



# Unidad 06: Cálculo de Radioenlace

*Autor: Sebastian Buettrich, wire.less.dk. Editado por: Alberto Escudero Pascual, IT +46  
Traducido por: Asociación Civil Nodo TAU*

---

## Tabla de contenido

1. Sobre este documento.....	3
1.1 Información sobre propiedad intelectual.....	3
1.2 Grado de dificultad.....	3
1.3 Información sobre los iconos.....	3
2. Introducción.....	3
3. ¿Qué es un presupuesto de potencia del enlace?.....	4
4. Los elementos del presupuesto de enlace.....	4
4.1 El lado de Transmisión.....	5
4.1.1 Potencia de Transmisión (Tx).....	5
4.1.2 Pérdida en el cable.....	6
4.1.3 Pérdidas en los conectores.....	7
4.1.4 Amplificadores.....	7
4.1.5 Ganancia de antena.....	8
4.2 Pérdidas de propagación.....	8
4.2.1 Pérdidas en el espacio libre.....	8
4.2.2 Zona de Fresnel.....	10
4.3 Lado receptor.....	11
4.3.1 Ganancia de antena desde el receptor.....	11
4.3.2 Amplificadores desde el receptor.....	12
4.3.3 Sensibilidad del receptor.....	12
4.3.4 Margen y Relación S/N.....	12
5. Términos y Conceptos.....	13
6. Cálculo con Decibeles (dB, dBm, dBi).....	13
6.1 Unidades adimensionales.....	13
6.2 Conversión de Watt a dBm.....	14
7. Presupuesto de Enlace Completo.....	15
7.1 Ejemplo 1: Enlace de 50 km .....	15
7.2 Ejemplo 2: Enlace de 1 km.....	16
7.3 Otros cálculos y aproximaciones importantes.....	16

7.3.1 Fuentes de latitud/longitud y datos de elevación y rumbo.....	17
7.3.2 El programa RadioMobile .....	17
7.3.3 Calculadores en línea y hojas de cálculos.....	18
8. Conclusiones.....	18
9. Ejercicios.....	19
9.1 Ejercicio – Paso 1.....	19
9.2 Ejercicio – Paso 2.....	19
9.3 Ejercicio – Paso 3.....	19
9.4 Ejercicio – Paso 4.....	20
10. Recursos Adicionales.....	20
10.1 Recursos en línea.....	20
10.1.1 Distancias.....	20
10.1.2 Calculadores en línea.....	20
10.1.3 Programa RadioMobile.....	21
10.1.4 Fuentes de Datos de elevaciones.....	21
10.1.5 Datos de Aviación (aeropuertos).....	21
11. Declaración de Derechos de Propiedad Intelectual.....	21

# 1. Sobre este documento

Este material es parte del paquete de materiales del proyecto TRICALCAR. Para información sobre TRICALCAR consulte el módulo de introducción de estos materiales, o [www.wilac.net/tricalcar/](http://www.wilac.net/tricalcar/). Este material fue traducido del inglés de los materiales desarrollados para el proyecto "Capacity Building for Community Wireless Connectivity in Africa" de APC <<http://www.apc.org/wireless/>>. El material fue actualizado y adaptado para el contexto de América Latina.

## 1.1 Información sobre propiedad intelectual






Esta unidad temática se ha hecho disponible bajo los términos de la licencia **Atribución-No Comercial-Licenciamiento Recíproco 3.0 Genérica**. Para ver los términos completos de esta licencia: [http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/deed.es\\_MX](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/deed.es_MX)

## 1.2 Grado de dificultad

El grado de dificultad de esta unidad es "básico" con algunas partes "avanzadas". Todas las partes "avanzadas" están dentro de un recuadro de fondo gris, para que el lector tenga conciencia del mayor grado de dificultad.

## 1.3 Información sobre los iconos

En los contenidos encontraremos 5 tipos de iconos, cuyo significado se describe a continuación:

Concepto teórico clave	Recomendación práctica importante	Ejercicio	Propiedad intelectual	Propiedad intelectual
				

# 2. Introducción

Independientemente del buen equipamiento de red inalámbrica que posea y del despeje de la línea de vista, necesita calcular el presupuesto de potencia de enlace. Sobrecargar un radio enlace no hará necesariamente, que las cosas mejoren para su implementación y causará problemas a otros usuarios del espectro.

Tener un buen presupuesto de potencia es esencial ya que es el requerimiento básico del funcionamiento del mismo. Puede ser comparado con los cimientos de una edificación: no importa lo bien hecho que estén el piso, las paredes y el techo, si el cimiento es débil, la edificación entera se caerá.

### 3. ¿Qué es un presupuesto de potencia del enlace?



Un presupuesto de potencia para un enlace punto a punto es el cálculo de ganancias y pérdidas desde el radio transmisor (fuente de la señal de radio), a través de cables, conectores y espacio libre hacia el receptor. La estimación del valor de potencia en diferentes partes del radioenlace es necesaria para hacer el mejor diseño y elegir el equipamiento adecuado

### 4. Los elementos del presupuesto de enlace

Los elementos pueden ser divididos en 3 partes principales:

1. El lado de Transmisión con potencia efectiva de transmisión.
2. Pérdidas en la propagación.
3. El lado de Recepción con efectiva sensibilidad receptiva (*effective receiving sensibility*).

Un presupuesto de radio enlace completo es simplemente la suma de todos los aportes (en decibeles) en el camino de las tres partes principales.

Potencia del transmisor [dBm] – **Pérdida en el cable TX** [dB] + ganancia de antena TX [dBi] – **Pérdidas en la trayectoria en el espacio abierto** [dB] + ganancia de antena RX [dBi] – **Pérdidas en el cable del RX** [dB] = Margen – **Sensibilidad del receptor** [dBm].

