



Principios de las comunicaciones inalámbricas

Principios comunicaciones inalámbricas

Pérdidas en espacio libre



- Cálculo de la potencia recibida. Se consideran dos casos:
 1. Espacio libre (sin obstáculos, lluvia, desvanecimientos, etc).

Determina la pérdida mínima que existe en el enlace.

2. Generalización a un medio cualquiera

Pérdida de propagación o atenuación (L^*): es el cociente entre la potencia transmitida y la recibida.

$$L_b \text{ (dB)} = P_t \text{ (dBW)} - P_r \text{ (dBW)}$$

* (L) : Loss (Pérdida)

Principios comunicaciones inalámbricas

Pérdidas en espacio libre



Most RF comparisons and measurements are performed in decibels. This gives an easy and consistent method to compare the signal levels present at various points. Accordingly it is very convenient to express the free space path loss formula, FSPL, in terms of decibels. It is easy to take the basic free space path loss equation and manipulate into a form that can be expressed in a logarithmic format.

$$\text{FSPL (dB)} = 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) + 32.44$$

Where:

d is the distance of the receiver from the transmitter (km)

f is the signal frequency (MHz)

El **decibelio** es quizá la unidad más utilizada en el campo de las telecomunicaciones:

- Simplificación por su naturaleza logarítmica (valores de potencia señal muy pequeños).
- Como relación de **potencias**, la cifra en decibelios no indica nunca el valor absoluto de las dos potencias comparadas, sino la relación entre ellas.

