

Friis

Friis

- veces

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L}$$

siendo

$$PL = \left(\frac{4\pi d[m]}{\lambda} \right)^2 ; \lambda = \frac{c[m/s]}{f[Hz]}$$

En caso de Friis

- dB

$$P_r[dBm] = P_t[dBm] + G_t[dB] + G_r[dB] - PL[dB] - L[dB]$$

la velocidad de transferencia menor a la de los enlaces inalámbricos fijos,
condiciones de transmisión.

Modelo de dos rayos

$$P_r[\text{dBm}] = P_t[\text{dBm}] + 10 \log_{10}(G_t G_r) + 20 \log_{10}(h_t h_r) - 40 \log_{10}(d)$$

Modelo de Okumura

$$P_R[\text{dBm}] = \text{EIRP}[\text{dBm}] - L_{50}[\text{dB}] + G_r[\text{dB}]$$

$$L_{50}(\text{dB}) = L_f + A_{mu}(f, d) - G(h_t) - G(h_r) - G_{AREA}$$

con:

$$L_f = 10 \log \left(\left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \right)$$

$$G(h_t) = 20 \log_{10}(h_t/200), 30\text{m} < h_t < 1000\text{m}$$

$$G(h_r) = \begin{cases} 10 \log_{10}(h_r/3) & h_r \leq 3\text{m} \\ 20 \log_{10}(h_r/3) & 3\text{m} < h_r < 10\text{m} \end{cases}$$

Modelo de Okumura

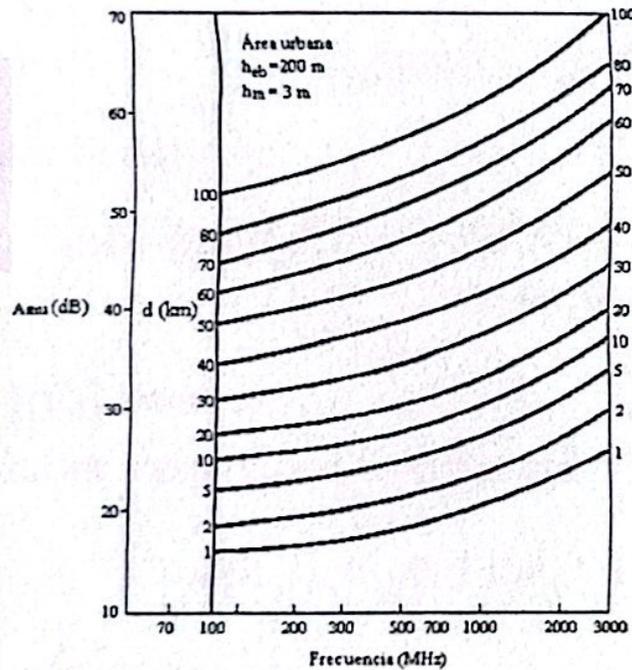


Figura 1. Atenuación media en el modelo de Okumura

Figura 1: Atenuación media en función de la frecuencia y distancia

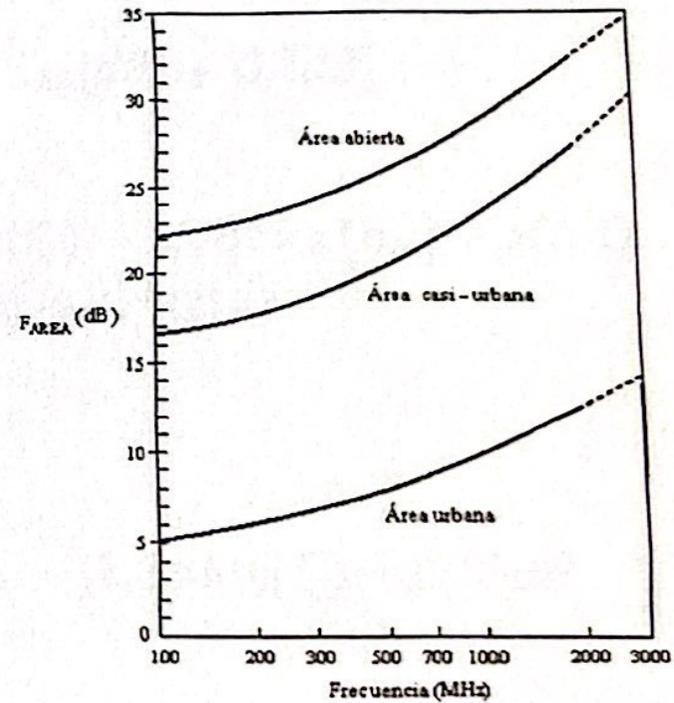


Figura 2. Factor de corrección por tipo de ambiente o área

Figura 2: Ganancia según el tipo de área

Modelo de Hata

$$P_R[\text{dBm}] = \text{EIRP}[\text{dBm}] - L_{50}[\text{dB}] + G_r[\text{dB}]$$

Zonas urbanas:

$$L_{50}(\text{urban})(\text{dB}) = 69,55 + 26,16 \log(f_c) - 13,82 \log(h_{te}) - a(h_{re}) \\ + (44,9 - 6,55 \log(h_{te})) \log(d)$$

siendo $a(h_{re})$ para:

- ciudades pequeñas y medianas:

$$a(h_{re}) = (1,1 \log(f_c) - 0,7)h_{re} - (1,56 \log(f_c) - 0,8)\text{dB}$$

- grandes ciudades

$$a(h_{re}) = \begin{cases} 8,29(\log(1,54h_{re}))^2 - 1,1\text{dB} & f_c \leq 300\text{MHz} \\ 3,2(\log(11,75h_{re}))^2 - 4,97\text{dB} & f_c \geq 300\text{MHz} \end{cases}$$

Modelo de Hata

Zonas suburbanas:

$$L_{50}(dB) = L_{50}(urban) - 2[\log(f_c/28)]^2 - 5,4$$

Zonas rurales:

$$L_{50}(dB) = L_{50}(urban) - 4,78(\log(f_c))^2 - 18,33 \log(f_c) - 40,98$$

Recordar que f_c debe estar en MHz, las alturas en metros y la distancias (d) en Km

Ejercicio control semestre pasado

Una estación de transmisión de televisión digital que opera con una portadora en 500MHz transmite una potencia (en los terminales de la antena) de 1 Watt.

Considere además:

Altura de la antena transmisora: 15 metros

Altura de la antena receptora: 1.8 metros

Ganancia de la antena transmisora: 3 dBi

Ganancia de la antena receptora: 0 dBi

Mínimo nivel de potencia a la salida de la antena del terminal de usuario para la correcta recepción: -90 dBm

Ejercicio control semestre pasado

Analice el radio de cobertura teórico que esta estación tendrá al operar en medio del barrio universitario, (ciudad urbana, grande):

- ❶ Modelo de espacio libre (Friis) ✓
- ❷ Modelo de dos rayos ✓
- ❸ Modelo de Hata
- ❹ Comente las diferencias entre estos tres modelos y analice las razones por las que cada uno tiene más o menos cobertura que el otro.

