

Redes y Comunicaciones de Datos I  
Práctica N° 7 – Medios Guiados - RF  
Marcelo T. Gentile, Hernán Soperez, Gabriel Filippa

**Problema 1:**

Un ISP instalará un radioenlace utilizando tecnología 802.11, o sea radios sin asignación de banda, para vincular un nuevo CLIENTE en zona rural.

Del lado CLIENTE, se utilizará la estructura de un tanque de agua que permite instalar un equipo (con antena interna de 16 dB) a una altura máxima de 20 metros sobre el nivel del terreno.

Del lado ISP, se instalará un Access Point (AP), vinculado a través de un Pigtail de 1 dB de pérdida, con una Antena sectorizada de 19 dB de Ganancia, que se instalará sobre la terraza del edificio a 40 metros sobre el nivel de la calle.

La distancia en línea recta entre ambas estaciones es de 14 km y el perfil del terreno es tal que el lado CLIENTE se encuentra a 35 metros sobre el nivel del mar y lado ISP a 25 metros sobre el nivel del mar.

Parámetros de equipos

$F = 2.4 \text{ GHz}$      $P_{tx} = 24 \text{ dBm}$

$S_{rx} = -90 \text{ dBm}$  ---- 54 Mbps

$S_{rx} = -85 \text{ dBm}$  ---- 180 Mbps

$S_{rx} = -80 \text{ dBm}$  ---- 240 Mbps

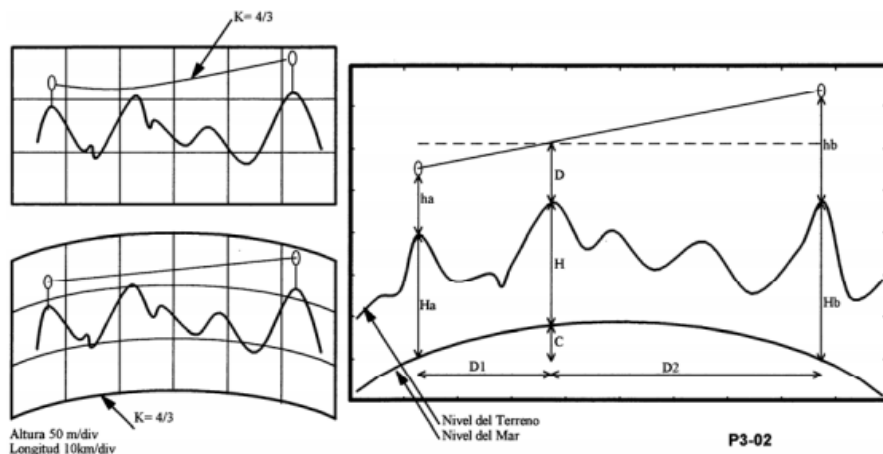
$S_{rx} = -76 \text{ dBm}$  ---- 270 Mbps

$S_{rx} = -73 \text{ dBm}$  ---- 300 Mbps

- A) Verificar si existe línea de vista, si a los 6 km desde el ISP existe un monte de eucaliptos de 21 metros sobre una superficie elevada 37 metros sobre el nivel del mar. **Respuesta: No existe línea de vista**
- B) Calcular si el enlace es factible técnicamente y cuál es el máximo bitrate al que puede operar, considerar las condiciones más desfavorables de terreno y clima y objetivo de confiabilidad del 99.99 %. **Respuesta: Si habría LOS operaría a 54 Mbps.**
- C) Calcular el 1° radio de fresnel a la altura del obstáculo. **Respuesta: 20, 71 m**

Anexo – Transmisión por línea de vista con Obstáculos

Un método de trabajo puede ser el siguiente: se gráfica en un reticulado ortogonal el perfil del terreno y el rayo que une las antenas tiene una curvatura de acuerdo con el valor de K. Otra posibilidad: se gráfica el perfil del terreno sobre una Tierra con curvatura correspondiente a  $K = 4/3$  y el rayo es recto. En ambos casos se observa que la Tierra se levanta cuando el valor de K disminuye. Ambas posibilidades se tienen en la Fig.



