:<sup>\*\*</sup>

$$L_{\text{Total(dB)}} = 20\log f + N\log d + L_f(n) - 28 \quad (1.15)$$

Donde:

N: Coeficiente de pérdida de distancia

f: Frecuencia expresada en MHz.

d: Distancia

L<sub>f</sub>(n): Factor de pérdida de penetración de piso que se encuentra en función de n

n: Número de pisos entre el transmisor y receptor

<sup>\*</sup> John S. Seybold. Introduction to RF Propagation, John Wiley & Sons, Inc, 2005, p. 45.

<sup>\*\*</sup> John S. Seybold. Introduction to RF Propagation, John Wiley & Sons, Inc, 2005, p. 210.

En la literatura se pueden encontrar valores del coeficiente de pérdida y el factor de pérdida de penetración de piso, en las tablas 1.2 y 1.3 se muestran algunos valores.

| Frecuencia | Residencial | Oficina | Comercial |
|------------|-------------|---------|-----------|
| 900MHz     | ---         | 33      | 20        |
| 1.2-1.3GHz | ---         | 32      | 22        |
| 1.8-2GHz   | 28          | 30      | 22        |
| 4GHz       | ---         | 28      | 22        |
| 5.2GHz     | ---         | 31      | ---       |
| 60GHz      | ---         | 22      | 17        |

Tabla 1.2 Coeficiente de Pérdida de Distancia “N” (fuente: Mobile Wireless Communications [25]).

| Frecuencia | Residencial | Oficina    | Comercial |
|------------|-------------|------------|-----------|
| 900MHz     | ---         | 9 (n=1)    | ---       |
|            |             | 19 (n=2)   |           |
|            |             | 24 (n=3)   |           |
| 1.8-2GHz   | 4n          | 15+4 (n-1) | 6+3(n-1)  |
| 5.2GHz     | ---         | 16 (n=1)   | ---       |

Tabla 1.3 Factor de Pérdida de Penetración de Piso “L<sub>f</sub>(n)” (fuente: Mobile Wireless Communications [25]).

El modelo de pérdida de trayectoria de interiores ITU realiza una predicción generalizada de las pérdidas y no considera información detallada del sitio relacionada con las características de los materiales. Este modelo sirve como punto de partida para la creación de una red inalámbrica; sin embargo no es exacto, por lo que es recomendable que lleve consigo mediciones y que se establezca un cierto margen durante la elaboración del diseño.

### 1.5 Medidas de Ganancia.

El decibel (*dB*) resulta una herramienta muy útil que expresa una relación logarítmica entre una salida y una entrada. Para ejemplificar su utilidad, consideremos que se quiere obtener la ganancia resultante de un sistema que tiene varias etapas para una señal. La ventaja de utilizar decibeles radica en la facilidad que nos brinda al realizar operaciones, ya que las ganancias expresadas en decibeles simplemente se suman o se restan. El no utilizar estas medidas, involucraría el uso de multiplicaciones o divisiones, además del manejo de números muy grandes. El uso de estas unidades en el área de comunicaciones es muy común. La mayoría de los documentos técnicos en los que se tiene que especificar una ganancia están escritos con esta medida.

### 1.5.1 dB.

Es común escuchar que los sistemas de sonido, carros, máquinas, etc., generan un sonido con cierta intensidad, utilizando erróneamente al dB como un indicador de ganancia absoluto, siendo que es relativo. Por ejemplo, no es correcto decir que las turbinas de un avión generan un sonido de “x” decibeles, ya que la idea a expresar es la intensidad de una señal más no una ganancia.

Como se puede ver, los decibeles son una medida adimensional que expresan una ganancia o pérdida, a partir de un cociente de una potencia de salida y una de entrada. La fórmula para obtener la relación entre dos potencias y expresarla en decibeles es la siguiente:

$$\text{dB} = 10\text{Log} \frac{P_s}{P_e} \quad (1.16)$$

donde  $P_s$  y  $P_e$  son la potencia de salida y entrada respectivamente.

### 1.5.2 dBm.

Los dBm representan niveles de potencia, o visto de otra forma la ganancia de una potencia referenciada a 1 miliwatt. Una diferencia muy importante con respecto a los dB radica en que el dBm es un valor absoluto, de tal forma que con este valor se puede obtener el valor de intensidad debido a que está referenciado a 1 miliwatt.

Si retomamos el ejemplo de la definición de dB, la forma correcta de mencionarlo sería: las turbinas de un avión tienen una potencia de “x” dBm, ya que estamos mencionando un nivel de potencia.

Para calcular los dBm a partir de una potencia que se encuentre expresada en miliwatts se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{dBm} = 10\text{Log}P_{\text{mw}} \quad (1.17)$$

donde  $P_{\text{mw}}$  es la potencia dada en miliwatts.

### 1.5.3 dBi.

De igual forma que el dB, el dBi es un indicador relativo de la ganancia de una antena. En esta medida, la sigla “i” hace referencia a la palabra isotrópico, el cual es un elemento (antena teórica) que radia energía en todas las direcciones con la misma intensidad.

La forma de calcular la ganancia en dBi, es por medio de la comparación de la cantidad de energía que radia la antena en cierta dirección contra la energía que emite una antena isotrópica en la misma dirección.

## 1.6 Resumen.

En este capítulo se dio una revisión de los términos y conceptos que son de gran importancia en el área de comunicaciones. Se revisaron los modelos de propagación para interiores y exteriores.

El correcto entendimiento de conceptos como onda electromagnética, antena, propagación, ganancia, pérdida y además de las unidades de ganancia (dB, dBm, dBi) entre otros, nos sirven para abordar temas relacionados con redes 802.11. Es indispensable tener claros los conceptos, en caso de que no sea así, el estudio de los temas relacionados con las redes 802.11 se dificulta.

La utilización de modelos de propagación nos permite entender mejor el comportamiento de las ondas electromagnéticas; sin embargo estos modelos pueden llegar a tener limitaciones de uso, en ciertos escenarios, por no considerar características que nos pueden afectar en la transmisión de ondas electromagnéticas.

## 2 Estándares de Redes Inalámbricas 802.11.

La aplicación de estándares ha permitido a las tecnologías inalámbricas alcanzar tasas de transmisión necesarias para soportar aplicaciones de datos, voz y video. Un beneficio adicional de su uso, es la interoperación de dispositivos de diferentes marcas. Esto brinda la seguridad de que los productos servirán y proveerán cierta funcionalidad, independientemente de los fabricantes. Debido a la importancia de los estándares, se exponen las características básicas de los más utilizados hoy en día en redes inalámbricas.

### 2.1 Estándares de Redes Inalámbricas Locales.

Las redes 802.11 caen dentro de lo que se conoce como redes inalámbricas locales, las cuales pueden dar cobertura a edificios, escuelas, oficinas, etc., sin llegar a abarcar áreas metropolitanas.

Existe una clasificación de redes de acuerdo al tamaño. A continuación se muestra una tabla con esta información, en el que se puede observar el alcance que tiene cada una de ellas:

| <b>Red Inalámbrica.</b>                    | <b>Alcance.</b> |
|--|-----------------|
| WPAN (Wireless Personal Area Network)      | 5-10 [m]        |
| WLAN (Wireless Local Area Network)         | >100 [m]        |
| WMAN (Wireless Metropolitan Area Network ) | Ciudades        |
| WWAN (Wireless Wide Area Network)          | País            |

*Tabla 2.1 Clasificación de Redes de acuerdo a su alcance.*

El primer estándar que apareció para estas redes fue el estándar 802.11, posteriormente se desarrolló 802.11b. Tiempo después se empezó a desarrollar 802.11a pero se estaba buscando un estándar que fuera compatible con 802.11b, por lo que finalmente se desarrolló 802.11g. Los estándares 802.11g y 802.11a ofrecen las mismas tasas de transmisión, pero 802.11g tiene un mayor alcance debido a la frecuencia de operación. Debido a esto y su compatibilidad con 802.11b, el estándar 802.11g es el más utilizado. Recientemente se liberó el estándar 802.11n que opera a la misma frecuencia que 802.11a y 802.11b; antes de liberarlo se comercializaba bajo el nombre de “draft 802.11n”.

A continuación se mencionan las características más importantes de los estándares IEEE 802.11.

#### *802.11 (1997)*

El estándar 802.11 inicialmente estableció dos técnicas de transmisión para radiofrecuencia: FHSS y DSSS, y una especificación de transmisión infrarroja que no ha sido desarrollada. FHSS es una tecnología de transmisión inalámbrica, que

tiene como característica el salto o cambio de la frecuencia que utiliza para transmisión; el uso de frecuencias para su salto están determinadas por patrones y los saltos se realizan en toda la banda disponible. DSSS es una tecnología que siempre opera sobre el canal de frecuencia, de tal forma que no ocupa toda la banda disponible.

802.11 puede utilizar tasas de transmisión de 1Mbps y 2Mbps. FHSS y DSSS son dos mecanismos que no son compatibles entre sí.

Al hablar de esta familia de estándares, si nos ubicamos dentro del modelo de interconexión de sistemas abiertos (OSI), decimos que las funciones que realizan se encuentran en las dos primeras capas (capa física y capa de enlace).

#### *802.11b (1999)*

Este estándar es conocido como HR-DSSS. Es una mejora del primer estándar 802.11 publicado por la IEEE. La contribución de 802.11b fue el incremento de las tasas de transmisión de 5.5Mbps y 11Mbps. Para llevar a cabo esto, DSSS fue la técnica elegida para la capa física debido a que FHSS no puede soportar tasas de transmisión mayores a 2Mbps. 802.11b puede interoperar con sistemas 802.11 DSSS, pero no puede hacerlo con sistemas 802.11 FHSS. La diferencia principal entre DSSS y HR-DSSS radica en que utilizan diferentes métodos de modulación.

#### *802.11a (1999)*

El estándar 802.11a, conocido como OFDM, utiliza frecuencias de transmisión cercanas a 5GHz; fue introducido al mismo tiempo que 802.11b. Es una tecnología que hace un multiplexado en el dominio de la frecuencia para transmitir datos, de tal forma que divide el canal de operación en varios canales y realiza transmisiones en paralelo. El sistema OFDM provee tasas de transmisión de hasta 54Mbps, pero tiene características de propagación diferentes a 802.11b debido a la frecuencia de uso.

#### *802.11g (2003)*

El estándar 802.11g, conocido como ERP-OFDM, soporta tasas de transmisión de hasta 54Mbps, utilizando técnicas de modulación provenientes de 802.11a. Adicionalmente al uso ERP-OFDM, el estándar 802.11g puede utilizar un modo de operación llamado ERP-DSSS, que básicamente establece compatibilidad con 802.11b (HR-DSSS).

#### *802.11n (2009)*

Este estándar se basa en la utilización de varias antenas de forma simultánea, teniendo hasta un máximo de cuatro para recepción y cuatro para transmisión, esta característica se le conoce como MIMO (Multiple Input Multiple Output).

El estándar, conocido como HT-OFDM, realiza transmisiones simultáneas en las que aplica un multiplexado en el dominio de la frecuencia (MIMO-OFDM), de tal forma que se pueden realizar varias transmisiones sobre la misma frecuencia al mismo tiempo con antenas diferentes. 802.11n tiene varios modos de operación, lo que da como resultado compatibilidad con 802.11a y 802.11g. En el primer modo opera de forma compatible con 802.11a ó 802.11g, dejando a un lado la operación 802.11n. En el segundo modo la forma de operación es mixta. 802.11n opera con los protocolos 802.11a y 802.11g de forma simultánea. En el último modo la operación es solamente como 802.11n. Teóricamente con la utilización de esta tecnología se pueden alcanzar tasas de transmisión cercanas a 600Mbps.

## 2.2 Radiofrecuencias Disponibles.

La Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) ha creado dos bandas de uso libre, conocidas como: bandas Industrial, Científico y Médico (ISM) y las bandas de Infraestructura de Información Nacional sin Licencia (U-NII). Actualmente existen 12 bandas ISM, pero solo la que empieza en 2.4GHz es utilizada por los estándares 802.11, 802.11bg y 802.11n, mientras que las cuatro bandas U-NII son utilizadas por 802.11a y 802.11n. En la tabla 2.2 se muestra el desglose de estas bandas y como se relacionan con los estándares 802.11.

| <b>Estándar 802.11 utilizado</b> | <b>Frecuencia y Banda de Operación</b> |
|----------------------------------|--|
| 802.11                           | 2.4GHz ISM                             |
| 802.11a                          | 5GHz U-NII                             |
| 802.11b                          | 2.4GHz ISM                             |
| 802.11g                          | 2.4GHz ISM                             |
| 802.11n                          | 2.4GHz ISM ó 5Ghz U-NII                |

*Tabla 2.2 Bandas y Frecuencias utilizadas por los estándares 802.11 (fuente: Radiowave Propagation and Antennas for Personal Communications [21]).*

## 2.3 Canales de Operación.

El rango de frecuencias 2.4GHz a 2.5GHz se encuentra dividido en canales de un ancho definido, los cuales fueron establecidos por los organismos reguladores de las telecomunicaciones de cada país.

La mayoría de los países tienen la misma separación de frecuencias para los canales comprendidos en el rango de frecuencias mencionado; el ancho de cada canal es de 22MHz. En México se tienen disponibles los canales 1-13, en Estados Unidos se utilizan los canales 1-11, mientras que en Europa se tienen disponibles los canales 1-13. Japón es un caso particular en el que se utilizan los 14 canales. En los últimos años España y Francia han adoptado las regulaciones establecidas por el Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones (ETSI). En la tabla 2.3 se muestran las frecuencias centrales de los canales:

| Canal | Frecuencia Central [GHz ] | México | E.U. | Europa | Japón |
|-------|---------------------------|--------|------|--------|-------|
| 1     | 2.412                     | X      | X    | X      | X     |
| 2     | 2.417                     | X      | X    | X      | X     |
| 3     | 2.422                     | X      | X    | X      | X     |
| 4     | 2.427                     | X      | X    | X      | X     |
| 5     | 2.432                     | X      | X    | X      | X     |
| 6     | 2.437                     | X      | X    | X      | X     |
| 7     | 2.442                     | X      | X    | X      | X     |
| 8     | 2.447                     | X      | X    | X      | X     |
| 9     | 2.452                     | X      | X    | X      | X     |
| 10    | 2.457                     | X      | X    | X      | X     |
| 11    | 2.462                     | X      | X    | X      | X     |
| 12    | 2.467                     | X      | ---  | X      | X     |
| 13    | 2.472                     | X      | ---  | X      | X     |
| 14    | 2.484                     | ---    | ---  | ---    | X     |

Tabla 2.3 Canales de Operación (fuente: 802.11 Wireless Network Site Surveying and Installation [7]).

La selección de los canales en el diseño de las redes 802.11 es indispensable. Para evitar interferencia creada por los mismos elementos de una red, es necesario seleccionar canales cuyas frecuencias no se traslapen. La separación que existe entre los canales 1 y 6, y los canales 6 y 11 es mayor a 22MHz, razón por la cual son los más utilizados. Es posible utilizar el resto de los canales pero se tiene la limitante de que sólo podrán seleccionarse dos canales sin que exista interferencia. Como se verá más adelante, el uso de tres canales para la realización de diseños permite reutilizar los canales de tal forma que pueden alcanzar configuraciones con un número ilimitado de dispositivos; hecho que no podría llevarse a cabo si se utilizaran solamente dos canales ya que se presentaría un traslape de frecuencias.