Principios comunicaciones inalámbricas

Pérdidas en espacio libre

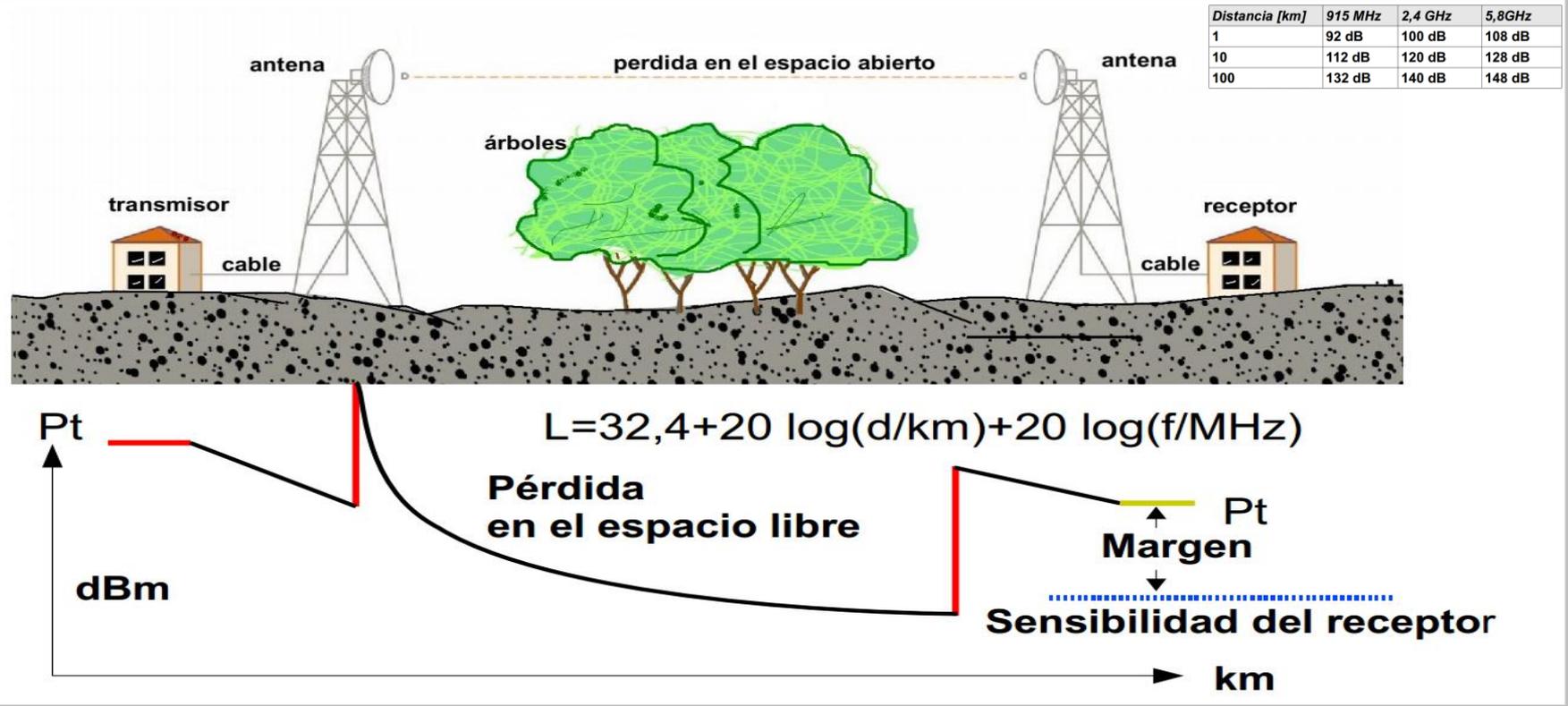


dBm to Watt Conversion Table

| dBm | Watts | dBm | Watts | dBm | Watts |
|-----|--------|-----|--------|-----|-------|
| 0 | 1.0 mW | 16 | 40 mW | 32 | 1.6 W |
| 1 | 1.3 mW | 17 | 50 mW | 33 | 2.0 W |
| 2 | 1.6 mW | 18 | 63 mW | 34 | 2.5 W |
| 3 | 2.0 mW | 19 | 79 mW | 35 | 3.2 W |
| 4 | 2.5 mW | 20 | 100 mW | 36 | 4.0 W |
| 5 | 3.2 mW | 21 | 126 mW | 37 | 5.0 W |
| 6 | 4 mW | 22 | 158 mW | 38 | 6.3 W |
| 7 | 5 mW | 23 | 200 mW | 39 | 8.0 W |
| 8 | 6 mW | 24 | 250 mW | 40 | 10 W |
| 9 | 8 mW | 25 | 316 mW | 41 | 13 W |
| 10 | 10 mW | 26 | 398 mW | 42 | 16 W |
| 11 | 13 mW | 27 | 500 mW | 43 | 20 W |
| 12 | 16 mW | 28 | 630 mW | 44 | 25 W |
| 13 | 20 mW | 29 | 800 mW | 45 | 32 W |
| 14 | 25 mW | 30 | 1.0 W | 46 | 40 W |
| 15 | 32 mW | 31 | 1.3 W | 47 | 50 W |

Principios comunicaciones inalámbricas

Pérdidas en espacio libre

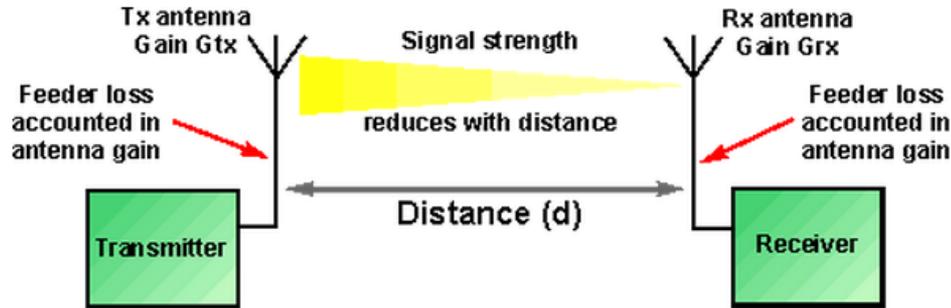


Principios comunicaciones inalámbricas

Pérdidas en espacio libre



The free space path loss equation does not include any component for antenna gains. It is assumed that the antenna gain is unity for both the transmitter. In reality, though, all antennas will have a certain amount of gain and this will affect the overall signal level. Any antenna gain will reduce the "loss" when compared to a unity gain system. The figures for antenna gain are relative to an isotropic source, i.e. an antenna that radiates equally in all directions.



Path loss parameters

$$\text{Path Loss (dB)} = 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) + 32.44 - G_{tx} - G_{rx}$$

Where:

G_{tx} is the gain of the transmitter antenna relative to an isotropic source (dBi)

G_{rx} is the gain of the receiver antenna relative to an isotropic source (dBi)

Free Loss Calculator 

Principios comunicaciones inalámbricas

Propagación Troposférica - Modelos



- Estudio riguroso a través de las ecuaciones de Maxwell más condiciones de contorno
→ Muy complejo !!!
- Modelos simplificados basados en óptica geométrica (obstáculos estimados respecto a longitud de onda)
- Modelos empíricos o semi-empíricos
- Propagación depende de :
 1. La atmósfera (índice de refracción, atenuación y absorción por gases e hidrometeoros)
 2. Del terreno (tipo de suelo, rugosidad, reflexión, obstrucción por obstáculos).
 3. Depende de la frecuencia y de la polarización de la onda.

Principios comunicaciones inalámbricas

Atenuación por gases



- Moléculas de O_2 y H_2O absorben energía electromagnética produciendo una atenuación que puede ser muy elevada a ciertas frecuencias.
- La atenuación se calcula como:

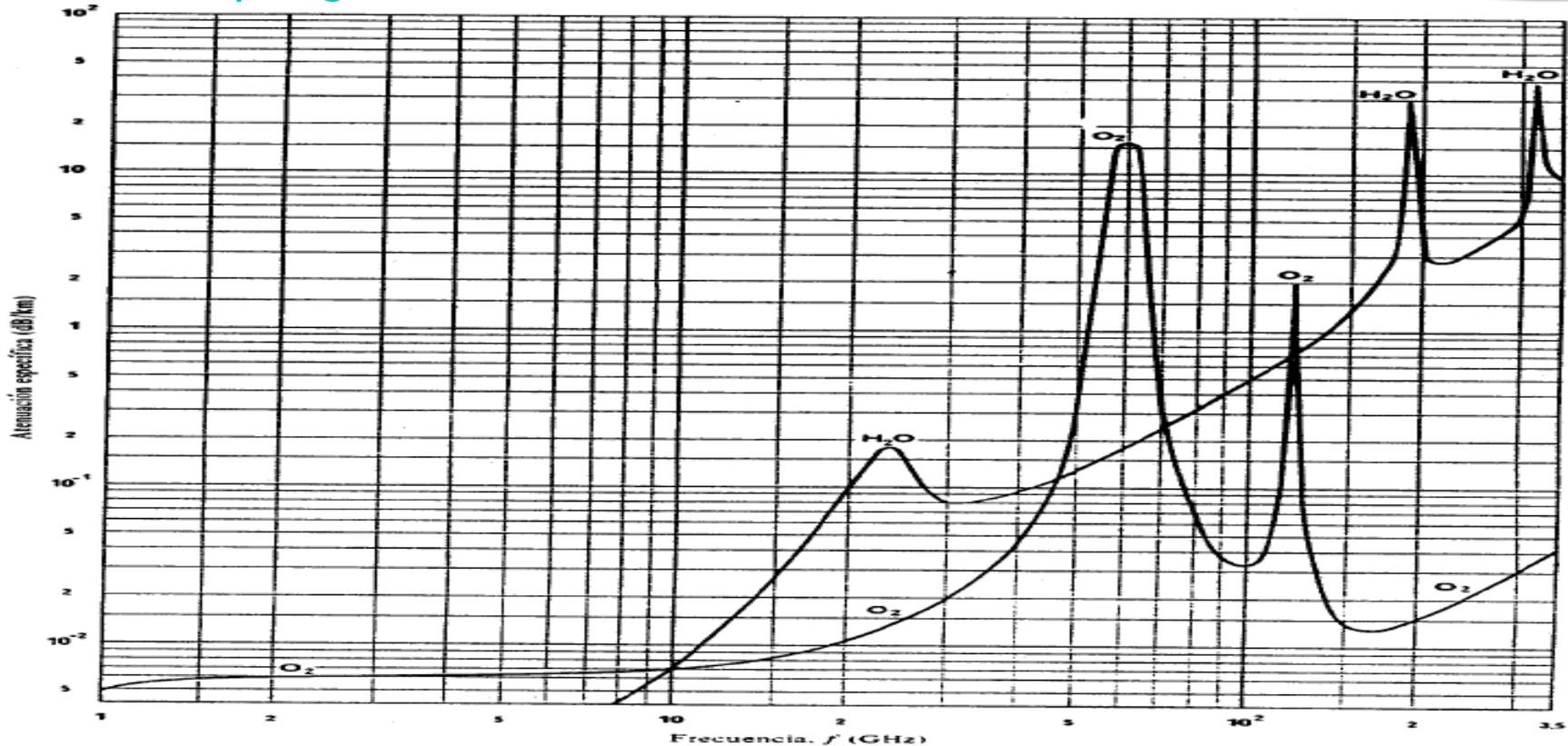
$$A_a = \gamma_a \cdot d \qquad \gamma_a = \gamma_o + \gamma_w$$

γ_a : atenuación específica (dB/km) que se descompone en dos términos, para el oxígeno y el vapor de agua respectivamente.



Principios comunicaciones inalámbricas

Atenuación por gases



Gráficas con γ_a en función de la frecuencia. Se observan picos de atenuación (frecuencias de resonancia molecular) y valles o ventanas espectrales de baja atenuación.

Principios comunicaciones inalámbricas

Atenuación por gases



UIT R 676 proporciona las expresiones para calcular las atenuaciones específicas.

$$\gamma_o \text{ (dB / km)} = \left[7.19 \cdot 10^{-3} + \frac{6.09}{f^2 + 0.227} + \frac{4.81}{(f - 57)^2 + 1.5} \right] f^2 \cdot 10^{-3} \quad f < 57\text{GHz}$$
$$\gamma_w \text{ (dB / km)} = \left[0.05 + 00021\rho + \frac{3.5}{(f - 22.2)^2 + 8.5} + \frac{10.6}{(f - 183.3)^2 + 9} + \frac{8.9}{(f - 325.4)^2 + 26.3} \right] \cdot f^2 \cdot \rho \cdot 10^{-4} \quad f < 350\text{GHz}$$

f es la frecuencia en GHz y p la densidad de vapor de agua en gr/m3.

Atenuación por gases

- Salvo en las ventanas de absorción, las atenuaciones son muy bajas.
- Para un vano de 35 km a 15 GHz y con una densidad de vapor de agua de 7.5 gr/m3 se obtienen atenuaciones específicas de 8.3 E-3 y 2.1 E-2 dB/km para el oxígeno y el vapor de agua respectivamente. Con ello la atenuación total es de aproximadamente 1 dB

