



Cálculo de Radioenlace

Desarrollado por: Sebastian Buettrich
Editado por: Alberto Escudero-Pascual
Presentado por: Eduardo J. Rodríguez

Objetivos



- ♦ *Presentar todos los elementos y herramientas necesarias para el cálculo de un radioenlace*
- ♦ *Discutir cada uno de estos elementos*
- ♦ *Ser capaz de evaluar los resultados en contacto directo con la realidad*



Tabla de Contenidos

- ◆ ¿Qué es un presupuesto de enlace?
- ◆ Elementos de un radioenlace
 - ✓ Lado de Transmisión
 - ✓ Lado de Propagación
 - ✓ Lado Receptor
- ◆ Como calcular un presupuesto de enlace



¿Qué es un presupuesto de enlace?

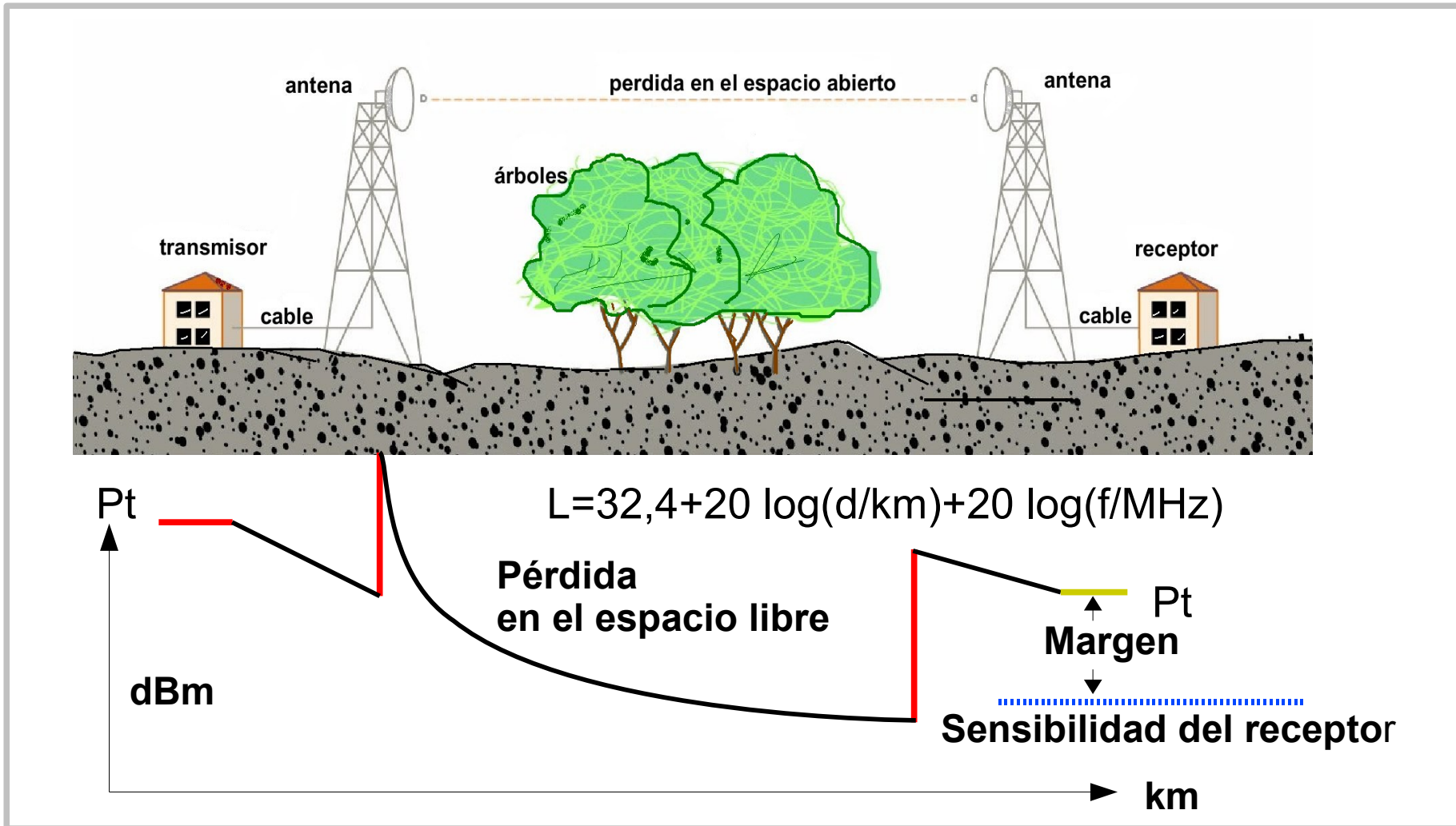
- ◆ El cálculo de todas las ganancias y pérdidas desde el transmisor hasta el receptor
- ◆ Un buen presupuesto de enlace es esencial para el funcionamiento del mismo
- ◆ Estimación de pérdidas/ganancias en un radioenlace:
 - ✓ Diseño adecuado
 - ✓ Correcta elección de los equipos

