Cálculo del Presupuesto de Potencia

Materiales de apoyo para entrenadores en redes inalámbricas





Sunday, October 9, 2011

A veces denominado también "balance de potencia" version I.II by Carlo @ 2011-03-18 version I.I3 by Carlo @ 2011-03-23

Metas

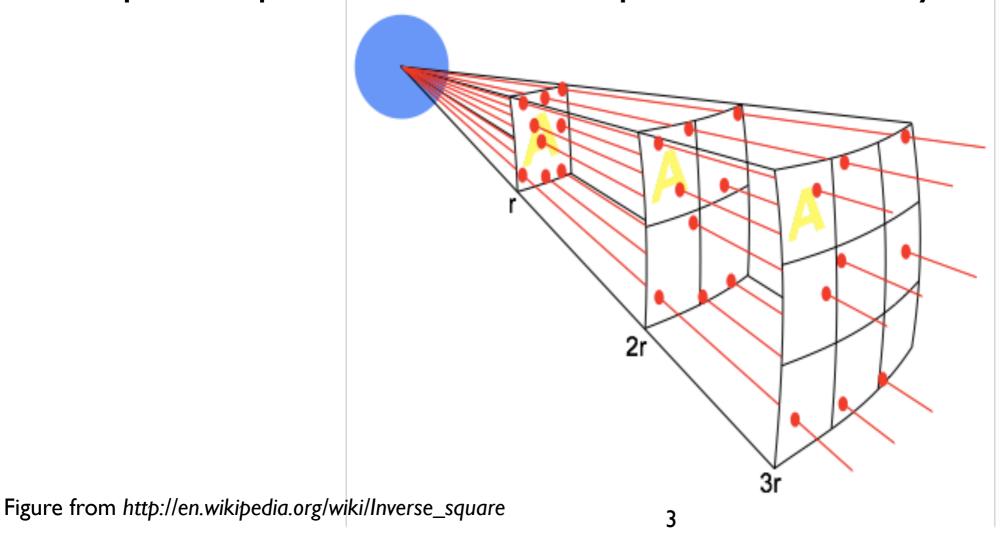
- Ser capaces de calcular cuán lejos podemos llegar con el equipo que tenemos
- Entender porqué para enlaces largos necesitamos mástiles elevados
- Conocer software que ayuda a automatizar el proceso de planificación de radioenlaces



Pérdida en el Espacio Libre

La potencia de la señal se reduce por el ensanchamiento del frente de onda en lo que se conoce como **Pérdida en el Espacio Libre.**

La potencia de la señal se distribuye sobre un frente de onda de área cada vez mayor a medida que nos alejamos del transmisor, por lo que la **densidad** de potencia disminuye.



Sunday, October 9, 2011

Un símil que ayuda a comprender esto es pensar en la luz emitida por un bombillo. Si observamos la cantidad de luz que incide sobre una hoja de papel veremos que ésta disminuye a medida que la alejamos del bombillo.

Este es un fenómeno puramente geométrico, ocurre aún en el vacío donde no hay nada que pueda absorber la radiación electromagnética, por eso se llama pérdida en el espacio libre, en inglés *Free Space Loss, abreviado FSL*

Pérdida en el Espacio Libre (@2.4GHz)

 A la frecuencia de 2.4 GHz la pérdida en el espacio libre en decibelios es

$$L_{fs} = 100 + 20*log(D)$$

...con L_{fs} en dB y **D** en kilómetros.

4

Sunday, October 9, 2011

La base del logaritmo en esta fórmula es 10.

Esta fórmula es muy fácil de usar si nos fijamos que la pérdida (también llamada atenuación) es 100dB (para 1 km), más 20 dB cada vez que multiplicamos la distancia por 10... (10 km -> 120dB, 100 km-> 140dB, etc...).

Además, recordando que $log(2)=\sim0.3$, simplemente añadimos 20*0.3=6dB cada vez que duplicamos la disatncia, es decir:

```
1km -> 100dB
```

TOOKIII 7 I TOOD

y así sucesivamente...

²km -> 106dB

⁴km -> 112dB

⁸km -> 118dB

¹⁰km -> 120dB

²⁰km -> 126dB

⁸⁰km -> 138dB

¹⁰⁰km -> 140dB

Pérdida en el Espacio Libre (a cualquier frecuencia)

Usando decibelios, la pérdida en el espacio libre a una frecuencia f cualquiera es:

