

TEMA 1. FUNDAMENTOS DE LOS SISTEMAS DE RADIOCOMUNICACIÓN

Términos y definiciones

Radiocomunicación→ Telecomunicación realizada a través de un medio no guiado. Algunos ejemplos son: telefonía móvil y fija, internet, tv y radio, radar, domotica...

Servicios→ Los sistemas radios se dividen en tres tipos de servicios:

- Servicios fijos. Son punto a punto
- Servicios móviles. Sólo una de las dos estaciones es móvil, la otra no. Son punto a multipunto.
- Radiodifusión. Información disponible en una zona de cobertura. Es punto a zona.

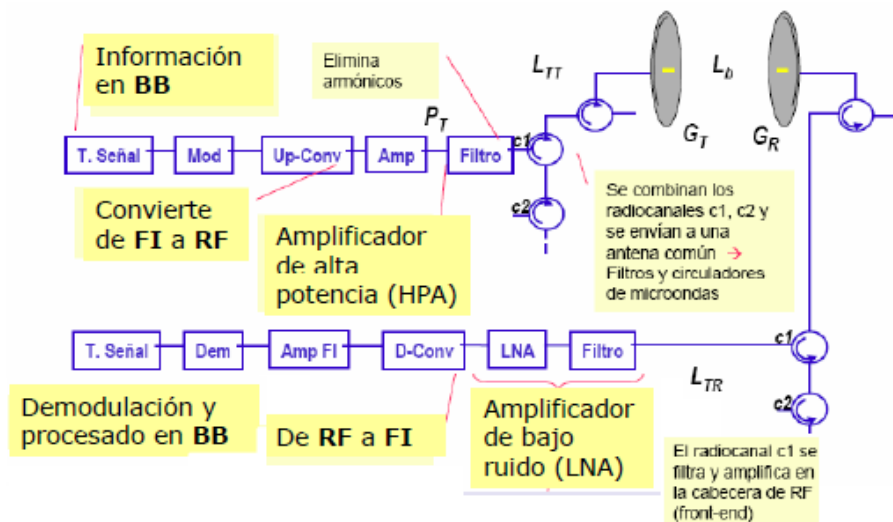
Estaciones de radiocomunicación→ Entre las cuales se intercambia la radiocomunicación. Pueden ser fijas y móviles.

- Espacial. Es el satélite.
- Terrena. Comunica con la estación espacial. Estas dos componen lo que se denomina Radio espacial.
- Terrenal. Comunica estaciones terrenales. Se denomina Radio terrenal.

Estructura

Etapas frecuenciales

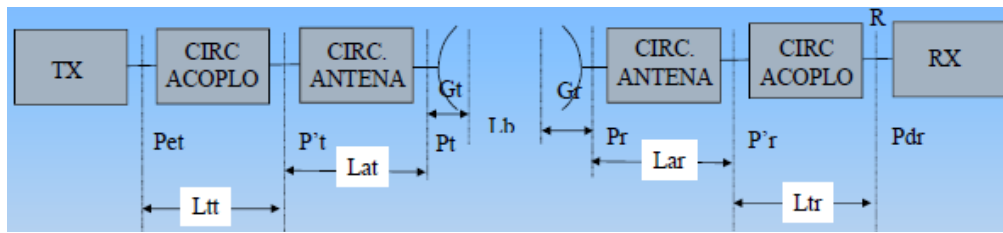
Transmisión y recepción



Nosotros vamos a estudiar la etapa de RF desde el punto de vista de radiocomunicación.

Etapa de RF

Balance de potencias



$$P_{dr} = P_{et} - L_{tt} - L_{at} + G_t - L_b + G_r - L_{ar} - L_{tr}$$

L_{tt} ≡ Pérdidas de transmisión de los terminales.

L_{at} ≡ Pérdidas de transmisión del alimentador.