Elementos de un Radioenlace



- ◆ Lado de Transmisión
 - ✓ Potencia de Transmisión, pérdidas en el cable, ganancia de antena
- ◆ Lado de Propagación
 - ✓ FSL, zona de Fresnel
- ◆ Lado Receptor
 - ✓ Ganancia de antena, pérdidas en el cable, sensibilidad del receptor

Elementos de un Radioenlace





Ecuación de Radioenlace

$$\begin{aligned} &+ \text{Potencia del Transmisor [dBm]} \\ &- \text{Pérdidas en el Cable TX [dB]} \\ &+ \text{Ganancia de Antena TX [dBi]} \\ &- \text{Pérdidas en la trayectoria en el espacio libre [dB]} \\ &+ \text{Ganancia de Antena RX [dBi]} \\ &- \text{Pérdidas en el Cable RX [dB]} \\ &= \text{Margen} - \text{Sensibilidad del receptor [dBm]} \end{aligned}$$

el cálculo debe hacerse en ambas direcciones

Potencia de Transmisión (Tx)



- ♦ *Potencia de salida del radio (la tarjeta inalámbrica, estación base)*
- ♦ *El límite superior depende de límites regulatorios por lo tanto de los países/regiones y la utilidad en el tiempo*

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



Pérdidas en el Cable

- ♦ Pérdidas debido a la atenuación
- ♦ El cable de la antena debe ser lo más corto posible
- ♦ Dependientes de la Frecuencia
- ♦ Controlar la hoja de datos y verificar
- ♦ Los valores típicos de pérdidas varían entre 1 dB/m hasta < 0.1 dB/m
- ♦ Menores pérdidas => cable más costoso



Pérdidas en el Cable

<i>Tipo de cable</i>	<i>Pérdida [db/100m]</i>
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
Heliax de 1/2 "	12
Heliax de 7/8"	7



Pérdidas en los Conectores

- ♦ Pérdidas en los conectores (≈ 0.25 dB por conector)
- ♦ Dependiendo de la frecuencia y tipo de conector
- ♦ Pérdidas en protectores contra descarga eléctrica. (≈ 1 dB)

Amplificadores

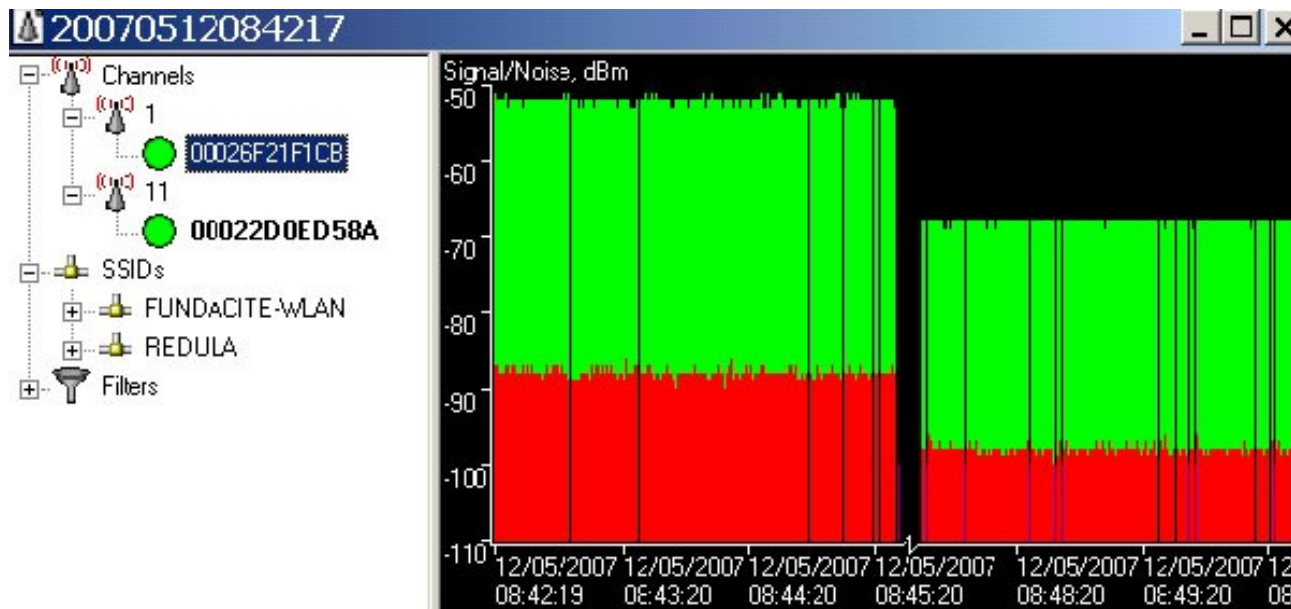


- ♦ Su uso es opcional, compensa pérdidas en los cables
- ♦ Puede cambiar características en la frecuencia y adicionar ruido
- ♦ Considere los límites legales
- ♦ Una elección inteligente de las antenas y una alta sensibilidad en el receptor son mejores que la fuerza bruta de amplificación