Principios comunicaciones inalámbricas

Atenuación por hidrometeoros

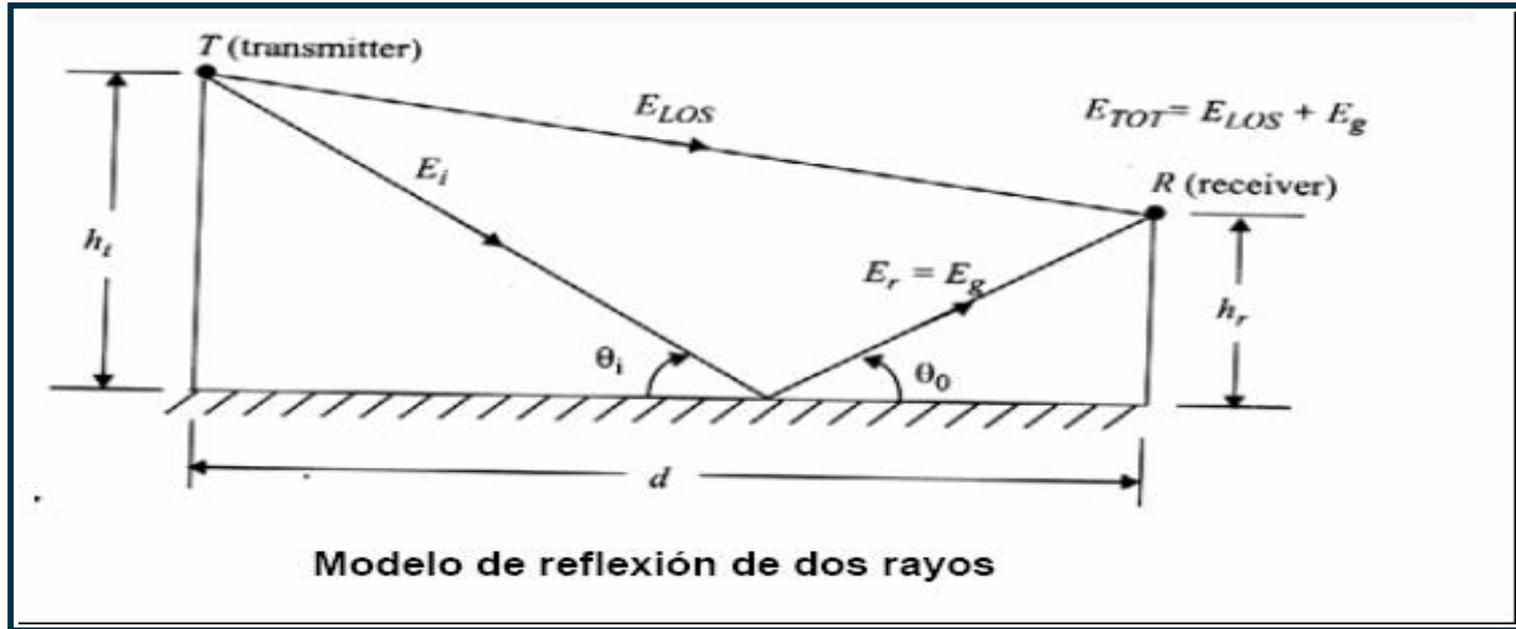


- Atenuación provocada por absorción y dispersión por hidrometeoros (lluvia, granizo, nieve) afecta a los radio enlaces troposféricos y por satélite.
- Se estudian para $f > 6$ GHz (de hecho para $f > 10$ GHz son uno de los factores de atenuación dominante).
- La atenuación aumenta con la frecuencia hasta que el tamaño de la gota es del orden de λ .



Principios comunicaciones inalámbricas

Reflexión



$$E_{TOT}(d) = \frac{2E_o d_o}{d} \frac{2\pi h_t h_r}{\lambda d}$$

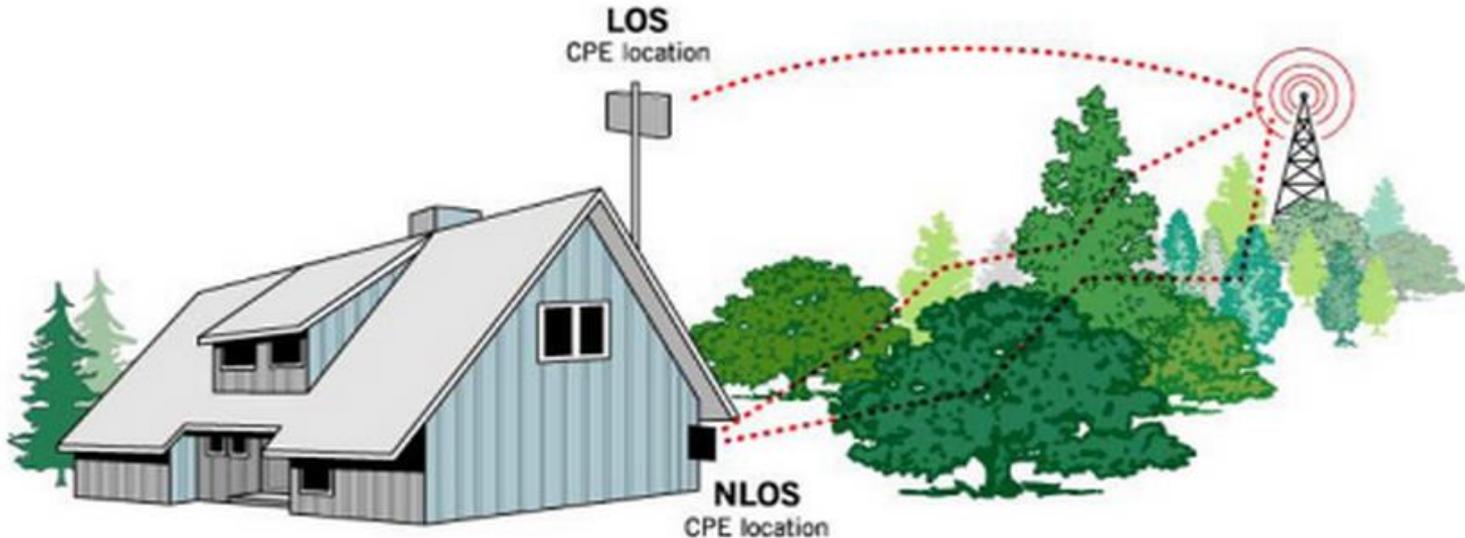
$$P_r = P_t G_t G_r \frac{h_t^2 h_r^2}{d^4}$$

Principios comunicaciones inalámbricas

Difracción - Zonas de Fresnel



Es evidente la necesidad de visión directa (Line Of Sight, LOS) en sistemas inalámbricos que operan a frecuencias altas, pues de lo contrario se producen pérdidas que pueden llegar a ser importantes. Para modelar las pérdidas que se producen por la obstrucción del enlace radioeléctrico (Non Line Of Sight, NLOS) se utiliza el concepto de las llamadas **zonas de Fresnel**.