1: modelo de FRIS:

$$f = 500 \text{ MHz} = 500 \cdot 10^6 \text{ Hz} = 5 \cdot 10^8 \text{ Hz}$$

$$P_t = 1 \text{ W} = 30 \text{ dBm}$$

$$G_t = 3 \text{ dBi} = 10^{3/10} = 2 \text{ W}$$

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{5 \cdot 10^8} = 0,6 \text{ m}$$

$$G_r = 0 \text{ dBi} = 10^0 = 1 \text{ W}$$

$$h_t = 15 \text{ m}$$

$$P_r = -90 \text{ dBm} = 10^{-12} \text{ W}$$

$$h_r = 1,8 \text{ m}$$

$$P_r = \frac{P_t \cdot G_t \cdot G_r \cdot \lambda^2}{(4\pi)^2 \cdot d^2} \implies d^2 = \frac{P_t \cdot G_t \cdot G_r \cdot \lambda^2}{(4\pi)^2 \cdot P_r}$$

$$d^2 = \frac{1 \text{ W} \cdot 2 \text{ W} \cdot 1 \text{ W} \cdot (0,6 \text{ m})^2}{(4 \cdot \pi)^2 \cdot 10^{-12} \text{ W}}$$

$$d = 67,524 \text{ m}$$

2: modelo de 2 rayos:

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

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

$$d^4 = \frac{1 \text{ W} \cdot 2 \text{ W} \cdot 1 \text{ W} \cdot (15 \text{ m} \cdot 1,8 \text{ m})^2}{1 \cdot 10^{-12}}$$

$$d = 6,179 \text{ m}$$

3. Modelo de Hata

Primero se debe obtener $a(hre)$

$$a(hre) = 3.2[\log(34,75 \cdot hre)]^2 - 4,97 \text{ dB}$$

$$a(hre) = 3.2[\log(44,75 \cdot 1,8)]^2 - 4,97 \text{ dB}$$

$$\boxed{a(hre) = 0,65 \text{ dB}}$$

Luego obtener L_{50} de la siguiente fórmula

$$P_r [\text{dBm}] = P_t [\text{dBm}] + G_t [\text{dB}] + G_r [\text{dB}] - L_{50} [\text{dB}]$$

$$L_{50} [\text{dB}] = P_t [\text{dBm}] + G_t [\text{dB}] + G_r [\text{dB}] - P_r [\text{dBm}]$$

$$L_{50} [\text{dB}] = 30 + 3 + 0 - (-90 \text{ dBm})$$

$$\boxed{L_{50} [\text{dB}] = 123 \text{ dB}}$$

Luego reemplazamos en L_{50} urbana:

$$L_{50} (\text{urbana}) (\text{dB}) = 69,55 + 26,16 \log(f_c) - 13,82 \log(h_{te}) - a(hre) + (44,9 - 6,55 \log(h_{te})) \log(d)$$

$$123 (\text{dB}) = 69,55 + 26,16 \log(300) - 13,82 \log(15) - 0,65 + (44,9 - 6,55 \log(15)) \cdot \log(d)$$

$$123 (\text{dB}) = 140,16 - 46,9 + 37,2 \log(d)$$

$$\log(d) = \frac{-0,26}{37,2}$$

$$d = 10^{\frac{-0,26}{37,2}} = 0,984 \text{ km} = 984 \text{ m}$$

$$\boxed{d = 984 \text{ m}}$$

• Si comparamos las 3 distancias obtenidas, podemos decir que FRIS es la mejor, ya que cubre más distancia.

$$d_{FRIS} > d_{rayos} > d_{Hata}$$

Ejercicios Okumura

Teniendo:

- $F = 700 \text{ Mhz}$
- $hT = 68\text{m}$
- $hR = 3\text{m}$
- $d = 5\text{km}$

¿Cuál es la pérdida de trayectoria predicha usando el modelo de Okumura en área abierta?

1. Okomura:

$$f = 700 \text{ MHz}$$

$$h_T = 68 \text{ m}$$

$$h_r = 3 \text{ m}$$

$$d = 5 \text{ km}$$

$$\left. \begin{array}{l} G_{\text{AREA}} = 27 \text{ dB} \\ A_{\text{MU}} = 25 \text{ dB} \end{array} \right\} \text{gráficas.}$$

primero se calcula λ , $\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{7 \cdot 10^8} = 0,43$

ahora obtenemos L_f

$$L_f = 10 \log \left(\left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \right) = 103,29 \text{ dB}$$

luego

$$G(h_T) = 20 \log \left(\frac{68}{200} \right) = -9,37 \text{ dB}$$

$$G(h_r) = 10 \log \left(\frac{3}{3} \right) = 0 \text{ dB}$$

finalmente se reemplaza en L_{50} :

$$L_{50} = 103,29 \text{ dB} + 25 \text{ dB} + 9,37 \text{ dB} - 27 \text{ dB} = 110,66 \text{ dB}$$

$$\boxed{L_{50} = 110,66 \text{ dB}}$$

$$L_{50} (\text{dB}) = L_f + A_{\text{MU}}(f, d) - G(h_T) - G(h_r) - G_{\text{AREA}}$$

Ejercicios Okumura

Teniendo:

- $F = 1800 \text{ MHz}$
- $hT = 100\text{m}$
- $hR = 1\text{m}$

Determine la atenuación para "terreno abierto" y "área suburbana" para $d = 2\text{km}$.

2- OKOMURA:

$$f = 1800 \text{ MHz}$$

$$h_t = 100 \text{ m}$$

$$h_r = 1 \text{ m}$$

determine la atenuación para "tereno abierto" y "area suburbana"
para $d = 2 \text{ km}$.

$$\text{entonces obtenemos } \lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{18 \cdot 10^8} = 0,17$$

luego calculamos

$$L_f = 10 \log \left(\left(\frac{4 \cdot \pi \cdot d}{\lambda} \right)^2 \right) = 103,4 \text{ dB}$$

luego $G(h_t)$ y $G(h_r)$

$$G(h_t) = 20 \log \left(\frac{100}{200} \right) = -6,02 \text{ dB}$$

$$G(h_r) = 20 \log \left(\frac{1}{2} \right) = -4,77 \text{ dB}$$

tereno abierto: $A_{mu} = 24 \text{ dB}$ $G_{area} = 32 \text{ dB}$

$$L_{50}(\text{dB}) = L_f + A_{mu}(f, d) - G(h_t) - G(h_r) - G_{area}$$

$$L_{50}(\text{dB}) = 103,4 \text{ dB} + 24 \text{ dB} - (-6,02 \text{ dB}) - (-4,77 \text{ dB}) - 32 \text{ dB}$$

$$L_{50}(\text{dB}) = 106,19 \text{ dB}$$

tereno suburbano, $A_{mu} = 24 \text{ dB}$ $G_{area} = 12 \text{ dB}$

$$L_{50}(\text{dB}) = 103,4 \text{ dB} + 24 \text{ dB} - (-6,02 \text{ dB}) - (-4,77 \text{ dB}) - 12 \text{ dB}$$

$$L_{50}(\text{dB}) = 126,19 \text{ dB}$$

Solemne 1
Tecnologías Inalámbricas

Nombre:

Puntaje total: 44 puntos
Nota final: 1 + puntaje · 6 / 44

Tiempo: 90 minutos.

I – Definiciones (respuestas cortas)

Defina/explice brevemente los siguientes términos/conceptos en función de lo que representan para el contexto de la asignatura.

A continuación se escribe una descripción breve que debió ser desarrollada por cada estudiante:

- a. (2 puntos) DECT
Sistema inalámbrico de telefonía fija (clásico equipo inalámbrico conectado a la red de telefonía fija).
- b. (2 puntos) Sistema inalámbrico de ondas milimétricas
Sistema que opera por sobre los 50GHz, cuya longitud de onda es milimétrica
- c. (2 puntos) Capacidad de canal
 $\log_2(1+SNR)$, máxima cantidad (teórica) de bits por segundo que se pueden transmitir en 1 Hz de ancho de banda
- d. (2 puntos) Modulación de portadora
Modificación de algún parámetro de una señal auxiliar (portadora) donde su variación refleja o incluye a la señal de información.
- e. (2 puntos) Ensombreamiento o shadowing
Variable aleatoria lognormal (en dB) que modela variaciones de path loss para una misma distancia.
- f. (2 puntos) PAF
Factor de atenuación por particiones

II – Responda brevemente a las siguientes preguntas

- a. (4 puntos) Indique al menos 3 razones por las que los enlaces inalámbricos móviles experimentan una velocidad de transferencia menor a la de los enlaces inalámbricos fijos, bajo las mismas condiciones de transmisión.