## 2.4 Resumen.

En este capítulo se revisaron los estándares más importantes de la familia 802.11, además de mostrar las frecuencias de operación que utilizan estas tecnologías.

La aplicación de la familia de estándares 802.11 involucra el uso de ciertas frecuencias, es decir, un estándar como el 802.11b sólo puede ser utilizado para la frecuencia de 2.4GHz y no para una frecuencia de 10GHz. Estas reglas o límites, ayudan a evitar problemas de interferencia.

El mejoramiento y crecimiento de las redes inalámbricas 802.11, se debe en gran medida a la utilización de estándares. El avance que se ha obtenido en poco más de una década ha sido impresionante, teniendo al inicio (802.11) aplicaciones de emulación de consola por mencionar algún ejemplo, hasta hoy en día (802.11n) aplicaciones de voz y video.

## 3 Fundamentos de Redes Inalámbricas 802.11.

*En el capítulo anterior se dio una revisión de los estándares para redes inalámbricas. En este capítulo se da una revisión de los conceptos necesarios para poder entender el funcionamiento de este tipo de redes, además de mostrar las principales características de los dispositivos para poder realizar una selección adecuada.*

### 3.1 Componentes de Redes Inalámbricas 802.11.

Hoy en día, el uso de las redes inalámbricas es muy común. Prácticamente podemos encontrar una red inalámbrica en cualquier lugar. Existen varios tipos de redes, pero el interés de este trabajo es enfocarnos solamente a las redes 802.11. Se hace la selección de este tipo de redes debido a las características de operación, la gran aceptación en la industria y la variedad de dispositivos que existen. A continuación se describen los elementos más importantes que las conforman.

#### 3.1.1 Estaciones (hosts).

Uno de los componentes principales de las redes 802.11 son las estaciones, también conocidas como hosts o terminales. El término estación es general, por lo que muchos dispositivos pueden considerarse como tales de acuerdo a la definición que maneja el estándar 802.11. Básicamente una estación es un dispositivo que cuenta con una interfaz 802.11. Ruteadores, handhelds, access points, computadoras, impresoras, etc., son equipos que son considerados estaciones, siempre y cuando tengan el elemento de interés.

#### 3.1.2 Access Points.

La comunicación directa entre estaciones puede ser aceptable para ciertas aplicaciones, por ejemplo, una transferencia de documentos entre dos computadoras de escritorio (PC), una red temporal, una comunicación entre PC y una impresora. Existen situaciones en las que se requiere una interconexión de un mayor número de elementos, por ejemplo, en áreas más grandes que las que puede brindar una red punto a punto (*ad hoc*). El access point es un dispositivo que generalmente establece un puente entre una estación y una red cableada. Este permite la interconexión de más terminales y provee un alcance más extenso que una red *ad hoc*; aunque provee una mejor cobertura, ésta todavía sigue siendo limitada. Estrictamente un access point provee a las terminales un acceso a los servicios de distribución, los cuales se mencionan en el siguiente apartado.

#### 3.1.3 Servicio del Sistema Distribuido.

Un *conjunto básico de servicio* es básicamente una red inalámbrica que involucra el uso de un access point. Es muy importante hacer mención de esto ya que es

necesario para abordar los siguientes conceptos, independientemente de que se dedique una sección más amplia para este tema.

Pensemos en un entorno donde existen varios *conjuntos básicos de servicio* y que una estación está cambiando continuamente de posición física, y por lo mismo, de *conjunto básico de servicio*. Existe un elemento 802.11 que se encarga de asociar y desasociar la estación con el *conjunto básico de servicio* en cuestión; este elemento se le conoce en la literatura como *servicio del sistema de distribución*.

Al igual que el *servicio del sistema de distribución*, el *sistema de distribución* es un elemento 802.11 que tiene una tarea en específico; la integración de dos o más *conjuntos básicos de servicio*, además de proveer los mecanismos para manejar un direccionamiento de una estación dentro de un grupo de *conjuntos básicos de servicios*. Por facilidad, el medio que utiliza el *sistema de distribución* es cableado, aunque no existe una limitante en el sentido de no poder ser un medio inalámbrico. De forma práctica, el medio Ethernet puede ser entendido como el *sistema de distribución*.

## 3.2 Topologías de Redes.

En el capítulo anterior se dio una clasificación de las redes inalámbricas de acuerdo a su alcance. Existe una clasificación de las redes de acuerdo a su topología, la cual resulta muy útil para entender la relación que guardan los elementos que la conforman.

Al hablar de topología de redes se hace referencia a la forma en la que están conectados los elementos de las redes; ésta puede ser a nivel lógico o a nivel físico. Debido a las características de las redes inalámbricas, en este trabajo se interpreta el concepto de topología como la conexión lógica que establecen los dispositivos.

### 3.2.1 Conjunto Básico de Servicio Independiente.

El conjunto más sencillo de interconexión de estaciones se forma directamente entre ellas sin pasar por algún punto intermedio. El nombre que se da a este tipo de redes, bajo el estándar 802.11, es el de *conjunto básico de servicio independiente*. Otro nombre que se usa de forma intercambiable es el de redes inalámbricas *ad hoc*.

El área donde se tiene cobertura es limitada; a ésta se le llama área básica de servicio. El área básica de servicio puede variar en función de las características del medio; para un área abierta puede ser mayor en comparación a un área cerrada que contenga muebles o algún elemento que obstruya el paso de las ondas electromagnéticas.

Cuando una estación está dentro de un área con cobertura, se puede comunicar con las otras estaciones que están dentro de la misma área, es decir, la estación

debe estar en una zona en la que la señal de radiofrecuencia sea lo suficientemente fuerte para que sea detectada por la estación de interés.

### 3.2.2 Conjunto Básico de Servicio.

Para superar las limitantes que presentan las redes *ad hoc* existen redes que involucran el uso de un access point; el nombre que reciben es *conjunto básico de servicio*. Las limitantes de las redes *ad hoc* son superadas hasta cierto punto; aunque la cobertura se incrementa existe todavía una limitante en relación al área de servicio que puede proporcionar un esquema como éste. Por otro lado, aunque en teoría la cantidad de elementos que pueden conectarse a esta red es muy grande, existen limitantes que están gobernadas por el ancho de banda de red.

En un *conjunto básico de servicio* las estaciones no se comunican directamente entre sí; primero se comunican con un access point, el cual reenvía la información a las estaciones con las que se pretende establecer la comunicación.

### 3.2.3 Conjunto de Servicio Extendido.

Para poder incrementar la capacidad, en términos de cobertura y ancho de banda, se deben agregar más access points, de tal forma que el ancho de banda quede mejor repartido. Por ejemplo, supongamos que tenemos solamente un access point que tiene un ancho de banda "x" y que tiene cuatro terminales conectadas. En este caso a cada una le tocará una cuarta parte del ancho de banda total. Ahora bien, pensemos el caso en el que se tienen dos access points y cuatro terminales conectadas; cada terminal tendrá el doble del ancho de banda del ejemplo anterior.

Si agregamos más access points a un *conjunto básico de servicio*, además de obtener el beneficio del ancho de banda, se obtienen mejores áreas de cobertura. Las estaciones podrán comunicarse con cualquier otra estación, aunque esas estaciones estén en diferentes áreas de servicio, cada una establecida por un access point.

A este nuevo arreglo, en el que se unen varios *conjuntos básicos de servicio*, se le llama *conjunto de servicio extendido* (en el estándar 802.11).

Este nuevo esquema permite la interconexión de un número mayor de estaciones; teóricamente no existe un límite de la cantidad de estaciones que puedan conectarse y de la cobertura que pueda brindar. En la práctica, la limitante en relación a la cantidad de estaciones va de acuerdo al consumo de recursos de ancho de banda y a la sensibilidad de las aplicaciones que dependen de la red para su correcto funcionamiento.

### 3.3 Equipo para Redes 802.11.

#### 3.3.1 Antenas Omnidireccionales.

El patrón de radiación es la representación tridimensional de la intensidad de la energía radiada de una antena. Existen gráficas llamadas plano de elevación (vertical) y plano azimutal (horizontal); se puede interpretar el plano de elevación como una foto lateral de la propagación de una antena que se encuentra colocada verticalmente, mientras que el plano azimutal se puede considerar como una foto aérea de ésta.

Este tipo de gráficas nos permite entender ciertas diferencias entre antenas y además nos ayuda a justificar su selección de acuerdo a su patrón de radiación.

De acuerdo al patrón de radiación, es posible identificar ciertas zonas, éstas son: lóbulo principal, lóbulos laterales, lóbulo trasero, zonas nulas y ancho de haz, como se puede observar en la siguiente figura:

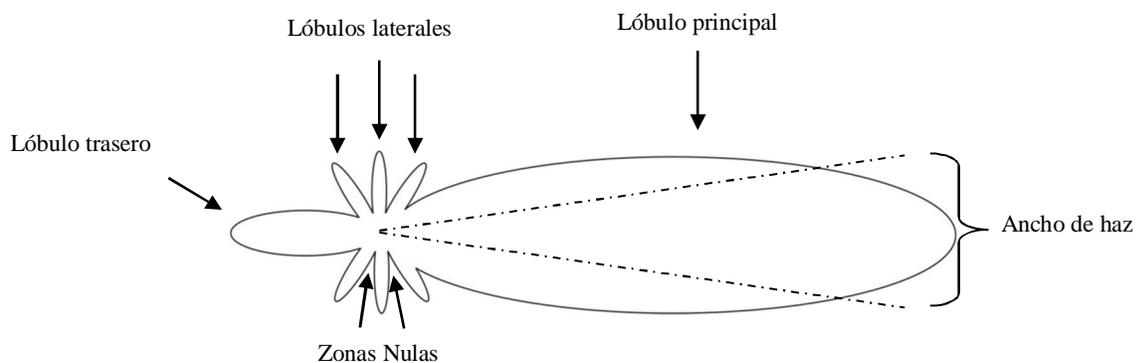


Figura 3.1 Lóbulos del Patrón de Radiación de una Antena.

Como se puede observar en la figura 3.1, el lóbulo principal es la zona donde se concentra la mayor parte de la energía, el lóbulo trasero es aquel que radia en dirección opuesta al lóbulo principal, los lóbulos laterales son aquellos que radian en una dirección diferente a la del lóbulo principal exceptuando el lóbulo trasero y el ancho del haz a la mitad de potencia es el ángulo que se forma sobre el lóbulo principal concentrando solamente esa cantidad de potencia.

Ahora bien, teniendo los elementos base para hablar de las antenas nos enfocaremos a las antenas omnidireccionales, ya que son las más utilizadas en las redes inalámbricas 802.11.

La radiación emitida por una antena omnidireccional se asemeja a la forma de una dona, pensando que se da en tres dimensiones; las antenas omnidireccionales radian su energía hacia todas direcciones.

A partir del plano de elevación de la figura 3.2 se puede observar que este tipo de antena propaga la mayor parte de su energía en los costados, mientras que en el plano azimutal mostrado en la figura 3.3 se aprecia una radiación uniforme de 360 grados.\*

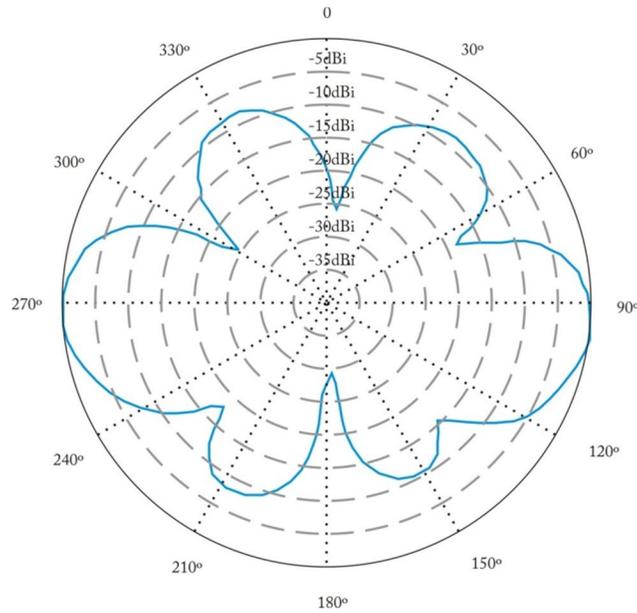


Figura 3.2 Plano de Elevación de antena Omnidireccional 5.2dBi.

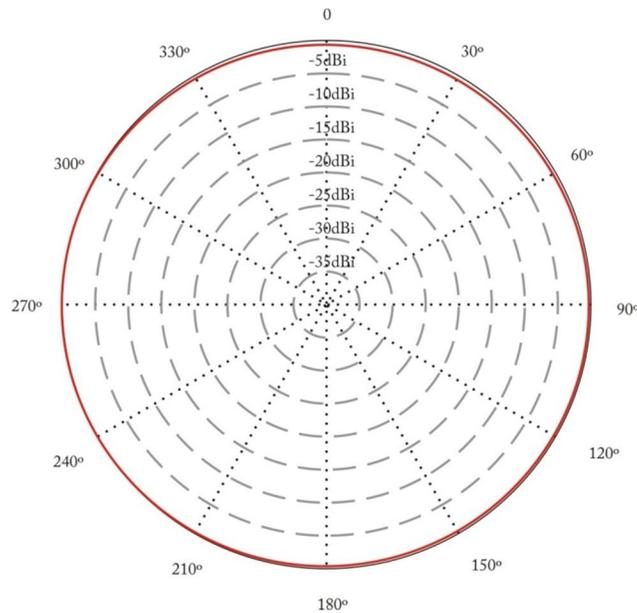


Figura 3.3 Plano Azimutal de antena Omnidireccional 5.2dBi.

\* Los planos mostrados en las figuras 3.2. y 3.3 pertenecen a una antena Cisco AIR-ANT2506

Si tomamos una antena que tenga mayor ganancia (8dBi) podemos observar que existe una diferencia en relación al plano de elevación, se puede ver en la figura 3.4 como se vuelve más angosta la señal. \*

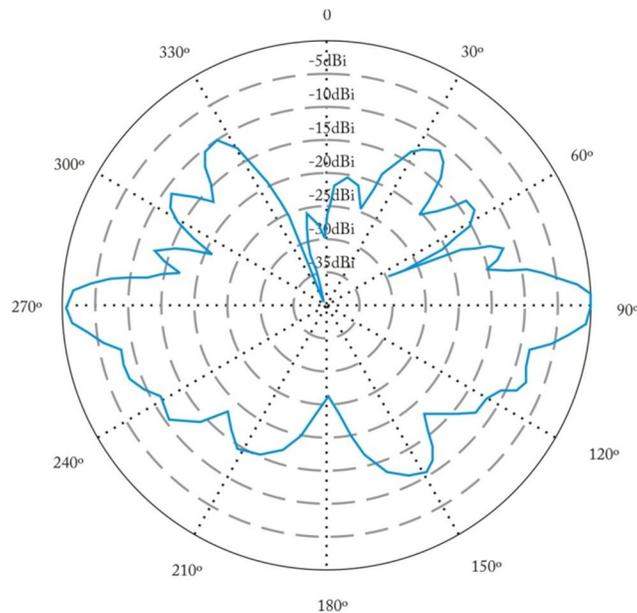


Figura 3.4 Plano de Elevación de antena Omnidireccional 8dBi.