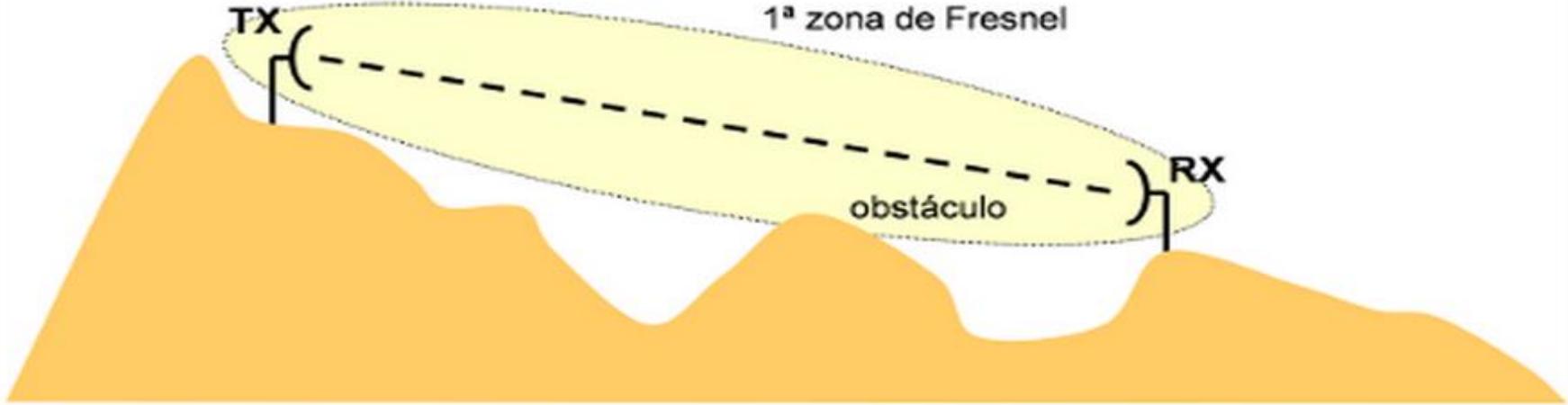


Principios comunicaciones inalámbricas

Difracción - Zonas de Fresnel



Durante la fase de planificación del radioenlace debe asegurarse que la primera zona de Fresnel se encuentre libre de obstáculos, bien aumentando la altura de los mástiles de las antenas o bien situándolos en otra posición del edificio.



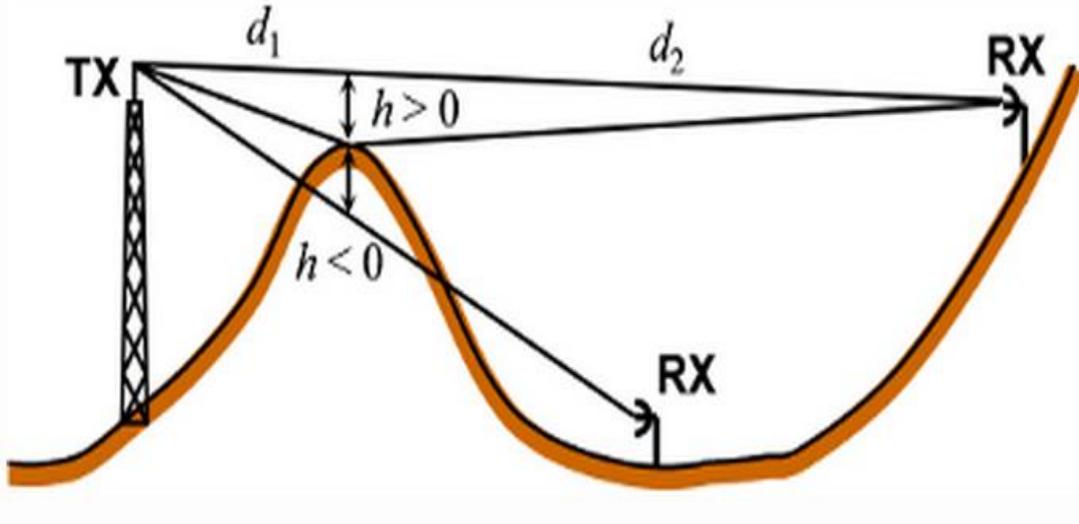
Perfil de un radio enlace

La obstrucción máxima permisible para considerar que no hay obstrucción es el 40% de la primera zona de Fresnel. La obstrucción máxima recomendada es el 20%.

$$R_1 = \sqrt{\lambda \frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2}}$$

Principios comunicaciones inalámbricas

Difracción - Zonas de Fresnel



Procedimientos de cálculo alternativos pueden encontrarse en la **Recomendación UIT-R P.530**, donde se proporciona información para estimar las pérdidas por difracción empleando **datos empíricos**.

