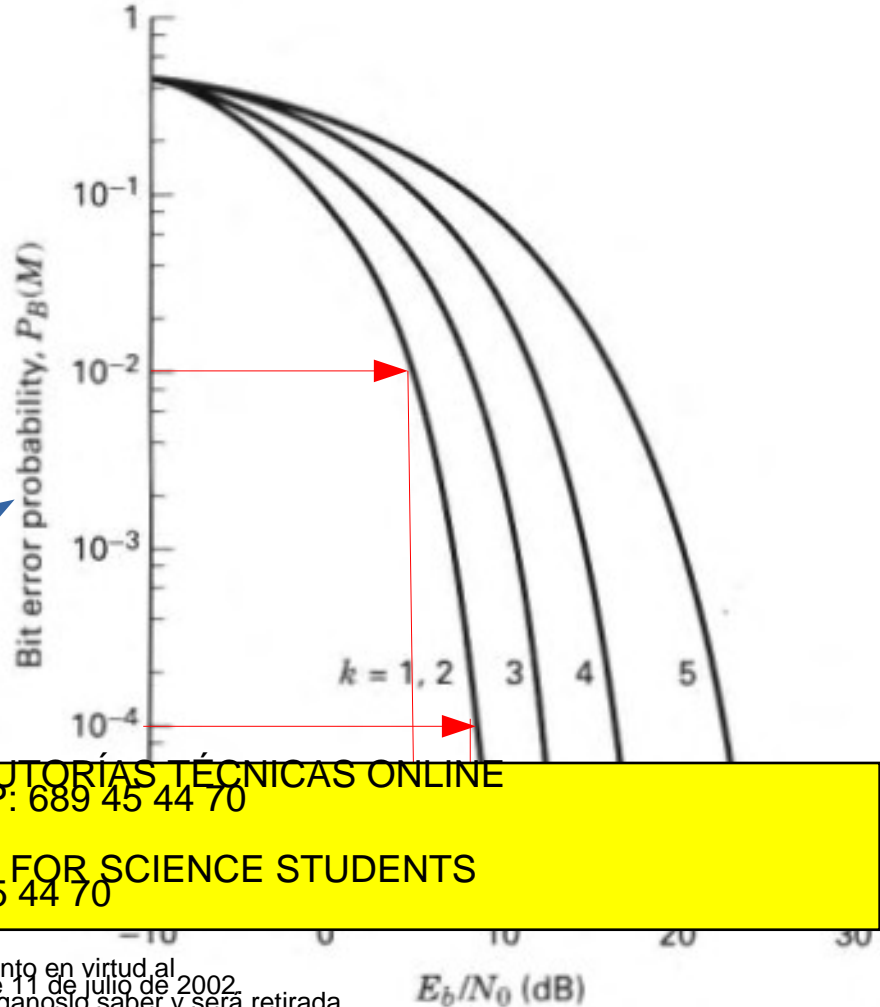
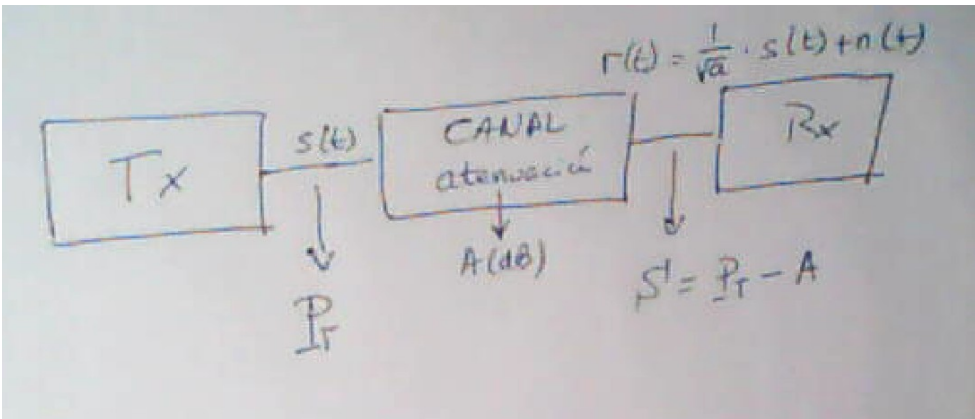