Para el caso del plano azimutal se conserva la misma distribución, esto se puede apreciar en la figura 3.5:

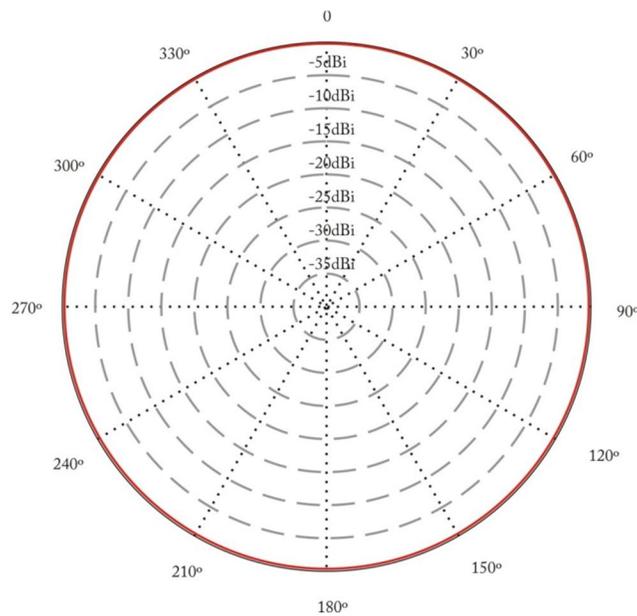


Figura 3.5 Plano Azimutal de antena Omnidireccional 8dBi.

\* Los planos mostrados en las figuras 3.4 y 3.5 pertenecen a una antena Cisco AIR-ANT2480V-N

Este tipo de antenas son ubicadas en puntos altos (techos de oficinas, salones, restaurantes, etc.) evitando la mayor cantidad de obstáculos para brindar una cobertura uniforme. No resulta práctico su uso para zonas que podemos entender como alargadas (pasillos por ejemplo).

### 3.3.2 Antenas Semidireccionales.

Las antenas semidireccionales (direccionales) más comunes son las antenas *patch*, *Yagi* y *sectorizadas*. Este tipo de antenas enfocan la mayor parte de su energía hacia una dirección en particular.

Las antenas *patch* están hechas con tecnologías de circuito impreso, creando estructuras planas que son fabricadas sobre un dieléctrico. La forma más común de estas antenas es plana, la mayor parte de su energía es radiada por el lóbulo principal mientras que la energía radiada por los lóbulos traseros es mínima.

Generalmente, las antenas *patch* debido a su diseño y características de propagación son colocadas en paredes. Las antenas *Yagi* y *sectorizadas* tienen una Ganancia similar a las antenas *patch*.

Si se ubica una antena omnidireccional en una pared, gran parte de la energía radiada es desperdiciada. Conforme se analicen los patrones de radiación de las antenas semidireccionales se verá que ubicarlas cerca de paredes no implica una pérdida de energía considerable.

En las figura 3.6 se muestra el plano de elevación de una antena tipo *patch*.\*

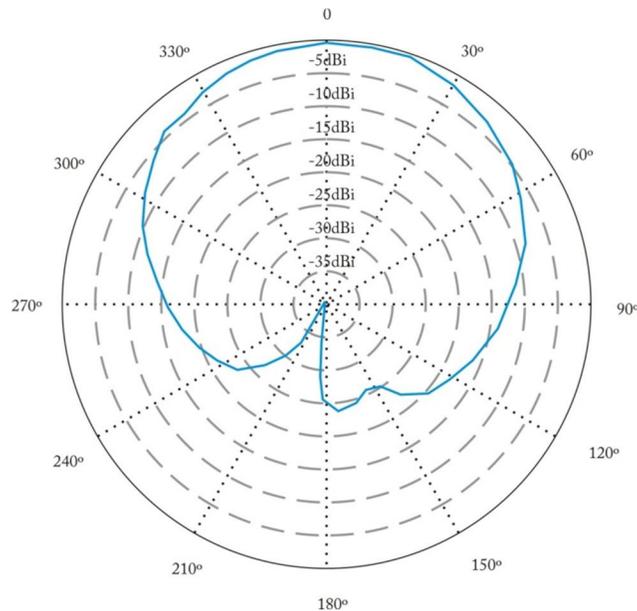


Figura 3.6 Plano de Elevación de antena Patch 6dBi.

\* El plano mostrado en las figura 3.6 pertenece a una antena Cisco AIR-ANT2460P-R

En la figura 3.7 se muestra el plano azimutal de una antena tipo *patch* de 6dBi. De los planos de elevación y azimutal, mostrados en las figuras 3.6 y 3.7, se puede apreciar que la mayor parte de su energía se concentra en una dirección.

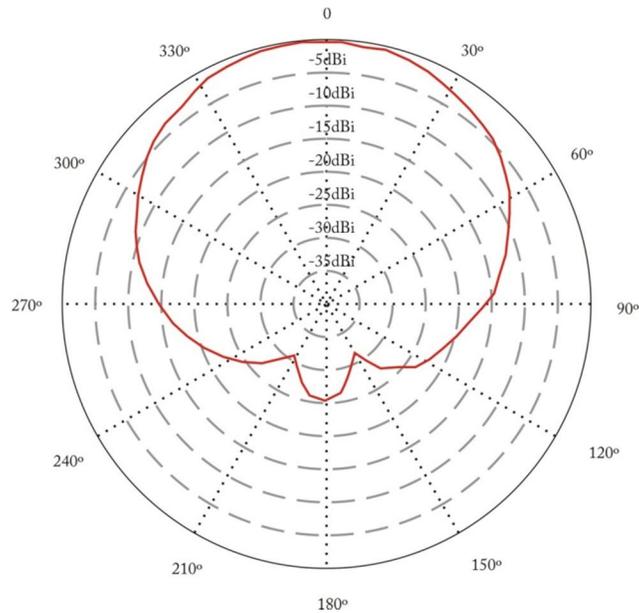


Figura 3.7 Plano Azimutal de antena Patch 6dBi.

En las figuras 3.8 y 3.9 se muestran los patrones de radiación de una antena *patch* de 8.5dBi.\*

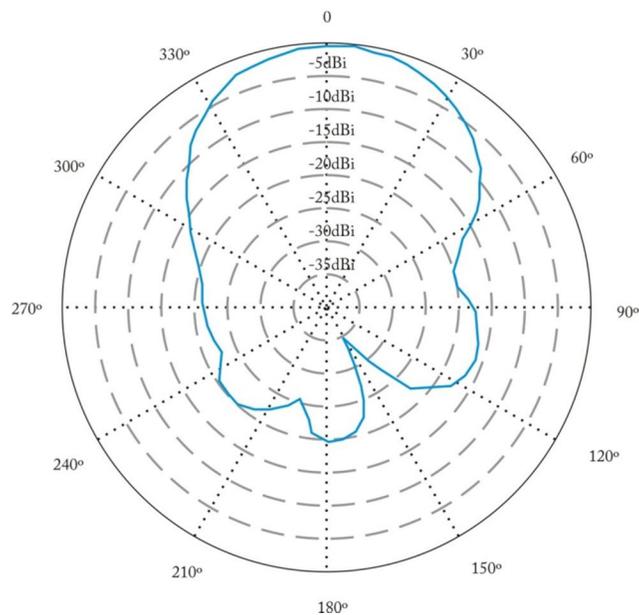


Figura 3.8 Plano de Elevación de antena Patch 8.5dBi.

\* El plano mostrado en la figura 3.7 pertenece a una antena Cisco AIR-ANT2460P-R, el plano mostrado en la figura 3.8 pertenece a una antena Cisco AIR-ANT2485P-R

Al comparar los patrones de radiación de las antenas mostradas en las figuras 3.7 y 3.9, se puede apreciar un cambio en el patrón de radiación debido a que ésta última tiene una ganancia mayor.\*

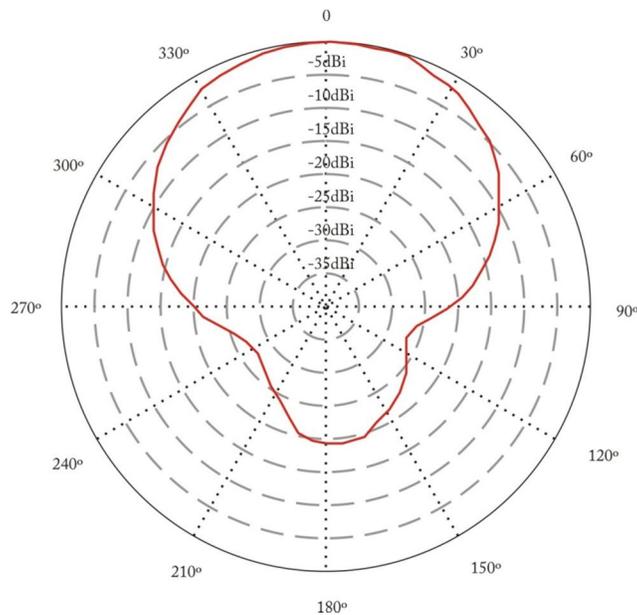


Figura 3.9 Plano Azimutal de antena Patch 8.5dBi.

La antena *Yagi* es otro tipo de antena semidireccional que tiene similitudes en cuanto a las ganancias y distancias de aplicación, sin embargo el diseño y la tecnología son muy diferentes. Una configuración básica de las antenas *Yagi* consta de un elemento activo, un reflector y directores, lo cual se puede apreciar en la siguiente figura:

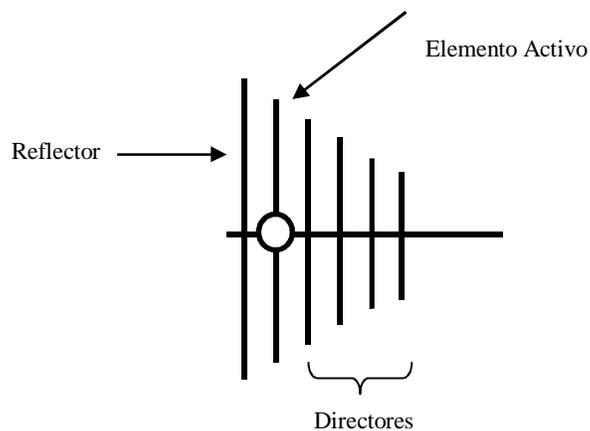


Figura 3.10 Plano Elevación de antena Yagi 14dBi.

\* El plano mostrado en la figura 3.9 pertenece a una antena Cisco AIR-ANT2485P-R

Las antenas *Yagi*, por sus características y diseño, son aprovechadas en exteriores principalmente. En las figuras 3.11 y 3.12 es posible apreciar las características de propagación de una antena *Yagi* de 14dBi: \*

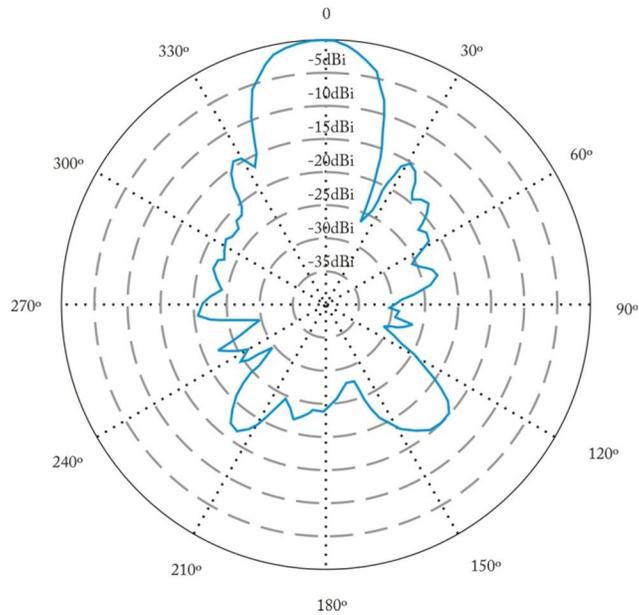


Figura 3.11 Plano Elevación de antena *Yagi* 14dBi.

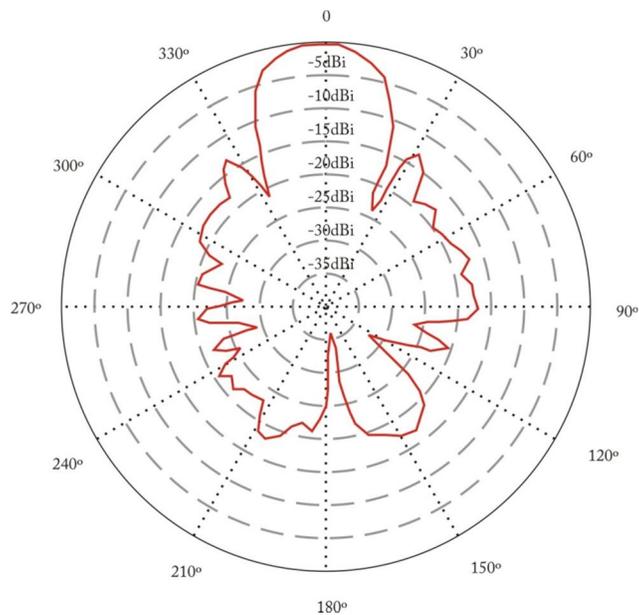


Figura 3.12 Plano Azimutal de antena *Yagi* de 14dBi.

\* Los planos mostrados en las figuras 3.11 y 3.12 pertenecen a una antena Motorola ML-2499-BYGA2-01R.

En las figuras 3.13 y 3.14 se muestran los patrones de radiación de una antena Yagi de 17dBi. Si comparamos la figura 3.11 con la 3.13, podemos observar que al aumentar la ganancia el haz se vuelve más angosto.\*

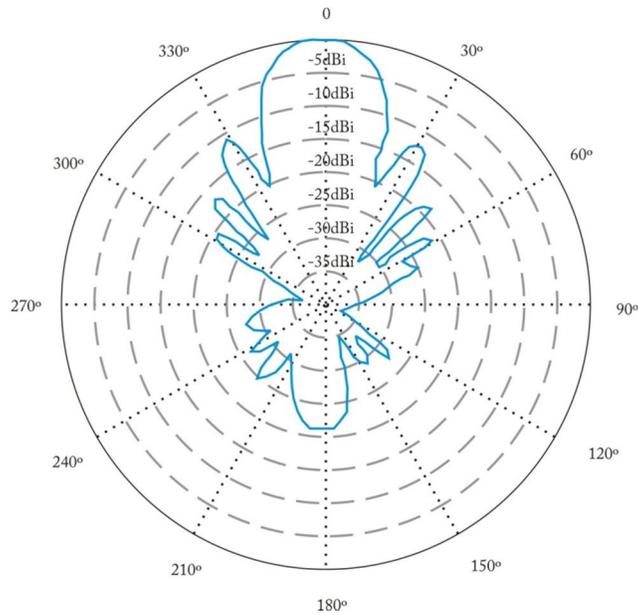


Figura 3.13 Plano Elevación de antena Yagi 17dBi.