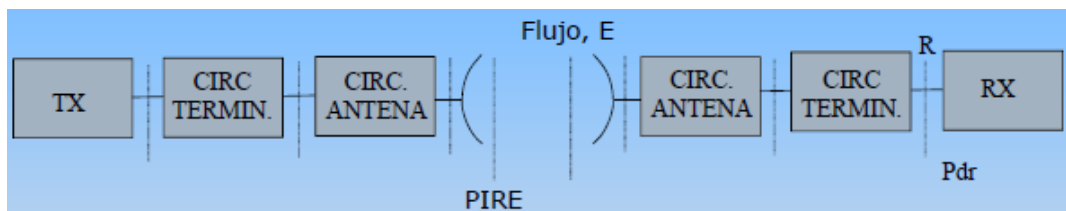
L_b ≡ Pérdidas básicas de propagación.

L_{ar} ≡ Pérdidas de recepción del alimentador.

L_{tr} ≡ Pérdidas de recepción de los terminales.

G_t, G_r ≡ La antena no amplifica la señal, lo que hace es dirigirla. Una antena tiene ganancia si en una dirección radia más potencia que en otras. Cuanto más área tiene una antena menos ganancia tiene

Fórmula de Friis



$$P_{dr} = P_{et} * \frac{1}{l_{tt}} * \frac{1}{l_{at}} * g_t * \frac{1}{l_b} * g_r * \frac{1}{l_{ar}} * \frac{1}{l_{tr}}$$

$$P_{dr} = (1 - |\Gamma_{et}|^2) * e * g_t * \left(\frac{\lambda}{4 * \pi * d} \right)^2 * g_r * \langle e_{et} * e_{dr} \rangle * (1 - |\Gamma_{dr}|^2) * e$$

- $(1 - |\Gamma_{et}|^2)$ y $(1 - |\Gamma_{dr}|^2)$ son el desacoplamiento. Nosotros vamos a partir de la suposición de que las redes están adaptadas, por lo que no lo vamos a tener en cuenta.

- $e = k = \eta = \frac{1}{l_{ar}}$; $k = \frac{1}{l_{at}}$ → es el rendimiento.

- $\langle e_{et} * e_{dr} \rangle$ es la polarización

- $l_b = \left(\frac{\lambda}{4 * \pi * d} \right)^2 = \frac{1}{4 * \pi * d^2} * \frac{\lambda^2}{4 * \pi}$

- $pire = P_{et} * \frac{1}{l_{tt}} * \frac{1}{l_{at}} * g_t$ ≡ Potencia isotrópica radiada equivalente medida en una antena ideal, homogénea e isotrópica que radia por igual en todas las direcciones.

- $S_{ef} = \frac{\lambda^2}{4 \cdot \pi} * g_r * \frac{1}{l_{ar}}$ Superficie equivalente real de la antena receptora.
- $\wp = \phi = \frac{pire}{4 \cdot \pi * d^2}$ Vector de Pointing.
- $\wp [w/m^2] = \frac{1}{2} * \bar{E} \wedge \bar{H} = \frac{e^2}{120 * \pi} = \frac{1}{4 \cdot \pi * d^2}$ → Esta igualdad se cumple siempre.
- $e = \sqrt{30} * \frac{\sqrt{pire}}{d}$

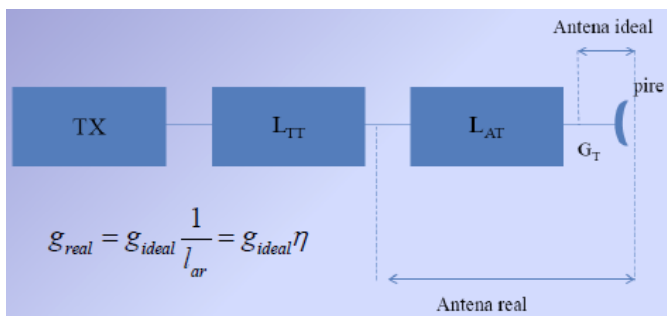
Con todo esto la fórmula de Friis la podemos escribir:

$$P_{dr} = \wp * S_{ef} * \frac{1}{l_{tr}} = \frac{e^2}{120 * \pi} * S_{ef} * \frac{1}{l_{tr}} = \frac{pire}{4 * \pi * d^2} * S_{ef} * \frac{1}{l_{tr}}$$

Antena

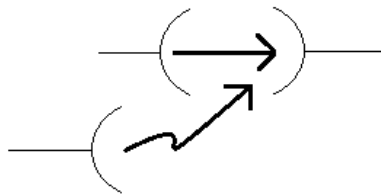
La antena es un elemento radiante capaz de emitir y recibir ondas electromagnéticas.