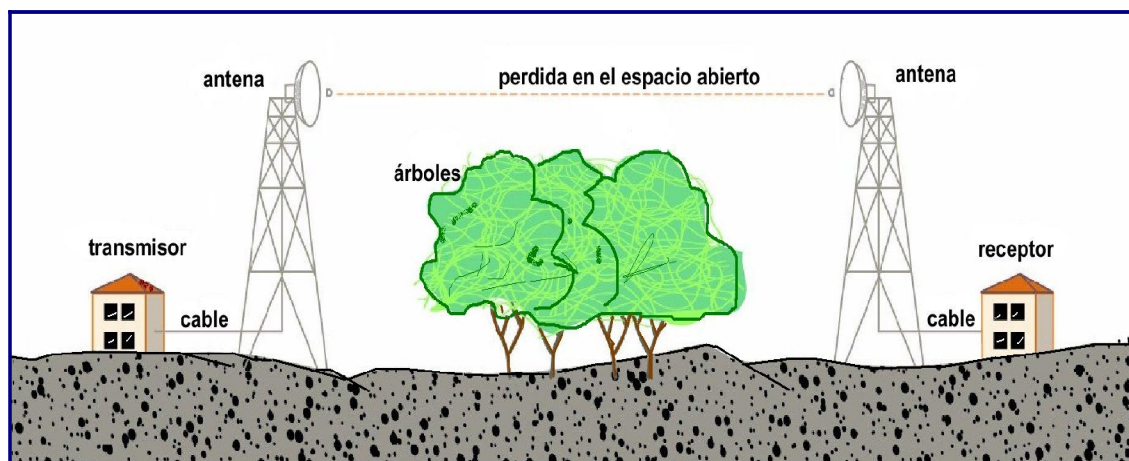


Figura 1: Trayectoria completa de transmisión entre el transmisor y el receptor

La siguiente sección presenta cada elemento del presupuesto del radio enlace.

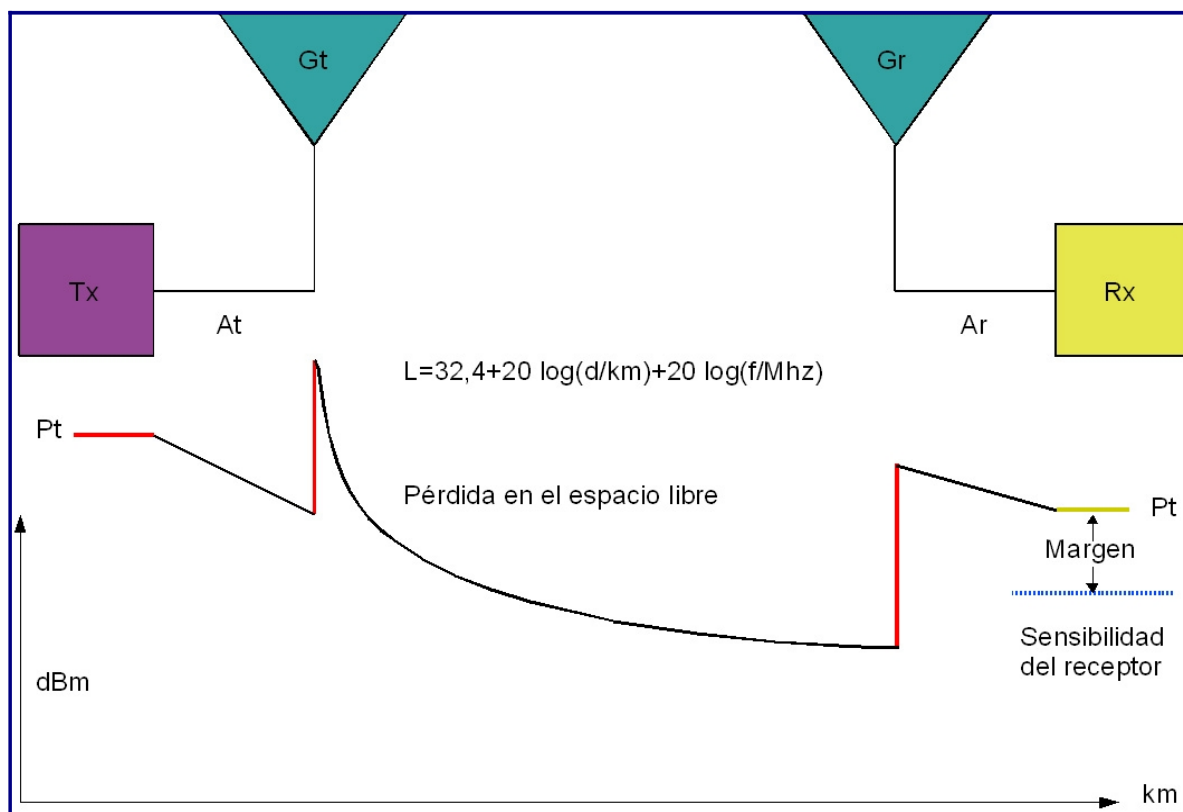


Figura 2: Potencia en dBm en función de la distancia para un radioenlace



Una cuestión importante a tener en cuenta es que si la potencia del transmisor y la del receptor no son iguales debe realizarse el cálculo del presupuesto tanto en el sentido transmisor-receptor como en el sentido inverso para asegurarnos que el enlace se puede establecer efectivamente. Podría darse el caso, por ejemplo, de tener una radiobase de mucha potencia para que llegue a varios clientes a distintas distancias y que uno de los clientes reciba la señal pero no tenga la potencia suficiente para comunicarse con la radiobase con lo que el enlace no podrá establecerse.

## 4.1 El lado de Transmisión

### 4.1.1 Potencia de Transmisión (Tx)

La potencia de transmisión es la potencia de salida del radio. El límite superior depende de las regulaciones vigentes en cada país, dependiendo de la frecuencia de operación y puede cambiar al variar el marco regulatorio. En general, los radios con mayor potencia de salida son más costosos.

La potencia de transmisión del Iradio, normalmente se encuentra en las especificaciones técnicas del vendedor. Tenga en cuenta que las especificaciones técnicas le darán valores ideales, los valores reales pueden variar con factores como la temperatura y la tensión de alimentación.

La potencia de transmisión típica en los equipos IEEE 802.11 varía entre 15 – 26 dBm (30 – 400 mW).