Se puede determinar el valor de la curvatura (protuberancia) de la Tierra en un punto del enlace mediante:

$$C = \frac{4 \cdot (d1 \cdot d2)}{51 \cdot K}$$

donde, C es la curvatura expresada en metros y las distancias d1 y d2 se indican en Km. El valor de C se incrementa cuando K disminuye. Cuando se efectúan inspecciones visuales de los obstáculos se debe tener en cuenta que los rayos luminosos no se curvan tanto como las microondas. La atmósfera normal para la luz visible tiene un  $K=1,18$  (valor mínimo que corresponde a la refracción mínima y estable entre las 12 y 15 hs).

Fuente: Manual de las Telecomunicaciones - Ing. Ares

Redes y Comunicaciones de Datos I  
Práctica N° 7 – Medios Guiados - RF  
Marcelo T. Gentile, Hernán Soperez, Gabriel Filippa

Radio 1 de Fresnel: (La onda de radio viaja en una amplia zona en forma de cigarro, más que en una simple línea recta)

-En el trayecto, se deben evitar obstáculos, como montañas, pero también se debe evitar la difracción, causada por la obstrucción parcial de cualquier objeto fijo.

-La difracción causa que aparezca una 2ª onda en el receptor, y las 2, dependiendo de sus fases relativas, podrían cancelarse entre sí hasta cierto grado, produciendo el desvanecimiento (fading) de la onda.

-Los efectos de la difracción se reducen si el Trayecto directo de la onda evita obstáculos por lo menos 60% del radio (F1) de la primera zona de Fresnel.

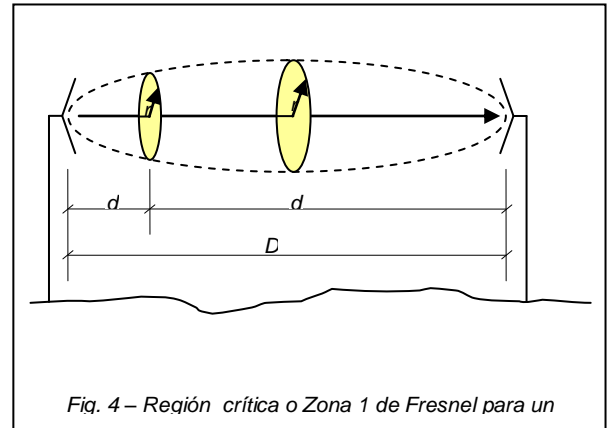


Fig. 4 – Región crítica o Zona 1 de Fresnel para un

$$r_1 = 548 \cdot \sqrt{\frac{1 \cdot d_1 \cdot d_2}{F \cdot D}} \quad \forall d_1, d_2, D(\text{Km}), F(\text{MHz}), r(\text{m})$$

Ejemplo - Resolución de ejercicio punto c)

$$r_1 = 548 \cdot \sqrt{\frac{8 \text{ Km} \cdot 6 \text{ Km}}{2400 \text{ MHz} \cdot 14 \text{ Km}}} = 20,712 \text{ m}$$

## 1.- Verificar línea de vista (LOS)

Para la luz visible, la línea de vista es un concepto fácil de entender y comprobar. Pero, las cosas son más complejas para los radioenfases debido a que no son visibles. En general, se necesita tener una línea de vista (óptica), cuya distancia máxima está limitada por la curvatura de la Tierra. Adicionalmente, es necesario un "poco de espacio alrededor", definido por las Zonas de Fresnel.

En la práctica, la distancia máxima va más allá del horizonte óptico, debido a que la refracción en la atmósfera, originada por diferencias de densidades, tiende a curvar las ondas de radio ligeramente hacia la Tierra (se puede calcular mediante el "horizonte de radio"). En la vida real la restricción de distancia y/o altura de torres se encuentra en los obstáculos que hay que atravesar y por ese motivo nos concentraremos en el análisis con obstrucción.

Considerando el modelo de la superficie terrestre plana y corrección "c" sobre el vano deberemos verificar que ningún obstáculo lo interrumpa o invada el r1 de Fresnel según el criterio de obstrucción deseado.