Respuesta abierta. Se puede elaborar sobre Doppler, desvanecimientos temporales/espaciales, etc, siempre comparando (no en términos absolutos).

b. (4 puntos) Explique por qué ambas afirmaciones son equivalentes: el que la dispersión doppler sea menor al ancho de banda de la señal es equivalente a decir que el tiempo de coherencia es menor a la duración del símbolo.

$$1/BW \sim T_s$$

c. (4 puntos) Explique las razones por las que un canal selectivo en frecuencia introduce interferencia entre símbolos.

Fourier⁻¹{señal deformada espectralmente} => deformación temporal en relación a lo enviado -> pulsos se ensanchan, generando interferencia entre símbolos.

III – Análisis de cobertura y disponibilidad de enlace

Desarrolle ordenadamente el siguiente ejercicio.

En caso de realizar suposiciones explícitas ordenadamente.

Se desea diseñar una celda de un sistema de telefonía móvil, el cual opera a una frecuencia de 900 MHz en una gran ciudad. La altura de la estación base es $h_b = 30$ m, y se asume para el análisis que la estación móvil está a una altura de $h_m = 3$ m. Se conoce que las máximas pérdidas aceptables para la correcta operación del sistema (en el límite de cobertura) son de 120 dB.

Para diseñar el radioenlace, se opta por emplear el modelo de propagación de Atefi y Parsons. Este modelo se basa en una serie de mediciones realizadas en Londres a 900 MHz, expresando las pérdidas de propagación L [dB] según:

$$L \text{ [dB]} = 82 + 26.16 \log_{10}(f_c) + 38 \log_{10}(R) - 21.8 \log_{10}(h_b) - 0.15 \log_{10}(h_m) + L_D$$

donde f_c es la frecuencia en MHz, h_b y h_m son las alturas (en metros) de la estación base y móvil respectivamente, R es el largo del enlace en Km y L_D son las pérdidas por difracción (en este caso $L_D = 2$ dB).

Responda ordenada y legiblemente a las siguientes preguntas:

- (4 puntos) Determine el máximo alcance del sistema según el modelo de Atefi-Parsons.
- (4 puntos) ¿Cuál sería el alcance si se emplea el modelo de Okumura-Hata?
- (4 puntos) Indique el exponente de pérdidas que modela los casos (a) y (b)
- (4 puntos) Para el modelo de Atefi-Parsons se observa que al aumentar la altura de la base disminuyen las pérdidas de gran escala. ¿Cómo podría explicar esta situación?

Considere ahora que además de las pérdidas de gran escala ya calculadas existe además desvanecimiento de pequeña escala. La figura 1 muestra la CDF (función de distribución acumulada) de los desvanecimientos, normalizados a su potencia promedio.

- (4 puntos) Si se deseara compensar las pérdidas de pequeña escala para brindar un 90% de disponibilidad, cuánta potencia adicional debiera transmitirse para dicho fin?

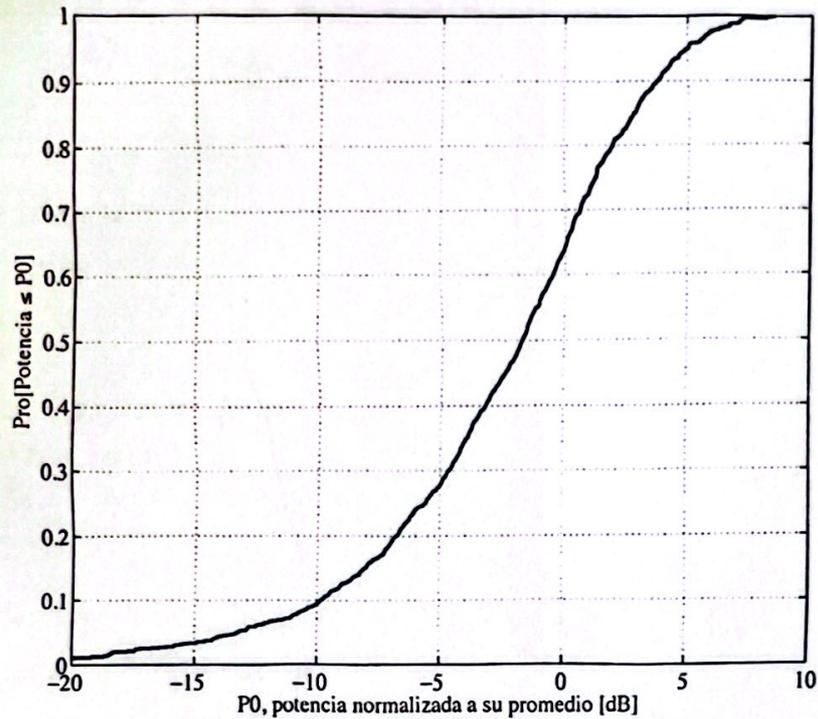


Fig 1. CDF de la potencia recibida en un terminal de usuario típico, normalizada a su potencia promedio.

Modelo de Hata

Zonas urbanas:

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

Ciudades pequeñas y medianas:

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

Grandes ciudades

$$a(h_{re}) = 8.29 (\log 1.54 h_{re})^2 - 1.1 \text{ dB} \quad \text{for } f_c \leq 300 \text{ MHz}$$

$$a(h_{re}) = 3.2 (\log 11.75 h_{re})^2 - 4.97 \text{ dB} \quad \text{for } f_c \geq 300 \text{ MHz}$$

Zonas suburbanas

$$L_{50}(\text{dB}) = L_{50}(\text{urban}) - 2[\log(f_c/28)]^2 - 5.4$$

Zonas rurales

$$L_{50}(\text{dB}) = L_{50}(\text{urban}) - 4.78 (\log f_c)^2 - 18.33 \log f_c - 40.98$$

f_c en MHz, alturas en metros, d en Km.

todos los logaritmos son logaritmos en base 10

(4)

Atefi - Parsons

$$38 \log R =$$

$$L - 82 - 26.16 \log f_c$$

$$+ 21.8 \log h_b$$

$$+ 0.15 \log h_m$$

$$- L_b$$

$$= 120 - 82 - 26.16 \log(900)$$

$$+ 21.8 \log(30)$$

$$+ 0.15 \log(3)$$

$$- 2$$

$$38 \log R = -9.15$$

$$\log R = \frac{-9.15}{38} = -0.24$$

$$R = 574 \text{ m}$$

$$\underline{\underline{M = 3.8}}$$

(B)

Okunura - Hata

$$L = 69.55 + 26.16 \log(f_c) - 13.82 \log(h_t) \\ + (44.9 - 6.55 \log(h_t)) \log(d) \\ - a(hre) \quad \begin{array}{l} \parallel f_c = 900; h_t = 30; h_r = 3 \\ L = 120 \\ \downarrow \end{array}$$

\Rightarrow

$$120 = 126.42 + 35.22 \log(d) - a(hre)$$

$$35.22 \log(d) = -6.42 + a(hre)$$

—//—

$$a(hre) = 3.2 (\log(11.75 hre))^2 - 4.97 \\ = 2.7$$

$$\Rightarrow \log(d) = \frac{-6.42 + 2.7}{35.22} = -0.10$$

$$\Rightarrow d = 0.788 \text{ km}$$

$$\Rightarrow 788 \text{ m}$$

©

analizando las emisiones

Atyfi - Parson

$$L = K + 38 \log_{10}(d)$$

$$\rightarrow m = 3.8$$

Hata - Okumura

$$L = K + 35.22 \log_{10}(d)$$

$$\rightarrow m = 3.52$$

④ Al aumentar la altura de la base
aumenta la prob. de que exista las
(menos obstáculos)

⑤ Se debe observar el 10% + crítico, lo
que implicaría agregar 10 dB.