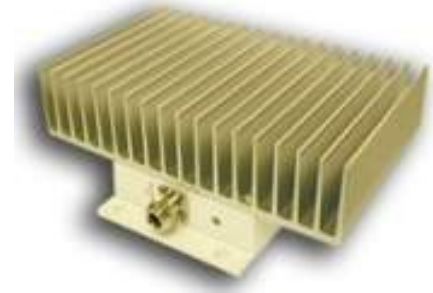


Amplificadores

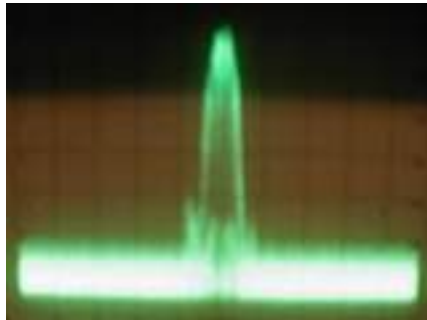
- ♦ El amplificador aumenta tanto el nivel de la señal como el del ruido



Amplificadores



Lo que un amplificador económico puede hacer
antes después



Antena del lado transmisor



- ♦ Ganancia de Antena en rangos desde
 - ✓ 2 dBi (antena integrada simple)
 - ✓ 8 dBi (omni direccional estándar)
 - ✓ 21 - 30 dBi (parabólica)
- ♦ Verifique que realmente tiene la ganancia nominal
 - ✓ Pérdidas en la inclinación, en la polarización, etc.



Pérdidas en el espacio libre

- ♦ Proporcional al cuadrado de la distancia
- ♦ Proporcional al cuadrado de la frecuencia del radio

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

d = distancia [m]

f = frecuencia [Hz]