Elemento transmisor



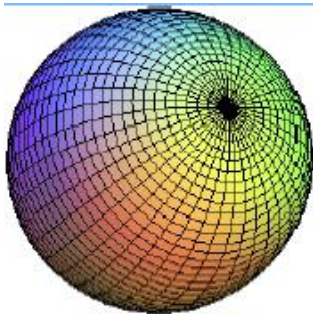
$$pire = P_{et} * \frac{1}{l_{tt}} * \frac{1}{l_{at}} * g_t$$

Puede ocurrir que una señal procedente de discriminación.

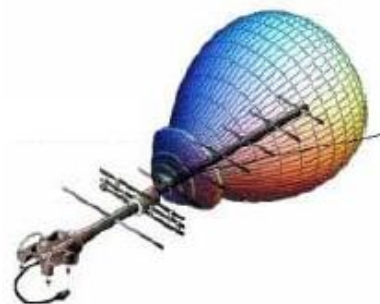


$$P_{tx} = G_{et} - D(\text{áng sal.}) - L_b * G_{dr} - D(\text{ang lleg})$$

Ganancia



ISOTRÓPICA



Que una antena tenga ganancia no implica que amplifique la señal, si no que la antena tiene directividad, es decir, no radia por igual en todas las direcciones.

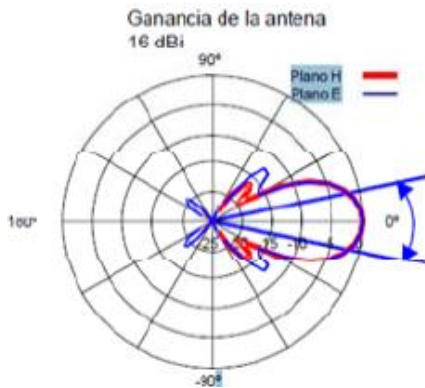
La antena que si radia en todas las direcciones por igual es la isotrópica.

Las medidas de la ganancia se realizan de la siguiente forma:

$G=0\text{dBi}=0\text{dB}$ → referida a la antena isotrópica.

$G=2.15\text{dBi}=2.15\text{dB}=0\text{dBd}$ → referida a la antena $\lambda/2$ (la antena yagui es de este tipo, y es la que tenemos todos para la recepción de la TV).

Parámetros fundamentales



Directividad: Ganancia de la antena ideal en la dirección de máxima radiación.

Ancho de haz a 3 dB: Cuando más directiva menor es el ancho de haz.

NLPS: Relación lóbulo principal a secundario

DA: Relación delante-atrás

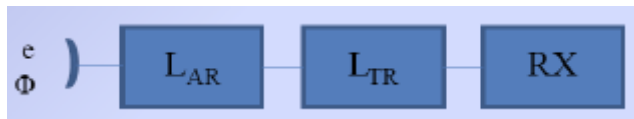
Potencias

Las tres potencias que vamos a utilizar son la PIRE, la PRA y la PRAVC. La PIRE (potencia isotrópica radiada equivalente) es la que se mide a la salida de la antena transmisora (ideal, homogénea e isotrópica), mientras que la PRA (potencia radiada aparente en una antena dipolo $\lambda/2$) y la PRAVC (potencia radiada antena vertical corta) se miden en un punto entre el alimentador y la antena transmisora.

La PRA y la PRAVC las podemos relacionar con la PIRE de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} PRA &= PIRE - 2.15 \\ PRAVC &= PIRE - 1.76 \end{aligned}$$

Campo y flujo



$$\Phi = \frac{e^2}{120 * \pi}$$

En espacio libre:

$$\Phi_o = \frac{e_o^2}{120 * \pi} = \frac{pire}{4 * \pi * d^2} \rightarrow e_o = \sqrt{30} * \frac{\sqrt{pire}}{d}$$

La potencia recibida y el campo son directamente proporcionales en cualquier modo de propagación → $P \propto e^2$

Ejemplos:

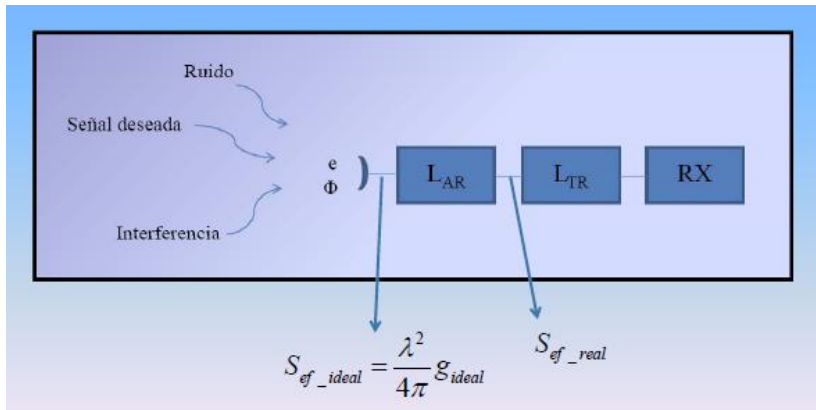
$p=1w \rightarrow e=10\mu V/m \rightarrow e^2 = 100(\mu V/m)^2$

$p=100w \rightarrow e=100\mu V/m \rightarrow e^2 = 100 * 100(\mu V/m)^2$

0dBW \rightarrow 20dBu

20dBW \rightarrow **40dBu**

Elemento receptor



$$S_{eff_real} = \frac{\lambda^2}{4\pi} * g_{real} = S_{eff_ideal} * \frac{1}{l_{ar}} = S_{eff_ideal} * \eta$$

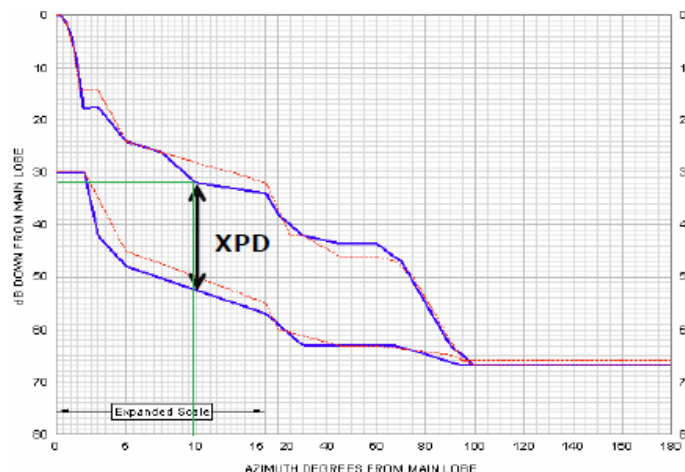
Donde se mide la superficie efectiva real es el primer punto en el cual puedo medir físicamente la potencia recibida.

Discriminación por ángulo y polarización

$$P_{dr} = P_{et} - L_{tt} - L_{at} + G - L_b + G - L_{ar} - L_{tr}$$

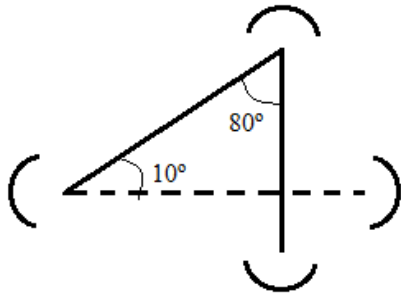
Potencia recibida si las dos antenas están enfrentadas y tienen la misma polarización.

discriminación \rightarrow En 0° es donde está la máxima directividad, si me desvío un 10% y tengo una ganancia de 20 dB. Como podemos ver en la gráfica hay una penalización de alrededor de 30 dB, es una discriminación.



$$- - - - - +20dB - L_b + 20 - - - - -$$

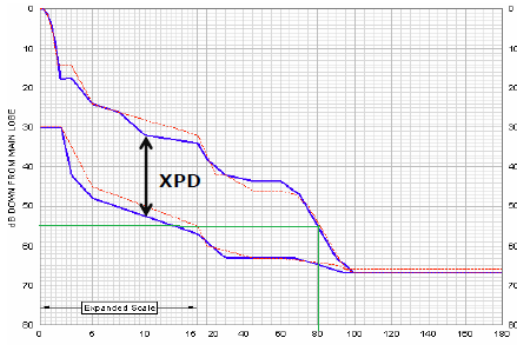
$$- 30 \rightarrow \text{discriminamos}$$



$$- - - - +20dB - L_b + 40 - - - -$$

¿Dónde penalizamos?

