

Capítulo II

Modelos de propagación

Hasta el momento se ha presentado la teoría de las ondas electromagnéticas y de algunos comportamientos para diferentes medios. En este capítulo se explicarán brevemente algunos de los modelos de propagación que existen. Estos modelos de propagación predicen las pérdidas en decibeles de la potencia en un ambiente muy singular. Como se presentará a continuación, algunos de estos modelos no se usan prácticamente y sólo se presentan como una base teórica para introducirnos a modelos más complejos. Los modelos a menudo se basan en modelos probabilísticos. Estos modelos probabilísticos pueden entonces calcular con una probabilidad de que la señal llegue o no llegue. Algunos de estos modelos se basan en mediciones realizadas en el lugar de interés. Se toman miles de mediciones que se promedian y se pueden entonces establecer los modelos de propagación en estos medios. De esta forma cada modelo sirve para cada entorno. Algunos de estos modelos pueden servir de base para otros modelos es por eso que no se puede separar las teorías matemáticas de la información estadística que se puede adquirir del medio de interés.

2.1 Modelo de Friis

El modelo de Friis ya se ha explicado anteriormente. Se deduce de las ecuaciones de Maxwell y permite calcular la potencia recibida a cierta distancia en condiciones ideales, es decir, sin obstáculos de ninguna naturaleza.

$$L = 32.44 + 20\log_{10} r + 20\log_{10} f \quad (2.1)$$

Dónde:

L : Las pérdidas por trayectoria en dB

f : Frecuencia en Mhz

d : Distancia en Kilómetros

2.2 Modelo de dos Rayos

Este modelo es útil para conocer la reflexión de las señales sobre la tierra, se base en óptica geométrica.

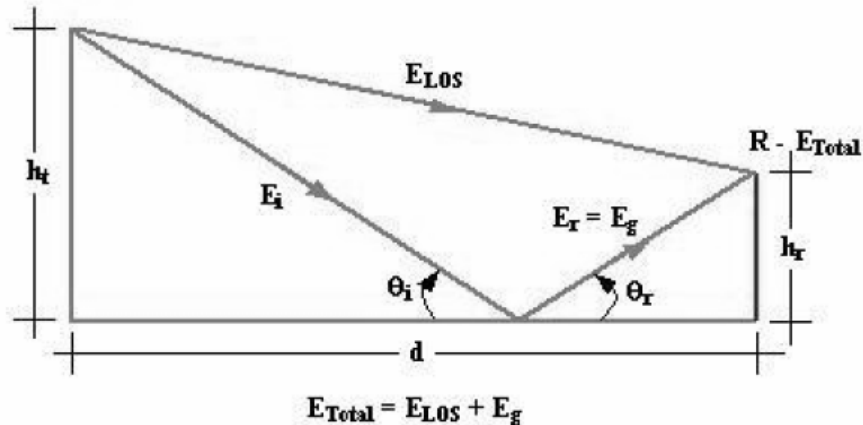


Figura 2.1 Parámetros básicos para modelo de dos rayos [21].

Toma en cuenta la altura de las antenas receptora y transmisora y si ecuación matemática para calcular la potencia es:

$$P_r = \frac{P_t G_r G_t h_r^2 h_t^2}{d^4} \quad (2.2)$$

Dónde :

P_r : Potencia recibida en Watts

P_t : Potencia transmitida en Watts

G_r : Ganancia de la antena receptora

G_t : Ganancia de la antena transmisora

h_r : Altura de la antena receptora en metros

h_t : Altura de la antena transmisora en metros

d : Distancia en kilómetros

Y las pérdidas por propagación:

$$L_p (dB) = 40 \log d - (10 \log G_t + 10 \log G_r + 20 \log h_r + 20 \log h_t) \quad (2.3)$$

Dónde:

L_p : Pérdidas por trayectoria en DB

d: Distancia en kilómetros

G_r : Ganancia de la antena receptora dB

G_t : Ganancia de la antena transmisora dB

h_r : Altura de la antena receptora en metros

h_t : Altura de la antea transmisora en metros

2.3 Modelo Okumura

Este modelo se utiliza para ambientes urbanos dentro de las frecuencias de 150Mhz a 1920Mhz. Las pérdidas en este modelo se calculan con la ecuación siguiente:

$$L_p (dB) = L_F + A_{mu} - G(h_{te}) - G(h_{re}) - G_{area} \quad (2.4)$$

Dónde:

L_p : Pérdidas por trayectoria en decibeles

L_F : la atenuación por el espacio libre

A_{mu} : Atenuación relativa promedio

$G(h_{te})$: Ganancia de la altura de la antena de TX

$G(h_{re})$: Ganancia de la altura de la antena RX

G_{area} : Ganancia debida al tipo de ambiente

Okumura encontró que $G(h_{te})$ tiene una variación de pérdidas de 20dB/década y que $G(h_{re})$ tiene una variación de 10dB/década para alturas menores de 3m [13].

$$G(h_{re}) = 20 \text{Log}(h_{te} / 200) \text{ para } 30\text{m} < h_{te} < 1000\text{m} \quad (2.5)$$

$$G(h_{re}) = 10 \text{Log}(h_{te} / 3) \text{ para } h_{re} < 3\text{m} \quad (2.6)$$

$$G(h_{re}) = 20 \text{Log}(h_{te} / 3) \text{ para } 3\text{m} < h_{re} < 10\text{m} \quad (2.7)$$

2.4 Modelo Okumura-Hata

Este modelo se basa en los datos de pérdidas por propagación de Okumura y es válido en las frecuencias de 150Mhz a 1500Mhz, la altura de la antena transmisora debe estar en el rango de 30 a 200 metros y la altura de la antena receptora de 1 a 10 metros. La ecuación de pérdidas es:

$$L_{50}(\text{urbano})(dB) = 69.55 + 26.16 \log f_c - 13.82 \log h_{te} - a(h_{re}) + (44.9 - 6.55 \log d) \quad (2.8)$$

En la ecuación 2.5 se deben tomar en cuenta ciertas restricciones:

- $150\text{Mhz} < f_c < 1500\text{Mhz}$
- $30\text{ m} < h_{te} < 200\text{m}$
- $1\text{m} < h_{re} < 10\text{m}$

Donde:

f_c : Frecuencia de la portadora en Mhz

h_{te} : Altura de la antena transmisora en metros para un rango de 30 a 300 metros

h_{re} : Altura de la antena receptora en el rango de 1 a 10 metros

$a(h_{re})$: Factor de corrección por la altura efectiva del móvil que es función del tipo de área de servicio.

d : Distancia entre el transmisor y el receptor en kilómetros.

La variable nueva con respecto del Okumura es el factor de corrección por altura efectiva del móvil $a(h_{re})$, este factor es dependiente de la zona de cobertura.

Se pueden definir diferentes valores de $a(h_{re})$ para diferentes ambientes de propagación. El valor $a(h_{re})$ para ciudades pequeñas y medianas es:

$$a(h_{re}) = (1.1 \log f_c - 0.7) a(h_{re}) - (1.56 \log f_c - 0.8) \quad (2.9)$$

Para un ambiente suburbano la ecuación para calcular $a(h_{re})$ es:

$$a(h_{re}) = L_{50}(\text{urbano}) - 2[\log(f_c/28)]^2 - 5.4 \quad (2.10)$$

Para áreas rurales se utiliza la siguiente ecuación para encontrar $a(h_{re})$:

$$a(h_{re}) = L_{50}(\text{urbano}) - 4.78(\log f_c)^2 + 18.33 \log f_c - 40.94 \quad (2.11)$$

Para ciudades grandes se utilizan diferentes ecuaciones dependiendo del valor de la frecuencia.

$$a(h_{re}) = 8.29(\log 1.54h_{re})^2 - 1.1 \text{ para } f_c < 300\text{Mhz} \quad (2.12)$$

2.5 Modelo Walfish-Bertoni

Este modelo utiliza modelos de difracción y se logra obtener la potencia media que llega al móvil cuando se encuentra a nivel del suelo. Este modelo considera el efecto de techos y altura de edificios. Las pérdidas se representan en tres factores.