Tecnologías Inalámbricas Control – Propagación de gran escala

Nombre: _____

La siguiente figura muestra tres escenarios donde se midió la cobertura de tecnologías 5G en su operación en la banda de 60 GHz. Se procedió a medir dentro del patio de la facultad de ingeniería (Escenario A), en la calle Ejército (Escenario B) y en la calle Vergara (Escenario C).

La altura de las antenas de la base y del receptor fue de 1.43 m. Estas antenas corresponden a antenas muy directivas, de 12° de ancho de lóbulo, y ganancia de 24 dB.

Para realizar las mediciones, se mantuvo la posición de la antena base y se desplazó la del receptor. En cualquier caso, las antenas se mantuvieron siempre alineadas a su máxima ganancia.

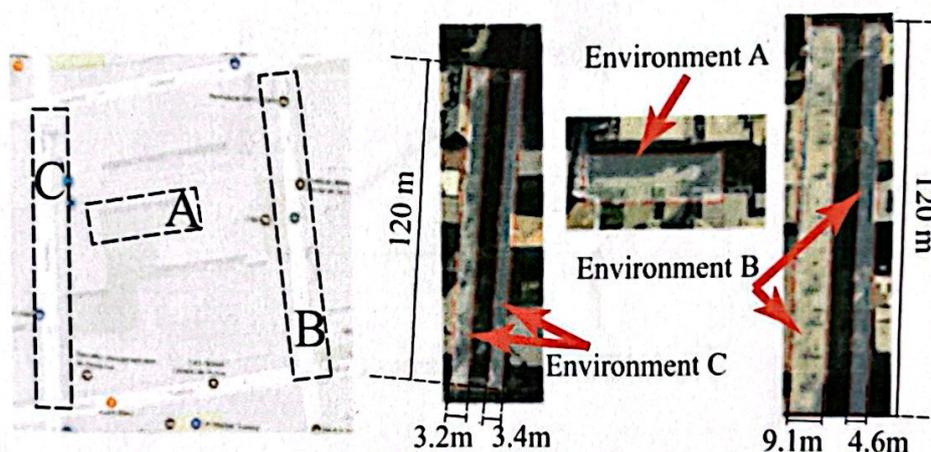
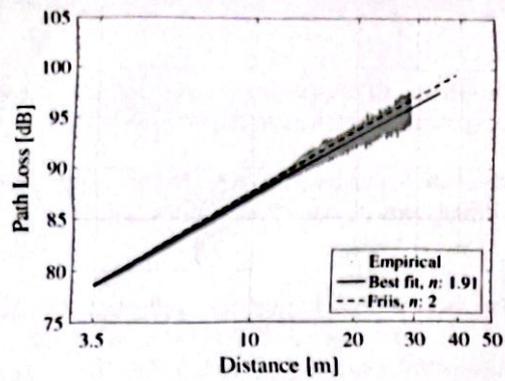


Figura 1: Escenarios medidos

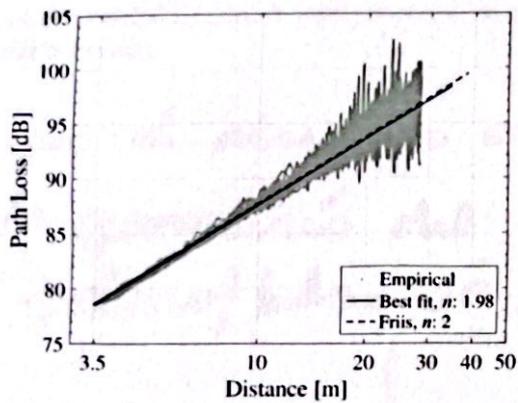
Para cada uno de estos escenarios, se midieron (entre otros parámetros) las pérdidas de gran escala. Ello, ajustando las mediciones al siguiente modelo:

$$PL(d) = PL(d_0) + 10n \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + \chi_{dB}, \quad d_0 = 3.5 \text{ m} \quad (1)$$

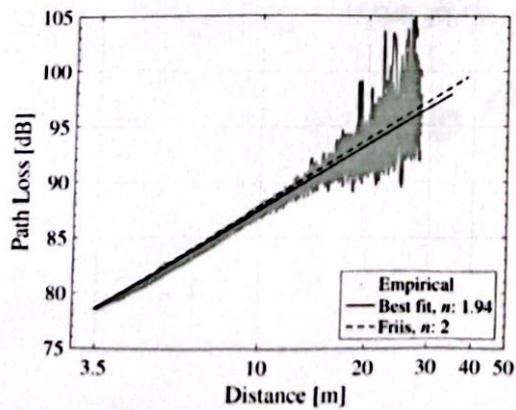
donde d es la distancia entre la estación base y la estación receptora, $PL(d_0)$ es la pérdida de espacio libre en dB a una distancia $d_0=3.5\text{m}$, n es el exponente de pérdidas obtenido por ajuste a las mediciones de cada caso, y χ_{dB} es una variable aleatoria gaussiana en decibelios, con valor medio 0 y desviación estándar σ_s . Esta desviación estándar resultó de 0.45 dB para el caso A (patio), 0.86 dB para el caso B (Ejército) y 1.83 dB para el escenario C (Vergara). Los valores resultantes para los exponentes de pérdida medidos se detallan en las curvas de la Figura 2.



(a) Escenario A (Patio de la facultad)



(b) Escenario B: Avenida Ejército



(c) Escenario C: Calle Vergara

Figura 2: Resultados de mediciones y mejor ajuste a casos de estudio.

A partir de los datos expuestos, responda ordenadamente a las siguientes preguntas.

1. Los gráficos de la Figura 2 muestran que la dispersión de los datos medidos en torno al modelo de ajuste es mucho mayor en los cañones urbanos que en el patio. ¿Cómo justificaría esto?
2. La dispersión de los datos medidos en los tres escenarios aumenta en la medida que aumenta la distancia de separación entre la base y el transmisor. ¿Cómo justificaría esto?
3. Suponga que en el enlace ubicado en la Avenida Ejército se desea dar cobertura hasta 350 m de distancia, para antenas alineadas a su máxima ganancia. Al emplear el modelo de pérdidas empíricas antes expuesto: ¿Cuál debiera ser la potencia transmitida si la sensibilidad del equipo receptor es de -100 dBm y se emplean antenas de 24 dB de ganancia? Asuma que no existen pérdidas adicionales a las de propagación de gran escala predichas por el modelo.
4. ¿Qué limitaciones tiene el modelo? Refiérase, por ejemplo, a los casos de uso donde podría (o no) ser aplicado para definir cobertura.

→ cobertura

→ antena direccional

1) Se espera que el alumno argumente en función de geometría del entorno medido y tráfico/bloqueo.

2) Muros + ventanas, + "cobertura" de los lados de la antena

⇒ capta más multipath

⇒ aumenta dispersión

$$3) PL(d) = PL(d_0) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right)$$

$$10 \log \left[\frac{4\pi (d_0)}{\lambda} \right]^2 + 10n \log \left(\frac{350}{3.5} \right)$$

$$10 \log \left(\frac{4\pi d_0}{\lambda} \right)^2 + 10 \cdot 1,98 \log_{10}(10^2)$$

$$10 \log \left\{ \frac{4\pi \cdot 3,5 \cdot 60 \times 10^9}{3 \times 10^8} \right\}^2 + 20 \cdot 1,98$$

$$78,9 \text{ dB} + 39,6 = 118,5 \text{ dB}$$

⇒ Pérdidas a 350 m

Balancedo de carga:

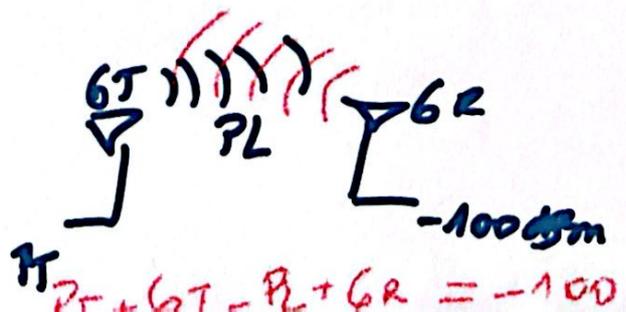
$$\rightarrow P_T + G_T - P_L + G_R = -100 \text{ dBm}$$

$$P_T + 24 - 118 + 24 = -100$$

$$P_T + 48 = 18$$

$$P_T = 18 - 48$$

$$P_T = -30 \text{ dBm}$$



4) Los limitadores se desprenden de cómo se midió:

- altura de antenas son bajas e iguales
⇒ no representa una base alta
→ podría emular base baja a peatón o redes cooperativas

- la propagación modelada es en exteriores

patio → zonas abiertas y tráfico
calles → cañones urbanos

- directividad ⇒ válido para enlaces muy directivos (12°).