La antena propaga en la dirección de máxima radiación, por lo que no tengo ninguna penalización en el ángulo de salida.

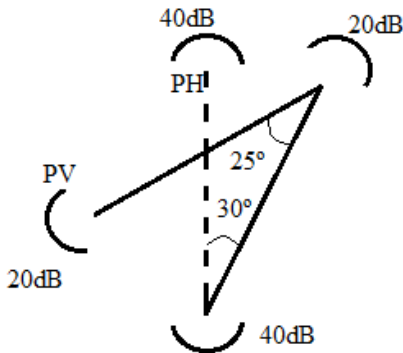


La penalización se encuentra en el ángulo de llegada en 80°.

Como podemos ver en la gráfica hay una penalización de alrededor de -55 dB.

$$- - +20dB - L_b + 40 - - -$$

$$- 55$$



Nos desplazamos 25°.

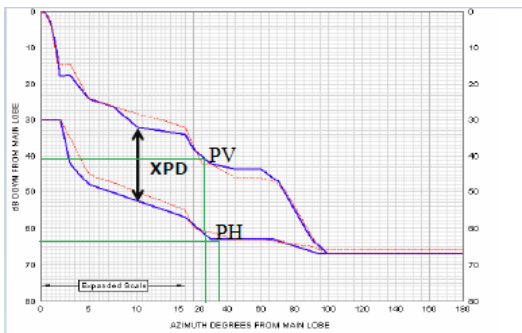
Transmito en horizontal, y la antena está en vertical ¿Dónde penalizamos?

$$- - +20dB - L_b + 40 - - -$$

$$- 40 \quad \left. \begin{matrix} (-45) \\ -65 \end{matrix} \right\} - 20$$

Discriminación por polarización cruzada.

No sólo penalizo porque llega con el ángulo que no espero, sino que también penalizo porque no llega con la polarización que espero

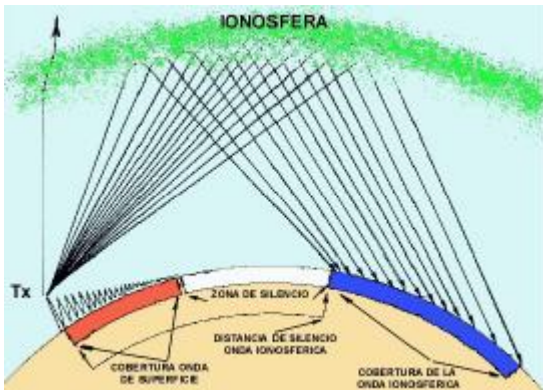


$$XPD = \frac{P_{rx}(\text{polarización deseada})}{P_{rx}(\text{polarización ortogonal})}$$

Cuanto mayor sea XPD menos se escucha la potencia de ruido.

Propagación

Modos de propagación

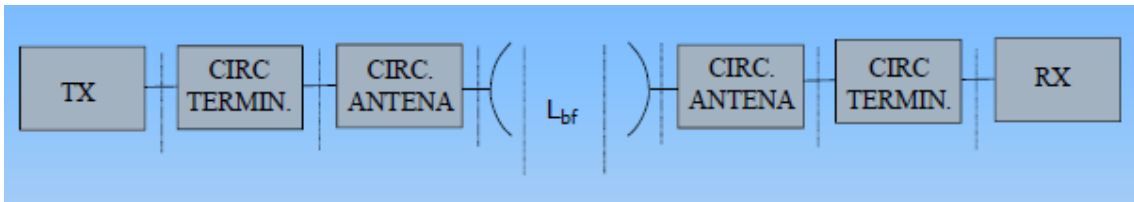


Frecuencias portadoras < 30MHz.
 Onda superficie se propaga a través del suelo .Utilizada en radio AM.
 Onda ionosférica se propaga haciendo uso de la ionosfera. Utilizada en comunicaciones militares, sobre todo marítimas.