Por ejemplo, en la **Tabla 1**, vemos la hoja de datos de una tarjeta IEEE 802,11a/b:

<b>Protocolo</b>	<b>Potencia pico [dBm]</b>	<b>Potencia pico [mW]</b>
IEEE 802.11b	18	65
IEEE 802.11a	20	100

**Tabla 1:** Ejemplo de (pico) de potencia de transmisión de una tarjeta inalámbrica IEEE 802,11a/b típica.

#### 4.1.2 Pérdida en el cable

Las pérdidas en la señal de radio se pueden producir en los cables que conectan el transmisor y el receptor a las antenas. Las pérdidas dependen del tipo de cable y la frecuencia de operación y normalmente se miden en dB/m o dB/pies.

Independientemente de lo bueno que sea el cable, siempre tendrá pérdidas. Por eso, recuerde que el cable de la antena debe ser lo más corto posible. La pérdida típica en los cables está entre 0,1 dB/m y 1 dB/m. En general, mientras más grueso y más rígido sea el cable menor atenuación presentará.

Para darle una idea de cuán grande puede ser la pérdida en un cable, considere que está usando un cable RG58 que tiene una pérdida de 1 dB/m, para conectar un transmisor con una antena. Usando 3 m de cable RG58 es suficiente para perder el 50% de la potencia (3 dB).



Las pérdidas en los cables dependen mucho de la frecuencia. Por eso al calcular la pérdida en el cable, asegúrese de usar los valores correctos para el rango de frecuencia usada. Controle la hoja de datos del distribuidor y si fuera posible, verifique las pérdidas tomando sus propias mediciones. Como regla general, puede tener el doble de pérdida en el cable [dB] para 5,4 GHz comparado con 2,4 GHz.

<b>Tipo de cable</b>	<b>Pérdida [db/100m]</b>
RG 58	ca 80-100
RG 213	ca 50
LMR-200	50
LMR-400	22
Aircom plus	22
LMR-600	14
Flexline de 1/2"	12
Flexline de 7/8"	6,6
C2FCP	21
Heliac de 1/2 "	12
Heliac de 7/8"	7

**Tabla 2:** Valores típicos de pérdida en los cables para 2,4GHz.

### **4.1.3 Pérdidas en los conectores**

Estime por lo menos 0,25 dB de pérdida para cada conector en su cableado. Estos valores son para conectores bien hechos mientras que los conectores mal soldados DIY (Do It Yourself) pueden implicar pérdidas mayores. Vea la hoja de datos para las pérdidas en su rango de frecuencia y el tipo de conector que usará.

Si se usan cables largos, la suma de las pérdidas en los conectores está incluida en una parte de la ecuación de "Pérdidas en los cables". Pero para estar seguro, siempre considere un promedio de pérdidas de 0,3 a 0,5 dB por conector como regla general.

Además, los protectores contra descargas eléctricas que se usan entre las antenas y el radio debe ser presupuestado hasta con 1 dB de pérdida, dependiendo del tipo. Revise los valores suministrados por el fabricante (los de buena calidad sólo introducen 0,2 dB).

### **4.1.4 Amplificadores**

Opcionalmente, se pueden usar amplificadores para compensar la pérdida en los cables o cuando no haya otra manera de cumplir con el presupuesto de potencia. En general, el uso de amplificadores debe ser la última opción. Una escogencia inteligente de las antenas y una alta sensibilidad del receptor son mejores que la fuerza bruta de amplificación.

Los amplificadores de alta calidad son costosos y uno económico empeora el espectro de frecuencia (ensanchamiento), lo que puede afectar los canales adyacentes. Todos los amplificadores añaden ruido extra a la señal, y los niveles de potencia resultantes pueden contravenir las normas legales de la región.

Técnicamente hablando, prácticamente no hay límites en la cantidad de potencia que puede agregar a través de un amplificador, pero nuevamente, tenga en cuenta que los amplificadores siempre elevan el ruido también.

En la figura siguiente se puede observar el efecto del amplificador en la señal recibida. Obsérvese que se aumenta tanto el nivel de la señal como el del ruido. Además, se puede notar que la señal amplificada presenta mayores fluctuaciones de amplitud que la original, esto significa que la relación Señal/Ruido se ha deteriorado a consecuencia de la amplificación.

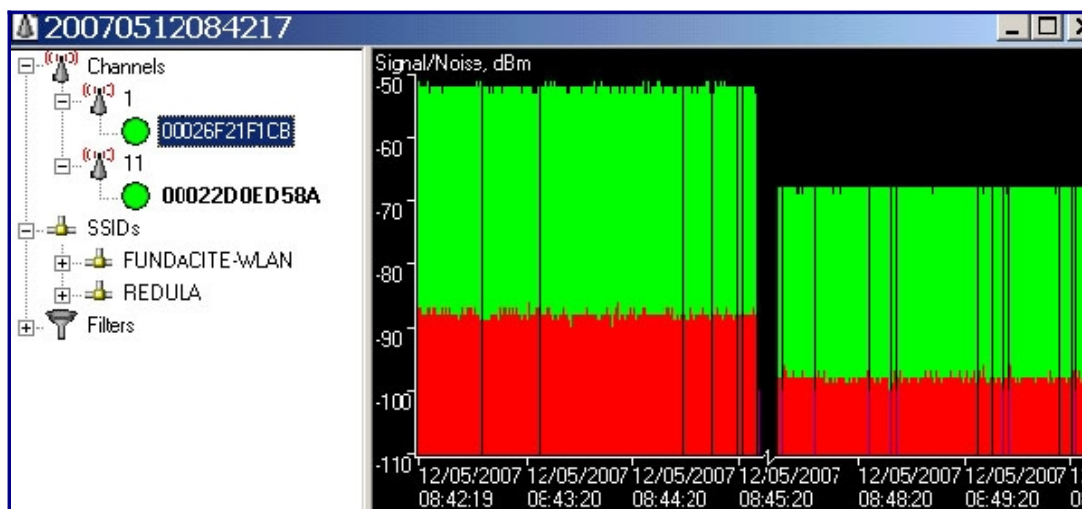


Figura 3: Señal y Ruido con y sin amplificar

#### 4.1.5 Ganancia de antena

La ganancia de una antena típica varía entre 2 dBi (antena integrada simple) y 8 dBi (omnidireccional estándar) hasta 21 – 30 dBi (parabólica). Tenga en cuenta que hay muchos factores que disminuyen la ganancia real de una antena.