- Otros propuestas y apuntar a cómo se midió pueden ser también válidos.

Ayudantía 6

BENJAMÍN FERNÁNDEZ

PROFESOR: ERICK CARREÑO

19 DE SEPTIEMBRE DEL 2022

Desvanecimiento a pequeña escala

En primer lugar, los modelos de pequeña escala se emplean para describir fluctuaciones de amplitud rápida de una señal de radiofrecuencia sobre un intervalo corto de tiempo o a pequeñas distancias. El desvanecimiento a pequeña escala son producidos por interferencias generadas por el multitrayecto de la señal y esto es causado por causas como:

- Multitrayecto (Reflexiones, Difracción y Dispersión)
- Movimiento (Efecto Doppler)

Canales con Multitrayecto

- time = t varies into the page
- time delay bins are quantized to widths = $\Delta\tau$

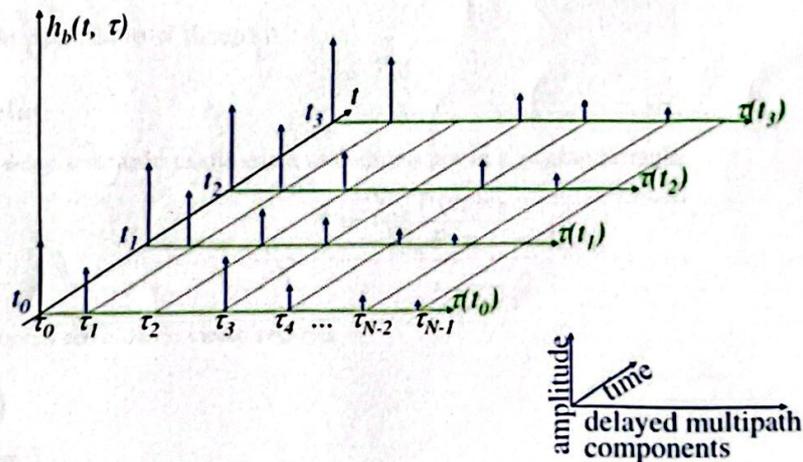


Figura 1: Modelo respuesta impulso multipath

Esta figura muestra el modelo respuesta impulso. Esto es una caracterización de la función de transferencia del canal.

En la práctica, en lugar de medir la respuesta al impulso de un canal, se utiliza el perfil de potencia recibida, yo lo veo como que solo tomamos en cuenta un tiempo, como el ejercicio que se realizara en esta ayudantía.

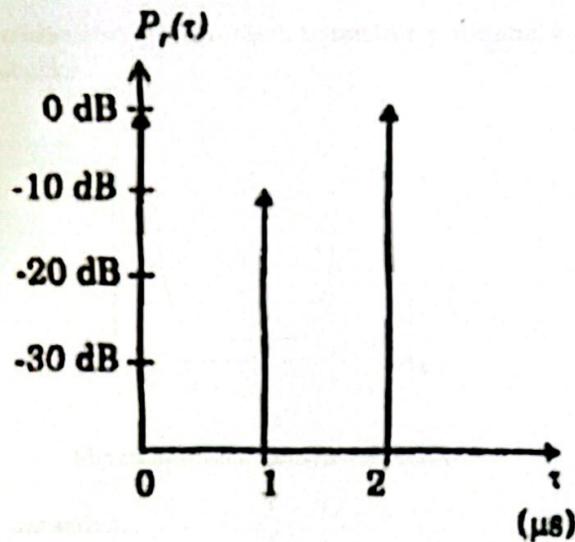


Figure P4.18. Power delay profile.

Figura 2: Ejemplo grafica $\phi_h(0; \tau_k)$

Esta gráfica muestra la potencia en el tiempo 0.

Mean Excess delay

El *mean excess delay* o retardo medio extra es definido por la siguiente fórmula:

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_k P(\tau_k) \tau_k}{\sum_k P(\tau_k)}$$

donde:

- $P(\tau_k)$ es la potencia recibida en cierto retardo.
- τ_k es el retardo.

RMS Delay spread

El *rms delay spread* o dispersión rms del retardo se define como:

$$\sigma_\tau = \sqrt{\bar{\tau}^2 - (\bar{\tau})^2}$$

donde $\bar{\tau}^2$ se define como:

$$\bar{\tau}^2 = \frac{\sum_k P(\tau_k) \tau_k^2}{\sum_k P(\tau_k)}$$

Ancho de banda de coherencia

Este es el rango espectral considerable en promedio plano y este tiene una relación inversa con él *rms delay spread*. La fórmula se define así:

- Para 90 % de coherencia:

$$B_c = \frac{1}{(50\sigma_\tau)}$$

- Para 50 % de coherencia:

$$B_c = \frac{1}{(5\sigma_\tau)}$$

Corrimiento o dispersión Doppler

Este se origina cuando existe movimiento relativo entre transmisor y receptor y describe el ensanchamiento en frecuencia debido al desplazamiento doppler.

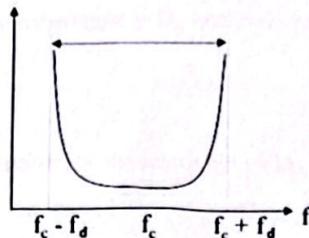


Figura 3: Ensanchamiento espectral

f_c es la frecuencia a la que opera el transmisor.

f_d es el corrimiento de la frecuencia que recibe el receptor y este es definido por la siguiente fórmula:

$$f_d = \frac{v \cos \theta}{\lambda}$$

siendo v la velocidad del móvil, θ el ángulo entre el receptor y el transmisor con respecto al movimiento que se está haciendo y λ es c/f que es la misma fórmula vista en los modelos de gran escala.

La frecuencia recibida por el receptor está dada por:

$$f = f_c \pm f_d$$

siendo el símbolo \pm dado dependiendo de si el receptor se mueve hacia el transmisor o se aleja de este.

Tiempo de coherencia del canal

El tiempo de coherencia del canal se ve definido por la siguiente ecuación

$$T_c = \frac{1}{f_m}$$

siendo f_m el máximo corrimiento doppler, lo cual es f_d cuando $\theta = 0$. Por lo tanto, f_m está dado por la siguiente ecuación

$$f_m = \frac{v}{\lambda}$$

Máxima tasa de transmisión

La máxima tasa de transmisión es definido por la siguiente ecuación:

$$R_s = \frac{1}{T_s}$$

este elemento se mide en Baudios.

T_s es el periodo del símbolo.

Ecualización

La ecualización es un proceso por el cual pasa la señal para que esté cerca del ideal, en sí, si algo se atenúa, se amplifica. Podemos ver estos dos casos:

- Flat fading

$$B_s \leq B_c$$

$$T_s > \sigma_\tau$$

Para este tipo de casos no se requiere ecualizar

- Fading selectivo en frecuencia

$$B_s > B_c$$

$$T_s < \sigma_\tau$$

Para este tipo de casos se requiere ecualizar

Para los dos casos B_c es el ancho de banda de coherencia y B_s ancho de banda de la señal.