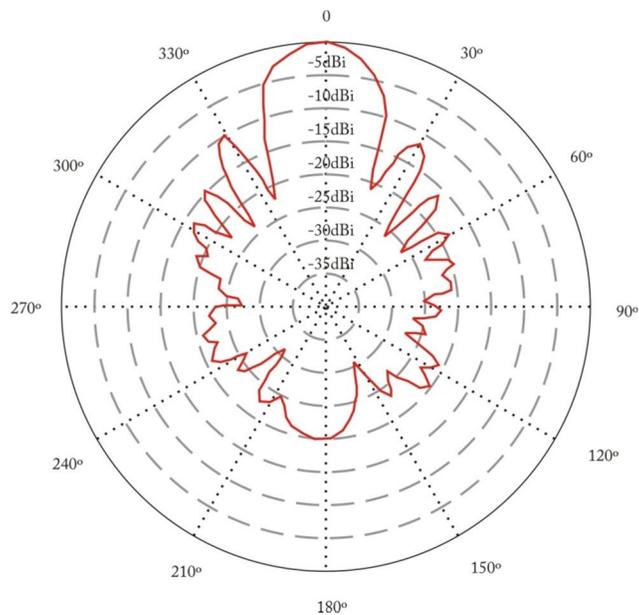


Figura 3.14 Plano Azimutal de antena Yagi de 17dBi.

\* Los planos mostrados en las figuras 3.13 y 3.14 pertenecen a una antena Amphenol 7360012.

Existe otro tipo de antenas llamadas *sectorizadas*, las cuales son consideradas semidireccionales por sus características de propagación, en las figuras 3.15 y 3.16 se puede apreciar esta condición.\*

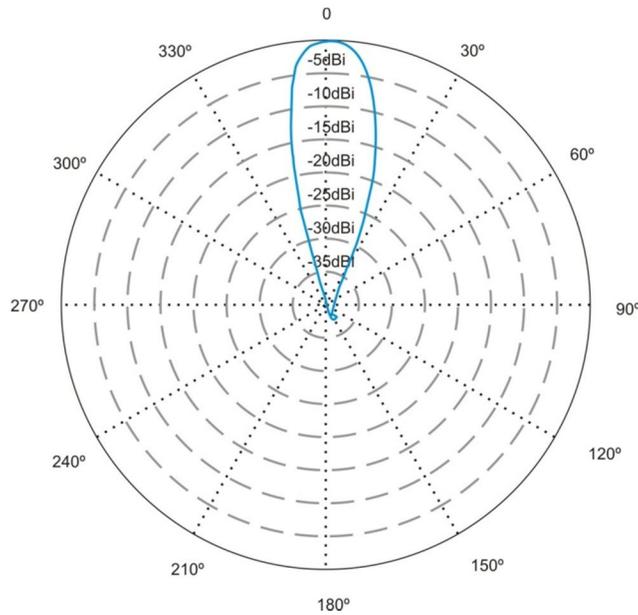


Figura 3.15 Plano Elevación de antena Sectorizada 14dBi.

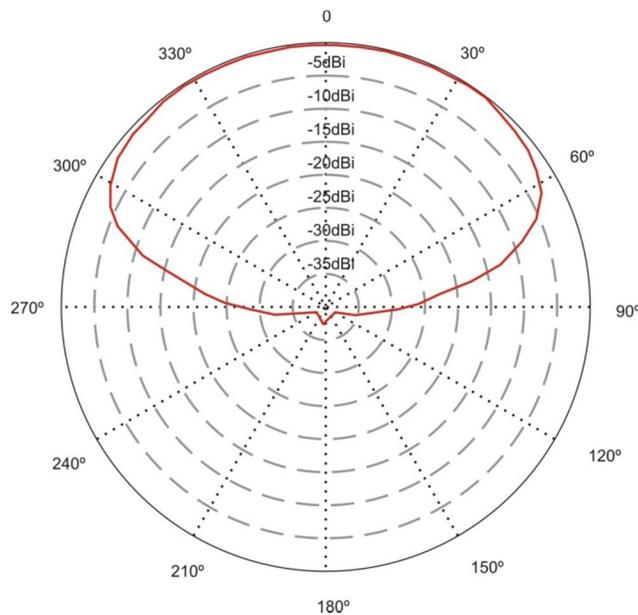


Figura 3.16 Plano Azimutal de antena Sectorizada de 14dBi.

Debido a que el ancho del haz cubre aproximadamente  $120^\circ$  (existen antenas de este tipo que cubren  $90^\circ$  y  $60^\circ$ ) se pueden realizar arreglos con varias antenas, en los que son puestas de espaldas, para dar una cobertura de  $360^\circ$ .

\* Los planos mostrados en las figuras 3.15 y 3.16 pertenecen a una antena L-com HG2414SP-120

En las figuras 3.17 y 3.18 se muestran los patrones de radiación correspondientes a una antena *sectorizada* de 17dBi. Si comparamos los patrones de radiación 3.15 y 3.17 podemos observar que el segundo se vuelve más angosto debido a que tiene una ganancia mayor.\*

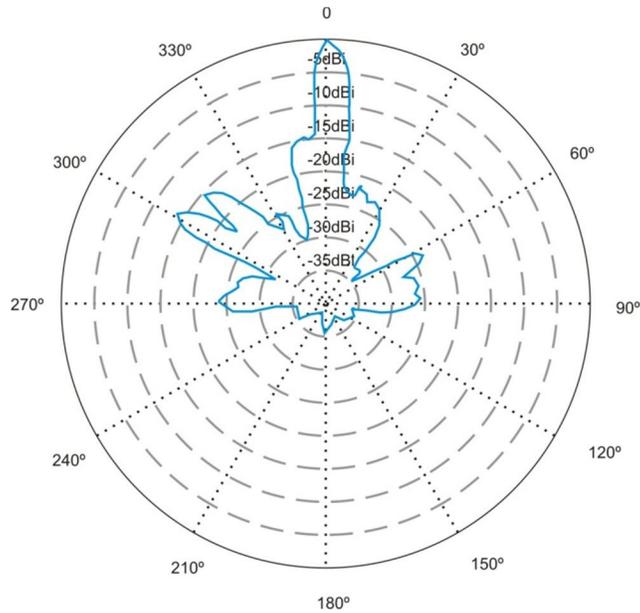


Figura 3.17 Plano Elevación de antena Sectorizada 17dBi.

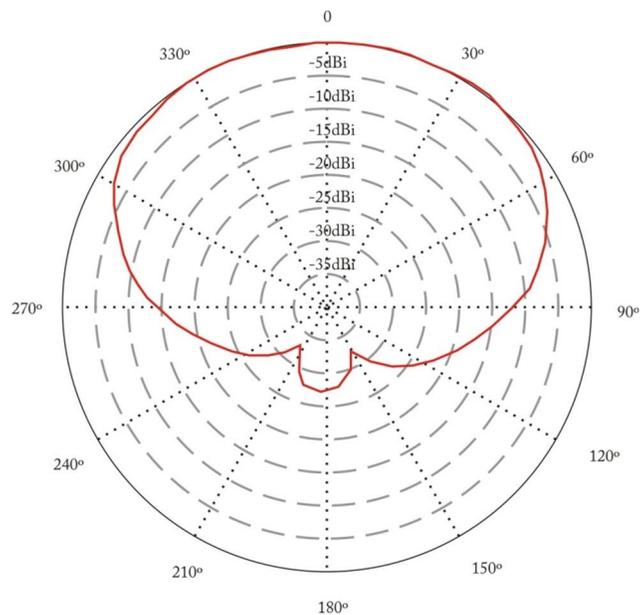


Figura 3.18 Plano Azimutal de antena Sectorizada de 17dBi.

\* Los planos mostrados en las figuras 3.17 y 3.18 pertenecen a una antena L-com HG2417P-120.

### 3.3.3 Antenas Altamente Direccionales.

En el caso de las antenas altamente direccionales el patrón de radiación es muy angosto, como se puede ver en las figuras 3.19 y 3.20.

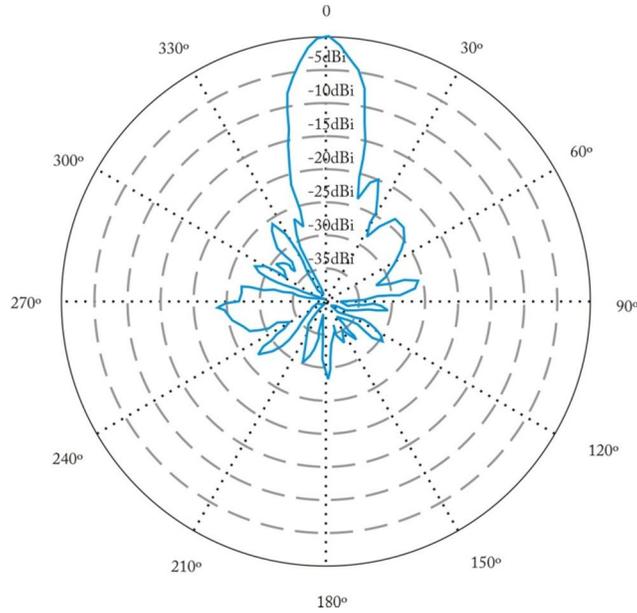


Figura 3.19 Plano de Elevación de antena altamente direccional 21dBi.

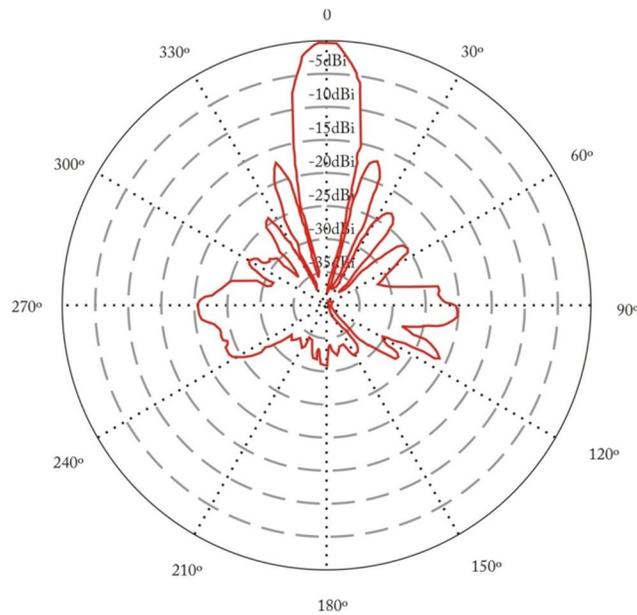


Figura 3.20 Plano Azimutal de antena altamente direccional 21dBi.

\* Los planos mostrados en las figuras 3.19 y 3.20 pertenecen a una antena Cisco AIR-ANT3338.

Esta característica resulta interesante debido a que dichas antenas nos permiten crear enlaces punto a punto en distancias considerables (alrededor de kilómetros). Este tipo de antenas son muy sensibles a la alineación que tienen; con una pequeña variación se puede afectar considerablemente su desempeño (por ejemplo en un enlace). Existen antenas tipo rejilla (grid) que las hace muy prácticas en exteriores, ya que su diseño las hace menos vulnerables a una desalineación provocada por viento, lluvia, etc.

En la siguiente tabla se muestra las antenas disponibles en el mercado de acuerdo a su patrón de radiación.

| <b>Ganancia (dBi)</b> | <b>Omnidireccional</b> | <b>Semidireccional</b> | <b>Altamente Direccional</b> |
|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------------|
| 2                     | X                      | ---                    | ---                          |
| 2.2                   | X                      | ---                    | ---                          |
| 5.2                   | X                      | ---                    | ---                          |
| 6                     | X                      | X                      | ---                          |
| 6.5                   | X                      | X                      | ---                          |
| 8.5                   | X                      | X                      | ---                          |
| 10                    | X                      | X                      | ---                          |
| 12                    | X                      | X                      | ---                          |
| 13.5                  | ---                    | X                      | ---                          |
| 14                    | ---                    | X                      | ---                          |
| 17                    | ---                    | X                      | ---                          |
| 19                    | ---                    | ---                    | X                            |
| 21                    | ---                    | ---                    | X                            |
| 24                    | ---                    | ---                    | X                            |
| 30                    | ---                    | ---                    | X                            |

*Tabla 3.1 Antenas Disponibles.*

A partir de la tabla 3.1, se puede observar que la ganancia de las antenas está relacionada con el patrón de radiación de éstas; no sería viable encontrar una antena altamente direccional de 5dBi.

### **3.3.4 Access Points.**

En el inicio del capítulo se mencionaba a un access point como un elemento de un sistema 802.11; a continuación se hablará un poco de su forma de operación.

Los access points que operan de forma independiente son los llamados *fat access points* y aquellos que dependen de un controlador para poder funcionar son los *thin access points*. En el primer caso la forma de operación está establecida internamente en el dispositivo, mientras que en el segundo el controlador es quien lo gobierna y define varios parámetros de operación. Actualmente existen access

points que soportan los dos tipos de operación, siempre y cuando sean actualizados con firmware especializado.

Una de las ventajas de los *thin access points* va relacionada con la administración de los dispositivos. Ésta se realiza de forma centralizada, es decir, se pueden tener varios access points pero desde una sola página WEB se pueden administrar todos aquellos que estén en una red. Mientras que para los *fat access points* se tienen que administrar de forma individual. En primera instancia esta característica puede considerarse que no es muy útil, pero pensemos en un área en la cual tenemos un número mayor a 10 access points; en estos casos no resulta práctica la administración individual de cada uno de los dispositivos.

### 3.4 Seguridad.

La seguridad en redes inalámbricas es un tema de mucho interés debido a las implicaciones que se podrían tener en caso de no aplicarse correctamente, es decir, si se tuviera acceso a información por personas no autorizadas.

Inicialmente las redes 802.11 contaban con una seguridad conocida en la literatura como Pre-RSNA. Este esquema de seguridad presentaba debilidades, las cuales fácilmente pudieron ser aprovechadas indebidamente. Para superar estas debilidades, hubo grandes avances sobre esta área en particular; se desarrolló lo que se conoce como seguridad RSNA y actualmente se encuentra disponible.

#### 3.4.1 Seguridad Pre-RSNA.

Como se mencionó, el mecanismo por el que una estación forma parte de un *conjunto básico de servicio* es por medio de una asociación. Para que pueda existir una asociación de una estación primero debe haber una *autenticación* de la estación, de tal forma que sea inidentificable y de esta forma se controle el acceso.

En el estándar original 802.11 se definieron dos tipos de autenticación: abierta y de llave compartida. Una *autenticación abierta* permite una asociación directa de la terminal con el *conjunto básico de servicio*, ya que realmente no existe validación alguna de identidad, simplemente se realiza intercambio de información para realizar la asociación. En el caso de la *autenticación de llave compartida*, básicamente se permite una asociación de la estación a un *conjunto básico de servicio*, si la terminal proporciona la llave correcta. El proceso de *autenticación de llave compartida* se compone de cuatro pasos: solicitud de la terminal, envío de un texto del access point a la terminal, encriptación y envío del texto por la terminal al access point y por último la confirmación (o rechazo) por parte del access point.