Las pérdidas pueden ocurrir por muchas razones, principalmente relacionadas con una incorrecta instalación (pérdidas en la inclinación, en la polarización, objetos metálicos adyacentes). Esto significa que sólo puede esperar una ganancia completa de antena, si está instalada en forma óptima. Ver unidad “Antenas y Cables” para mas detalles.

### 4.2 Pérdidas de propagación

Las pérdidas de propagación están relacionadas con la atenuación que ocurre en la señal cuando esta sale de la antena de transmisión hasta que llega a la antena receptora.

#### 4.2.1 Pérdidas en el espacio libre

La mayor parte de la potencia de la señal de radio se perderá en el aire. Aún en el vacío, una onda de radio pierde energía (de acuerdo con los principios de Huygens) que se irradia en direcciones



diferentes a la que puede capturar la antena receptora. Nótese que esto no tiene nada que ver con el aire, la niebla, la lluvia o cualquier otra cosa que puede adicionar pérdidas

La Pérdida en el Espacio libre (FSL), mide la potencia que se pierde en el mismo sin ninguna clase de obstáculo. La señal de radio se debilita en el aire debido a la expansión dentro de una superficie esférica.

La Pérdida en el Espacio libre es proporcional al cuadrado de la distancia y también proporcional al cuadrado de la frecuencia. Aplicando decibeles, resulta la siguiente ecuación:

$$PEA(\text{dB}) = 20\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) + K$$

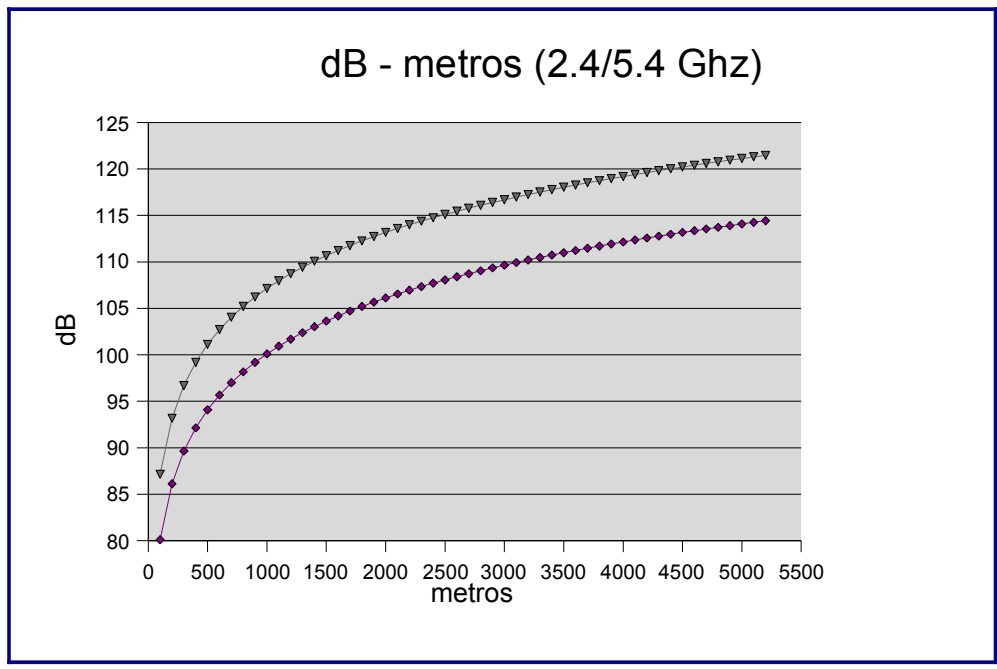
**d** = distancia

**f** = frecuencia

**K** = constante que depende de las unidades usadas en d y f

Si d se mide en metros, f en Hz y el enlace usa antenas isotrópicas, la fórmula es:

$$FSL(\text{dB}) = 20\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) - 187.5$$



**Figura 4:** Pérdida en dB en función de la distancia en metros

El gráfico muestra la pérdida en dB para 2.4 GHz [■] y 5.4 GHz [●]. Se puede ver que después de 1,5 km, la pérdida se puede ver como “lineal” en dB.

Como regla general en una red inalámbrica a 2.4 GHz, 100 dB se pierden en el 1er kilómetro y la señal es reducida a 6 dB cada vez que la distancia se duplica. Esto implica que un enlace de 2 km tiene una pérdida de 106 dB y a 4km tiene una pérdida de 112 dB, etc.

<b>Distancia [km]</b>	<b>915 MHz</b>	<b>2,4 GHz</b>	<b>5,8GHz</b>
1	92 dB	100 dB	108 dB
10	112 dB	120 dB	128 dB
100	132 dB	140 dB	148 dB

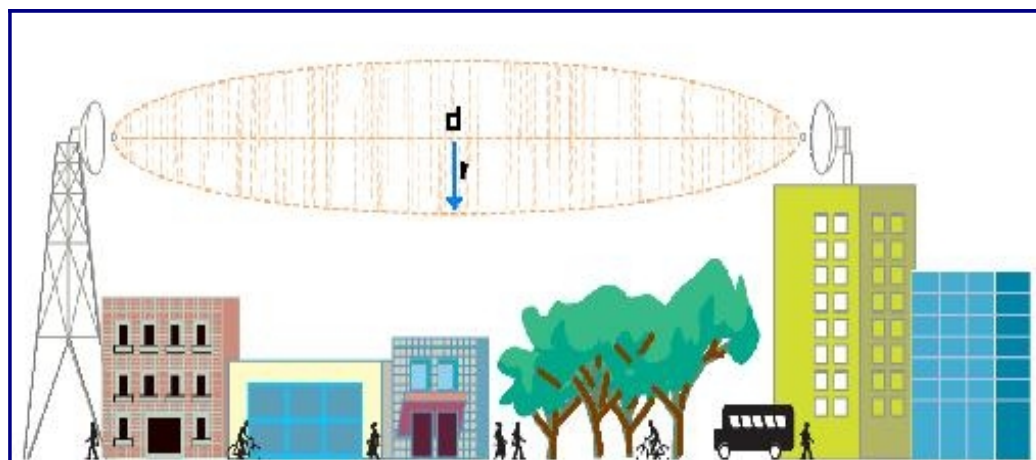
**Tabla 3:** Pérdidas en Espacio Abierto (PEA) en dB para diferentes distancias y frecuencias

Estos valores son teóricos y pueden muy bien diferir de las mediciones tomadas, El término “espacio libre” no es siempre tan “libre”, y las pérdidas pueden ser muchas veces mas grandes debido a las influencias del terreno y las condiciones climáticas. En particular, las reflexiones en cuerpos de agua o en objetos conductores pueden introducir pérdidas significativas. Ver unidad “Física Básica de Radio” para mayor información.