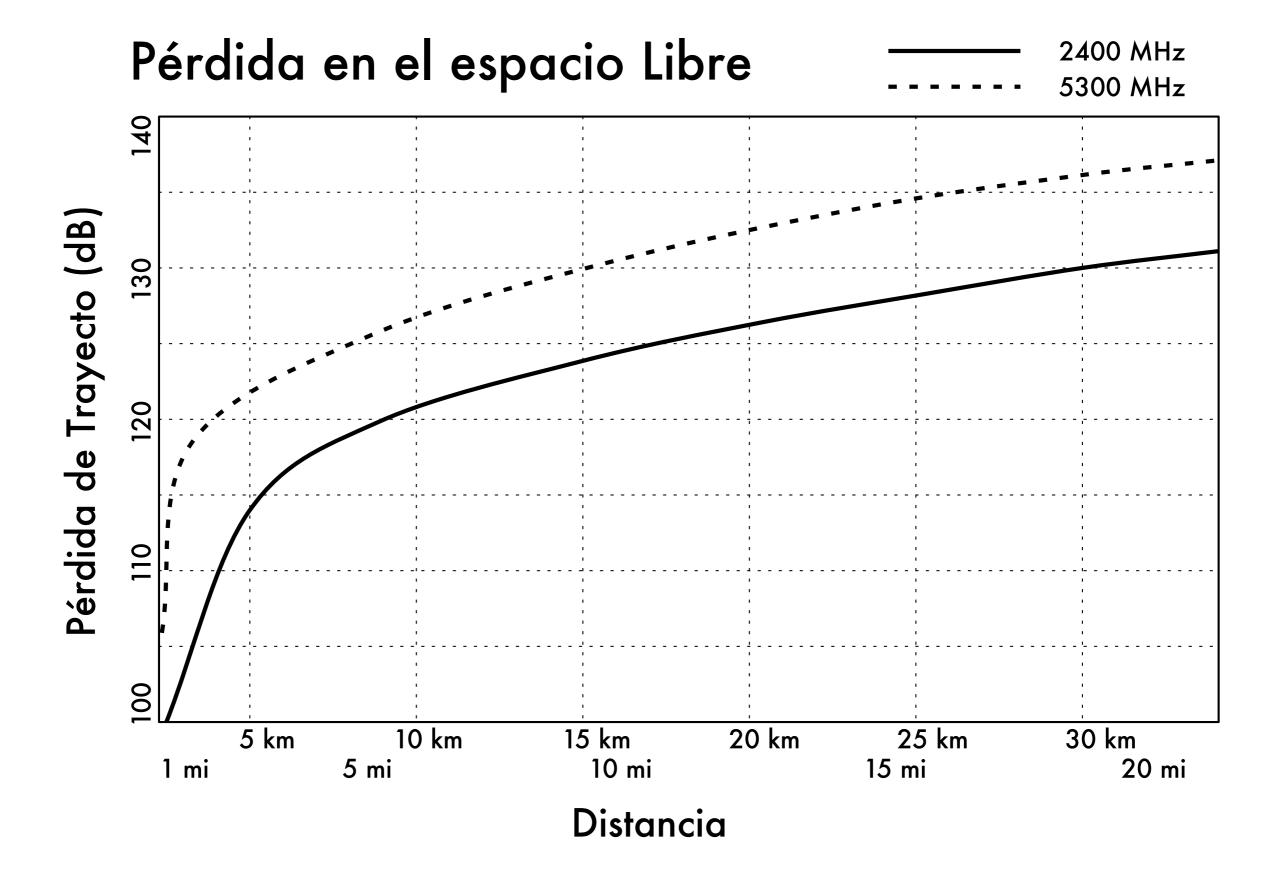
$$L_{fs} = 32.45 + 20*log(D) + 20*log(f)$$

...con L_{fs} en dB, f en MHz y D en kilómetros.

5

Sunday, October 9, 2011

Sin embargo, existen otros mecanismos que pueden incrementar significamente las pérdidas en la trayectoria, tales como las reflexiones y la absorción por la atmósfera o por objetos en el camino.



Sunday, October 9, 2011

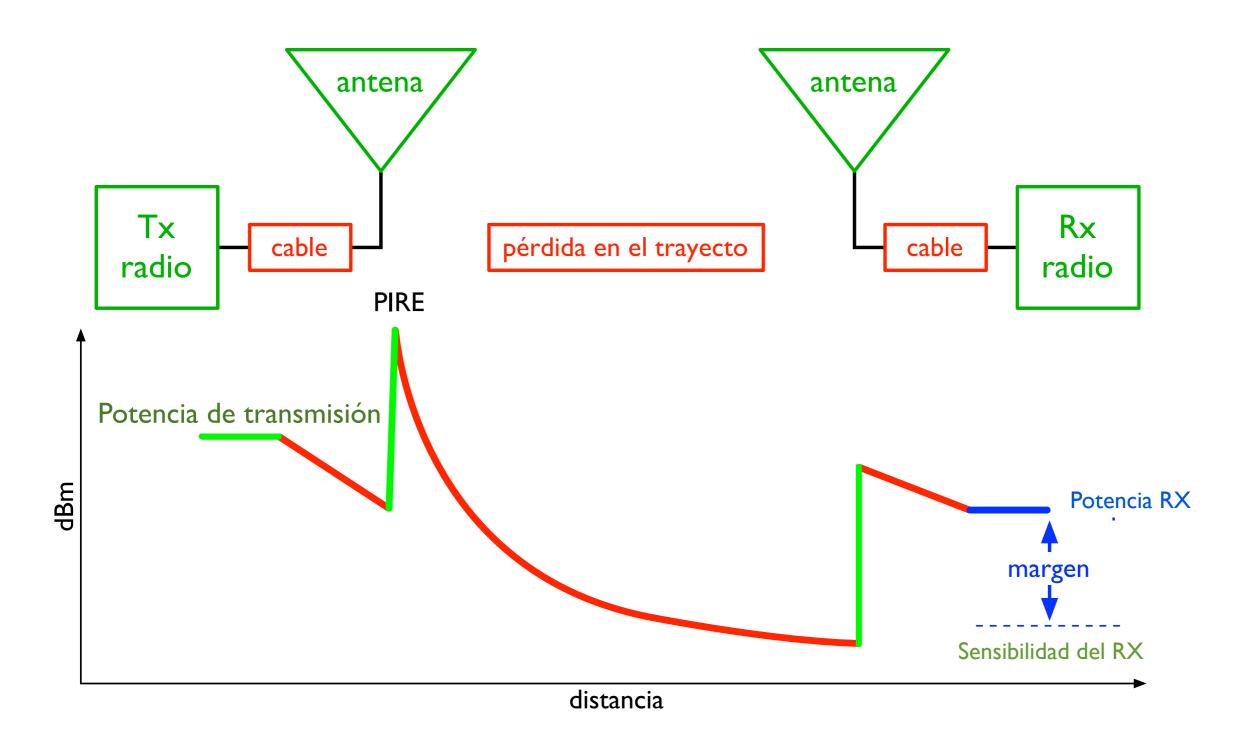
Esta gráfica muestra la Pérdida en el Espacio Libre para distancias de hasta 49 km, para las frecuencias de 2.4 y 5.3 GHz. Sugerencia: Si conoce las pérdidas a 2.4 GHz puede calcular las pérdidas a 5 GHz simplemente añadiendo 6 dB. Si alguien pregunta cuál es la fórmula a cualquier frecuencia:

6

$$L_{fsl} = 32,45 + 20*log(d) + 20*log(f)$$

(frecuencia f in MHz y distancia d in km, resultado en dB)

Potencia en un sistema inalámbrico



Sunday, October 9, 2011

La gráfica muestra el nivel de potencia a lo largo de la trayectoria en un radioenlace.

El transmisor produce una cierta potencia Pt. Una pequeña cantidad se pierde en la atenuación At del cable entre el transmisor y la antena. La antena transmisora enfoca la potencia hacia la dirección deseada, sumando una ganancia Gt. A la salida de la antena transmisora tenemos el nivel máximo de potencia en todo el enlace. Este nivel se denomina PIRE (Potencia Isotrópica Irradiada Equivalente) y se expresa en dBm. En inglés se llama EIRP (Equivalent Isotropic Radiated Power).

Luego tendremos las pérdidas en el espacio (que aumentan cuadráticamente con la distancia entre los extremos del enlace) y las debidas a la absorción, cuya suma es la pérdida en el trayecto (path loss). La antena receptora suministra la ganancia Gr, mientras que el cable entre la antena receptora y el receptor induce la atenuación Ar. Si la potencia Pt que llega a la entrada del receptor es mayor que la sensibilidad del receptor por un cierto margen M, el enlace es viable.

7

El valor de M determina el grado de confiabilidad del enlace. Este valor debe ser al menos 10 dB y para enlaces críticos es mejor apuntar a un margen de 20 dB.

Presupuesto de potencia

- Las prestaciones de cualquier enlace de comunicaciones dependen de la calidad del equipo usado.
- El Presupuesto o Balance de potencia es una manera de cuantificar las características del enlace.
- La potencia recibida en un enlace 802. Il está determinada por tres factores: la potencia de transmisión, la ganancia de la antena transmisora y la ganancia de la antena receptora.
- Si esa potencia, menos las pérdidas de trayectoria es mayor que el nivel mínimo de señal recibida del receptor tendremos un enlace viable.
- La diferencia entre el nivel de la señal recibida y el nivel mínimo de señal recibida (también llamado sensibilidad del receptor) es el margen del enlace.
- El margen del enlace debe ser positivo y debemos tratar de maximizarlo (al menos 10 dB para un enlace viable).

8

Sunday, October 9, 2011

No confunda el presupuesto de potencia con el costo de adquirir los equipos! Aquí no se trata de dinero sino de dB.

El presupuesto de potencia refleja el impacto de las diferentes variables en la potencia que llega al receptor.

Tenga en cuenta que la sensibilidad del receptor depende fuertemente de la tasa de transmisión: a mayor tasa de transmisión mayor será la potencia que el receptor requiere para un enlace aceptable.

Si no se alcanza el margen requerido a una cierta tasa de transmisión será necesario trabajar a una velocidad de transmisión inferior. La Pérdida en el Espacio Libre es al que existe cuando la trayectoria entre el transmisor y el receptor está completamente libre de obstáculos, con despeje de al menos el 60% de la primera zona de Fresnel.

La obstrucción parcial de la primera zona de Fresnel o la presencia de paredes y otros objetos causa pérdidas adicionales que deben añadirse a la Pérdida en el Espacio Libre para calcular las pérdidas totales en la trayectoria.







8								
			SYS	EM INFORMA	TION			
Processor Specs Memory Information							Atheros MI	
Memory Information Networking Interface				16MB SDRAM, 4MB Fla				
Networking	Interface				1 X 10/10	00 BASE-TX (C	at. 5, RJ-45) Et	hernet Inte
A/:			REGULATORY /	COMPLIANCE	INFORMA		FGC D+ 1F 24	7 10 00010
Wireless Approvals						FCC Part 15.24	7, IC RS210	
RoHS Comp	oliance							
		-	DIO ODERATI	IC EDECLIENC	V 2442 246	'a MU-		
	TY SPEC	IFICATIONS	DIO OPERATII	IG FREQUENC	Y 2412-246		IFICATIONS	
	DataRate	TX Power	Tolerance			DataRate	Sensitivity	Tolerance
802.11b	1Mbps	20 dBm	+/-1dB		1b	1Mbps	-95 dBm	+/-1dB
	2Mbps	20 dBm	+/-1dB		802.11	2Mbps	-94 dBm	+/-1dB
	5.5Mbps	20 dBm	+/-1dB			5.5Mbps	-93 dBm	+/-1dB
	11Mbps	20 dBm	+/-1dB			11Mbps	-90 dBm	+/-1dB
		100	33		14		668	200
_	6Mbps	20 dBm	+/-1dB		802.11g OFDM	6Mbps	-92 dBm	+/-1dB
802.11g OFDM	9Mbps	20 dBm	+/-1dB			9Mbps	-91 dBm	+/-1dB
	12Mbps	20 dBm	+/-1dB			12Mbps	-89 dBm	+/-1dB
	18Mbps	20 dBm	+/-1dB			18Mbps	-88 dBm	+/-1dB
	24Mbps	20 dBm	+/-1dB			24Mbps	-84 dBm	+/-1dB
	36Mbps	18 dBm	+/-1dB			36Mbps	-81 dBm	+/-1dB
	48Mbps	16 dBm	+/-1dB			48Mbps	-75 dBm	+/-1dB
	54Mbps	15 dBm	+/-1dB			54Mbps	-72 dBm	+/-1dB