Para establecer confidencialidad e integridad de la información se decidió crear el Protocolo WEP, bajo el cual se pensaba que la información sólo llegaría al destinatario en cuestión sin poder ser modificable. La información que es

transmitida por la red es encriptada utilizando llaves de 40 ó 104 bits. WEP utiliza un algoritmo de encriptación llamado RC4, por lo que se puede entender que WEP no es el algoritmo de encriptación como tal. Como se puede apreciar en el esquema de seguridad, 802.11 solamente está compuesto de estos dos elementos, autenticación y encriptación de información.

Actualmente no es recomendable implementar *autenticación de llave compartida*. Una de las debilidades de este mecanismo se encuentra en que el texto enviado por el access point no va encriptado, de tal forma que durante su transmisión es posible capturar el texto plano y el texto encriptado, para posteriormente utilizar un algoritmo para obtener la llave. Las únicas condiciones en las que se recomienda su uso es con equipos obsoletos que sólo cuenten con seguridad Pre-RSNA.

### 3.4.2 Seguridad RSNA.

Para superar las debilidades del esquema original de seguridad 802.11, se creó lo que en la literatura se conoce como RSNA; está documentado en el estándar 802.11i. Este estándar se apoya fuertemente en el estándar 802.1X, el cual tiene la finalidad de solventar las deficiencias en la parte de autenticación.

Lo que se plantea para el proceso de autenticación es un esquema más robusto que involucra nuevos elementos. En este proceso los elementos que participan en este esquema son: suplicante, autenticador y servidor de autenticación.

Una estación puede ser vista como un suplicante. Bajo este esquema la estación desea autenticarse para acceder a los recursos siendo su primer contacto el autenticador. El autenticador queda en un punto intermedio entre el servidor de autenticación y el suplicante; el servidor de autenticación es quien realmente acepta o rechaza la solicitud del suplicante por medio del autenticador.

Para mejorar las debilidades encontradas en relación a confidencialidad e integridad, RSNA tiene nuevos elementos. Los protocolos que se crearon son TKIP y CCMP. Así como WEP, TKIP y CCMP son protocolos que utilizan algoritmos de encriptación (RC4 y AES respectivamente).

TKIP utiliza el mismo algoritmo de encriptación que WEP. Podemos pensar que TKIP es un WEP mejorado, mientras que CCMP fue hecho para superar las inseguridades que presentó TKIP.

### 3.5 Cobertura.

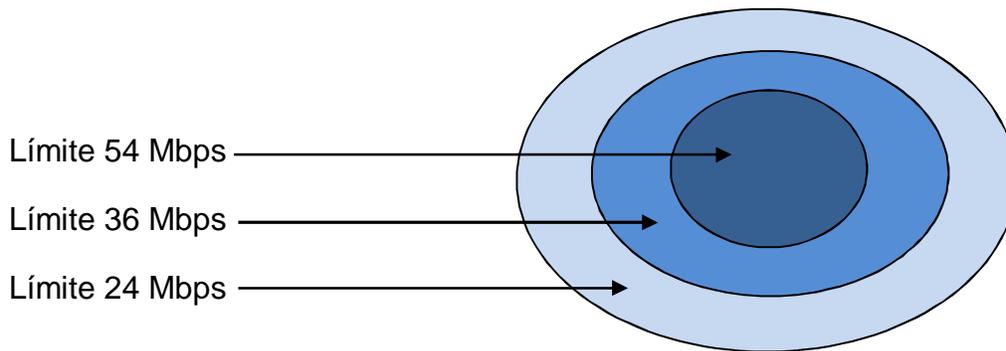
La cobertura, sin duda, es uno de los temas más importantes a considerar cuando se realiza el diseño de una red. Si se realiza un diseño con más elementos de los necesarios podemos tener problemas de interferencia, además de un costo elevado por la utilización de un número mayor de equipos. En el caso de hacer falta cobertura en un área podemos tener problemas de desempeño debido a la calidad de la señal.

### 3.5.1 Cobertura orientada a máximo alcance.

En los diseños de redes inalámbricas es muy importante considerar dos elementos: la cobertura y la tasa de transmisión. De estos factores depende que una aplicación trabaje correctamente; el variar estos factores nos permite obtener diferentes diseños para una red.

Podemos tener cobertura en una zona pero si no tenemos la tasa de transmisión mínima para que trabaje una aplicación de nada nos sirve que tenga señal. En el caso opuesto tendríamos una tasa de transmisión muy buena para una zona, pero una cobertura muy reducida (específicamente a esa tasa de transmisión).

La siguiente figura nos puede ayudar a entender mejor el concepto. Al alejarnos de la parte central disminuye la tasa de transmisión, pero aumenta la cobertura. Podemos llegar a un punto de máximo alcance, pero con una tasa de transmisión mínima.



*Figura 3.21 Tasas de transmisión en zonas de cobertura.*

Un diseño que esté enfocado a una máxima cobertura puede ser útil para aplicaciones de baja transferencia de datos. En el caso de aplicaciones tipo TELNET para terminales de mano, el uso de tasas de transmisión del orden de 11Mbps son aceptables. Independientemente de esto siempre es recomendable dar un pequeño umbral de operación, para asegurar la tasa de transmisión requerida.

En el capítulo anterior se mencionó que la selección de los canales de operación de los access points es importante para evitar interferencia. Los canales 1, 6 y 11 mantienen una separación suficiente que es aprovechada en diseños para no tener el problema de interferencia. Por esta razón la configuración de los access points se realiza sobre dichos canales.

En la siguiente figura se puede ver un diseño de red orientado a máxima cobertura, el cual nos servirá como punto de comparación. Cada número representa el canal en el que está configurado el access point y cada círculo representa la cobertura proporcionada por éste. Como se puede ver en el diseño,

los access points que usan la misma frecuencia quedan alejados lo más posible. Para el diseño que nos servirá de referencia se tienen 14 access points, como se puede apreciar en la figura 3.22.

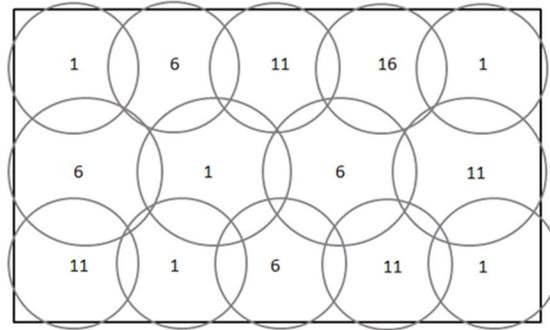


Figura 3.22 Cobertura de máximo alcance.

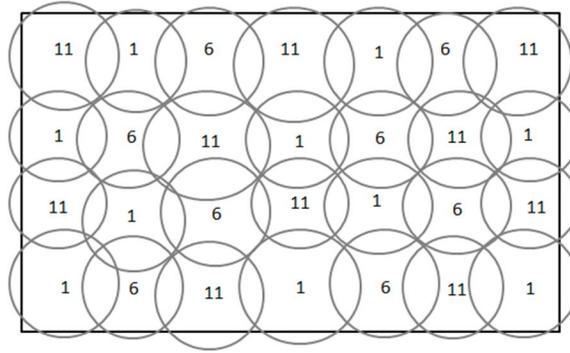
### 3.5.2 Cobertura orientada a máxima tasa de transmisión.

Un diseño de máxima cobertura puede ser útil para ciertas aplicaciones, ¿pero es útil en caso de requerir aplicaciones basadas en video o voz? Para el caso donde el retraso de la señal puede afectar considerablemente, evidentemente la respuesta es no.

Si nos enfocamos a la máxima tasa de transmisión, las células deben ser más pequeñas con respecto a las de un diseño de cobertura orientada a máximo alcance. Con esto tendremos áreas de cobertura de menor tamaño y un número mayor de access points.

Un diseño de este tipo es útil para aplicaciones que usan una tasa de transferencia alta, o cuando existe alta densidad de terminales.

La figura 3.23 muestra una distribución orientada a capacidad. Para este diseño se consideran 28 access points, es decir, el doble de dispositivos que en el diseño anterior, cada número representa el canal en el que está configurado cada dispositivo.



*Figura 3.23 Cobertura orientada a capacidad.*

### 3.6 Resumen.

En este capítulo se describieron los componentes principales de las redes inalámbricas 802.11, dando un peso especial a las antenas, ya que en base a las características de propagación es posible elegir la que mejor se adapte a la necesidad que se tenga. Se da una revisión de la evolución de la seguridad utilizada en las redes 802.11 y se muestran consideraciones importantes para el tema de cobertura.

La elección de la antena adecuada es fundamental para el diseño de una red inalámbrica. Los arreglos o combinaciones de antenas que podemos proponer para una solución son interminables; lo que limitará las combinaciones y hará que una propuesta sea mejor que otra serán factores como costo, redundancia y escalabilidad entre otros.

Un tema que ha tomado gran importancia, y no solamente en las redes inalámbricas, es el de la seguridad; actualmente se lleva a cabo la implementación de esquemas y políticas de seguridad principalmente en empresas (transnacionales), gobierno, instituciones financieras, entre otras. Una década atrás se necesitaba un conocimiento muy alto para poder quebrantar la seguridad de una red 802.11b. Actualmente para realizar esa misma tarea, se necesita muy poco conocimiento ya que se ha desarrollado software con esa finalidad.

## 4 ESTUDIO DE CAMPO Y DISEÑO DE RED.

*Un estudio de campo es el primer paso en el desarrollo de una red inalámbrica; nos da información relacionada con el comportamiento de señal en un área en específico, lo que define las bases para establecer el diseño de una red.*

### 4.1 Estudios de Campo.

Existen varias formas de realizar un estudio de campo, éstas varían de acuerdo a los recursos con los que se cuenta para su realización. Como tal, no existe una receta que podamos seguir para la elaboración de éste, sin embargo, se pueden mencionar los puntos clave para su realización en base a literatura y casos revisados. Dependerá de cada persona el quitar o agregar elementos para obtener los resultados que requiere.

Como se verá más adelante, dependiendo del método seleccionado pueden existir variaciones relacionadas con la cantidad de equipos destinados a la red inalámbrica. Independientemente del estudio de campo en cuestión, la información que esperamos obtener nos permitirá definir lo que se conoce como células; una célula es el área de cobertura que nos proporciona un access point en particular.

#### 4.1.1 Estudio de Campo Manual.

El estudio de campo manual es posiblemente el estudio de campo más común, debido a la cantidad de elementos que se necesitan para realizarlo. El equipo que se necesita para su realización es un access point, antenas y una terminal, además de los aditamentos necesarios para ubicar el access point en la posición deseada.

El procedimiento consiste en caminar a través del área de cobertura y realizar mediciones de señal para definir células. Posteriormente se hablará un poco más de las consideraciones para definir una célula.

Este procedimiento es posiblemente el mejor ya que se obtienen las intensidades de señal de todos los puntos que consideremos relevantes; la única desventaja es la cantidad de tiempo que se le debe de dedicar. En este trabajo se utilizó el estudio de campo manual, como se verá en el siguiente capítulo.

#### 4.1.2 Estudio de Campo Asistido.

Este estudio de campo se basa en la comunicación que existe entre los access points y un controlador centralizado; el controlador ajusta la potencia del access point y el canal de operación. El procedimiento es sencillo, varios access points son colocados en los puntos que se considera convenientes con el fin de obtener la cobertura deseada. Posteriormente los access points automáticamente se ajustan a los niveles adecuados de operación. Manualmente se realizan algunas mediciones de los niveles de potencia utilizando una terminal de mano. Estos

datos son introducidos a un software, con el fin de realizar otro ajuste a la configuración de los dispositivos. En la mayoría de los casos este tipo de método resulta en la utilización de más access points, ya que en algunas partes existirán más elementos de los que deben, pero estarán configurados a una potencia menor para su correcta operación.

#### **4.1.3 Estudio de Campo Teórico.**

Este estudio de campo involucra la utilización de software por lo que requiere información específica del inmueble; dicha información está enfocada a los materiales (información de atenuación) y distribución de la instalaciones (muros, escaleras, puertas, etc.). Básicamente existen dos formas de utilizar el software: en la primera se hace una propuesta de la ubicación de las antenas, y en la segunda el software propone la ubicación de los equipos. Con toda esta información se pueden predecir los niveles de señal en cada una de las áreas.

Para una red inalámbrica pequeña o mediana no resultaría práctico realizar un estudio de este tipo, a menos que se tenga bastante experiencia. Para proyectos que involucren el diseño de varias redes inalámbricas y se tengan similitudes físicas en cuanto a las dimensiones y materiales del inmueble, resulta bastante ventajoso utilizar este tipo de herramientas. Un ejemplo puede ser una cadena de supermercados, restaurantes, bancos, etc.

### **4.2 Preparación para el Estudio de Campo.**

Es indispensable recolectar información que nos ayudará en la realización del estudio de campo. Puede existir una base de documento, pero éste debe ser adaptado a las nuevas condiciones del lugar, de tal forma que recabemos la información necesaria sin omisión alguna. La información que recabemos además de ser solicitada a personas encargadas del tema, debe estar complementada por los usuarios finales, con el fin de no omitir detalles que pudieran ser importantes para el diseño. Una ventaja de recolectar datos resulta en que las personas relacionadas con el proyecto consideren todas las necesidades; de esta forma se exhiben temas que podrían ser requisitos adicionales.

La información más importante que se debe considerar antes de realizar un estudio de campo se describe a continuación.

#### **4.2.1 Lugar y horario para realizar el Estudio de Campo.**

Debe determinarse cuantos sitios requerirán un estudio de campo, lo ideal es definir el horario en el que se podrá realizar, con el fin de no afectar las actividades de los usuarios. De esta forma se puede hacer una proyección del tiempo necesario para realizar el estudio de campo.

#### **4.2.2 Información específica del sitio.**

Se refiere a si es lugar abierto o cerrado, número de pisos, altura de los pisos, cantidad de columnas, porcentaje de stock (si el estudio de campo es para una bodega), temperatura de operación, áreas peligrosas (químicas, uso de gases explosivos, etc.). Dichas consideraciones deben limitar las ubicaciones en las que se pueden instalar los access points, además de tener consideraciones sobre la robustez de los equipos (temperatura, resistencia al agua, etc.)

#### **4.2.3 Requerimientos para el personal que realiza el Estudio de Campo.**

Es posible que el cliente establezca ciertos requerimientos antes de que permita entrar al lugar. En algunos casos ropa especial, tomar algún curso de seguridad, pruebas de alcohol, etc.

#### **4.2.4 Red actual de datos e Interferencia.**

En muchos casos las redes inalámbricas tienen el propósito de ser una extensión de una red cableada, es decir, toda la información de las estaciones que acceden a la red inalámbrica llegará a la red cableada. Por esta razón, es necesario analizar la infraestructura con la que se cuenta para considerar los requerimientos de la instalación de la red inalámbrica.

Por otro lado, si existe una red o dispositivos que operen en la frecuencia de 2.4GHz, será necesario considerarlos para el diseño y en dado caso ver si es factible el uso de 802.11bg. Fuentes comunes de interferencia se deben a redes cercanas que utilizan la misma banda ISM.

#### **4.2.5 Seguridad de la Red.**

En el capítulo anterior se habló de la seguridad Pre-RSNA y RSNA; se estableció bajo que excepciones debe conservarse Pre-RSNA. Es muy importante verificar la compatibilidad de seguridad entre dispositivos, ya que pueden existir protocolos propietarios en esquemas avanzados que den como resultado una incompatibilidad.