Frecuencias portadoras > 30MHz.
 Onda directa(LOS) las antenas se tienen que ver radioeléctricamente hablando.

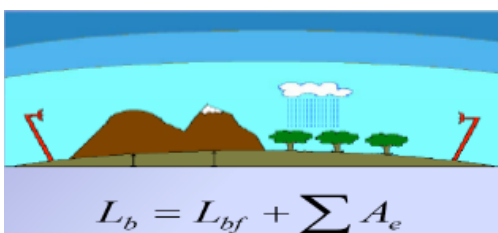
Espacio libre



$$p_x = \Phi_0 * S_{eff} = \frac{\rho_{ire}}{4 * \pi * d^2} * \frac{\lambda^2}{4 * \pi} * g_{dr} \rightarrow l_{bf} = \left(\frac{4 * \pi * d}{\lambda} \right)^2$$

Las pérdidas en espacio libre son las mínimas pérdidas que se pueden dar en la propagación.

Atenuación en exceso (a_e)



Son todas aquellas que se producen entre la antena transmisora y la receptora.

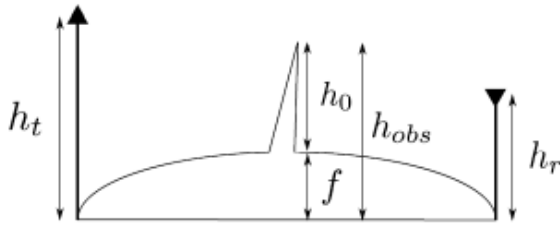
$$p_x = \Phi * S_{ef} = \left(\frac{\rho_{ire}}{4 * \pi * d} * \frac{1}{a_e} \right) * \frac{\lambda^2}{4 * \pi} * g_{rx}$$

$$l_b = \left(\frac{4 * \pi * d}{\lambda} \right)^2 * a_e$$

$$\phi = \left(\frac{\text{pire}}{4 * \pi * d^2} * \frac{1}{a_e} \right) = \frac{e^2}{120 * \pi} \rightarrow e = \sqrt{30} * \frac{\sqrt{\text{pire}}}{d} * \frac{1}{\sqrt{a_e}} = e_o * \frac{1}{\sqrt{a_e}}$$

$E = E_o - A_e \rightarrow$ Las pérdidas básicas se encuentran contempladas dentro de E_o .

Atenuación por difracción

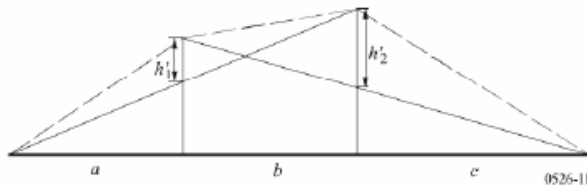


Las fórmulas necesarias se nos facilitaran en el exámen.

Un obstáculo será más grande cuanto mayor sea la frecuencia a la que estemos trabajando.

También se pueden calcular las pérdidas por difracción utilizando tanto la gráfica de la UIT-R como la aproximación numérica de este mismo organismo.

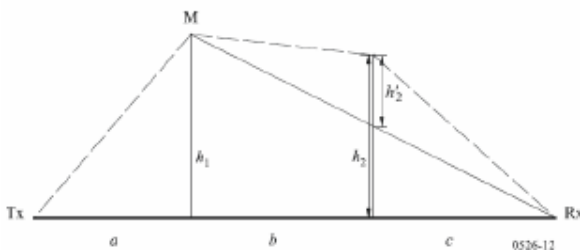
Los dos modelos que nosotros usaremos para la resolución de estas pérdidas van a ser dos:



En este método vamos a trabajar como si solo hubiese un obstáculo, es decir:

$$L = L_1 + L_2 + L_c$$

Siendo L_c un término de corrección.



En este método se tendrá en cuenta el obstáculo dominante siempre que este exista.

$$L = L_1 + L_2 - T_c$$

Atenuación por gases atmosféricos

Son debidos a que las moléculas de oxígeno y agua necesitan energía para resonar. Su estudio se realiza por separado, pero la existencia de una implica la existencia de la otra.