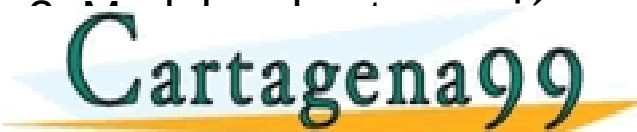
Sesión 4: Incertidumbre en los modelos de atenuación



$$A(d, f_c) = \overline{A(d, f_c)} + \varepsilon \quad \text{en dB}$$

1. Impacto en canales gaussianos

$\Delta \text{SNR} \sim 3 \text{ dB} \Rightarrow 2 \text{ órdenes de magnitud en } P_e$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

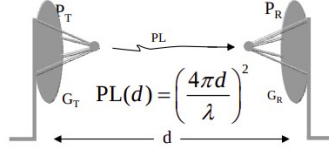
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Modelos de atenuación: ejemplos

1)

□ Propagación en espacio libre

$$P_R(d)[W] = P_T[W] \times G_T G_R \underbrace{\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2}_{\text{Espacio libre}}$$



□ Path Loss

$$PL(d)[dB] = (32.44 + 20\log_{10} d + 20\log_{10} f) \quad \begin{matrix} f \text{ en MHz} \\ d \text{ en Km} \end{matrix}$$

2)

□ Existen modelos que pueden explicar “mejor” que el de “espacio libre” las pérdidas en un trayecto.

- Ejemplo: Modelo de Okumura-Hata: pérdidas en promedio

$$PL_{Okumura}[dB] = 69.55 + 26.16 \log(f) - 13.82 \log(H_1) + [44.9 - 6.55 \log(H_1)] \log(d) - a(H_2)$$

donde:

f : frecuencia (MHz)

H_1 : Altura efectiva de la antena transmisora (m) [30 a 200 m]

H_2 : Altura efectiva de la antena receptora (m) [1 a 10 m]

3)

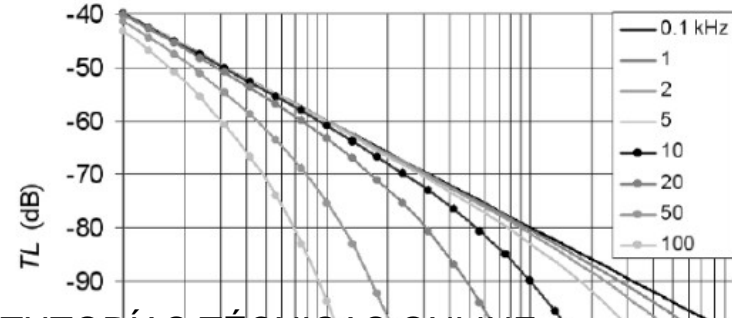
□ Pérdidas medias en el trayecto

$$P_R(d)[dBW] = P_R(d_0)[dBW] - 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right)$$

$$PL(d)[dB] = PL(d_0)[dB] + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right)$$

Entorno	Exponente, n
Espacio libre	2
Reflexión especular ideal	4
Entorno urbano	2.7 - 3.5
Entorno urbano (shadowing)	3 - 5
En edificios (visión directa)	1.6 - 1.8
En edificios (camino obstruido)	4 - 6
En industria (camino obstruido)	2 - 3

4)