Suponemos una antena isotrópica



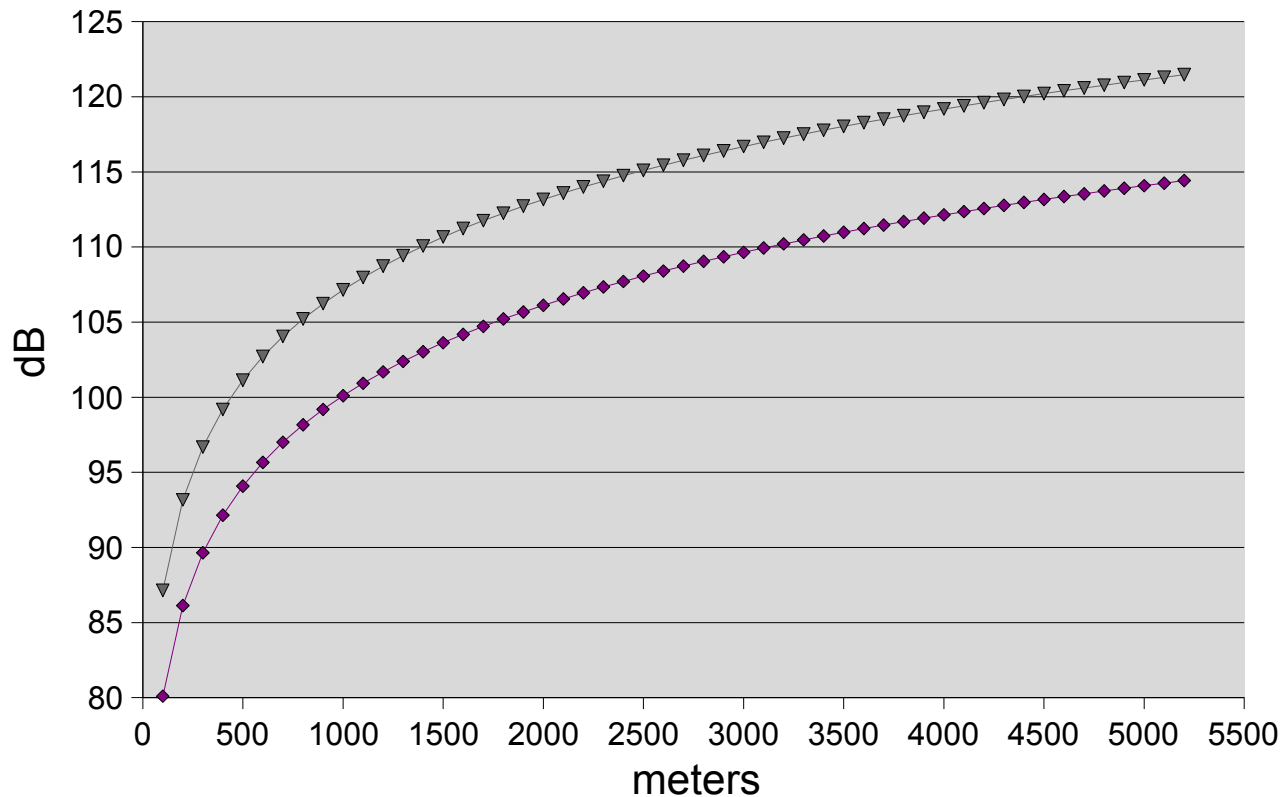
Pérdidas en el espacio libre

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

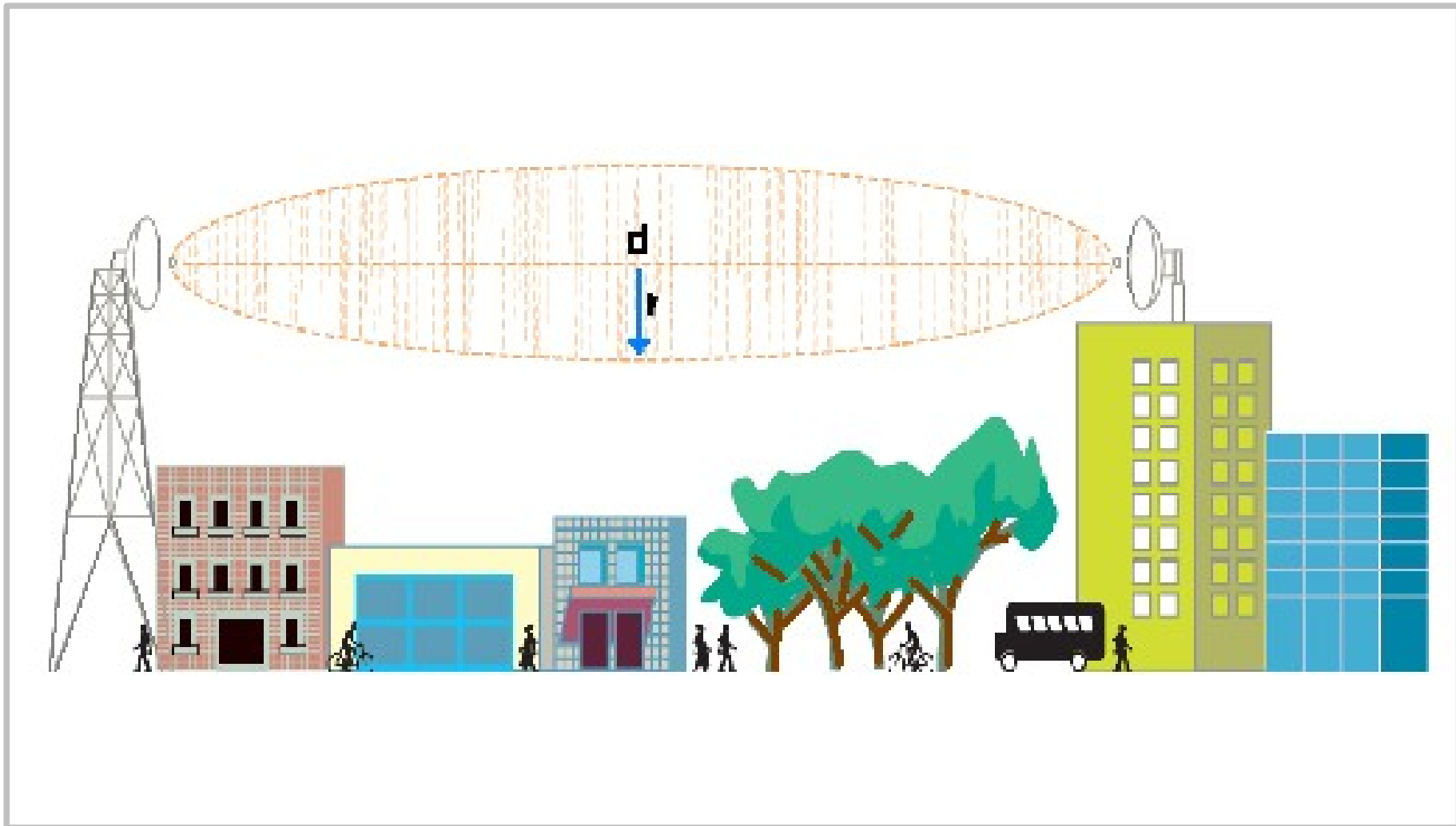
Aproximación lineal de FSL



dB - meters (2.4/5.4 GHz)



Propagación en el espacio libre: Zona de Fresnel



Propagación en el espacio libre: Zona de Fresnel



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

- ♦ 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]

Propagación en el espacio libre: Zona de Fresnel



Obstáculo situado en el medio ($d_1=d_2$):