Por ejemplo si el criterio de obstrucción es 60% de r1 libre de obstáculo tendremos que verificar que

$$Ad' - r1_{(60\%)} > h + H$$

Donde:

Ad': Altura del vano en el punto de estudio desde 0snm.

r1 (60%) : r1 en el punto de estudio x 0,6.

h: Altura del obstáculo en el punto de estudio.

H: Cota del terreno en el punto de estudio.

Ha: Cota del terreno en el punto a.

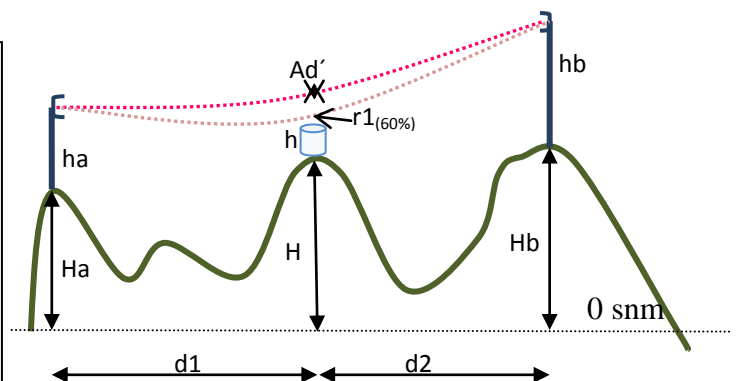
Hb: Cota del terreno en el punto b.

ha: Altura antena en el punto a.

hb: Altura antena en el punto b.

d1: Distancia de a al punto de estudio.

d2: Distancia de b al punto de estudio.

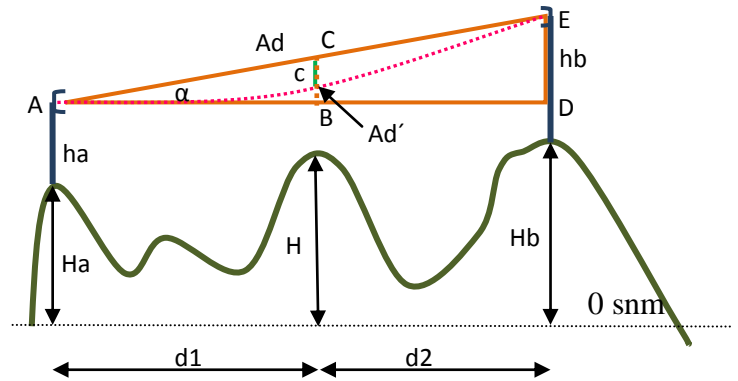


Redes y Comunicaciones de Datos I  
Práctica N° 7 – Medios Guiados - RF  
Marcelo T. Gentile, Hernán Soperez, Gabriel Filippa

Podemos calcular  $Ad'$  utilizando "Razones trigonométricas", para este caso podemos plantear el triángulo ADE y el triángulo ABC con igual valor de  $\alpha$ .

$tg \alpha = CO/CA = CB/AB = ED/DA$  despejamos  $CB = (ED \times AB) / DA$  donde  
 $DA = (d1 + d2)$ ;  $AB = d1$ ;  $ED = (hb + Hb) - (ha + Ha)$   
 $Ad = CB + (ha + Ha) =$   
 $Ad' = Ad - c$

Donde:  
 $Ad$ : Altura sin corrección por  $c$  en punto de estudio.  
 $Ad'$ : Altura del vano en el punto de estudio desde 0snm.  
 $H$ : Cota del terreno en el punto de estudio.  
 $Ha$ : Cota del terreno en el punto a.  
 $Hb$ : Cota del terreno en el punto b.  
 $ha$ : Altura antena en el punto a.  
 $hb$ : Altura antena en el punto b.  
 $d1$ : Distancia de a al punto de estudio.  
 $d2$ : Distancia de b al punto de estudio.



Nota: Podemos utilizar esta misma lógica para determinar la altura de antena  $ha$  o  $hb$  que cumpla el criterio de obstrucción elegido.