Las pérdidas por trayectoria se representan como S

$$S = P_0 \cdot Q^2 \cdot P_t \quad (2.13)$$

Donde:

P_0 : Pérdida del espacio libre por antenas isotrópicas

$$P_0 = \left[\frac{\lambda}{4 \cdot \pi \cdot R} \right] \quad (2.14)$$

Q^2 : Atenuación existente a nivel de los techos, a causa del número variable de construcciones que pueda provocar un efecto de *shadowing* para el receptor.

P_t : Representa las pérdidas por difracción que existen en la señal. Las pérdidas son tomadas desde el techo hasta el nivel del suelo.

La ecuación 2.12 presenta las pérdidas por trayectoria

$$L_p(\text{dB}) = L_o + L_{rts} + L_{ms} \quad (2.15)$$

Donde:

L_p : Pérdidas por trayectorias en dB

L_o : Son las pérdidas en el espacio libre

L_{rts} : Representa las pérdidas por difracción que existen en la señal.

L_{ms} : Es la atenuación que existe a nivel de los techos a causa de del número de construcciones que pueden generar un efecto de ensombreamiento.

2.6 Modelo Walfisch-Ikegami

Este modelo es más complejo y se basa en parámetros como densidad de edificios en ambientes urbanos, altura promedio de los edificios, altura de las antenas, anchura de las calles, separación entre los edificios, dirección de la calle con respecto a la trayectoria directa de la antena transmisora y antena receptora. Es un modelo híbrido para sistemas celulares de PCS de corto alcance, y puede ser utilizado en las bandas UHF y SHF. Se utiliza para predicciones en micro células para telefonía celular[14].

El modelo se también se utiliza para ambientes urbano denso y se base n diversos parámetros como lo son:

- densidad de los edificios
- altura promedio de los edificios
- altura de antenas menor a los edificios (h_{roof})
- anchura de las calles (w)
- separación entre los edificios (b)
- dirección de las calles con respecto a la trayectoria de la antena transmisora y el móvil

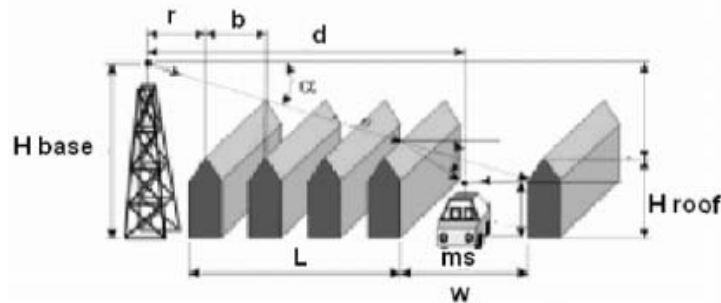


Figura 2.2 Multi trayectoria de una señal propagada [21].

Las pérdidas se modelan en las ecuaciones siguientes:

- 1) Cuando hay línea de vista en las antenas:

$$L_p(dB) = 42.6 + 26\log(d) + 20\log(f) \quad (2.16)$$

- 2) Cuando no hay línea de vista

$$L_b = L_o + L_{rts} + L_{msd} \quad (2.17)$$

Dónde

L_o : Pérdidas por el espacio libre

L_{rts} : Pérdidas por difracción de múltiples esquinas de los techos de los edificios

L_{msd} : Pérdidas debido a una única difracción final cuando la onda se propaga hacia la calle.

El valor de L_b puede llegar a ser mínimo de L_o cuando $L_{rts} + L_{msd} \leq 0$.

La determinación de L_{rts} se base en el modelo de Ikegami junto con el ancho de las calles y la orientación de estas con respecto a las antenas transmisoras.

En el capítulo IV se utiliza el modelo de Friis como base para realiza un modelo más elaborado. Se utiliza el modelo de Friis por que esta es el modelo más básico de propagación y se deduce de las ecuaciones de Maxwell, por lo que, teóricamente, este es el que se asemeja más a la aplicación de esta investigación. Por otro lado, los modelos de propagación que se exponen en este capítulo se utilizan en telefonía celular donde los obstáculos son muy diferentes a los que se consideran en esta tesis.