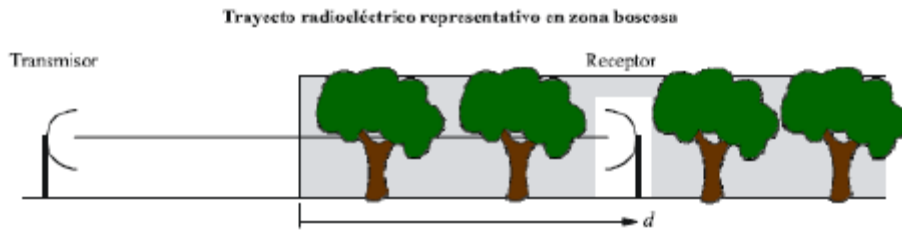
$$L_G = (\gamma_o + \gamma_w)(dB/Km) * d(Km)$$

La frecuencia a partir de la cual se tiene en cuenta este fenómeno es 10GHz.

d es la distancia en la que se tiene que tener en cuenta, pero no tiene por que ser la distancia entre antena transmisora y receptora.

γ es la atenuación específica.

Atenuación por vegetación



Una de las estaciones se encuentra dentro de la zona boscosa. Aquí es donde se produce una mayor concentración de humedad.

$$L_v = A_m * \left(1 - \exp \left(- \frac{d(m) * \gamma(dB/m)}{A_m} \right) \right)$$

- $A_m = A_1 * f(MHz)^\alpha = 1.15 * f^{0.43} \rightarrow$ Es la atenuación máxima.
- d es la distancia que hay desde que nos introducimos en la zona boscosa hasta la estación receptora.
- γ diferente para las polarizaciones horizontal y vertical para frecuencias de hasta 1GHz, mientras que para frecuencias mayores a esta valen lo mismo.

Modelos semiempíricos

Se definen mediante el parámetro L_b , que es la campaña de medidas más correcciones.

Su aplicación es para sistemas punto a punto o sistemas multipunto.

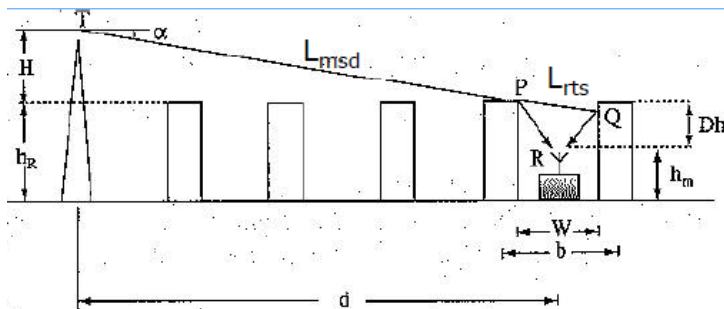
Debido a las diferencias existentes entre Japón y las ciudades europeas u occidentales, vamos a ver los dos estudios que se realizaron para estos casos.

El modelo OKUMURA-HATA es el realizado para ciudades niponas. Su fórmula general es la siguiente:

$$L_b = 69.55 + 26.16 \log f - 13.82 \log h_t - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \log h_t) * (\log d)^b$$

- Dependiendo de si nos encontramos en ciudades pequeñas y medianas o en ciudades grandes el parámetro $a(h_m)$ se ve modificado.
- A su vez dependiendo de si estamos en zonas suburbanas o zonas rurales abiertas las pérdidas serán L_b menos un término de corrección.

El modelo COST 231 es el usado en las ciudades europeas.



$L_b = L_{bf} + L_{rts} + L_{msd}$
Siendo L_{rts} las pérdidas por difracción multiobstáculo y L_{msd} las pérdidas por difracción terraza-calle.

$$L_{rts} = -8.2 - 10 \log w + 10 \log f + 20 \log \Delta h_r + L_{ori}, \text{ siendo:}$$

- w la anchura de la calle.

- Δh_r la diferencia entre la altura del edificio y la estación móvil(siempre positiva).
- L_{ori} las pérdidas debidas al ángulo con el que llega el rayo incidente.