Cálculo del despejamiento en radioenlaces con y sin visión directa

Principios comunicaciones inalámbricas

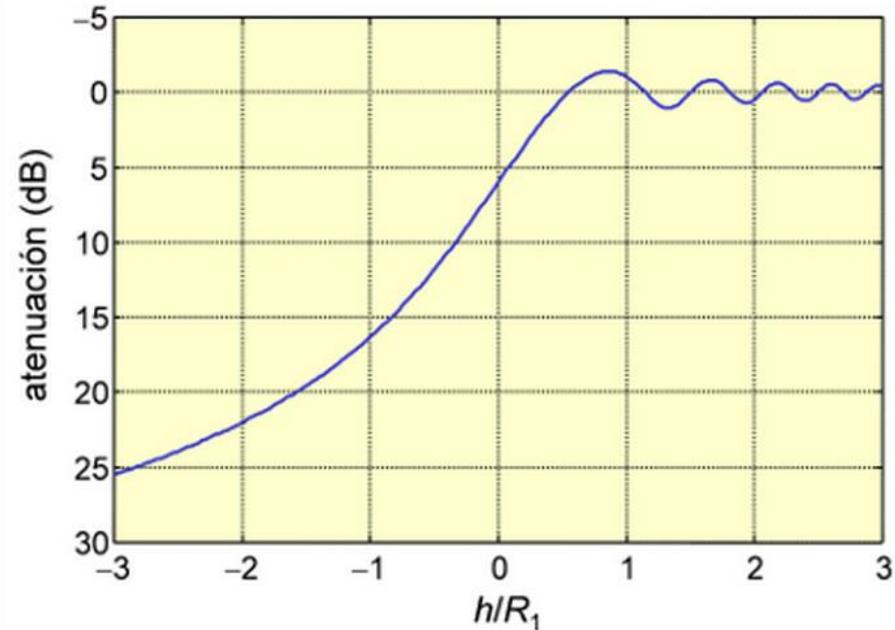
Difracción - Zonas de Fresnel



Despejamientos negativos ($h < 0$) representan el caso en el que hay obstrucción del radioenlace. Como es lógico, en este caso puede verse en la figura que las pérdidas aumentan rápidamente.

Estimar las pérdidas por difracción:
En este caso, una fórmula que suele utilizarse para calcular la atenuación en obstáculos, $A(\text{dB})$, es la siguiente:

$$A(\text{dB}) = -20 h/R_1 + 10.$$



Pérdidas por difracción



Modelos de propagación



Cobertura

MODELOS DE PROPAGACION

| | RURAL | | URBANO | |
|--------------|--------------------|---|---------|-------------------------------|
| | Curvas | Formulas | Curvas | Formulas |
| Empíricos | Bullington CCIR | Egli Langley-Rice | Okumura | Hata Lee |
| Semiemp. | | perfiles Wilkerson Epstein&Peterson | | Ikegami Walfish COST231 |
| Electromagn. | | GTD/UTD | | |

Atenuación depende de:
atmósfera (refracción)
obstáculos (difracción)
conductividad (suelo)
frecuencia,....

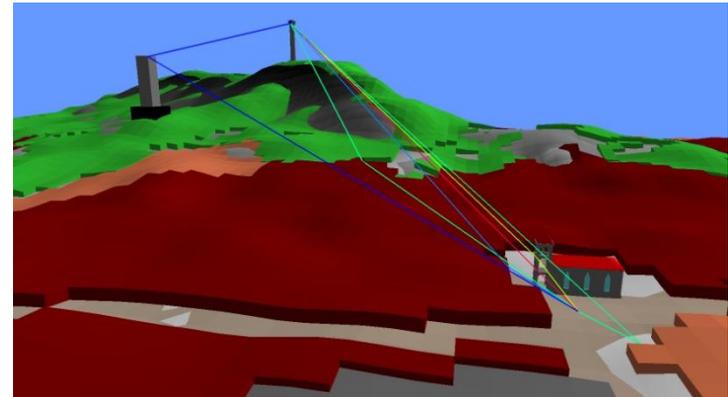
suelo (reflexión)
edificios/vegetación (clutter)
polarización onda

Modelos de propagación

Modelos Empíricos



- Útiles para sistemas de radiocomunicaciones zonales (radiodifusión, móviles, sistemas punto-multipunto)
- Métodos más utilizados: UIT-R 370 (rural), Okumura-Hata, Lee, y Walfish-Ikegami (urbano)
- Basados en campañas de medidas. (Estadísticas)



Modelos de propagación

Modelos Empíricos



Modelos empíricos: Okumura-Hata

Cobertura

- Hata obtuvo fórmulas empíricas para calcular la pérdida básica de propagación L_b , para diferentes entornos

$$L_b = 69.55 + 26.16 \log f - 13.82 \log h_t - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \log h_t) \cdot \log d = \\ = A + B \log d \quad dB$$

f en MHz $150 \leq f \leq 1500$ MHz

h_t altura efectiva antena transmisor en m $30 \leq h_t \leq 200$ m

h_m altura sobre el suelo de la antena receptor en m $1 \leq h_m \leq 10$ m

d distancia en km $1 \leq d \leq 20$ km

- $a(h_m)$ corrección por altura del móvil (0 si $h_m=1.5$ m)

$$a(h_m) = \begin{cases} (1.1 \log f - 0.7)h_m - (1.56 \log f - 0.8) & \text{c.media - pequeña} \\ 8.29(\log 1.54h_m)^2 - 1.1 & \text{c. grande} \quad f \leq 200\text{MHz} \\ 3.2(\log 11.75h_m)^2 - 4.97 & \text{c. grande} \quad f \geq 400\text{MHz} \end{cases}$$