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

El radio que contiene el 60% del total de la potencia:

$$r(60 \text{ percent}) = 10,4 * \sqrt{d/4f}$$

Propagación en el espacio libre: Zona de Fresnel



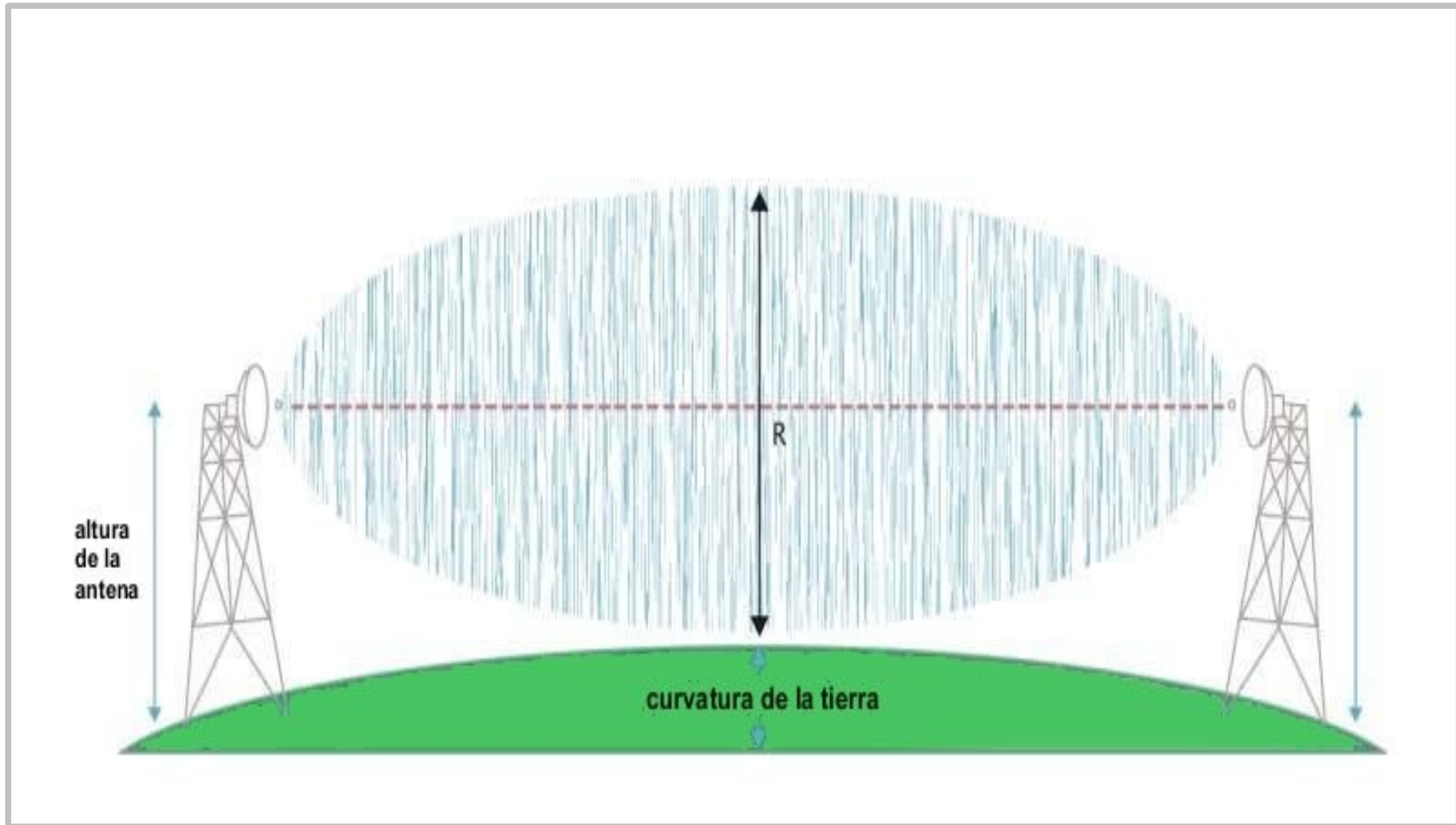
Propagación en el espacio libre: Zona de Fresnel



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

♦ **Radio [m] para la primera zona de Fresnel**

Propagación en el espacio libre: Zona de Fresnel



Lado Receptor. Pérdidas en Antenas, Cables y Amplificadores



- ♦ Los cálculos son iguales que los del lado de transmisión



Sensibilidad del receptor

- ♦ *Muestra el mínimo valor de potencia que necesita para poder decodificar/extraer “bits lógicos” y alcanzar una cierta tasa de bit*
- ♦ *Cuanto más baja sea la sensibilidad, mejor será la recepción del radio*
- ♦ *Una diferencia de 10 dB aquí es tan importante como 10 dB de ganancia en una antena*



Sensibilidad del receptor

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

Margen y SNR (tasa de señal a ruido)



Margen = Señal recibida en el receptor –
sensibilidad

- ♦ No es suficiente que la señal sea $>$ que el ruido
- ♦ Es necesario un cierto margen entre la señal y el ruido (SNR)
- ♦ Requerimiento típico de SNR es:
 - ✓ 16 dB para 11 Mbps
 - ✓ 4 dB para 1 Mbps