#### **4.2.6 Mapa de Cobertura.**

Es importante desarrollar un plano de cobertura, en el que se establezca que áreas serán cubiertas por señal y cuáles no. Sobre este plano se puede anotar las mediciones que se tomen durante la realización del estudio de campo.

#### **4.2.7 Equipo para la realización del Estudio de Campo.**

Existe una gran variedad de equipos que pueden ser utilizados para la realización del estudio de campo. Se deben elegir access points y antenas dependiendo de la zona de cobertura.

Los equipos para la realización del estudio de campo son:

#### *Antenas.*

Lo ideal para la realización de un estudio de campo es llevar consigo la mayor variedad de antenas posible. Un buen entendimiento del funcionamiento de las antenas y del patrón de radiación permite seleccionar la más adecuada. La utilización de un sólo tipo de antena no siempre es conveniente; varios tipos de antenas deben ser incluidas ya que, dependiendo del área, se logra optimizar el diseño de la red.

#### *Dispositivos para mediciones de distancia.*

Una herramienta que es necesaria es un dispositivo para medir distancias. En la mayoría de los casos es necesario agregar medidas a los planos para especificar posiciones de los dispositivos que serán instalados; por esta razón es indispensable tener un dispositivo que permita dicha tarea.

#### *Analizadores de Radiofrecuencia.*

Las ondas de radiofrecuencia se encuentran en todas partes, casi en cualquier ambiente. Por lo tanto, en algunos casos, es necesario observar el ambiente para buscar otras fuentes de radiofrecuencia que operen a la frecuencia de la red que se implementará.

#### *Baterías.*

Cuando se realiza un estudio de campo, generalmente los contactos de energía no están cerca. Una forma que permite tener energía en el access point sin utilizar extensiones es el uso de una batería. Una buena batería puede dar servicio de ocho horas, dando la oportunidad de trabajar sin tener que realizar recargas.

Otra forma de proveer energía a un access point es mediante el uso de una fuente ininterrumpida de poder (UPS) de tal forma que provea corriente alterna. Ésta puede ser muy pesada y su energía disponible puede durar menos de ocho horas.

#### *Cámara Digital.*

Otro dispositivo a considerar para la realización del estudio de campo es una cámara digital. El uso de una fotografía en un reporte puede ahorrar mucho tiempo.

#### *Herramientas de Montado.*

Para realizar las mediciones, las antenas deben estar en una posición que favorezca la señal y que pueda simular la ubicación en la que realmente serán instaladas.

Aunque el montado de las antenas y access points para el estudio de campo es temporal, necesitan estar lo suficientemente seguro, de manera que no se caigan. Lo ideal es utilizar bases para sostener los access points y cinturones para asegurar el equipo.

#### **4.2.8 Software de medición de intensidad.**

Existen herramientas para la realización de un estudio de campo manual. Actualmente la mayoría de las tarjetas inalámbricas vienen provistas con un software que indica la intensidad de la señal proveniente de un access point. Existe software especializado que nos puede brindar mayor información para el caso de las terminales de mano. Es muy común que estos equipos cuenten con una aplicación cargada de fábrica que permite esta tarea.

### **4.3 Realización del Estudio de Campo y Diseño de Red.**

Como se mencionó al principio del capítulo, el objetivo final de la realización del estudio de campo es proveer suficiente información para la realización de un diseño y la instalación de los dispositivos.

La complejidad del estudio de campo dependerá del inmueble, de los requerimientos de los usuarios y de las aplicaciones. Una pequeña oficina puede no requerir un estudio de campo, ya que uno o dos access points pueden proveer la cobertura adecuada. En este caso una simple verificación puede ser lo único que se necesite cuando se instale la red inalámbrica. Cuando un sitio requiere varios access points el estudio de campo es recomendado.

#### **4.3.1 Definiendo los Límites de Células.**

Conforme una estación se aleja del access point al que está asociado, el nivel de la señal proveniente del access point disminuye. Para la realización de un estudio de campo tenemos una gran variedad de dispositivos; a partir de esto, se tiene que pensar qué dispositivo es el adecuado para realizar el estudio de campo.

Para seleccionar el dispositivo que será utilizado en la realización del estudio de campo se deben considerar todos los equipos que ingresarán a la red inalámbrica. Podemos tener PCs, handhelds, blackberries, computadoras portátiles (laptop), impresoras, etc. De toda la lista de dispositivos se debe seleccionar aquel que tenga el peor desempeño; esto con el fin de garantizar su funcionamiento en la red. Por ejemplo, si escogemos una laptop es posible que la tarjeta inalámbrica tenga un mejor desempeño que la de una handheld. La realización del estudio de campo con una laptop garantiza el funcionamiento de ésta en las zonas con cobertura, pero no el de la handheld en las mismas zonas. En general se puede establecer que el resultado de un estudio de campo variará, dependiendo del dispositivo que se haya utilizado.

Para definir la célula debemos considerar el nivel de señal más débil que la estación puede recibir, esto considerando los niveles de transmisión requeridos para que el sistema trabaje sobre la red inalámbrica; por ejemplo, el ancho de banda consumido por una aplicación de voz en comparación a una aplicación web puede ser muy alto.

El umbral del dispositivo en cuestión variará dependiendo del fabricante; la información que nos proporciona la hoja de especificaciones no debe ser tomada como la referencia para definir las células. Es recomendable dar un umbral de operación, por las fluctuaciones que pueden existir en el ambiente.

A continuación se muestran los umbrales de una tarjeta inalámbrica de la marca Cisco. Los valores de sensibilidad pueden variar según el dispositivo. Sin embargo, la mayoría de las veces esta información no está disponible por el fabricante.

Para el desarrollo de un estudio de campo no es recomendable basarse directamente en el valor mínimo de las hojas de datos de los dispositivos. De acuerdo a lo mencionado, los fabricantes recomiendan dejar un 10% a 15% de umbral adicional, por variaciones que pudiera haber en el ambiente. De esta forma, si vamos a implementar una aplicación que funcione a 54Mbps, requeriríamos valores entre -60dBm y -64dBm. Para el caso de aplicaciones de voz se la recomendación es dejar un 20% de umbral adicional.

| Tasa de Transmisión (Mbps) | Umbral Mínimo Absoluto (dBm) |
|----------------------------|------------------------------|
| 54                         | -71                          |
| 36                         | -73                          |
| 34                         | -77                          |
| 12/11                      | -82                          |
| 6/5.5                      | -89                          |
| 2                          | -91                          |
| 1                          | -94                          |

*Tabla 4.1 Valores de sensibilidad para tarjeta Cisco Aironet 802.11abg (fuente: 802.11 Wireless Network Site Surveying and Installation [7]).*

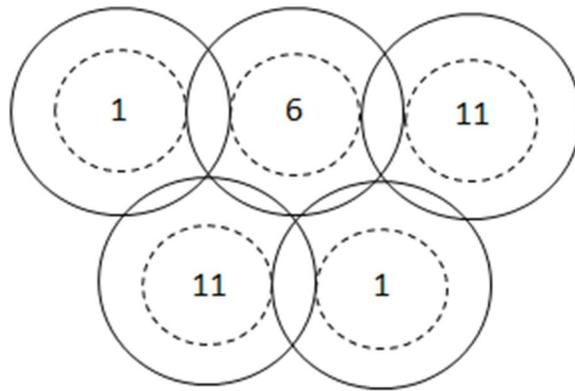
Se puede observar que de acuerdo a la tasa de transmisión deseada podemos buscar el valor mínimo para la realización del estudio de campo, pero de ahí surge otro punto: ¿qué tasa de transmisión se debe utilizar?

La selección de la tasa de transmisión va de acuerdo a la aplicación más demandante de ancho de banda. Una aplicación de voz requerirá tasas de transmisión de 54Mbps y 36Mbps, mientras que una aplicación TELNET solamente una tasa de 11Mbps; si se elige una tasa de operación mayor para la aplicación TELNET funcionará correctamente pero posiblemente implique la

utilización de mayor cantidad de access points, en comparación a los que serían necesarios para operar a la tasa de operación normal.

#### 4.3.2 Traslape entre Células.

Un traslape excesivo entre células puede resultar en interferencia o un cambio continuo de una estación con respecto a un access point. Un traslape recomendado es del 10% al 15% del área de cobertura de la célula, como se puede ver en la siguiente figura.



*Figura 4.1 Traslape de Células (fuente: 802.11 Wireless Network Site Surveying and Installation [7]).*

Por otro lado, dicha consideración nos permite una reasociación adecuada de una estación con respecto a un access point (en caso de que la estación cambie de zona), de tal forma que no se pierda la conexión con el sistema.

Es posible que el traslape de células nos permita la operación de una estación, en la que el dispositivo que suministra los servicios dejó de funcionar. Volvamos a la figura anterior. Pensemos que el dispositivo que provee cobertura a la célula marcada con 6 deja de funcionar. Bajo este ejemplo la zona no tendrá los niveles de potencia requeridos; pero es más probable que, de existir el traslape, una estación tenga conexión al access point.

#### 4.3.3 Método para creación de Células.

Como se vio en párrafos anteriores, a partir de varias consideraciones podemos seleccionar el umbral mínimo para definir los límites de las células. De esta forma tendremos la certeza de que la potencia dentro de la célula es igual o mayor al umbral mínimo establecido.

De acuerdo al tipo de antena que utilizemos el método cambia un poco; primero se considera el uso de antenas omnidireccionales y posteriormente el uso de antenas

semidireccionales. Cualquier caso, por complejo que sea, se puede abordar con una combinación de los métodos mencionados.

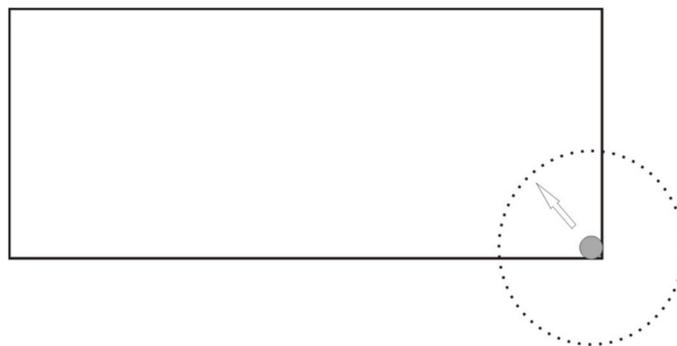
Independientemente de que antena se utilice, el objetivo inicial es ubicarla en un punto en el que no se desperdicie la señal de tal forma que proporcione la mejor cobertura.

Para ejemplificar consideremos que se tiene un inmueble vacío para ambos casos. Si nos enfocamos al uso de las antenas omnidireccionales, lo más recomendable es situarlas cerca de las esquinas y posteriormente en la parte central. En la figura 4.2 se puede observar esto, es decir, se está aprovechando la mayor parte de la señal dentro del inmueble; el punto marcado con gris representa la antena, y la línea punteada la cobertura correspondiente.



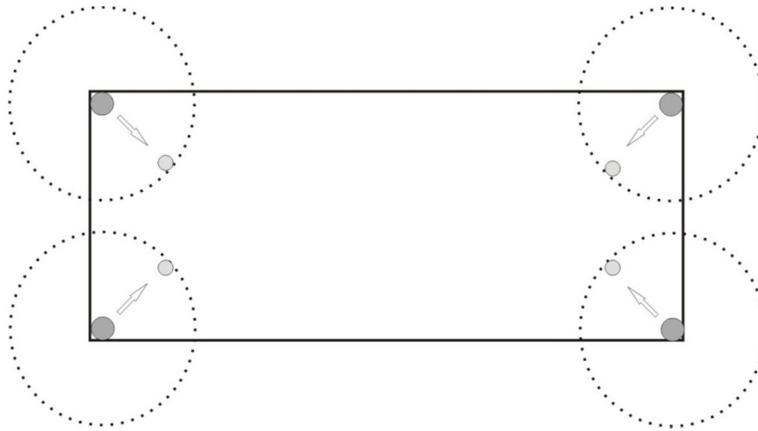
*Figura 4.2 Posición deseada para Antena.*

Si tratamos de ubicar el punto de forma directa es posible que realicemos varios intentos antes de acertar y nos lleve un tiempo considerable. Podemos conocer el punto en dos pasos. Primero se ubica la antena en una esquina y se realizan mediciones para conocer la cobertura que genera. Posteriormente se traza una diagonal de 45 grados para intersectar los límites de la señal radiada. Esto se esquematiza en la figura 4.3.



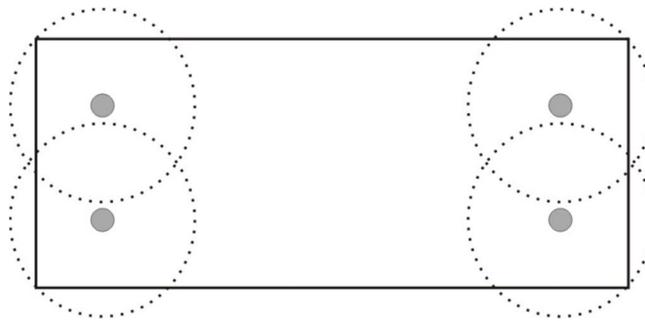
*Figura 4.3 Primera Posición para Estudio de Campo.*

Dicha idea también se puede aplicar a las esquinas restantes, dando como resultado lo que se representa en la figura 4.4.



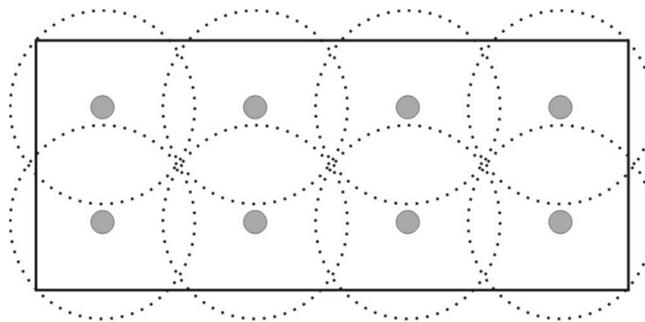
*Figura 4.4 Procedimiento para esquinas.*

En la figura 4.5 podemos observar la ubicación de las antenas en su posición final.



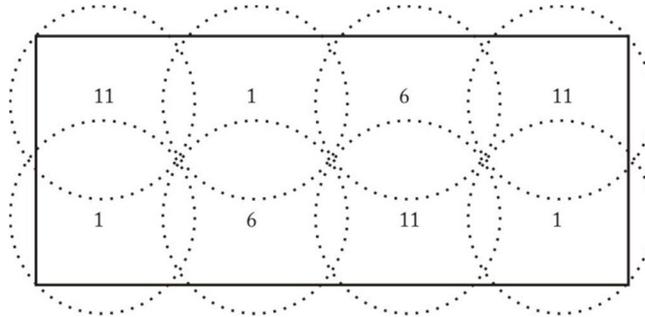
*Figura 4.5 Ubicación de antenas en esquinas.*

Una vez que tenemos la cobertura en las esquinas se procede a cubrir la parte central. Para esto necesitamos conocer la cobertura que nos brinda una sola antena. Con esta información es posible ubicar las siguientes antenas y tomar las medidas correspondientes para tener toda la cobertura del inmueble como se muestra en la figura 4.6.