9

Sunday, October 9, 2011

Se muestra un ejemplo de la hoja de datos de un equipo en la que el fabricante indica la potencia de transmisión y la sensibilidad del receptor para varios tipos de modulación y por ende tasas de transmisión. La hoja de datos o de especificaciones es indispensable para cualquier enlace en exteriores y algunas son más completas que otras. Evite los fabricantes que no publican especificaciones detalladas de sus equipos.

Note que el nivel mínimo de señal recibida (en inglés abreviado como RSL-Received Signal Level) depende de la tasa de transmisión y I Mbps es el valor que nos dará el alcance máximo. La potencia de transmisión TX también varía normalmente con la tasa de transmisión, pero los fabricantes rara vez lo indican.

A medida que el nivel de señal recibida disminuye, el radio reducirá la velocidad de transmisión intentando mantener la estabilidad del enlace.

Obsérvese la frecuencia de operación es listada como 2412-2482 porque se refiere a la frecuencia central de los canales WiFi que ocupan un rango de frecuencia de 20 MHz.

Ejemplo de cálculo de presupuesto de potencia:

Estimemos la factibilidad de un enlace de **5 km**, con un AP y un cliente.

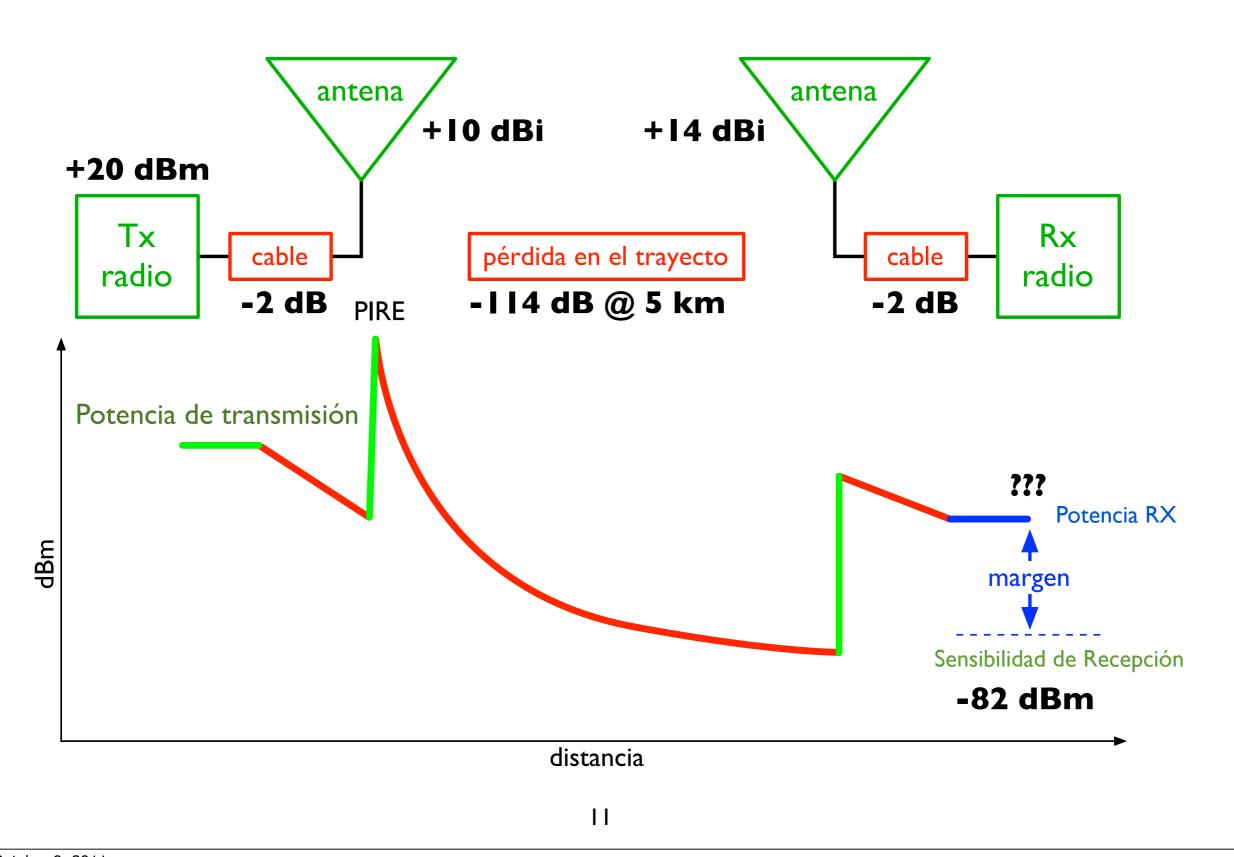
El AP está conectado a una antena con una ganancia de

10 dBi, tiene una potencia de transmisión de 20 dBm y una sensibilidad de receptor de -89 dBm.

El cliente está conectado ta una antena de **I4 dBi**, y tiene una potencia de transmisión de **I5 dBm** mientras que la sensibilidad del receptor es de **-82 dBm**.