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE

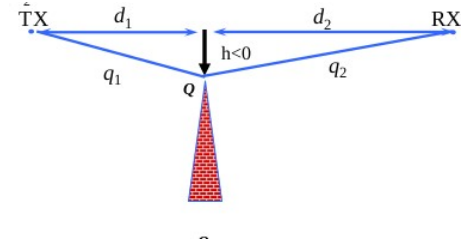
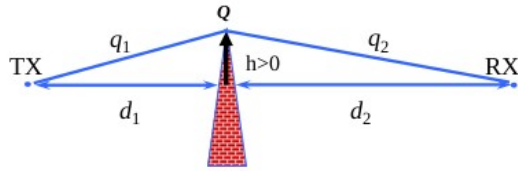
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS

CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

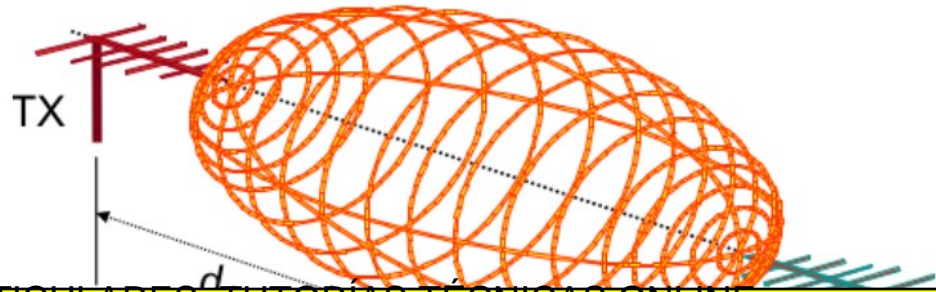
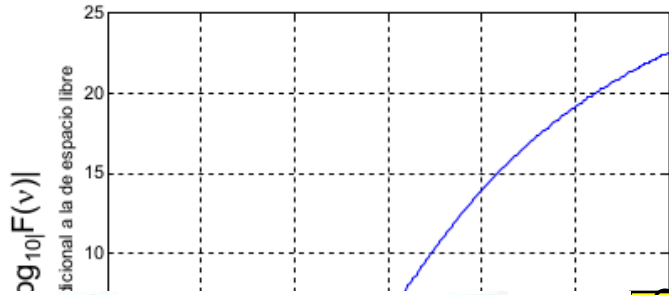
Modelos de atenuación: composición

$$\overline{A(d, f_c)} = \overline{A(d, f_c)_{\text{otros modelos}}} + \overline{\text{Atenuación}_{\text{difracción}}} + \dots$$



$$v = h \sqrt{\frac{2}{\lambda} \frac{d_1 + d_2}{d_1 d_2}}$$

ATENUACIÓN POR DIFRACCIÓN [dB]



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Modelo del error: log-normal (= Normal pero en dB!)

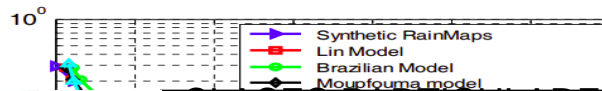
$$A(d, f_c) = \overline{A(d, f_c)} + \varepsilon$$

$$A = N(\bar{A}, \sigma^2) \quad \varepsilon = N(0, \sigma^2)$$

Función de densidad normal

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

Ejemplo lluvia (Korai, 2018)



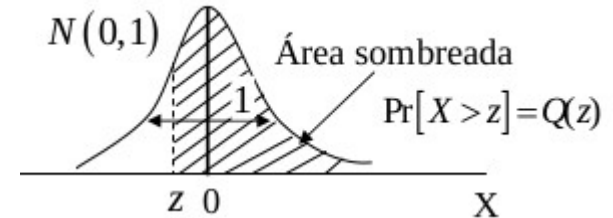
Pregunta típica:

Si $X \sim N(\mu, \sigma^2)$, ¿cuál es la probabilidad de que $X > z$?