Términos y Conceptos



- ♦ **Presupuesto de enlace / Presupuesto de potencia / Ganancia del Sistema**
 - ✓ Un cálculo de señal/potencia de las partes del sistema
 - ✓ El cálculo debe hacerse en ambas direcciones
- ♦ **Margen de operatividad del sistema**
 - ✓ Señal recibida – sensibilidad



Términos y Conceptos

- ♦ EIRP (Effective Isotropic Radiated Power) = PIRE (Potencia Irradiada Isotrópica Efectiva)
 - ✓ *Máxima Potencia Irradiada*
 - ✓ *100 mW en Europa*
 - ✓ *1- 4 W en otros países*

PIRE (dBm) = Potencia Transmisor (dBm) – Pérdidas en cables y conectores (dB) + Ganancia de Antena (dBi).



Cálculo con dB

- ♦ Decibel es adimensional
(como el porcentaje)
- ♦ $\text{dB} = 10 \cdot \log(P1/P2)$
- ♦ $\text{dBm} = 10 \cdot \log(P/0.001\text{W}) = 10 \cdot \log(P/1\text{mW})$



Cálculo con dB

- ♦ $\text{dBi} = \text{dB}$ relativo a una antena isotrópica ideal (Fuente de un punto)
- ♦ Las unidades de decibeles pueden ser sumadas y restadas y el resultado será adimensional

Cálculo con dB



La Regla de Oro:

- ♦ Duplicar la potencia es igual a sumar 3 dB
- ♦ Reducir la potencia a la mitad es igual que restar 3 dB



El presupuesto de enlace completo

- ♦ *Dos ejemplos reales a discutir*
- ♦ *La cuestión clave es:*

¿Que margen necesita para que un enlace funcione bien?



El presupuesto de enlace completo

- + Potencia del Transmisor [dBm]
- Pérdidas en el Cable TX [dB]
- + Ganancia de Antena TX [dBi]
- Pérdidas en la trayectoria en el espacio libre [dB]
- + Ganancia de Antena RX [dBi]
- Pérdidas en el Cable RX [dB]
- = Margen – Sensibilidad del receptor [dBm]

Presupuesto de enlace completo: Ejemplo 1



<i>Datos</i>	<i>Elementos</i>	<i>Valores</i>
Distancia: 50 km (31,1 millas) Frecuencia: 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

Presupuesto de enlace completo: Ejemplo 2



<i>Datos</i>	<i>Elementos</i>	<i>Valores</i>
Distancia: 1 km (0,622 millas) Frecuencia: 2,4 GHz Cable de baja calidad Poca ganancia de antena	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

Otros cálculos importantes



- ♦ **Factores de corrección debido a:**
 - ✓ Estructuras del terreno y edificación
 - ✓ Superficies húmedas, lluvia, nieve y agua
- ♦ **Dificultad para estimar y que cambian con el tiempo**
- ♦ **Puede tener gran impacto en el presupuesto total de enlace**
- ♦ **Los cálculos teóricos son una cosa y los prácticos otra**

Fuentes de Lat/Long, elevación y datos de distancias



- ◆ Conocimiento Local
- ◆ Datos GPS
- ◆ Proyecto (SRTM) Shuttle Radar Topography Mission
- ◆ Sitios de Aviación, localizadores en los aeropuertos
- ◆ Sitios de Radioaficionados, Islámicos
- ◆ Listas de ciudades
- ◆ El proyecto *confluence.org* como una primera vista



Cálculadores en línea

- ♦ Gran recurso para verificar cálculos
- ♦ No confíe ciegamente en los recursos en línea
 - ✓ Pueden cambiar o simplemente “desaparecer”
- ♦ **Un ejemplo de herramienta de hoja de cálculo está disponible en esta unidad**

Cálculadores en línea

The screenshot shows a web browser window displaying the 'Calculations' page of the Terabeam Wireless website. The browser's address bar shows 'http://www.terabeam.com/support/calculations/index.php'. The website has a blue header with the 'TERABEAM WIRELESS' logo and a navigation menu with links for Home, Customers, Solutions, Corporate, News, Support, Training, Partners, and Contact Us. The main content area is titled 'Calculations' and features a search box, a list of support links, and a list of calculation tools with brief descriptions. A note at the bottom states that the values are first-order approximations.