Ejemplo - Resolución de ejercicio punto a) Tomamos como lado "a" el lado CLI

$$c = \frac{4 \cdot (8\text{km} \times 6\text{km})}{51 \times 4/3} = 2,824 \text{ m}; DA = (8\text{km} + 6\text{km}) = 14\text{km}; AB = 8\text{km}; ED = (40\text{m} + 25\text{m}) - (20\text{m} + 35\text{m}) = 10 \text{ m}$$

$$CB = (ED \times AB) / DA = (10\text{m} \times 8.000\text{m}) / 14.000\text{m} = 5,715 \text{ m}$$

$$Ad = CB + (ha + Ha) = 5,715\text{m} + (20\text{m} + 35\text{m}) = 60,715 \text{ m}$$

$$Ad' = Ad - c = 60,715 \text{ m} - 2,824 \text{ m} = 57,891 \text{ m}$$

Según el criterio de obstrucción del enunciado para que exista LOS se debería cumplir  $Ad' > h + H$

$$Ad' = 57,891\text{m} < h + H = 21\text{m} + 37\text{m} = 58 \text{ m} \Rightarrow \text{NO LOS}$$

Conclusión: Existe obstrucción del vano por medio del obstáculo en el punto de estudio, deberíamos estudiar como posible solución levantar la altura de la/las antenas.

Redes y Comunicaciones de Datos I  
Práctica N° 7 – Medios Guiados - RF  
Marcelo T. Gentile, Hernán Soperez, Gabriel Filippa

## 2.- Verificar Factibilidad técnica

*Ecuación de Factibilidad del Enlace*

$$P_{RX} (dBm) = P_{TX} (dBm) - L_S (dB) \geq S_{RX} (dBm)$$

*Pérdida del Sistema*

$$L_S (dB) = L_A + L_T + L_D - G_A$$

*Pérdidas de alimentación (se calcula por cada lado)*

$$L_A (dB) = AxD + L_c + L_x \quad \forall L_c, L_x (dB)$$

Alimentador	Banda de transmisión GHz	Atenuación específica dB/100m	Lx – Pérdida por diversidad - dB	Lc- Pérdida por par de acoples - dB	Impedancia característica $\Omega$	Resistencia a dc $\Omega/100$ m	NVP
<b>Coaxil</b> No usar sobre 12 GHz	Hasta 0,9	3,00	2	1,2	50	0,78	88
	0,9 - 1,5	4,80					
	1,5 - 1,9	5,00					
	1,9 - 2,2	5,40					
	>2,2	5,80					
<b>Guía de onda</b> No usar debajo de 2 GHz	2,0 - 3,1	1,40	4	0,6	N/A	N/A	97,08
	3,1 - 4,4	2,10					
	4,4 - 6,2	3,60					
	6,2 - 7,1	4,30					
	7,1 - 7,7	4,60					
	7,7 - 8,5	5,60					
	8,5 - 10,0	8,40					
	10,0 - 11,7	8,90					
	11,7 - 13,3	11,20					
	13,3 - 15,4	13,70					
	15,4 - 19,7	18,90					
	19,7 - 23,6	28,10					
	23,6 - 26,5	32,00					
	26,5 - 40,0	60,00					

Redes y Comunicaciones de Datos I  
Práctica N° 7 – Medios Guiados - RF  
Marcelo T. Gentile, Hernán Soperez, Gabriel Filippa

*Pérdida en la trayectoria*

$$L_T(dB) = 92,44 + 20 \cdot \log F + 20 \cdot \log D \quad \forall F(GHz), D(Km)$$

*Margen de Desvanecimiento (Si da negativo no tener en cuenta porque sería una ganancia)*

$$L_D(dB) = 30 \cdot \log D + 10 \cdot \log(6A \cdot B \cdot F) - 10 \cdot \log(1 - R) - 70 \quad \forall F(GHz), D(Km)$$