### 4.2.2 Zona de Fresnel

Teniendo como punto de partida el principio de Huygens, podemos calcular la primera zona de Fresnel, el espacio alrededor del eje que contribuye a la transferencia de potencia desde la fuente hacia el receptor.

Basados en esto, podemos investigar cuál debería ser la máxima penetración de un obstáculo (por ej., un edificio, una colina o la propia curvatura de la tierra) en esta zona para contener las pérdidas.



**Figura 5:** Zona de Fresnel

Lo ideal es que la primera zona de Fresnel no esté obstruida, pero normalmente es suficiente despejar el 60% del radio de la primera zona de Fresnel para tener un enlace satisfactorio. En aplicaciones críticas, habrá que hacer el cálculo también para condiciones anómalas de propagación, en la cuales

las ondas de radio se curvan hacia arriba y por lo tanto se requiere altura adicional en las torres. Para grandes distancias hay que tomar en cuenta también la curvatura terrestre que introduce una altura adicional que deberán despejar las antenas.

La siguiente fórmula calcula la primera zona de Fresnel:

$$r = 17,32 * \sqrt{((d1 * d2) / (d * f))}$$

**d1** = distancia al obstáculo desde el transmisor [km]

**d2** = distancia al obstáculo desde el receptor [km]

**d** = distancia entre transmisor y receptor [km]

**f** = frecuencia [GHz]

**r** = radio [m]

Si el obstáculo está situado en el medio (d1 = d2), la fórmula se simplifica:

$$r = 17,32 * \sqrt{(d / 4f)}$$

Tomando el 60% nos queda:

$$0,6r = 5,2 * \sqrt{d / f}$$

<b>Distancia [km]</b>	<b>915 MHz</b>	<b>2,4 GHz</b>	<b>5,8 GHz</b>	<b>Altura de la curvatura terrestre</b>
1	9	6	4	0
10	29	18	11	4,2
100	90	56	36	200

**Tabla 4:** Radio [m] para la primera zona de Fresnel

La “Altura de la curvatura terrestre” describe la elevación que la curvatura de la tierra crea entre 2 puntos.

### **4.3 Lado receptor**

Los cálculos son casi idénticos que los del lado transmisor.

#### **4.3.1 Ganancia de antena desde el receptor**

Véase “Ganancia de Antena desde el transmisor”.

### 4.3.2 Amplificadores desde el receptor

Los cálculos y los principios son los mismos que el transmisor. Nuevamente, la amplificación no es un método recomendable a menos que otras opciones hayan sido consideradas y aun así sea necesario, por ej., para compensar pérdidas en el cable.

### 4.3.3 Sensibilidad del receptor

La sensibilidad de un receptor es un parámetro que merece especial atención ya que identifica el valor mínimo de potencia que necesita para poder decodificar/extraer “bits lógicos” y alcanzar una cierta tasa de bits.



Cuanto mas baja sea la sensibilidad, mejor será la recepción del radio. Un valor típico es -82 dBm en un enlace de 11 Mbps y -94 dBm para uno de 1 Mbps.

Una diferencia de 10dB aquí (que se puede encontrar fácilmente entre diferentes tarjetas) es tan importante como 10 dB de ganancia que pueden ser obtenidos con el uso de amplificadores o antenas más grandes. Nótese que la sensibilidad depende de la tasa de transmisión.

<b>Tarjeta</b>	<b>11 Mbps</b>	<b>5,5 Mbps</b>	<b>2 Mbps</b>	<b>1 Mbps</b>
Orinoco cards PCMCIA Silver/Gold	-82 dBm	-87 dBm	-91 dBm	-94 dBm
Senao 802.11b card	-89	-91	-93	-95

**Tabla 5:** Valores típicos de la sensibilidad del receptor de las tarjetas de red inalámbrica

### 4.3.4 Margen y Relación S/N

No es suficiente que la señal que llega al receptor sea mayor que la sensibilidad del mismo, sino que además se requiere que haya cierto margen para garantizar el funcionamiento adecuado.

La relación entre el ruido y la señal se mide por la tasa de señal a ruido (S/N). Un requerimiento típico de la SNR es 16 dB para una conexión de 11 Mbps y 4 dB para la velocidad más baja de 1 Mbps.

En situaciones donde hay muy poco ruido el enlace está limitado primeramente por la sensibilidad del receptor. En áreas urbanas donde hay muchos radioenlaces operando, es común encontrar altos niveles de ruido (tan altos como -92 dBm). En esos escenarios, se requiere un margen mayor:

$$\text{Relación señal a ruido [dB]} = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{\text{Potencia de la señal [W]}}{\text{Potencia del ruido [W]}} \right)$$

En condiciones normales sin ninguna otra fuente en la banda de 2.4 GHz y sin ruido de industrias, el nivel de ruido es alrededor de los -100 dBm.

## 5. Términos y Conceptos

Estos son algunos términos y conceptos que tendrá que manejar para hacer cálculos de radio enlace:

### **Presupuesto de enlace / Presupuesto de Potencia / Ganancia del Sistema**

Estos conceptos significan básicamente lo mismo: un cálculo de potencia de la señal a lo largo de la trayectoria de la misma.

### **Margen del sistema**

Corresponde a la diferencia entre el valor de la señal recibida y la sensibilidad del receptor.