Support :: Calculations :: Terabeam Wireless - Mozilla

File Edit View Go Bookmarks Tools Window Help

Back Forward Reload Stop http://www.terabeam.com/support/calculations/index.php

Home Bookmarks

TERABEAM WIRELESS

Terabeam Wireless > Support > Calculations

: [Home](#) : [Customers](#) : [Solutions](#) : [Corporate](#) : [News](#) : [Support](#) : [Training](#) :
[Partners](#) : [Contact Us](#)

Calculations

Search Site

Go

[Advanced Search](#)

Support Links

- [Email Tech Support](#)
- Calculations**
- [Downloads](#)
- [Documentation](#)
- [FAQs](#)
- [RMA Guidelines](#)
- [RMA Fax Form](#)
- [RMA Online](#)

Click on any of the links below for more detailed information:

- [System Operating Margin \(SOM\)](#) - Calculates the system operating margin which is the difference between the signal a radio is actually receiving versus what is needed for good data recovery.
- [Free Space Loss](#) - Calculates the free space loss which is the transmission loss between two antennas.
- [milliWatts vs. dBm](#) - Converts milliWatts to dBm and dBm to Watts.
- [Downtilt Coverage Radius](#) - Provides the downtilt coverage radius by taking half of the beamwidth in each direction of the downtilt angle from the height of the antenna.
- [Antenna Downtilt](#) - Calculates the distance or tilt angle by providing the base height, remote height and either tilt angle or distance.
- [Fresnel Clearance Zone](#) - Calculates the radius of the fresnel zone at its widest point as well as 20% blockage by providing the distance and frequency.
- [Latitude/Longitude Bearing](#) - By providing latitude and longitude of a base and remote site it will provide the degrees from each site and distance in miles.

Note: The final value represents a first order approximation and should only be used as a guide. No guarantees or warranties are implied accordingly. For a more



Cálculadores en línea

WLAN Link Planner - Mozilla

File Edit View Go Bookmarks Tools Window Help

Back Forward Reload Stop http://www.wilac.net/pa2/helix_wifilinkbudgetcalc/wlan_budgetcalc.html Print

Home Bookmarks

The Link Budget Calculation

Transmitting	Transmitter output power (common WLAN: +15dBm)	<input type="text"/>	dBm
	Cable loss (Normally -3 to -10 db, calculate here) Add connector loss (neg)	<input type="text"/>	dB
	Antenna gain (0dB, 8 dB (biquad) (+15 db, (helix) +24 dB (parabolic)	<input type="text"/>	dBi
Propagation	Free space loss (negative value! Calculate here)	<input type="text"/>	dB
Receiving	Antenna gain (0dB, 8 dB (biquad) (+15 db, (helix) +24 dB (parabolic)	<input type="text"/>	dBi
	Cable loss (Normally -3 to -10 db, calculate here) Add connector loss (neg)	<input type="text"/>	dB
	Receiver sensitivity (depending on manufacturer between -78 to -85 dBm @ 11 Mbps)	<input type="text"/>	dBm
Total	Remaining margin: <input type="button" value="Calculate"/>	<input type="text"/>	dB
Comments	<input type="text"/>		
Legal limit	<input type="text"/>		

Remarks:
1) To achieve a very reliable link a margin of at least 10 dB is needed. This accommodates for local fading (variations of

Mozilla-4 Terminal Evaluto homeo gFTP 2.0 31:06

Algunas URLs para cálculos



www.google.com/search?hl=en&lr=&q=wireless+link+calculator&I

www.terabeam.com/support/calculations/index.php (ex-YDI.com)

www.qsl.net/n9zia/

www.qsl.net/pa0hoo/helix_wifi/linkbudgetcalc/wlan_budgetcalc.ht

www.zytrax.com/tech/wireless/calc.htm

www.connect802.com/antenna_c_main.php

Algunas URLs para cálculos



www.connect802.com/literature.htm

my.athenet.net/~multiplex/cgi-bin/tilt.main.cgi

www.it46.se/courses2/wireless/calculator/en/

Confluencias



The screenshot shows a Mozilla Firefox browser window with the following elements:

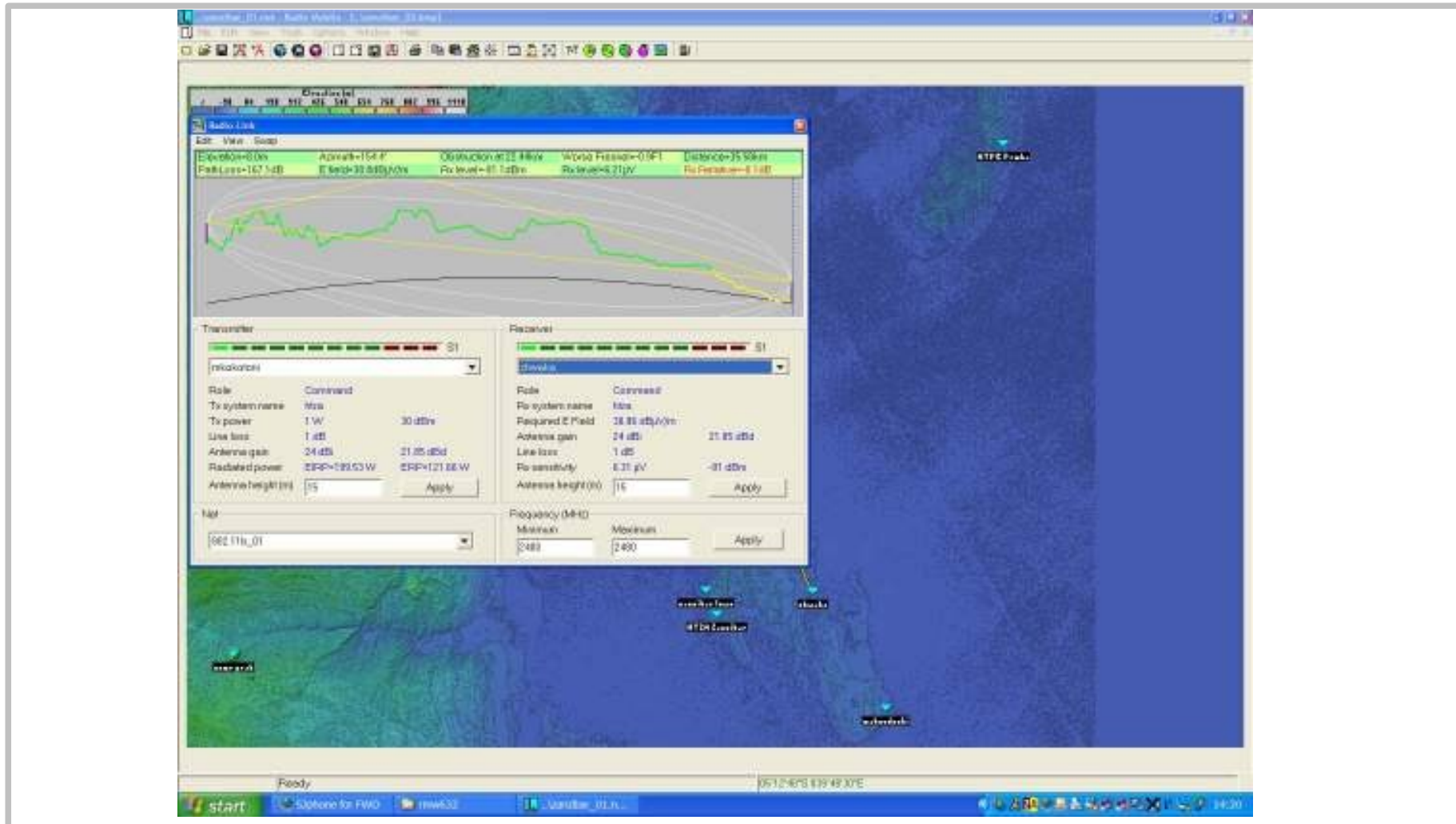
- Address Bar:** `http://www.confluence.org/region.php?id=435`
- Navigation:** Back, Forward, Home, Reload buttons.
- Search:** Google search bar with the text "terabeam".
- Page Title:** "DGP: Argentina : Santa Fe"
- Page Content:**
 - Navigation links: { Main | Search | Countries | Information | Member Page }
 - Section: "Argentina : Santa Fe (visit information)" with a globe icon.
 - Map: A grid map showing coordinates 63, 62, 61, 60, 59 on the x-axis and 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34 on the y-axis. Red squares indicate visited locations. Text: "6 visited, 12 total."
 - Section: "Plans for this Region"
 - Map Legend
 - Image 1: A field with a fence. Coordinates: **34°S 62°W**, 9.4 km (5.8 miles) WNW of Maria Teresa, Santa Fe, Argentina.
 - Image 2: A field with a tree. Coordinates: **33°S 61°W**, 4.8 km (3.0 miles) NE of Humberto Primero, Santa Fe, Argentina.
- Taskbar:** Shows several open applications including "Tricalcar - T...", "[tallerTrical...", "[materiale...", "Lista de ...", "06_es_calc...", "DGP: Arge...", and "Iniciando C...".

Programa RadioMobile



- ◆ Planificación integral de una línea. LOS y cálculos de alcance basados en datos del terreno
- ◆ Programa gratis de los radioaficionados
- ◆ Para Windows
- ◆ Puede usar datos de elevación provenientes de varias fuentes: formatos HGT, DTED, GLOBE, SRTM30, GTOPO, ...
- ◆ Puede integrar mapas y fondos, datos GIS
- ◆ <http://www.cplus.org/rmw/english1.html>

Programa RadioMobile





Conclusiones

- ♦ *Tener un buen presupuesto de enlace es un requerimiento básico para el buen funcionamiento del mismo*
- ♦ *Un presupuesto de enlace de una red inalámbrica es la cuenta de todas las ganancias y pérdidas desde el radio transmisor hacia el receptor*
- ♦ *Si ambos extremos no son iguales, calcular en las dos direcciones*

Conclusiones



- ♦ *Las pérdidas más grandes del enlace se producen en la propagación en espacio libre debido a la atenuación geométrica de la señal*
- ♦ *EIRP o PIRE es un valor que especifica la máxima potencia que está transmitiendo al espacio*



Conclusiones

- ♦ *La sensibilidad del receptor es un parámetro que indica el valor mínimo de potencia que se necesita para alcanzar una cierta tasa de bit.*