*Figura 4.6 Ubicación de antenas en inmueble.*

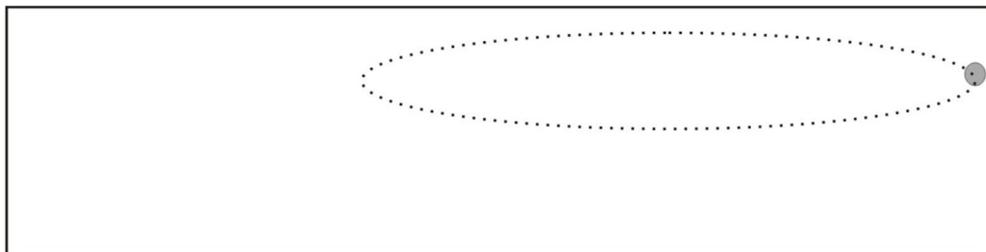
Es importante considerar el traslape recomendado y tener en cuenta los canales de operación. En caso de existir un traslape mayor se puede reducir la potencia suministrada a las antenas o utilizar una antena con menor ganancia. En la figura 4.7 se puede observar la selección de los canales.



*Figura 4.7 Configuración de Canales de Operación.*

El uso de antenas omnidireccionales es muy común. Sin embargo, existen casos en el que su uso no es conveniente, razón por la cual se debe considerar la utilización de antenas semidireccionales.

Consideremos un inmueble vacío con dimensiones mayores al anterior. Para las antenas semidireccionales, de igual forma que las omnidireccionales, se recomienda ubicarlas en las esquinas con el fin de brindar cobertura desde los costados hasta la parte central. En primera instancia es necesario conocer la cobertura que brinda; para esto se coloca la antena un poco alejada de la esquina y se realizan mediciones como se puede ver en la figura 4.8. Como se podrá observar, este paso difiere al utilizado en las antenas omnidireccionales.



*Figura 4.8 Primera Posición para Estudio de Campo.*

Con la información que es obtenida a partir de las mediciones, podemos reducir la potencia de las antenas con la finalidad de cubrir solamente hasta la mitad del largo del inmueble y ubicarla lo más cerca de la esquina, de tal forma que se aproveche la señal que radia. Esto se esquematiza en la figura 4.9.

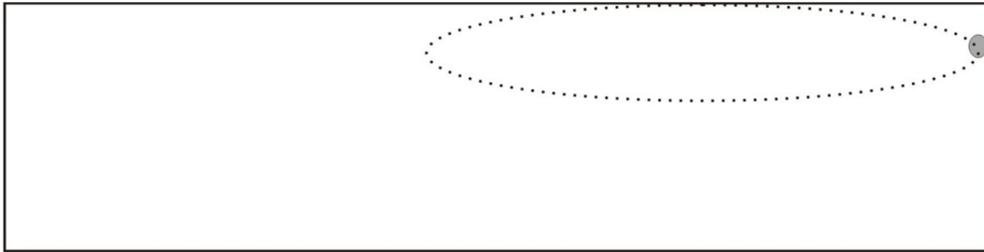


Figura 4.9 Procedimiento para esquinas.

Si consideramos la cobertura que brinda una antena, podemos realizar un diseño simétrico de tal forma que se coloquen las antenas de forma encontrada. En la figura 4.10 se aprecia lo mencionado.

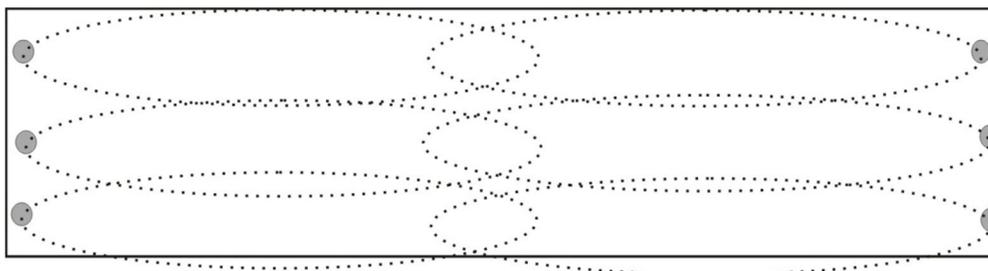


Figura 4.10 Procedimiento para esquinas y parte central.

Posteriormente deben seleccionarse los canales de operación lo cual puede observarse en la figura 4.11.

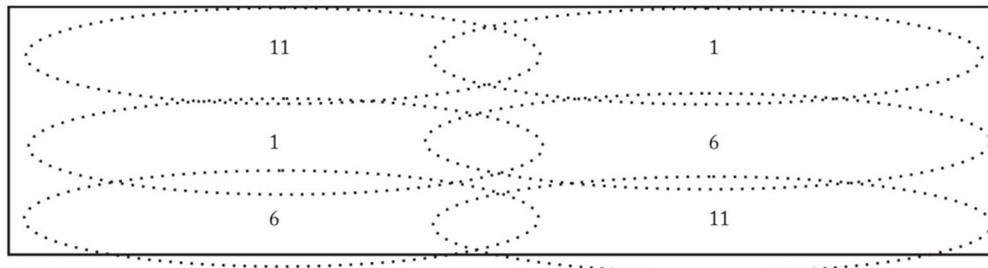
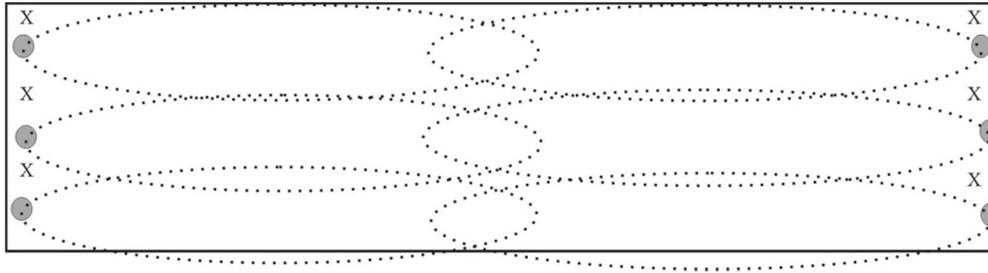


Figura 4.11 Configuración de Canales de Operación.

A partir de la figura 4.12 se puede observar que se tiene una cobertura prácticamente nula en las zonas marcadas con "X", debido a que la señal que radia la antena en la parte posterior es muy débil. Para casos en los que sólo se requiere cobertura entre pasillos resulta práctico utilizar diseños como éste, sin embargo es importante considerar las limitantes que se tienen.



*Figura 4.12 Cobertura Nula.*

Cualquier caso, se puede tratar como una combinación de los dos ejemplos mostrados, es decir, con la utilización de antenas omnidireccionales y antenas semidireccionales. La selección de los elementos dependerá de cada persona, pudiendo tener los mismos resultados en desempeño pero tal vez no en cantidad de elementos o posición de dispositivos.

Pueden existir casos más complejos (edificios, centros comerciales, etc.) en los que sea necesario considerar un análisis tridimensional. En estas situaciones es importante tomar mediciones en pisos adyacentes para verificar la cobertura y tener en cuenta la posible interferencia que pueda existir entre los canales.

#### 4.4 Documentación del Estudio de Campo.

Conforme se registran los datos y se completa el estudio de campo, es crucial conservar la información necesaria y ordenarla por células para facilitar el reporte final. En el reporte final generalmente se muestran planos, mediciones de señal, posiciones para los access points, antenas, condiciones de la bodega, información relacionada con interferencia, condiciones de infraestructura, diagramas de cobertura, etc.

#### 4.5 Resumen.

En este capítulo se analizaron los estudios de campo más comunes y se describieron los procedimientos para ubicar las antenas y formar lo que se conoce como células.

Si se considera el costo y la información relacionada con el comportamiento de la señal que nos brinda, el estudio de campo manual resulta el más conveniente ya que involucrará el uso de la cantidad mínima de equipos y la exactitud que presenta es la mejor. Para la realización de cualquier estudio de campo, una consideración fundamental es la tasa de transmisión mínima requerida. El realizar una mala selección del límite de la célula, resultará en un diseño que no cumpla con la funcionalidad esperada. Pueden existir casos particulares en los que si se tienen mismas características físicas (mismos materiales, misma distribución de espacios, etc.), un estudio teórico resulta beneficioso.

## 5 DESARROLLO DE DISEÑO DE RED.

*En este capítulo se describe el procedimiento llevado a cabo para el estudio de campo. Se propone el diseño de una red inalámbrica 802.11b para un centro de distribución de maquilado de ropa cuya área total es de 8000m<sup>2</sup>, tomando como base lo expuesto en el capítulo anterior.*

### 5.1 Realización del Estudio de Campo.

Se tomó la decisión de realizar un estudio de campo manual por la simplicidad del lugar; de haber utilizado cualquiera de los otros métodos se tendría el mismo resultado, pero hubiera sido complicado realizarlo por los elementos que involucra, ya sea software especializado o access points con características que soporten un estudio asistido. Como se ha mencionado, no existe una fórmula para la realización del estudio de campo; para este trabajo se han seleccionado los elementos que se consideran más importantes para su realización.

#### 5.1.1 Estudio de Campo Manual.

Para la realización del estudio de campo, en primera instancia se define el umbral mínimo absoluto de 74dBm. Para la handheld MC9090 de Motorola no está disponible la información técnica en la que se muestre la sensibilidad del dispositivo. Los valores que se toman como referencia para definir el umbral fueron obtenidos a partir de la literatura, los cuales fueron mencionados en el capítulo anterior. En la siguiente tabla se muestran nuevamente dichos valores.

| Tasa de Transmisión (Mbps) | Umbral Mínimo Absoluto (dBm) |
|----------------------------|------------------------------|
| 54                         | -71                          |
| 36                         | -73                          |
| 34                         | -77                          |
| 12/11                      | -82                          |
| 6/5.5                      | -89                          |
| 2                          | -91                          |
| 1                          | -94                          |

*Tabla 5.1 Valores de sensibilidad recomendados (fuente: 802.11 Wireless Network Site Surveying and Installation [7]).*

La tasa requerida para definir nuestro umbral mínimo es de 11Mbps, ya que las aplicaciones TELNET para handheld utilizan una tasa de transmisión cercana a ésta. De la tabla anterior se obtiene un valor de -82dBm; si consideramos una holgura del 10% obtenemos el valor de -74dBm.

### **5.1.2 Zona de Cobertura.**

Obtener esta información implica realizar las preguntas correctas e involucrar a las personas adecuadas; por lo general se entrevista al responsable del centro de distribución para conocer las zonas donde se requiere señal. En particular, en el caso aquí tratado, se requiere señal en toda la bodega.

### **5.1.3 Análisis de Interferencia.**

Antes de iniciar la toma de mediciones con el access point, se verificó que no existieran fuentes de interferencia; éstas pueden ser otras redes inalámbricas que operen a la frecuencia de 2.4GHz o algún dispositivo que opere a dicha frecuencia, pudiendo ser teléfonos celulares, dispositivos Bluetooth y hornos de microondas.

### **5.1.4 Equipo utilizado para la realización del Estudio de Campo.**

Para la realización del estudio de campo se utilizó un montacargas, una tarima de madera, cinturones, extensiones eléctricas, un access point Cisco con fuente de energía, dos antenas omnidireccionales (5.2dBi) y una handheld Motorola MC9090.

El access point que se utilizó es de la marca Cisco modelo AP1240, se seleccionó este dispositivo porque es relativamente económico y puede funcionar de forma autónoma sin depender de un controlador, además de contar con radios abg.

La selección de las antenas omnidireccionales se debe a las características de propagación que tienen y a la distribución del espacio de la bodega (no tiene pasillos considerados como largos).

Se seleccionó la handheld MC9090 por su robustez, compatibilidad con aplicaciones TELNET y por poseer radios bg.

### **5.1.5 Obtención de Mediciones y Plano de Cobertura.**

Las mediciones de señal durante el estudio de campo se realizaron en condiciones cercanas a las de operación del centro de distribución sin embargo no las definitivas. Para garantizar la cobertura necesaria para las condiciones finales de operación es necesario tener cierta holgura. Puede haber variaciones en el resultado de las mediciones de radiofrecuencia en una bodega que contenga contenedores, racks, bandas de producción, etc. comparado contra esa misma bodega pero encontrándose completamente vacía.

Para simular la altura en la que quedarán fijas las antenas se utilizó el montacargas con una tarima. Si las antenas no son ubicadas en el techo de la bodega o tienen una orientación errónea, se podría desperdiciar parte de la señal.

En la figura 5.1 se muestra un plano de la bodega y los puntos donde fueron tomadas las mediciones.

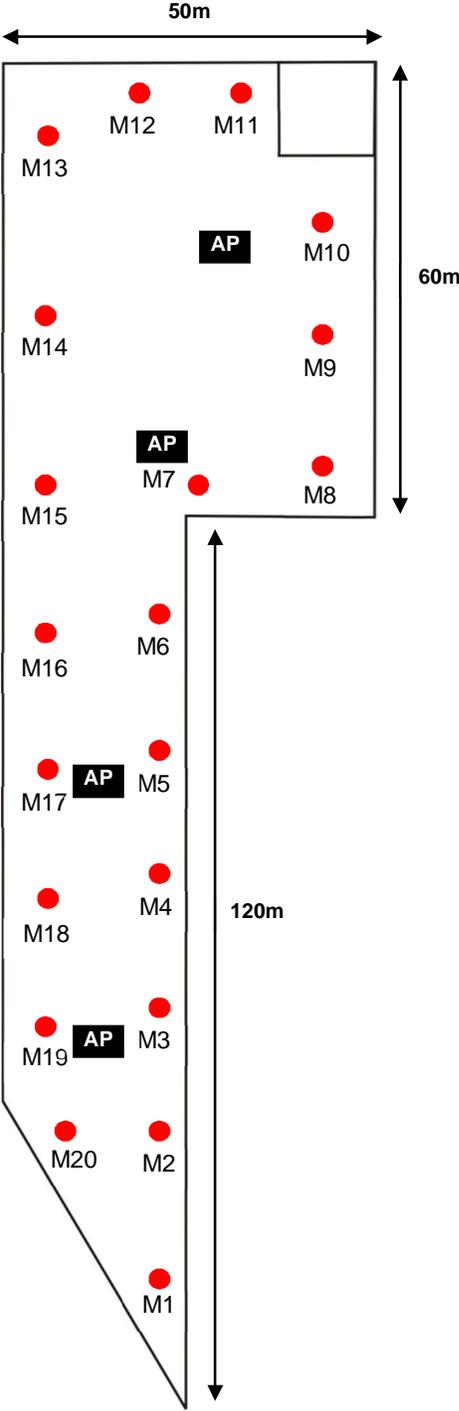


Figura 5.1 Plano de Bodega con indicación de mediciones.