Ejercicios

1. Bajo el siguiente power delay profile, resuelva los siguientes ejercicios.

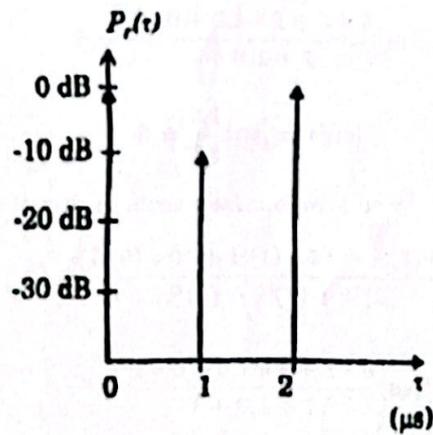


Figure P4.18. Power delay profile.

- a) Calcular Mean Excess delay.
 - b) Calcular RMS Delay spread.
 - c) Determine ancho de banda de coherencia al 90 %.
 - d) Si el transmisor opera en 2.4GHz y un usuario se desplaza a una velocidad de 2m/s. Determine la frecuencia recibida.
 - I. Usuario se mueve hacia el transmisor.
 - II. Usuario se aleja del transmisor.
 - III. Usuario avanza en dirección perpendicular a la señal recibida por el transmisor.
 - e) Determine el tiempo de coherencia del canal.
 - f) Si el recinto aumenta al doble. ¿Qué sucede con los valores del ancho de banda de coherencia y RMS Delay spread?
 - g) Indique cuál sería la máxima tasa de transmisión del canal (en baudios) que se podría alcanzar, sin ecualización, bajo la condición $\sigma_\tau/T_s \leq 1$, donde T_s es el periodo del símbolo.
2. Considere una dispersión del retardo $RMS\sigma_\tau = 0,5\mu s$. Compare el ancho de banda de la señal respecto al ancho de banda de coherencia al 50 % para los sistemas, y comente si requiere o no ecualizador:
 - a) GSM, ancho de banda, $B_s = 200kHz$.
 - b) WCDMA, ancho canal, $B_s = 5000kHz$

Solución

1. Al observar el *Power delay profile* del ejercicio se sabe que:

- $P(0) = 0dB = 10^{\frac{0dB}{10}} \text{ veces} = 1 \text{ veces}$
- $P(1) = -10dB = 10^{\frac{-10dB}{10}} \text{ veces} = 0,1 \text{ veces}$
- $P(2) = 0dB = 10^{\frac{0dB}{10}} \text{ veces} = 1 \text{ veces}$

a) Ocupando la fórmula de *Mean Excess delay* se obtiene lo siguiente:

$$\bar{\tau} = \frac{P(0) * 0 + P(1) * 1 + P(2) * 2}{P(0) + P(1) + P(2)}$$

Al reemplazar se obtiene:

$$\bar{\tau} = \frac{1 * 0 + 0,1 * 1 + 1 * 2}{1 + 0,1 + 1} [\mu s]$$

Dando como resultado:

$$\bar{\tau} = \frac{2,1}{2,1} [\mu s] = 1 [\mu s]$$

b) En primer lugar, para aplicar la fórmula se necesita saber el valor de $\bar{\tau}^2$:

$$\bar{\tau}^2 = \frac{P(0) * 0^2 + P(1) * 1^2 + P(2) * 2^2}{P(0) + P(1) + P(2)}$$

Al reemplazar se obtiene:

$$\bar{\tau}^2 = \frac{1 * 0 + 0,1 * 1 + 1 * 4}{1 + 0,1 + 1} [\mu s]^2$$

Dando como resultado:

$$\bar{\tau}^2 = \frac{4,1}{2,1} [\mu s]^2 = 1,95 [\mu s]^2$$

Con este factor ya calculado, se puede saber el *RMS delay spread*, si reemplazamos los valores ya calculados, la ecuación queda así:

$$\sigma_{\tau} = \sqrt{1,95 [\mu s]^2 - (1 [\mu s])^2}$$

Obteniendo así:

$$\sigma_{\tau} = 0,97 [\mu s]$$

c) Ya que están pidiendo el ancho de banda de coherencia al 90 % se debe de utilizar la siguiente fórmula:

$$B_{c0,9} = \frac{1}{(50\sigma_{\tau})}$$

Al reemplazar se obtiene lo siguiente:

$$B_{c0,9} = \frac{1}{(50 * 0,97 [\mu s])} = 20618 [Hz]$$

d) Para este ejercicio se debe tomar en cuenta para las tres situaciones que frecuencia con la que opera la transmisora (f_c) es $2,4 [GHz]$ y que el usuario se está desplazando a una velocidad de $2 [m/s]$. Aparte también se plantea el siguiente supuesto: el ángulo θ es 0 ya que se asume que el movimiento del usuario es directo a la antena.

El λ será el mismo para los tres casos, este es:

$$\lambda = \frac{3 * 10^8 [m/s]}{2,4 * 10^9 [Hz]} = 0,125$$

i. Reemplazando en la fórmula de f_d se obtiene

$$f_d = \frac{v \cos \theta}{\lambda} = \frac{2[m/s] \cos(0)}{0,125} = 16[Hz]$$

Por lo tanto, la frecuencia recibida es:

$$f = f_c + f_d = 2,4[GHz] + 16[Hz]$$

Recuerden que la frecuencia recibida es positiva porque el usuario se mueve hacia la antena.

ii. Reemplazando en la fórmula de f_d se obtiene

$$f_d = \frac{v \cos \theta}{\lambda} = \frac{2[m/s] \cos(0)}{0,125} = 16[Hz]$$

Por lo tanto, la frecuencia recibida es:

$$f = f_c + f_d = 2,4[GHz] - 16[Hz]$$

Recuerden que la frecuencia recibida es negativa porque el usuario se aleja de la antena.

iii. Para este tercer caso, el usuario está avanzando en una dirección perpendicular a la antena, por lo tanto, ahora $\theta = 90^\circ$. Realizamos los mismos cálculos anteriormente realizados pero considerando este cambio:

$$f_d = \frac{v \cos \theta}{\lambda} = \frac{2[m/s] \cos(90)}{0,125} = 0[Hz]$$

Por lo tanto, la frecuencia recibida es:

$$f = f_c + f_d = 2,4[GHz]$$

e) El tiempo de coherencia del canal está dado por la siguiente ecuación:

$$T_c = \frac{1}{f_m}$$

f_m es v/λ , por lo tanto, la ecuación de T_c también se puede interpretar así:

$$T_c = \frac{\lambda}{v}$$

Reemplazando obtenemos:

$$T_c = \frac{0,125}{2[m/s]} = 0,0625[s]$$

f) Si el recinto aumenta, esto implica una mayor retardo, ya que los distintos frentes del multitrayecto se tardarán más en llegar. Esto también implica que el *RMS delay spread* (σ_τ) aumenta. Con respecto al ancho de banda de coherencia, este se ve definido por la siguiente ecuación:

$$B_{co,0} = \frac{1}{(50\sigma_\tau)}$$

El σ_τ es un valor que cuando se ve aumentado, al ancho de banda de coherencia se verá disminuido.

Por lo tanto, si el recinto aumenta, el *RMS delay spread* (σ_τ) aumenta y el ancho de banda de coherencia disminuye

g) La máxima tasa de transmisión es definida por la siguiente fórmula:

$$R_s = \frac{1}{T_s}$$

En el enunciado mencionan que queremos saber la máxima tasa de transmisión y, además, dice que está bajo la condición de $\sigma_\tau/T_s \leq 1$. De esto último podemos extraer que la máxima tasa de transmisión solo se logrará cuando $\sigma_\tau = T_s$, ya que si esto pasa es la única forma que la condición dada logre su valor máximo.