Los cables en ambos extremos son cortos, con una pérdida de **2dB** cada uno a la frecuencia de operación de 2.4 GHz.

Enlace entre un AP y su cliente



Sunday, October 9, 2011

Se muestra la gráfica ya vista, pero con los valores correspondientes al ejemplo del AP y su cliente.

Presupuesto de potencia: Enlace AP - Cliente

```
20 dBm (TX Potencia del AP)
+ 10 dBi (Ganancia de Antena AP)
- 2 dB (Pérdida en el Cable AP)
+ 14 dBi (Ganancia de la Antena Cliente)
- 2 dB (Pérdida en el Cable Cliente)

40 dB Ganancia Total
-114 dB (Pérdida en el espacio libre @5 km)

-73 dBm (nivel de señal recibida esperado)
--82 dBm (sensibilidad del Cliente)

8 dB (margen del enlace)
```

12

Sunday, October 9, 2011

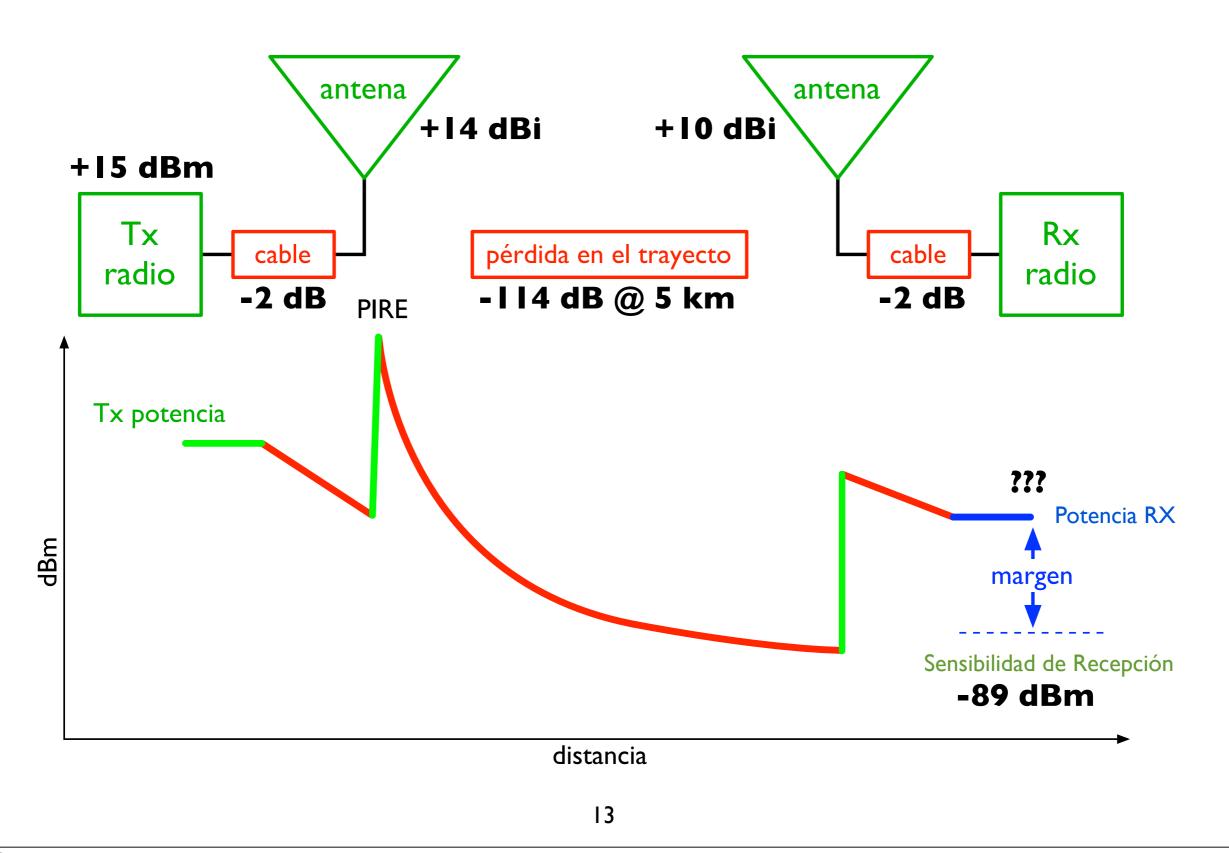
El enlace entre el AP y el Cliente es posible, pero el margen es inferior a 10 dB. Este enlace debería mejorarse.

Recuerde que la pérdida en el espacio libre (FSL) se refiere a la dispersión geométrica de la señal en el espacio.

Pregunte a los participantes cómo podría mejorarse el margen de este enlace. Discuta sus respuestas.

Sugerencias: mayor ganancia de antenas, cables más cortos o de mejor calidad, mayor TX, mejor receptor o uso de un amplificador. Indique que el amplificador no es aconsejable por varias razones: es un punto adicional de posible falla, son caros, causan más interferencia, consumen más potencia, crean asimetrías en TX/RX (a menos que se usen en ambos extremos) mientras que la antena ayuda tanto en transmisión como en recepción.

Dirección opuesta: Cliente - AP



Sunday, October 9, 2011

Se muestran los valore correspondientes a la otra dirección.