Modelos de propagación

Modelos Empíricos



Modelos empíricos: Okumura-Hata

Cobertura

- Fórmula anterior es válida para un entorno urbano.
- Corrección para entornos suburbanos (edificios de 3-4 plantas y calles anchas)

$$L_{bs} = L_b - 2[\log(f / 28)]^2 - 5.4$$

- Corrección para entorno rural (abierto, sin obstrucciones)

$$L_{br} = L_b - 4.78[\log f]^2 + 18.33 \log f - 40.94$$

$$P_R = \frac{P_T G_T G_R}{L_P}$$

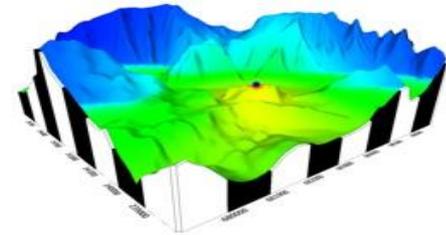
Modelos de propagación

Modelos Empíricos



Okumura-Hata

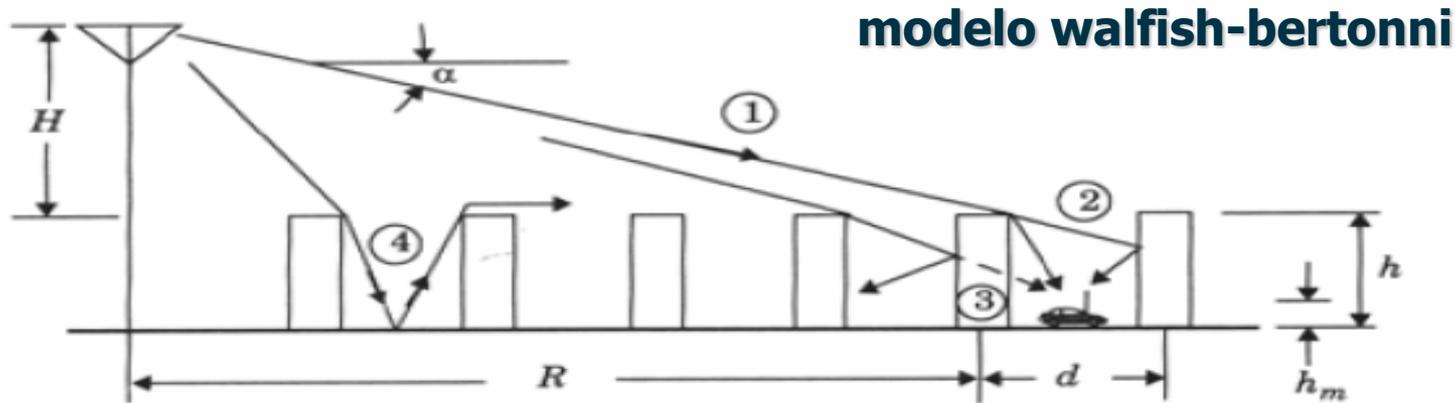
- Propuesta su inclusión como recomendación de la UIT-R
- Predicción más precisa de la atenuación en medios urbanos.
- Caracterización del entorno del móvil.
- Aplicación a comunicaciones móviles celulares 900-1800 MHz (Ikegami-Ioshida y Walfish-Bertoni adaptado a ciudades europeas).
- En condiciones de obstrucción del rayo directo por la presencia de edificios.



An example prediction with the Hata-Okumura Model

Modelos de propagación

Modelos Empíricos



modelo urbano semi-empírico

Requiere:

Entorno Manhattan

Alturas edificios Uniformes

Separación entre edificios menor a la altura de los mismos

Antena transmisora por encima nivel edificios

No existe L.O.S.

Modelos de propagación

Modelos Empíricos



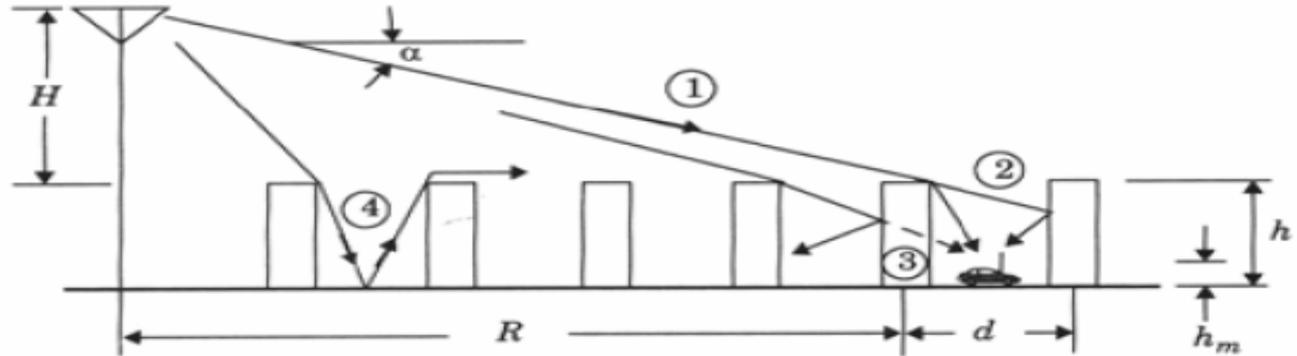
Perdidas propagación (tres factores):