Para este caso que no se puede ecualizar y, habiendo analizado la condición dada, R_s se puede definir con la siguiente ecuación:

$$R_s = \frac{1}{\sigma_\tau}$$

σ_τ ya fue calculado anteriormente y al reemplazar en la ecuación se obtiene que:

$$R_s = \frac{1}{0,97[\mu s]} = 1030927,8[\text{Baudios}] = 1,03[\text{MBaudios}]$$

2. Para este ejercicio se pide ver si se necesita ecualización comparando el ancho de banda de la señal con respecto al ancho de banda de coherencia al 50%, el cual su fórmula es:

$$B_{c0,5} = \frac{1}{(5\sigma_\tau)}$$

También se nos da que $\sigma_\tau = 0,5\mu s$

- a) Para este caso tenemos que el ancho de banda de la señal (B_s) es $200kHz$, por lo que calcularemos el $B_{c0,5}$.

$$B_{c0,5} = \frac{1}{(5 * 0,5)} = 400000Hz = 400kHz$$

Se puede notar que el ancho de banda de coherencia al 50% es mayor al de la señal, por lo tanto, estamos en un caso de **Flat Fading**, lo cual implica no utilizar ecualización.

$$B_s < B_{c0,5}$$

- b) En este caso tenemos que el $B_s = 5000kHz$. Los parámetros para calcular el $B_{c0,5}$ no han cambiado, por lo que este es igual a lo obtenido anteriormente: $B_{c0,5} = 400kHz$. Está claro que en este caso el B_s es mayor que $B_{c0,5}$, lo cual implica que estamos en un caso de **Fading selectivo en frecuencia**, por lo tanto, requiere ecualización.

$$B_s > B_{c0,5}$$

Pregunta 1: Aplicación de conceptos de diseño básico de una red celular

Uno de los sistemas de telefonía celular más importantes en la historia de las comunicaciones corresponde a AMPS. AMPS opera en un esquema FDMA/FDD. El rango de operación de los canales de RF es:

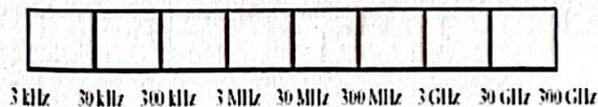
Canales hacia atrás (móvil-estación base): 824-849 MHz.
Canales hacia delante (estación base-móvil) 869-894 MHz.

El diseño de red considera además un intervalo de resguardo (en frecuencia) de 40 KHz tanto en el segmento hacia atrás como hacia delante, para disminuir la interferencia en bandas vecinas.

Como parte de la licitación, el ancho de banda total asignado para esta tecnología se reparte en dos operadores. Los canales hacia atrás (y hacia delante) de cada operador se dividen entre canales destinados al tráfico de voz/datos, y canales de control de la misma red. Se asigna a cada operador un total de 21 canales de control, los que tienen como función el monitorear el establecimiento, supervisión, mantención, finalización y manejo de datos relevantes de cada llamada.

Suponga la existencia de clústeres de 7 celdas, y de 3 sectores por celda. Asuma además que los canales de tráfico y de control se distribuyen uniformemente en toda la red.

- a) Complete el siguiente diagrama (nombres de bandas) e indique en qué banda opera AMPS.



Respuesta: AMPS opera en la banda UHF, y el diagrama queda de la siguiente forma



- b) Determine el número de canales dúplex en operación en el sistema, y por operador.

Respuesta: Para el enlace de subida (o de bajada) existen (25000 -40) kHz disponibles. Dado que cada canal utiliza 30 kHz, el número total de canales dúplex es $24960/30 = 832$ canales de radiofrecuencia en el sistema. Cada operador contará con la mitad ($832/2=416$ canales de RF).

- c) Determine el número de canales dúplex por clúster

Respuesta: Un clúster hará uso de los canales de cada operador, todo su espectro. Así, habrá 416 canales dúplex por clúster.

- d) Determine el número de canales dúplex por celda

Respuesta: Al estar todo uniformemente distribuido, los canales que se asignan a una celda son $1/7$ de aquellos del clúster. Así, cada celda tendrá 416/7 canales (59).

- e) Determine el número de canales de control por clúster y por celda

Respuesta: Por definición, son 21 (los asignados a cada operador) al clúster, y $21/7=3$ a la celda.

f) **Determine el número de canales de voz por celda**

Respuesta: $416 - 21 = 395$ canales de voz a repartir en un clúster, donde a cada celda llegarán $395/7=56$.

g) **Determine el número de canales de control y de tráfico por sector**

*Respuesta: Habrá $21/(7*3)=1$ canal de control por sector y $56/3=18$ canales de voz por sector.*

h) **¿Por qué se dice que un sistema como el descrito previamente es un sistema cuyo desempeño está limitado por interferencia?**

Respuesta: Porque frente a problemas de capacidad y cobertura, aumentar la potencia no es respuesta. Ello sólo aumentaría la interferencia.

i) **¿Qué ocurriría si se aumenta el tamaño físico de cada clúster en el entorno, en términos de la capacidad de la red?**

Respuesta: Disminuye la reutilización y con ello la capacidad de la red.

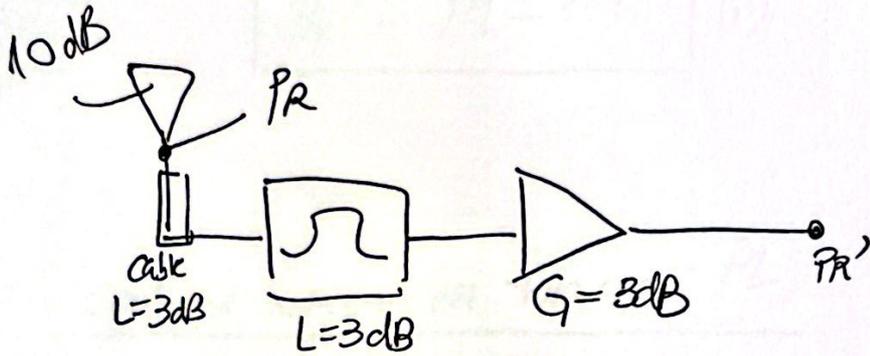
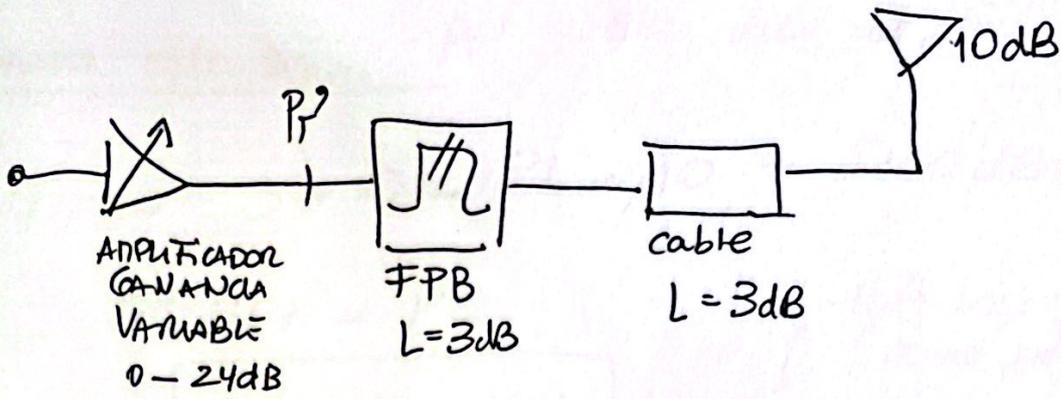
Pregunta 2: Diseño de un radioenlace

Un equipo de comunicaciones en general está compuesto por diferentes elementos que contribuyen al traslado de la información desde una banda base hasta una frecuencia intermedia, y posteriormente a la frecuencia comercial licitada.