Presupuesto de potencia: Enlace Cliente-AP

```
15 dBm (TX Potencia del Cliente)
+ 14 dBi (Ganancia de Cliente AP)
- 2 dB (Pérdida en el Cable AP)
+ 10 dBi (Ganancia de la Antena Cliente)
- 2 dB (Pérdida en el Cable Cliente)

35 dB Ganancia Total
-114 dB (Pérdida en el espacio libre @5 km)

-78 dBm (nivel de señal recibida esperado)
--89 dBm (sensibilidad del Cliente)

10 dB (margen del enlace)
```

14

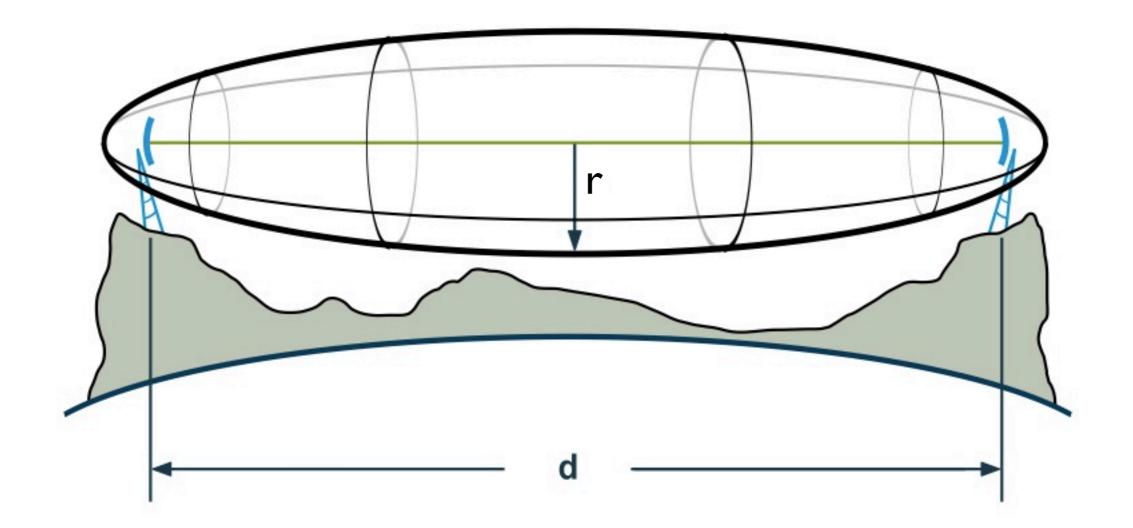
Sunday, October 9, 2011

En esta dirección el enlace es mejor, con un margen de 10 dB, aunque la potencia de transmisión es menor, pero la mejor sensibilidad del receptor del AP nos ayuda. Este enlace es viable, pero convendría mejorarlo con los métodos ya mencionados.

Zona de Fresnel

- La primera Zona de Fresnel es un volumen elipsoidal alrededor de la línea recta que une el transmisor con el receptor (línea de vista).
- La primera Zona de Fresnel es importante porque define un volumen alrededor de la Línea de vista (LOS -Line of Sight-) que debe estar despejado de todo obstáculo para que la potencia que alcanza a la antena receptora sea máxima.
- Dbjetos en la zona de Fresnel como árboles, colinas y edificios pueden atenuar considerablemente la señal recibida, aún cuando la línea entre el TX y el RX no esté bloqueada.

Línea de vista y Zonas de Fresnel



la existencia de línea de vista NO GARANTIZA despeje de la Zona de Fresnel

16

Sunday, October 9, 2011

Trace una línea recta entre dos puntos y si nada la bloque tenemos *línea de vista* (LOS en inglés). Pero las ondas de radio no están confinadas a una simple recta, sino que ocupan un volumen en el espacio. La teoría de las zonas de Fresnel describe como una onda la propagarse interfiere consigo misma. Si la primera zona de Fresnel es bloqueada parcialmente por alguna obstrucción, la señal que llega al receptor será atenuada.

Zona de Fresnel

▶ El radio de la primera Zona de Fresnel Zone en cualquier punto del trayecto entre el transmisor y el receptor viene dado por:

```
r = 17.31 * sqrt((d1*d2)/(f*d))
```

- ...donde **r** es el radio de la zona en metros, **d l** y **d2** son las distancias desde los extremos del enlace al obstáculo y **d** es la distancia total en metros, **f** es la frecuencia en MHz.
- Note que esta fórmula calcula el radio de la zona, no la altura sobre el terreno. Para calcular la altura sobre el terreno requerida se resta este radio de la altura que correspondiente en la recta que une la antena transmisora con la antena receptora.