### **EIRP (Effective Isotropic Radiated Power) = PIRE (Potencia Irradiada Isotrópica Efectiva)**

La Potencia Irradiada Isotrópica Efectiva está regulada por la autoridad nacional. La misma especifica la potencia máxima legalmente permitida para ser enviada al espacio abierto en un área/país específico. El límite legal en Europa es normalmente 100 mW, en algunos escenarios muy particulares (enlaces punto a punto) y en otros países este máximo es de 4 W.

La PIRE es una medida de la potencia que se está enfocando en una determinada región de espacio, determinada por las características de la antena transmisora.

La PIRE es el resultado de restar pérdidas de potencia en el cable y conectores y sumar la ganancia relativa de antena a la potencia del transmisor.

$$\text{PIRE (dBm)} = \text{Potencia del transmisor (dBm)} - \text{Pérdidas en el cable y conectores (dB)} + \text{ganancia de antena (dBi)}$$

## 6. Cálculo con Decibeles (dB, dBm, dBi )

### **6.1 Unidades adimensionales**

Como mencionamos anteriormente, un presupuesto de enlace es la suma de todas las ganancias y pérdidas desde el transmisor (fuente de la señal de radio), a través de cables, conectores y espacio libre hasta el receptor.

$$\text{Potencia del transmisor [dBm]} - \text{Pérdida en el cable TX [dB]} + \text{Ganancia de antena TX [dBi]} - \text{Pérdidas en la trayectoria del espacio abierto [dB]} + \text{Ganancia de antena RX [dBi]} - \text{Pérdidas en el cable del RX [dB]} = \text{Margen} - \text{Sensibilidad del receptor [dBm]}$$

Un aspecto que puede sorprender es que en la ecuación se suman unidades dBm, dB, dBi como si fueran de la misma dimensión. **¿Cómo es posible simplemente sumar y restar dBm, dB y dBi?** La respuesta es que el decibel (dB) es una medida que surge de dividir dos cantidades, una unidad adimensional como el porcentaje (%). El dBm en cambio, es la potencia referida a 1 mW y por lo tanto es una medida absoluta. Esto se entiende mejor recurriendo a una analogía con las alturas en metros; para calcular la altura de un edificio de 30 m que está en una calle a 1600 m sobre el nivel del mar sumamos tranquilamente metros y metros sobre el nivel del mar. La altura total del edificio será de de 1630 m sobre el nivel del mar.

## 6.2 Conversión de Watt a dBm

Familiarizarse con la conversión entre potencia (W) y dBm es muy útil para hacer cálculos de enlaces.

En los cálculos de enlace, hay tres tipos de unidades logarítmicas:

- **dB (decibel)**

Se usa para medir pérdidas en los cables y conectores o ganancia de antenas y amplificadores. El decibel es una unidad relativa correspondiente al logaritmo decimal del cociente de dos valores de potencia.

$$\text{dB} = 10 \cdot \log(P2/P1)$$

Los dB son positivos cuando se refieren a una ganancia, como la de una antena o un amplificador, y negativos cuando corresponden a un atenuación, como la de un cable. Volviendo a nuestro ejemplo, si construimos un mástil para la antena de 3 m sobre el techo del edificio, la altura total de la antena será de 1633m. Y si nuestro transmisor está en el sótano del edificio ( a - 3m respecto al nivel de la calle) la longitud del cable del transmisor a la antena es  $30 + 3 - (-3) = 36$  m. Nótese que el cálculo de la longitud del cable se puede hacer también como la diferencia entre las alturas absolutas de la antena y el transmisor:  $1633 - 1627 = 36$  m

- **dBm (dB referido a un mW )**

El dBm es una unidad logarítmica referida a la potencia de 1 mili Watt (0,001 W). Por lo tanto mide potencia absoluta. Será positivo cuando se refiera a valores superiores a 1 mW y negativo para valores inferiores a 1 mW, como los correspondientes a potencias recibidas.

$$\text{dBm} = 10 \cdot \log(P/0.001W) = 10 \cdot \log(P/1mW)$$

- **dBi (decibel respecto a la isotrópica)**

Usado para expresar la ganancia de una antena en comparación con una antena isotrópica, es decir aquella que irradia en todas direcciones con la misma intensidad:

$$\text{dBi} = \text{dB relativo a una antena Isotrópica}$$

Cuando se usa dB para calcular la Potencia es útil recordar la siguiente guía:

1. Duplicar la potencia es igual que agregar 3 dB
2. Reducir la potencia a la mitad es igual que restar 3 dB

Supongamos que tenemos una potencia de transmisión de 100 mW (20 dBm). Si duplicamos la potencia del transmisor a 200 mW, agregamos 3dB a 20 dBm que da 23 dBm. De esa forma, 400 mW dan 26 dBm y 800 mW dan 29 dBm. Siguiendo el mismo razonamiento 50 mW son 17 dBm (20 dBm – 3 dB).

## 7. Presupuesto de Enlace Completo

El cálculo de presupuesto de enlace es para estar seguro de que el margen en el receptor es mayor que un cierto umbral. Además, la PIRE debe estar dentro de las regulaciones. El margen de un presupuesto de enlace puede ser resumido de la siguiente manera:

$$\text{Margen} = \text{Potencia de Transmisión [dBm]} - \text{Pérdidas en el cable TX [dB]} + \text{Ganancia de Antena TX [dBi]} - \text{pérdida en la trayectoria del Espacio Abierto [dB]} + \text{Ganancia de Antena RX [dBi]} - \text{Pérdida de Cable RX [dB]} - \text{Sensibilidad del receptor [dBm]}$$

La sección siguiente muestra dos ejemplos reales de cálculo de presupuesto de enlace, uno para un enlace de 50 km y otro para uno de 1 km.

### 7.1 Ejemplo 1: Enlace de 50 km

Datos	Elementos	Valores
<b>Distancia:</b> 50 km (31,1 millas) <b>Frecuencia:</b> 2,4 GHz	Salidas de transmisor	+ 15 dBm
	Cables y conectores	- 3 dB
	Antena TX	+ 24 dBi
	FSL	-134 dB
	Antena RX	+ 24 dBi
	Cables y conectores	- 3 dB
	Sensibilidad del receptor	- 85 dBm
	Total: (margen)	+ 8 dB

**Tabla 6:** Enlace de 50 Km

El margen del enlace es de 8dB que puede ser adecuado para un ambiente rural pero la potencia irradiada de 36 dBm (4W) no es legal en Europa aunque si en EEUU.

