

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.

Banda	Denominación	Frecuencia	Longitud de Onda.
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 (λ), 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 λ 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

η_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:

λ : 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*.^{*} 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

λ : 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:^{**}

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

Donde:

N: Coeficiente de pérdida de distancia

f: Frecuencia expresada en MHz.

d: Distancia

L_f(n): Factor de pérdida de penetración de piso que se encuentra en función de n

n: Número de pisos entre el transmisor y receptor

^{*} John S. Seybold. Introduction to RF Propagation, John Wiley & Sons, Inc, 2005, p. 45.

^{**} 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_f(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_{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.