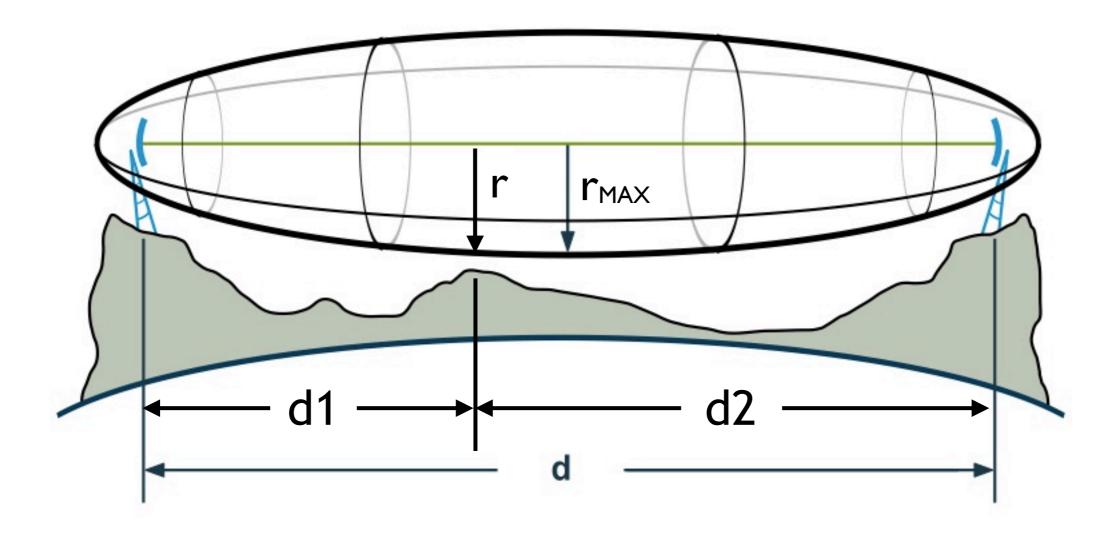
17

Sunday, October 9, 2011

En la práctica es suficiente despejar sólo el 60% ó 70% de la primera zona de Fresnel para un enlace aceptable. Las pérdidas respecto aun despeje del 100% son despreciables.

Hay un infinito número de zonas de Fresnel alrededor de la primera, como las capas de una cebolla, pero nosotros sólo nos ocuparemos de la primera porque el despeje adicional de la segunda zona de Fresnel más bien disminuye la potencia de la señal recibida. Así que nos concentramos en despejar el 70% de la primera zona de Fresnel para optimizar el enlace.

Línea de Vista y Zonas de Fresnel



r = 17.31 * sqrt((d1 * d2) / (f * d))

18

Sunday, October 9, 2011

La fórmula nos da el radio de la primera zona de Fresnel en metros, dad la frecuencia en MHz y las distancias en kilómetros.

Despeje de la Zona de Fresnel y de la curvatura terrestre

La tabla muestra la altura mínima sobre tierra plana requerida para despejar el 70% de la primera zona de Fresnel para varias distancias a la frecuencia de 2.4 GHz.

Note que la curvatura de la tierra no es significativa a pequeñas distancias pero su efecto es muy importante al aumentar la distancia.

Distancia (km)	lera zona (m)	70% (m)	Curvatura de la tierra (m)	Altura mínima requerida (m)
1	5.5	3.9	0.0	3.9
5	12.4	8.7	0.4	9.1
10	17.5	12.2	1.5	13.7
15	21.4	15.0	3.3	18.3
20	24.7	17.3	5.9	23.2
25	27.7	19.4	9.2	28.6
30	30.3	21.2	13.3	34.5

19

Sunday, October 9, 2011

Discuta los valores para un par de casos.

Note que los valores indicados se refieren al punto medio de la trayectoria entre transmisor y receptor, suponiendo un terreno plano los valores indicados corresponden a la altura de las torres necesarias para el enlace.

El cálculo se ha hecho en base a las condiciones de propagación estándar, que corresponden a un radio de la tierra modificado por el factor K=4/3

Zona de Fresnel

- Considerando cuán importante es la Zona de Fresnel, es relevante cuantificar el efecto de su bloqueo parcial.
- Típicamente, 20% 40% de bloqueo de la Zona de Fresnel introduce muy poca atenuación en el enlace.
- Es mejor ser conservadores y no permitir más de un 20% de bloqueo de la Zona de Fresnel.

20

Sunday, October 9, 2011

Para mejorar el despeje podemos aumentar la altura de las antenas, usar repetidores para disminuir la longitud del enlace, utilizar la banda de 5 GHz en lugar de la de 2.4 GHz o cambiar la trayectoria para evadir obstáculos.

Tenga en cuenta que todos los cálculos mostrados se refieren a condiciones normales de propagación, lo que se cumple en la mayoría de los casos. Para enlaces muy críticos, es necesario considerar también condiciones anómalas de propagación, en las cuales las ondas de radio tienen otra trayectoria y se requiere elevar las antenas todavía más.