Término	Pondera	Factores	Valores
▪ 30 log D	La diversidad modal	<b>D</b> Distancia	La distancia visual entre antenas, en Km
▪ 10 log (6A B F)	El entorno de propagación	<b>A</b> Factor de rugosidad	4 = espejos de agua, ríos muy anchos, etc.
			3 = sembrados densos; pastizales; arenales
			2 = bosques (la propagación va por encima)
			1 = terreno normal
			0,25 = terreno rocoso desparejo
		<b>B</b> Factor climático	1 = áreas marinas o con condiciones de peor mes, anualizadas
			0,5 = áreas tropicales calientes y húmedas
			0,25 = áreas mediterráneas de clima normal
		<b>F</b> Frecuencia	0,125 = áreas montañosas de clima seco y fresco
			La frecuencia medida en GHz
▪ 10 log (1 - R)	El objetivo de confiabilidad	<b>R</b> Confiabilidad	La confiabilidad esperada o convenida, como un decimal. Ej 99,99 % se expresa como 0,9999

*Ganancia en dB en la antena parabólica sólida (Si el enunciado no aporta dicho dato se puede usar como referencia)*

Diámetro		Frecuencias superior e inferior en GHz													
(m)	(pies)	0,9 a 1,5	1,7 a 1,9	1,9 a 2,3	2,3 a 2,5	2,5 a 2,7	3,4 a 4,2	4,0 a 6,4	6,4 a 7,1	7,1 a 8,5	10,0 a 13,0	13,0 a 16,0	16,0 a 20,0	20,0 a 25,0	25,0 a 40,0
0,3	1											29,0	31,1	33,0	37,5
0,6	2				18,5	18,6				29,3	33,4	34,4	36,3	38,2	42,4
0,9	3				22,1	22,4				31,9	36,7	37,0	39,1	41,7	
1,2	4	20,7	22,3	24,2	25,0	25,9				34,9	39,5	40,4	42,5	44,2	
1,8	6	24,3	26,2	28,1	28,6	29,4	33,1	36,4	37,9	38,4	43,1	43,9	46,4	47,6	
2,4	8	26,9	28,7	30,6	31,3	31,9	35,4	38,9	40,3	40,9	45,5	44,4			
3,0	10	28,9	30,7	32,5	33,2	33,9	37,4	40,8	42,0	42,9	47,2				
3,7	12	30,5	32,4	34,1	34,8	35,5	39,0	42,44	43,6	44,6					
4,6	15						40,9	44,6	45,5	46,2					

*Ejemplo - Resolución de ejercicio punto b)*

$L_{A^*b^*} = 1 \text{ dB}$  (pigtail según enunciado);  $L_{A^*a^*} = 0 \text{ dB}$  por ser equipo integrado según enunciado

$$L_T(dB) = 92,44 + 20 \cdot \log 2,4GHz + 20 \cdot \log 14Km = 122,97dB$$

$$L_D(dB) = 30 \cdot \log 14Km + 10 \cdot \log(6 \times 4 \times 1 \times 2,4GHz) - 10 \cdot \log(1 - 0,9999) - 70 = 21,99dB$$

$$L_S(dB) = L_A + L_T + L_D - G_{b^*} - G_{a^*} = 1 \text{ dB} + 122,97dB + 21,99dB - 19dB - 16dB = 110,96dB$$

$$P_{RX}(dBm) = P_{TX}(dBm) - L_S(dB) \geq S_{RX}(dBm)$$

$$P_{RX}(dBm) = 24(dBm) - 110,96(dB) = -86,96dBm \geq -90(dBm)$$

ES FACTIBLE y si existiera LOS operaría como máximo a 54 Mbps.

Redes y Comunicaciones de Datos I  
Práctica N° 7 – Medios Guiados - RF  
Marcelo T. Gentile, Hernán Soperez, Gabriel Filippa

**Problema 2: Utilizando el caso del problema 1 recalculer suponiendo que cambiamos la banda de los equipos de 2,4 GHz a 5,8 GHz.**

- A) *Calcular a que altura debería estar instalada la antena lado CLIENTE para que exista LOS cumpliendo con un criterio del 60% de la zona de Fresnel libre de obstrucción. **Respuesta: >39 m***
- B) *Calcular si el enlace es factible técnicamente y cuál es el máximo bitrate al que puede operar, considerar las condiciones más desfavorables de terreno y clima y objetivo de confiabilidad del 99.99 %. **Respuesta: NO FACTIBLE.***