1. Espacio Libre
2. Propagación sobre edificios
3. Difracción final

Frecuencias portadoras: 300 Mhz - 3 Ghz

Max. Distancia: 5 km

modelo walfish-berttonni

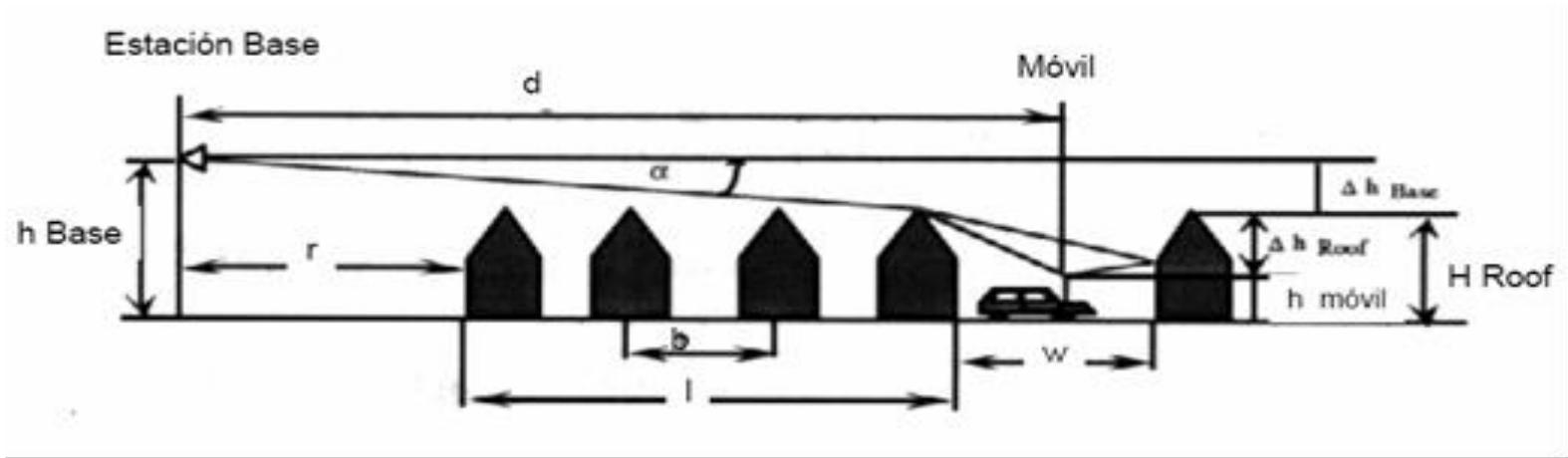


Modelos de propagación

Modelos Empíricos



modelo walfish-ikegami



Más que un modelo es una variante a Walfish-Bertoni

Modelos de propagación

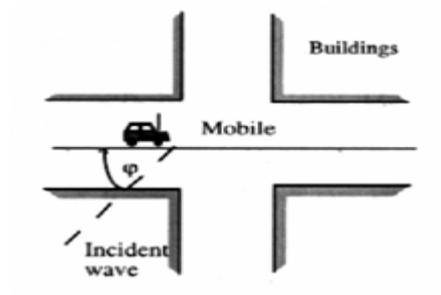
Modelos Empíricos



Incluyen correcciones:

Orientación de calles pertenecientes al entorno
posibilidad que transmisor se encuentre por debajo del nivel de edificios
Determinar el tipo de ciudad
Márgenes de distancia emisor - receptor.

800 Mhz - 2000 Mhz
Altura base 4-50 m
Altura móvil 1-3 m
Max. Distancia 5 km



Modelos de propagación

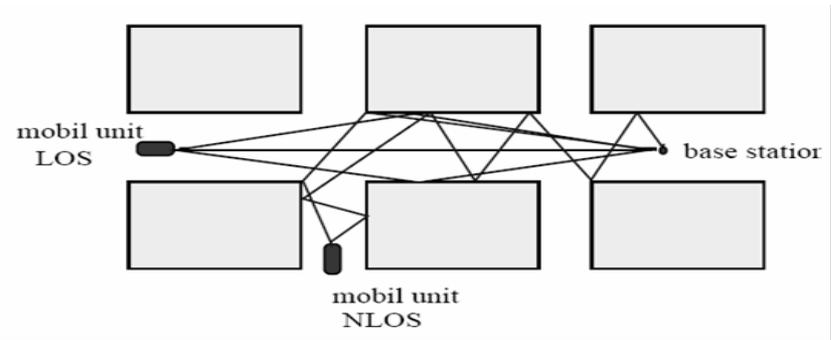
Modelos Empíricos



modelos microcelulares

micro celdas metropolitanas o urbanas:

- Celdas cuyo radio de cobertura se encuentra por debajo de un 1 Km.
- Potencia de transmisión baja.
- L.O.S
- altura de sus respectivas bases es baja



Modelos de propagación

Modelos Empíricos



microceldas con L.O.S

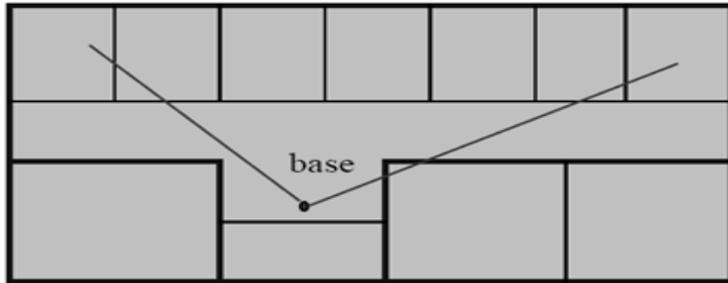
$$L_1(\text{dB}) = L_o(\text{dB}) + n_1 \log d \quad d < x_p$$
$$L_2(\text{dB}) = L_1 + 10n_1 \log x_p + 10n_2 [\log d - \log x_p] \quad d > x_p$$

microceldas sin L.O.S

Se añade un factor K que representa la atenuación asociada a la pérdida de visibilidad (doblar una esquina) de aproximadamente 20 dB.

Modelos de propagación

Modelos Empíricos



modelos picocelulares

| Descripción | Parámetro | Valor (dB) |
|---|-----------|------------|
| Estructuras de suelos de cemento armado con espesor < 30 m. típicas de oficinas | L_r | 18,3 |
| Mamparas (pladur) o paredes ligeras enventanadas | L_{w1} | 3,4 |
| Tabiques interiores de ladrillo | L_{w2} | 6,9 |

Curso Comunicaciones Móviles - 2017