## 7.2 Ejemplo 2: Enlace de 1 km

Datos	Elementos	Valores
<b>Distancia:</b> 1 km (0,622 millas) <b>Frecuencia:</b> 2,4 GHz <b>Cable de baja calidad</b> <b>Poca ganancia de antena</b>	Salida del transmisor	+ 18 dBm
	Cables y conectores	- 5 dB
	Antena TX	+ 5 dBi
	FSL	-100 dB
	Antena RX	+ 8 dBi
	Cables y conectores	- 5 dB
	Sensibilidad del receptor	- 92 dBm
	Total: (margen)	+ 13 dB

Tabla 7: Enlace de 1 km

El margen de este enlace es de 13 dB, adecuado para ambientes urbanos y la potencia irradiada es de 18 dBm (<100 mW), quiere decir que el enlace es legal en cualquier país.

## 7.3 Otros cálculos y aproximaciones importantes

Además de los elementos considerados, debemos tener en cuenta factores de corrección debido al terreno y la estructura de las edificaciones, factores climáticos y muchos otros. Todos ellos muy empíricos por naturaleza.

Estos se pueden encontrar bajo términos como desvanecimiento por lluvia, urbanos, del terreno, (*rain fading*, *urban fading*, *terrain fading*) con varias aproximaciones diferentes para calcularlos apropiadamente. Sin embargo hay límites en estas teorías como factores que NO pueden ser calculados o estimados fácilmente, normalmente son los que deciden si el enlace funciona o no.



En enlaces de grandes distancias, factores como la lluvia, la niebla y aún el cambio en las condiciones de la vegetación pueden contribuir a que se pierdan 15 dB.



### 7.3.1 Fuentes de latitud/longitud y datos de elevación y rumbo

Cuando planifique un enlace, el primer paso a menudo es conseguir datos confiables sobre la latitud/longitud y de elevación. Algunos puntos de partida para esto pueden ser:

1. Datos de un GPS que mida usted mismo. Además de las coordenadas, el GPS indica la distancia y el rumbo (Acimut) entre cualquier par de puntos. Tenga en cuenta que el rumbo geográfico difiere del rumbo magnético. La diferencia es la declinación magnética, que varía con el tiempo y con el lugar. El GPS normalmente calcula tanto el rumbo geográfico o verdadero como el magnético.
2. El proyecto SRMT (Shuttle Radar Topography Mission) mantiene una base de datos acerca de las elevaciones de todo el planeta, aunque en resolución variable.
3. Los sitios de aviación y los aeropuertos locales suelen mostrar listas precisas con datos de lat/long.
4. Los radioaficionados suelen decir su ubicación en forma bastante precisa.
5. Los sitios islámicos dan las coordenadas de las mezquitas y la dirección hacia la Meca (y también sobre algún otro lugar).
6. Listas de ciudades en línea muestran coordenadas.
7. El proyecto confluence.org es un proyecto fascinante que recoge información e imágenes para cada lat/long. Mas allá de su calidad estética, esta puede ser un buena forma de comenzar una investigación de área.
8. No olvide conocimientos y métodos locales. Los fuegos artificiales (fireworks) pueden ser una buena forma para investigar grandes distancias. Para medir las alturas puede utilizar un altímetro, pero debe calibrarlo lo más frecuente que pueda.
9. Los mapas indican normalmente las coordenadas y sobre éstos se puede medir directamente la distancia y el rumbo entre dos puntos, a menudo también las elevaciones.
10. La declinación magnética de cualquier sitio se puede obtener en:  
<http://www.ngdc.noaa.gov/seg/geomag/jsp/Declination.jsp>

### 7.3.2 El programa RadioMobile



Radio Mobile es el nombre de un programa para radioaficionados. Permite la planificación integral de una red, línea de vista, y cálculos de alcance basados en datos del terreno y ángulos de alineación de antena tanto en vertical como en horizontal.

El programa ahora corre bajo Windows solamente, pero se puede utilizar en Linux mediante un emulador, y es usado por mucha gente que trabaja con redes inalámbricas como herramienta de planificación/soprote. En 2007 se publicó una versión en castellano.

Usa datos de elevación provenientes de diversas fuentes en formato HGT, DTED, GLOBE, SRTM30, GTOPO y los obtiene directamente de estos repositorios. También los combina con otros mapas disponibles en la red.

Una fuente popular es el repositorio de la NASA SRTM (Shuttle Radio Topology Mission) de datos de elevación (free elevation data) que cubre el planeta completo a una resolución de 90 m.

Radio Mobile puede integrar mapas y base (background) así como datos GIS.

URL: <http://www.cplus.org/rmw/english1.html>

### 7.3.3 Calculadores en línea y hojas de cálculos

Los calculadores en línea y las hojas de cálculo son herramientas valiosas que apoyan su trabajo con presupuestos de enlace. Asegúrese siempre de poder trabajar, estando desconectado o nó, y si es necesario con lápiz y papel tanto como en línea.



*Con esta unidad le damos un calculador y una hoja de cálculos, que sirve como ejemplo. Es fácil de adaptar y crear el calculador adecuándolo a sus necesidades.*

*El programa **Google Earth** es también muy útil para planificar enlaces. Nos indica distancias, rumbos y características del terreno, y nos permite examinarlo desde varias perspectivas. Está disponible gratuitamente en [www.google.com](http://www.google.com)*

## 8. Conclusiones

Entender los elementos de un enlace y su aporte a todo el presupuesto, en términos de ganancias o pérdidas, es crucial para implementar una red inalámbrica que funcione en forma confiable.

Los cinco temas más importantes que debe recordar de esta unidad pueden ser resumidos como:

1. Tener un buen presupuesto de enlace es un requerimiento básico para el buen funcionamiento del mismo.
2. Un presupuesto de enlace de una red inalámbrica es la cuenta de todas las ganancias y pérdidas desde el radio transmisor hacia el receptor.
3. Las pérdidas más grandes del enlace se producen en la propagación en espacio libre debido a la atenuación geométrica de la señal.