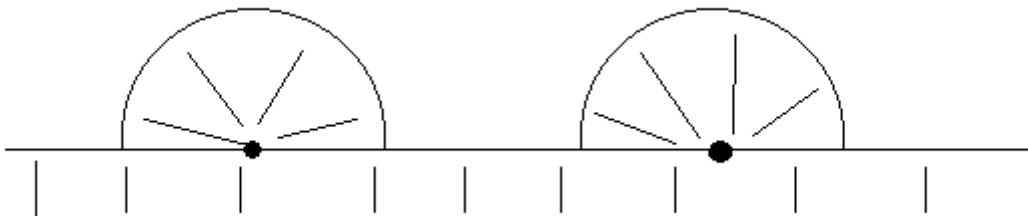
$$L_{msd} = L_{bsh} + k_a + k_d \log d + k_f \log f - 9 \log b$$

- Para ciudades pequeñas y medianas k_f tiene un valor y para ciudades grandes otro.
- La suma de L_{rts} y L_{msd} es la atenuación máxima.

Propagación por onda de superficie

Una antena isotrópica próxima al suelo solo radia en media esfera.

Una antena próxima al suelo tiene más ganancia que una elevada



$\phi_o' = \frac{pire}{2 * \pi * d^2} \rightarrow$ Radia la mitad, por ello ahora lleva un 2 en el denominador y no un 4.

$$p_{rx} = \frac{pire}{2 * \pi * d^2} * \frac{\lambda}{8 * \pi} * g_r = pire * \left(\frac{\lambda}{4 * \pi * d} \right)^2 * g_r$$

Radio con el doble de directividad pero recibo por la mitad de superficie. Sigo teniendo una propagación por espacio libre.

Nos encontramos con un problema en las definiciones de la $pire$ y g . Se consideran correctas si se consideran con respecto a la IOTRÓPICA en las mismas condiciones, así conseguimos mantener $\frac{4 * \pi * d}{\lambda}$.

- Ejemplo: $g_{avc} = 1.5 * g_{iso \text{ prox suelo}}$

Siempre vamos a comprender la transmisión con la recepción.

Ejemplos:

- $E(1kw) = 40dBu$
- $E(10kw) = 50dBu$

Gestión del espectro radioeléctrico

Modos de explotación

Hay tres modos de explotación:

- Modo simplex \rightarrow O transmito o recibo, nunca las dos a la vez. Usamos una única frecuencia de RF.
- Modo semidúplex \rightarrow Una transmite y recibe simultáneamente y la otra o transmite o recibe.

- Modo dúplex→ transmisión y recepción simultánea. Usamos dos frecuencias de RF.

Espectro radioeléctrico

Este es el reparto de frecuencias estipulado:

| Número de la banda | Denominación | Gama de frecuencias | Designación métrica |
|--------------------|--------------|---------------------|------------------------|
| 4 | VLF | 3 - 30 kHz | Ondas miriamétricas |
| 5 | LF | 30 - 300 kHz | Ondas kilométricas |
| 6 | MF | 300 - 3000 kHz | Ondas hectométricas |
| 7 | HF | 3 - 30 MHz | Ondas decamétricas |
| 8 | VHF | 30 - 300 MHz | Ondas métricas |
| 9 | UHF | 300 - 3000 MHz | Ondas decimétricas |
| 10 | SHF | 3 - 30 GHz | Ondas centimétricas |
| 11 | EHF | 30 - 300 GHz | Ondas milimétricas |
| 12 | | 300 - 3000 GHz | Ondas decimilimétricas |

Organismos internacionales→ Se encargan de asignar bandas de frecuencia a servicios de radiocomunicación.

Existe legislación al respecto, y existen recomendaciones que nos permiten cumplir compatibilidades internacionales.

El organismo más importante a este respecto es la UIT, que es la organización de las Naciones Unidas para las tecnologías de la información y la comunicación.

Atribución→ El mundo está dividido en tres regiones de radiocomunicación:

- R1 corresponde a Europa y Norte de Asia
- R2 corresponde a América
- R3 corresponde a Sur de Asia y Oceanía

Los servicios se dividen en prioritarios y secundarios. Estos últimos se pueden dar siempre y cuando no interfieran con los primarios.