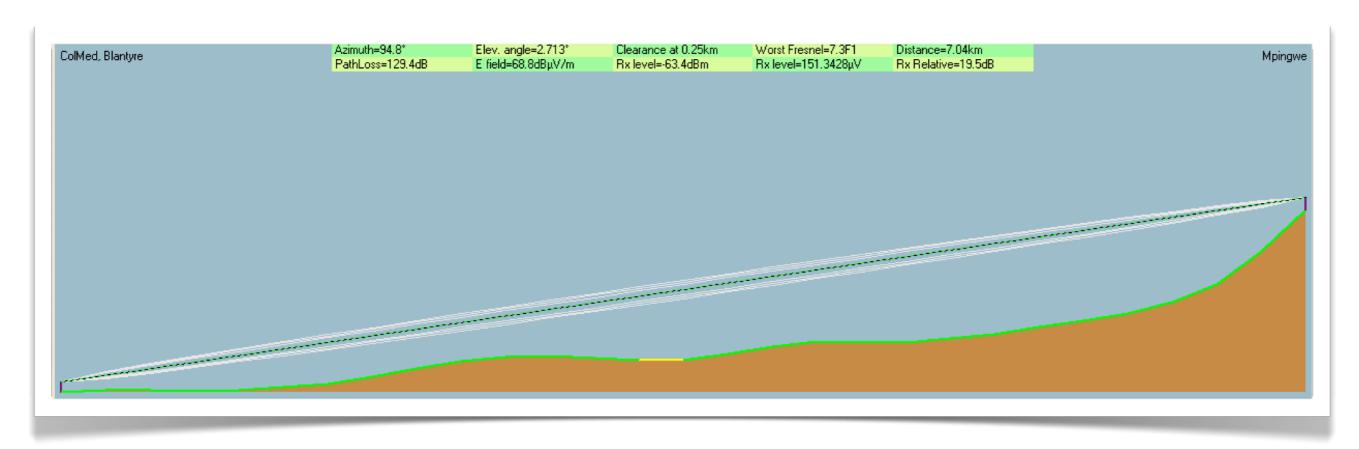
Radio Mobile

- Radio Mobile es una herramienta gratuita que ayuda en el diseño y simulación de enlaces inalámbricos.
- Calcula el presupuesto de potencia de un radioenlace y el despeje de la zona de Fresnel y de la curvatura terrestre. Utiliza mapas de elevación digitales, SIG (GIS -Geographical Information Systems-) o también mapas digitalizados por Ud.
- Está hecho para Windows 95, 98, ME, NT, 2000 y XP, pero se puede utilizar en Linux y MAC mediante emuladores.

http://www.cplus.org/rmw/english I.html

Radio Mobile

- Usa un modelo de propagación sobre terreno irregular basado en mapas de elevación digitales para indicar el nivel de seál recibida en cada punto de la trayectoria.
- Radio Mobile automáticamente construye el perfil entre dos puntos del mapa digital mostrando las zonas de Fresnel y la curvatura terrestre. Permite probar diferentes alturas de las antenas para alcanza prestaciones óptimas.

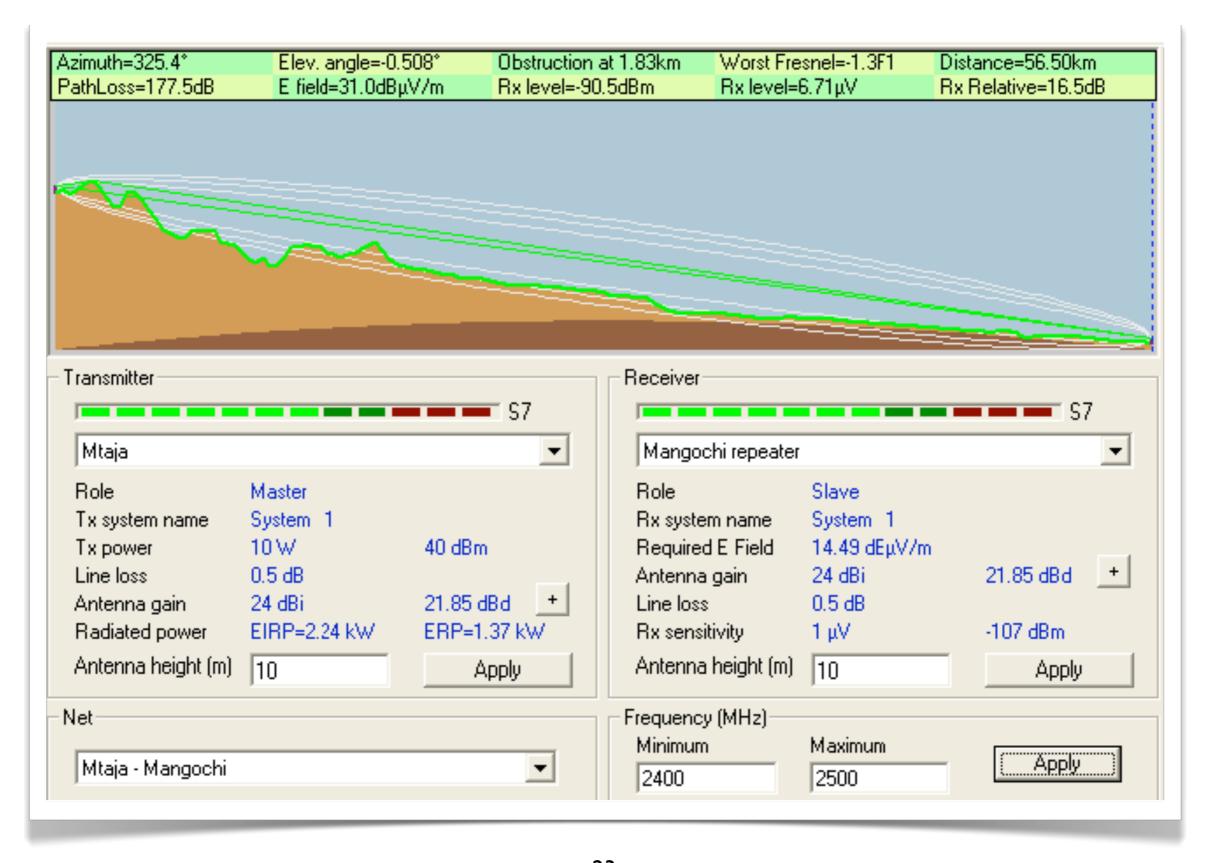


22

Sunday, October 9, 2011

Este enlace tiene una línea de vista limpia y la primera zona de Fresnel completamente despejada (730% de FI).

Radio Mobile



23

Sunday, October 9, 2011

Además del perfil del terreno, Radio Mobile suministra todas las variables relacionadas con las prestaciones del enlace, nivel de señal esperado, calidad del enlace, PIRE, etc.

El enlace de este ejemplo es inviable debido al obstáculo, indicado por un despeje de -1.3 F1, es decir está bloqueado el 130% de la primera zona de Fresnel.

Gracias por su atención

Para más detalles sobre los tópicos presentados en esta charla, vaya al libro **Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo**, de descarga gratuita en varios idiomas en:

http://wndw.net/



Sunday, October 9, 2011

Ver el capítulo 4 del libro para mayor información sobre el material tratado en esta presentación