4. EIRP o PIRE es un valor que especifica la máxima *potencia* que está transmitiendo al espacio.
5. La sensibilidad del receptor es un parámetro que indica el valor mínimo de potencia que se necesita para alcanzar una cierta tasa de bit.

## 9. Ejercicios

### 9.1 Ejercicio – Paso 1

Identificar un proyecto relevante de radioenlace que esté conectado al taller o a su proyecto.

Punto 1: \_\_\_\_\_ Punto 2: \_\_\_\_\_

Distancia: \_\_\_\_\_ Alturas: \_\_\_\_\_

### 9.2 Ejercicio – Paso 2

Si no conoce la distancia, calcúlela usando una fórmula o herramientas en línea:

Punto 1: Latitud \_\_\_\_\_ Longitud \_\_\_\_\_

Punto 2: Latitud \_\_\_\_\_ Longitud \_\_\_\_\_

Distancia: \_\_\_\_\_

### 9.3 Ejercicio – Paso 3

Con base en la distancia del radioenlace, evalúe la pérdida en el Espacio Libre y estudie las posibilidades de establecer un radioenlace. Analice los requerimientos.

Examine la topología y otros factores: ¿Es posible de realizar el enlace?. Base su estudio en el uso de herramientas en línea y desconectado si es necesario. ¿Qué radio frecuencias son convenientes? ¿Qué hardware es conveniente?

Escriba un resumen corto de la situación (del otro lado de la hoja) y las posibilidades de establecer un radioenlace. Si el enlace no es posible, trate de encontrar alternativas.

## 9.4 Ejercicio – Paso 4



Si el proyecto es posible de realizar, hágalo de enlace completo. Consulte a su instructor cuando lo necesite.

!Comentarios que quiera hacer!!

Potencia de transmisión	_____	[dBm]
Pérdidas cable + conectores	_____	[dB]
Ganancia amplificador	_____	[dB]
Ganancia antena	_____	[dBi]
Pérdidas en espacio abierto	_____	[dB]
Ganancia antena	_____	[dBi]
Ganancia amplificador	_____	[dB]
Pérdidas en cable	_____	[dB]
Sensibilidad del receptor	_____	[dBm]
<b>TOTAL</b>	_____	<b>[dB]</b>

¿Su comentario?

## 10. Recursos Adicionales

### 10.1 Recursos en línea

#### 10.1.1 Distancias

<http://www.ga.gov.au/nmd/geodesy/datums/distance.jsp>

#### 10.1.2 Calculadores en línea

<http://www.google.com/search?hl=en&lr=&q=wireless+link+calculator&btnG=Search>

<http://www.ecommwireless.com/calculations.html>

<http://www.terabeam.com/support/calculations/index.php> (ex-YDI.com)

<http://www.qsl.net/n9zia/>

[http://www.qsl.net/pa0hoo/helix\\_wifi/linkbudgetcalc/wlan\\_budgetcalc.html](http://www.qsl.net/pa0hoo/helix_wifi/linkbudgetcalc/wlan_budgetcalc.html)

<http://www.zytrax.com/tech/wireless/calc.htm>

[http://www.connect802.com/antenna\\_c\\_main.php](http://www.connect802.com/antenna_c_main.php)

<http://www.connect802.com/literature.htm>

<http://my.athenet.net/~multiplx/cgi-bin/tilt.main.cgi>

<http://ac6v.com/opaid.htm#BEAR>



No confíe demasiado en calculadores en línea, los sitios pueden desaparecer o cambiar, o Ud. puede no estar en línea cuando planifica un enlace.

Prepare una hoja de cálculo o un calculador basado en JavaScript o simplemente tenga lápiz y papel a mano. En el cálculo de un radioenlace no es necesaria una computadora.

### 10.1.3 Programa RadioMobile

#### Altamente recomendado

<http://www.cplus.org/rmw/english1.html>

Existe también una versión en castellano

### 10.1.4 Fuentes de Datos de elevaciones

<http://www.cplus.org/rmw/dataen.html>

### 10.1.5 Datos de Aviación (aeropuertos)

e.g. <http://www.fallingrain.com/world/>

## 11. Declaración de Derechos de Propiedad Intelectual

Los materiales desarrollados en el marco del proyecto TRICALCAR utilizan una versión resumida del formato MMTK – Multimedia Training Kit. Han sido desarrollados para ser utilizados y compartidos libremente por instructores/as vinculados a proyectos de nuevas tecnologías para el desarrollo.

Todos los materiales están disponibles bajo una de las licencias Creative Commons <<http://creativecommons.org/>>. Estas licencias han sido desarrolladas con el propósito de promover y facilitar que se compartan materiales, pero reteniendo algunos de los derechos del autor sobre la propiedad intelectual.

Debido a que las organizaciones del Proyecto TRICALCAR que usan el formato MMTK para el desarrollo de sus materiales tienen diversas necesidades y trabajan en contextos diferentes, no se ha desarrollado una licencia única que cubra a todos los materiales. Para mayor claridad sobre los términos y condiciones en las que usted puede utilizar y redistribuir cada unidad temática, por favor verifique la declaración de derechos de propiedad intelectual incluida en cada una de ellas.

**Provisiones de derechos de propiedad intelectual para esta unidad:** Esta unidad temática se ha hecho disponible bajo los términos de la licencia **Atribución-NoComercial-Licenciamiento Recíproco**, bajo los siguientes términos:

- **Atribución.** Reconocer la autoría del material en los términos especificados por el propio autor o licenciante.
- **No comercial.** No puede utilizarse este material para fines comerciales.
- **Licenciamiento Recíproco.** Si altera, transforma o crea un material a partir de este, solo podrá distribuir el material resultante bajo una licencia igual a esta.

Documento preparado para el taller de comunicaciones inalámbricas de Tshwane en Sudáfrica (c) 7<sup>th</sup> September 2005, Creative Commons Deed. Attribution-NonCommercial-ShareAlike 2.0 (c) 21 abril 2007. Editado por: Alberto Escudero Pascual, IT +46. Traducido por: Asociación Civil Nodo TAU.