En la siguiente tabla se muestran las mediciones realizadas, las cuales fueron tomadas en los puntos donde se puede perder la señal. Cuatro access points con dos antenas cada uno, fue suficiente para dar la cobertura necesaria.

| <b>Medición</b> | <b>Valor (dBm)</b> |
|-----------------|--------------------|
| M1              | -66                |
| M2              | -54                |
| M3              | -52                |
| M4              | -53                |
| M5              | -52                |
| M6              | -55                |
| M7              | -50                |
| M8              | -60                |
| M9              | -57                |
| M10             | -56                |
| M11             | -55                |
| M12             | -58                |
| M13             | -59                |
| M14             | -55                |
| M15             | -54                |
| M16             | -56                |
| M17             | -50                |
| M18             | -54                |
| M19             | -50                |
| M20             | -65                |

*Tabla 5.2 Mediciones Realizadas.*

### **5.1.6 Diseño de Red y Condiciones de Infraestructura.**

En esta sección se propone un diseño de red muy sencillo. En este caso la red inalámbrica es una extensión de la parte cableada; las dos pueden convivir perfectamente. En general es necesario hacer una revisión de los elementos que componen la red cableada para ver que se cuenten con los servicios necesarios. El análisis de la parte cableada queda fuera del propósito de este trabajo, sin embargo se hace énfasis en establecer que el access point requiere servicios de red y energía.

A continuación, en la figura 5.2, se muestra el diseño de la red inalámbrica y se ejemplifica como pudiera ser parte de la red cableada. Este diseño de la red permite visibilidad entre los elementos de cada una.

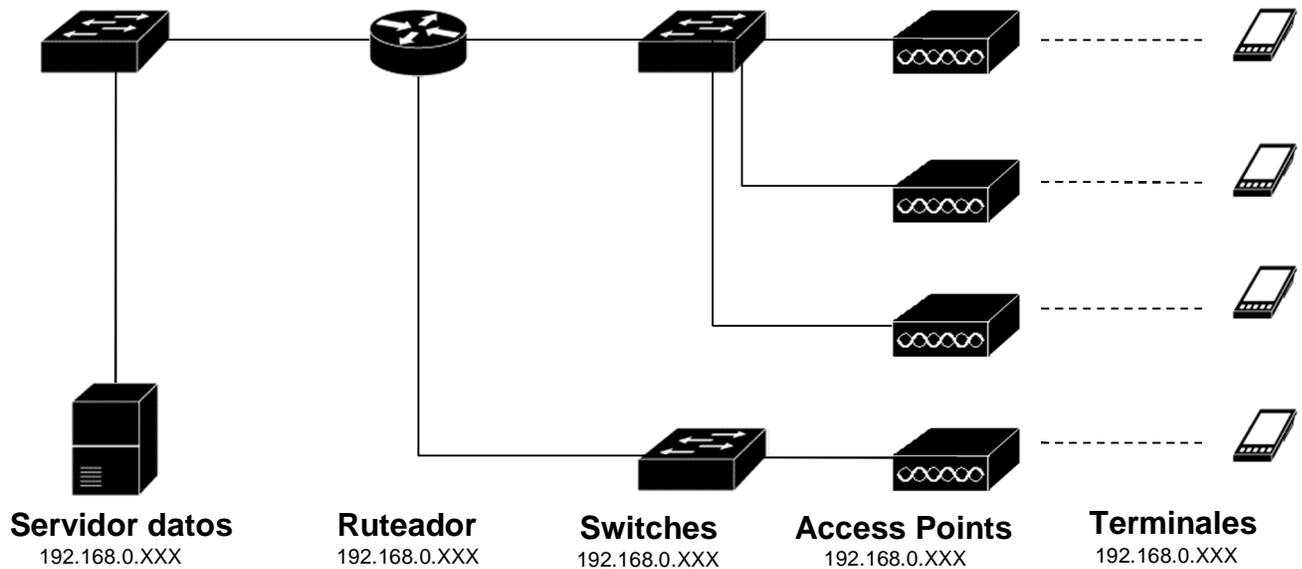


Figura 5.2 Diseño de Red.

## 5.2 Propuesta de Equipos.

De acuerdo al estudio de campo analizado, podemos determinar la cantidad de equipos necesarios para obtener la cobertura deseada en los espacios definidos.

### 5.2.1 Access Point.

Una consideración muy importante para la elección de los equipos es la compatibilidad entre los dispositivos y su robustez. Cisco, además de ser una empresa líder en el campo de la tecnología inalámbrica, cuenta con equipos que satisfacen las necesidades de diseño que se requieren para este trabajo. De las mediciones mostradas en los párrafos anteriores se puede observar que el uso de cuatro access points es suficiente para dar la cobertura necesaria.



Figura 5.3 Access Point Cisco AP1240.

### 5.2.2 Antenas.

Se ha hablado bastante de las antenas omnidireccionales; entendiendo las características de radiación de éstas se puede justificar su utilización. Para tratar el fenómeno de multitrayectoria, a cada access point se le deben conectar dos antenas. A continuación se muestra una imagen de la antena mencionada.



*Figura 5.4 Antena Omnidireccional.*

### 5.3 Recomendaciones de Seguridad.

Como se mencionó en capítulos anteriores existe seguridad Pre-RSNA y RSNA. A causa de las debilidades que presenta Pre-RSNA se propone el uso de elementos RSNA: autenticación abierta, WPA y cifrado de datos TKIP.

Para una empresa pequeña o mediana no se requiere una seguridad más compleja. De requerirla, involucraría elementos adicionales para el proceso de autenticación y posiblemente una elevación en el costo.

### 5.4 Resumen.

En este capítulo se describió el procedimiento que fue llevado a cabo para la realización del estudio de campo, en base a esto se propone el diseño de una red inalámbrica.

Es común encontrar en la literatura una lista de pasos para la realización de un estudio de campo. Se puede decir que no hay una lista general, pero que es una muy buena práctica seguir estos pasos ya que ahorra tiempo y es aplicable para muchos de los casos.

En relación a la selección de equipos, se tomó como criterio las características de los equipos en relación al estándar 802.11b ya que es suficiente para soportar una aplicación de emulación de terminal. Con el conocimiento de la tecnologías inalámbricas (802.11b), es posible valorar las características de los equipos y de esta forma no estar atado a una marca en particular.

## 6 Conclusiones y Comentarios.

A lo largo de este trabajo se han revisado los conceptos más importantes para fundamentar la propuesta de una red inalámbrica y conocer las antenas disponibles para redes inalámbricas locales 802.11 (2.4Ghz). El contar con los conceptos básicos para analizar los temas relacionados con las redes 802.11 nos facilita enormemente su entendimiento.

Los modelos de propagación utilizados para interiores y exteriores son útiles para la predicción del comportamiento de las ondas electromagnéticas. Estos modelos son implementados en software dedicado para la realización de estudios de campo. El uso de estos modelos nos puede ayudar en la realización de diseños, sin embargo deben considerarse las limitaciones de dichos modelos en las predicciones de comportamiento en ambientes hostiles (muchos obstáculos para la señal de las ondas electromagnéticas).

El uso de los estándares ha permitido la compatibilidad de dispositivos de diferentes marcas. El éxito de las tecnologías 802.11 se debe en gran medida a sus estándares; estos permiten seguir construyendo conocimiento que puede ser aprovechado por tecnologías 802.11.

En relación a la elección de los componentes de las redes 802.11 se dio una gran importancia a las antenas. De esta revisión se puede concluir que el patrón de radiación de una antena y la ganancia son los elementos que nos permiten realizar su selección. Para el caso de la selección de la tecnología, las tasas de transmisión de las aplicaciones juegan un papel muy importante para la justificación de su elección. Para este caso, el uso de tecnología 802.11b es suficiente, independientemente de que haya tecnologías con mucha mayor capacidad de transmisión como sería el caso de 802.11n. Si no se toman en cuenta estas consideraciones, posiblemente se incurrirán en errores para diseños de aplicaciones de voz y video. Con el conocimiento detallado de la tecnología 802.11, es posible analizar las características de los equipos e incluso incursionar en otras tecnologías inalámbricas.

La seguridad es uno de los puntos que han tomado mucho interés en las redes inalámbricas 802.11. Existen esquemas que presentan dificultad por problemas de compatibilidad de equipos, por lo que es recomendable hacer pruebas de comunicación con los equipos propuestos antes de realizar una compra o implementación. Las debilidades, en relación a seguridad, se han visto aprovechadas indebidamente debido a la disponibilidad e infinidad de software que está disponible. Actualmente, es posible quebrantar esquemas de seguridad que se pensaba que eran seguros una década atrás.

Es común encontrar en la literatura una lista de pasos para la realización de un estudio de campo; si se compara información de varios libros, se puede ver que estos puntos siguen una estructura parecida. Los puntos más importantes y que comúnmente he utilizado fueron los que quedaron enlistados en el capítulo 4, pero

es un hecho que no hay una metodología general. En un inicio, los puntos (para la realización del estudio de campo) los ejecutaba de forma intuitiva y desordenada. Adentrándome más en el tema (revisando literatura) mejoré algunos de ellos. Posteriormente, quedaron solamente los puntos que me resultaban necesarios.

El estudio de campo manual es posiblemente el más utilizado por su facilidad y resultados, sin embargo no se puede decir que éste sea el mejor método. El mejor método será aquel que se adapte mejor a la situación de interés. Si se tiene una bodega en la que se requieran dos access points el estudio de campo manual será el más adecuado; por medio de un estudio de campo teórico se puede llegar al mismo resultado pero involucrará más trabajo. Ahora bien, pensemos en una cadena de hoteles o restaurantes que tienen muchas similitudes en cuestión de materiales y distribución. El estudio de campo teórico será ideal debido a que sólo se necesitará estar en una instalación una sola vez para conocer la información relevante para la realización del estudio de campo teórico. Este resultado servirá de base para estudios de campo posteriores sobre una instalación similar sin necesidad de desplazarse al sitio en cuestión; no hay duda que por medio del estudio de campo manual se podrá llegar al mismo resultado pero se tendrá que dedicar un tiempo mucho mayor.

A través de este trabajo se ha dado un enfoque teórico-práctico, con un peso muy importante en la elección de los elementos para la realización del estudio de campo y su ejecución. Como se puede observar en el diseño de la red inalámbrica, ésta es una extensión de la red cableada. Existen aplicaciones en las que las redes inalámbricas han llegado a sustituir a las redes cableadas, pero todo indica que ésta no es la tendencia sino más bien la unificación de redes y servicios.

## 7 Bibliografía.

1. 3Com, IEEE 802.11b Wireless LAN, White Paper, 2003.
2. Amphenol, Amphenol Jaybeam Product Catalogue - (Europe, Africa and Middle East). < <http://www.amphenol-jaybeam.com/tech-lib-list.php>>. [01/08/2011].
3. Ángel Cardama Aznar, Lluís Jofre Rocca, Juan Manuel Ruis Casals, Jordi Romeo Robert, Sebastián Blanch Boris, Miguel Ferrando Bataller. Antenas, Alfaomega, 2004.
4. Andrew Tanenbaum, Redes de Computadoras, PEARSON, 1997.
5. Bernhard H. Walke, Stefan Mangold, Lars Berlemann. IEEE 802 Wireless Systems, Wiley, 2006.
6. Broadcom, 802.11n: Next-Generation Wireless LAN Technology, White Paper, 2006.
7. Bruce E. Alexander, 802.11 Wireless Network Site Surveying and Installation, Cisco Press, 2004.
8. Bruce Schneier, Applied Cryptography, John Wiley & Sons, 1996.
9. Cisco, Cisco Aironet Antennas and Accessories Reference Guide. <[http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/wireless/ps7183/ps469/product\\_data\\_sheet09186a008008883b.html](http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/wireless/ps7183/ps469/product_data_sheet09186a008008883b.html)>. [01/08/2011].
10. Cisco, Antenna Patterns and Their Meaning, White Paper, 2007.
11. Cisco, Cisco Wireless LAN Course, Cisco Press, 2001.
12. Eric Geier, Wi-Fi Hotspots, Cisco Press, 2003.
13. Fawwaz T. Ulaby. Fundamentals of Applied Electromagnetics, Pearson Prentice Hall, 2004.
14. Francis A. Jenkis, Harvey E. White. Fundamentals of Optics. McGraw-Hill Kogakusha, Ltd, 1976.
15. Hsiao-Hwa Chen, Mohsen Guizani. Next Generation Wireless Systems and Networks, John & Wiley Sons, Inc, 2006.
16. Jean-Marc Chaduc, Gerard Pogorel. The Radio Spectrum, ISTE Ltd and John Wiley & Sons, Inc, 2005.
17. Jim Geier, Wireless Networks First-Step, Cisco Press, 2004.

18. Jim Zyren, IEEE 802.11g Explained, White Paper, 2001.
19. John S. Seybold. Introduction to RF Propagation, John Wiley & Sons, Inc, 2005.
20. Jorge Olenewa, Mark Ciampa. Wireless# Guide to Wireless Communications, Thomson Course Technology, 2007.
21. Kazimierz Siwiak, Yasaman Bahreini, Radiowave Propagation and Antennas for Personal Communications, Artech House, 1998.
22. LAN/MAN Standards Committee, IEEE Standard for Information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - Specific requirements, 2007.
23. L-com, 2.4 GHz Antennas. <<http://www.l-com.com/item.aspx?id=22075>>, <<http://www.l-com.com/item.aspx?id=22074>>. [01/08/2011].
24. Matthew Gast, 802.11 Wireless Networks the Definitive Guide, O'Reilly, 2005.
25. Mischa Schwartz, Mobile Wireless Communications, Cambridge University Press, 2005.
26. Motorola, Motorola Enterprise Wireless LAN Antennas. <[http://www.motorola.com/web/Business/Products/Wireless%20LAN%20Devices/WLAN%20Access%20Points/AP%205181/\\_Documents/Static%20Files/Brochure\\_WID\\_Antennas\\_New.pdf](http://www.motorola.com/web/Business/Products/Wireless%20LAN%20Devices/WLAN%20Access%20Points/AP%205181/_Documents/Static%20Files/Brochure_WID_Antennas_New.pdf)>. [01/08/2011].
27. Natalia Olifer, Victor Olifer. Computer Networks, John Wiley & Sons, Ltd, 2005.
28. Pahlavan Krishnamurthy, Kaveh Pahlavan. Principles of Wireless Networks, Prentice Hall PTR, 2002.
29. Pejman Roshan, Jonathan Leary. 802.11 Wireless LAN Fundamentals, Cisco Press, 2003.
30. Pejman Roshan. A Comprehensive Review of 802.11 Wireless LAN Security and the Cisco Wireless Security Suite, White Paper, 2002.
31. Perahia Eldad, Stacey Robert. Next Generation Wireless LANs, Cambridge University Press, 2008.
32. Priscilla Oppenheimer, Joseph Bardwell. Troubleshooting Campus Networks - A Practical Analysis of Cisco and LAN Protocols, Wiley Publishing, 2002.
33. Sean Convery, Darrin Miller, Sri Sundaralingam. Cisco SAFE: Wireless LAN Security in Depth, White paper, 2003.
34. Silvia Hagen. IPv6 Essentials, O'Reilly, 2006.

35. Simon R. Saunders, Alejandro Aragón Zavala, Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems, John Wiley & Sons, Ltd, 1999.
36. Terry W. Ogletree, Mark Edward Soper. Upgrading and Repairing Networks, Que, 2006.
37. Toby J. Velte, Anthony T. Velte. Cisco 802.11 Wireless Networking Quick Reference, Cisco Press, 2005.
38. Tyson Macaulay. Hardening IEEE 802.11 Wireless Networks, White Paper, 2002.
39. William Wheeler. Wireless Technology in the Enterprise, Elsevier Digital Press, 2004.