Considere un sistema de comunicaciones compuesto por un generador (que crea la señal a transmitir), conectado en serie con un amplificador de ganancia variable, un filtro pasabandas, un cable de antena, una antena, y su similar en el lado del receptor.

En el transmisor, el generador tiene una potencia de salida máxima de 60 dBm. el amplificador de ganancia variable posee pasos de 1 dB, variando desde 0 hasta 24 dB de ganancia. El filtro pasabandas y el cable de antena poseen (cada uno) una atenuación de 3 dB. La ganancia de la antena transmisora es de 10 dB. El amplificador de ganancia variable en el receptor está fijo en 3 dB. El resto de los elementos tiene las mismas características de lo descrito para el transmisor. Por otro lado, el límite de recepción del equipo es de -100 dBm en los terminales de la antena receptora, debiendo cubrir enlaces de al menos 10 Km.

- a) Se solicita calcular el valor del amplificador de ganancia variable en el lado transmisor, para cumplir con las condiciones del enunciado, suponiendo que el generador opera a su máxima potencia de salida. Para ello considere altura de estación base de 15 m, altura del receptor de 3 m, frecuencia de operación de 2600 MHz, y modelo COST 231 para centros urbanos metropolitanos.
- b) Para las condiciones de a), ¿cuál es el exponente de pérdidas equivalente obtenido?
- c) Compare el resultado de las pérdidas calculadas con aquellas que predice la ecuación de Friis generalizada, empleando el exponente de pérdidas calculado en b).



$$P_R = -100 \text{ dBm}$$

$$h_t = 15 \text{ m} \quad h_r = 3 \text{ m}$$

$$d = 10 \text{ km} \quad f = 2,6 \text{ GHz}$$

COST 231.

$$L_{50} = 186 \text{ (km)}$$

$$g(h_r) = -3,2 (\log_{10}(17,3)) - 4,97 = -2,7$$

$$\Rightarrow [L_{50} = 186 - 2,7 = 183,3] \text{ (km)}$$

Primero calculamos P_T' . Ella debe cumplir con que

$$P_T' - 3 - 3 + 10 - PL + 10 = -100 \text{ dBm}$$

$$P_T' + 14 = PL$$

$$\boxed{P_T' = PL - 114} \quad (1)$$

- Path loss positivo
(como pérdidas)
- Todos en unidades
logarítmicas.

b) calculamos en función PL

$$L_{50} = 46.3 + 33.9 \log_{10}(2600) - 13.82 \log(15) \\ + (44.9 - 6.55 \log(15)) \log(10) + 3 \\ - a \text{ (hrc)}$$

$$L_{50} = 186 - a \text{ (hrc)}$$

$$a \text{ (hrc)} = 3.2 (\log_{10}(11.75 \times 3))^2 - 4.97 = 2.7$$

$$\Rightarrow \boxed{L_{50} = 186 - 2.7 = 183.3} \quad (2)$$

I - Definiciones (respuestas cortas)

Defina/explique brevemente los siguientes términos/conceptos en función de lo que representan para el contexto de la asignatura.

A continuación se escribe una descripción breve que debió ser desarrollada por cada estudiante:

- a. (2 puntos) DECT
Sistema inalámbrico de telefonía fija (clásico equipo inalámbrico conectado a la red de telefonía fija).
- b. (2 puntos) Sistema inalámbrico de ondas milimétricas
Sistema que opera por sobre los 50GHz, cuya longitud de onda es milimétrica
- c. (2 puntos) Capacidad de canal
 $\log_2(1+SNR)$, máxima cantidad (teórica) de bits por segundo que se pueden transmitir en 1 Hz de ancho de banda
- d. (2 puntos) Modulación de portadora
Modificación de algún parámetro de una señal auxiliar (portadora) donde su variación refleja o incluye a la señal de información.
- e. (2 puntos) Ensombreado o shadowing
Variable aleatoria lognormal (en dB) que modela variaciones de path loss para una misma distancia.
- f. (2 puntos) PAF
Factor de atenuación por particiones

II - Responda brevemente a las siguientes preguntas

- a. (4 puntos) Indique al menos 3 razones por las que los enlaces inalámbricos móviles experimentan una velocidad de transferencia menor a la de los enlaces inalámbricos fijos, bajo las mismas condiciones de transmisión.

Respuesta abierta. Se puede elaborar sobre Doppler, desvanecimientos temporales/espaciales, etc, siempre comparando (no en términos absolutos).

- b. (4 puntos) Explique por qué ambas afirmaciones son equivalentes: el que la dispersión doppler sea menor al ancho de banda de la señal es equivalente a decir que el tiempo de coherencia es menor a la duración del símbolo.

$1/BW \sim T_s$

- c. (4 puntos) Explique las razones por las que un canal selectivo en frecuencia introduce interferencia entre símbolos.

Fourier⁻¹ (señal deformada espectralmente) => deformación temporal en relación a lo enviado => pulsos se ensanchan, generando interferencia entre símbolos.

III – Análisis de cobertura y disponibilidad de enlace

Desarrolle ordenadamente el siguiente ejercicio.

En caso de realizar suposiciones explícitas ordenadamente.

Se desea diseñar una celda de un sistema de telefonía móvil, el cual opera a una frecuencia de 900 MHz en una gran ciudad. La altura de la estación base es $h_b = 30$ m, y se asume para el análisis que la estación móvil está a una altura de $h_m = 3$ m. Se conoce que las máximas pérdidas aceptables para la correcta operación del sistema (en el límite de cobertura) son de 120 dB.

Para diseñar el radioenlace, se opta por emplear el modelo de propagación de Atefi y Parsons. Este modelo se basa en una serie de mediciones realizadas en Londres a 900 MHz, expresando las pérdidas de propagación L [dB] según:

$$L \text{ [dB]} = 82 + 26.16 \log_{10}(f_c) + 38 \log_{10}(R) - 21.8 \log_{10}(h_b) - 0.15 \log_{10}(h_m) + L_D$$

donde f_c es la frecuencia en MHz, h_b y h_m son las alturas (en metros) de la estación base y móvil respectivamente, R es el largo del enlace en Km y L_D son las pérdidas por difracción (en este caso $L_D = 2$ dB).

Responda ordenada y legiblemente a las siguientes preguntas:

- (4 puntos) Determine el máximo alcance del sistema según el modelo de Atefi-Parsons.
- (4 puntos) ¿Cuál sería el alcance si se emplea el modelo de Okumura-Hata?
- (4 puntos) Indique el exponente de pérdidas que modela los casos (a) y (b)
- (4 puntos) Para el modelo de Atefi-Parsons se observa que al aumentar la altura de la base disminuyen las pérdidas de gran escala. ¿Cómo podría explicar esta situación?

Considere ahora que además de las pérdidas de gran escala ya calculadas existe además desvanecimiento de pequeña escala. La figura 1 muestra la CDF (función de distribución acumulada) de los desvanecimientos, normalizados a su potencia promedio.

- (4 puntos) Si se deseara compensar las pérdidas de pequeña escala para brindar un 90% de disponibilidad, cuánta potencia adicional debiera transmitirse para dicho fin?

b) modelo de Hata.

$$f = 900 \text{ MHz}$$

$$h_t = 20 \text{ m} \quad h_r = 3 \text{ m}$$

$$L = 120 \text{ dB}$$

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

$$a(h_{re}) = 3.2(\log 11.75 \cdot 3)^2 - 4.97 \text{ dB}$$

$$a(h_{re}) = 2.7 \text{ dB}$$

$$120 \text{ dB} = 69.55 + 26.16 \log(900) - 13.82 \log(30) - 2.7 \text{ dB} \\ + (44.9 - 6.55 \log(20)) \cdot \log(d)$$

$$\log(d) = \frac{-6.42 + 2.7}{35.22}$$

$$\log(d) = -0.12$$

$$d = 0.783 \text{ km} = 783 \text{ m}$$