Respuesta:

$$Q\left(\frac{z-\mu}{\sigma}\right)$$

Distribución normalizada



z	Q(z)	z	Q(z)	z	Q(z)	z	Q(z)
0.0	0.5	1.0	0.15866	2.0	0.02275	3.0	0.00135
0.1	0.46017	1.1	0.13567	2.1	0.01786	3.1	0.00097

0.7	0.24196	1.7	0.04457	2.7	0.00347	3.7	0.00011
0.8	0.21118	1.8	0.03593	2.8	0.00256	3.8	0.00007
0.9	0.18406	1.9	0.02872	2.9	0.00187	3.9	0.00005

Valores con el mismo error

$$P_R = \bar{P}_R + \varepsilon$$

$$S = \bar{S} + \varepsilon$$

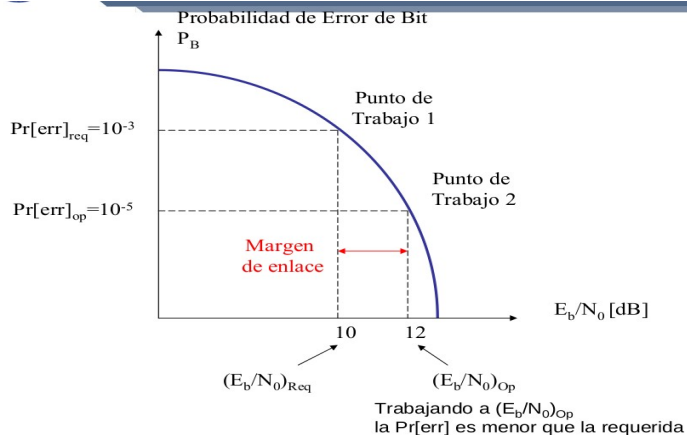
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

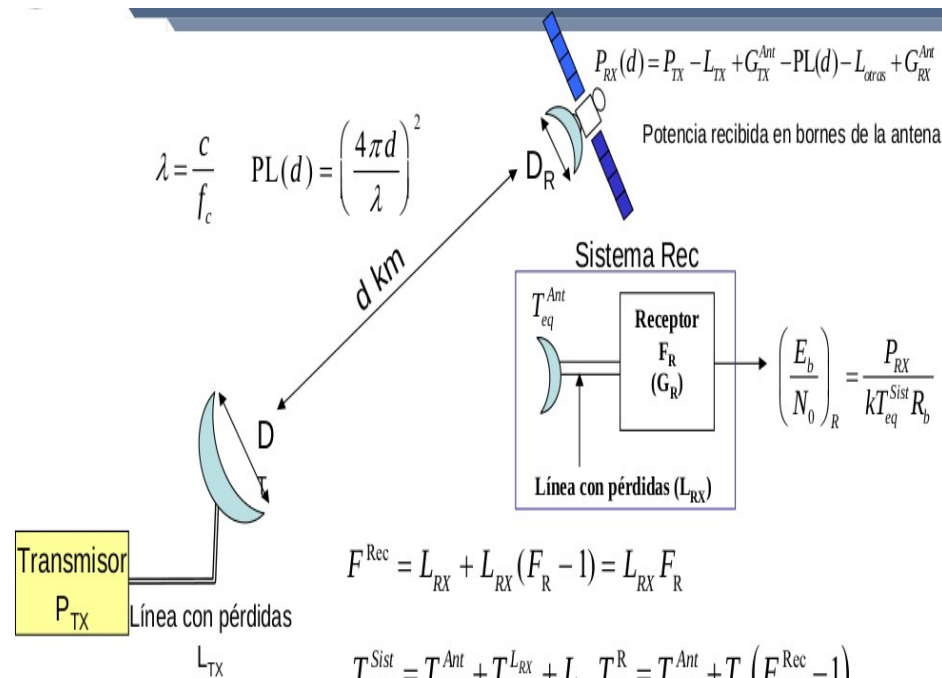
Aplicación 1: Margen de enlace

$$L_{otros}(d, f_c) = \overline{L_{otros}(d, f_c)} + \varepsilon \quad \varepsilon = N(0, \sigma^2) \text{ dB}$$



$$\lambda = \frac{c}{f_c}$$

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



$$\text{Disponibilidad} = 1 - Q\left(\frac{M}{\sigma}\right)$$

Formas de conseguir margen:

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE

LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS

CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

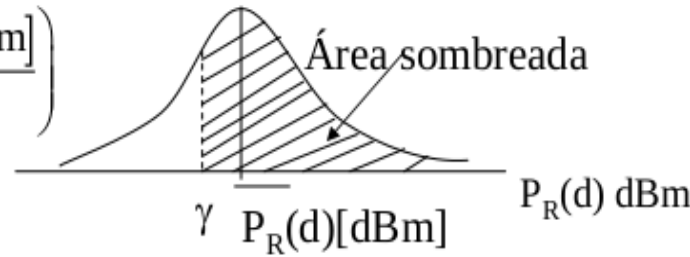
- etc...

Aplicación 2: Cobertura

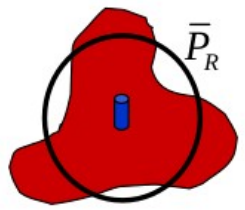
El Modelo Log-normal (shadowing) nos permite definir probabilidades de coberturas.

- La probabilidad de que $P_R(d)$ [dBm] supere γ [dBm]:

$$\Pr [P_R(d) [dBm] > \gamma [dBm]] = Q \left(\frac{\gamma [dBm] - \bar{P}_R(d) [dBm]}{\sigma [dB]} \right)$$



Celdas en forma de ameba

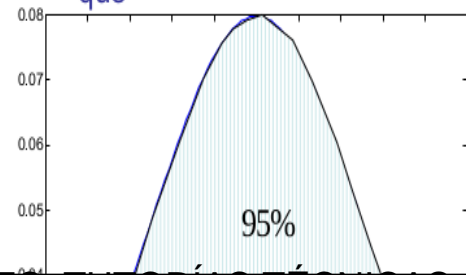


Planificación de red:

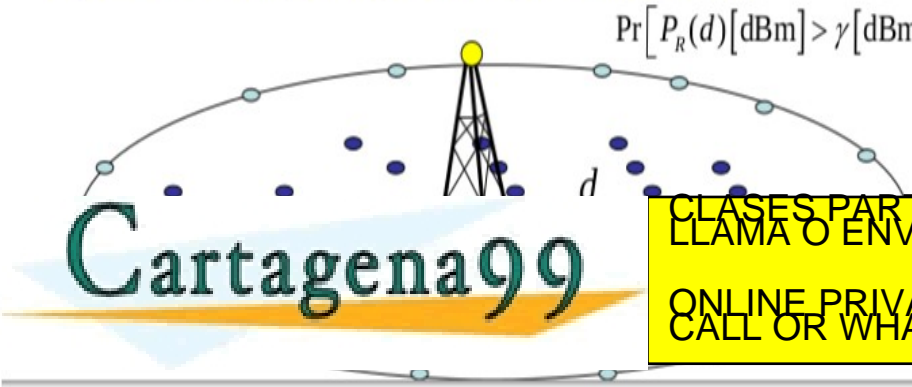
- Encontrar el valor de "d" para el que la potencia recibida media supere el umbral γ [dBm] con una probabilidad α %.

- Ejemplo: $\gamma = -88$ [dBm]; $\sigma = 5$ dB; ¿cuánto tiene que valer $P_R(d)$ para que $\Pr [P_R(d) [dBm] > -88 [dBm]] \geq 95\%$?

$$\Pr [P_R(d) [dBm] > \gamma [dBm]] \geq \alpha\%$$



z	Q(z)	z	Q(z)	z	Q(z)	z	Q(z)
0.0	0.5	1.0	0.15866	2.0	0.02275	3.0	0.00135
0.1	0.46017	1.1	0.13567	2.1	0.01786	3.1	0.00097
0.2	0.42074	1.2	0.11507	2.2	0.01390	3.2	0.00069
0.3	0.38209	1.3	0.09680	2.3	0.01072	3.3	0.00048



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70