

## MONTAJE DE UN ENLACE WIRELESS DE LARGA DISTANCIA

Por [José Luis García Iglesias](#)

*IMPORTANTE: Este documento no pretende ser una guía puramente técnica sino más bien un documento de orientación y de información general para aquellos que estamos iniciándonos en el mundo wireless. Debido a mi desconocimiento de la materia, me he limitado a hacer resúmenes y síntesis de otros documentos mencionados al final de este. Disculpad los errores, serán corregidos en futuras versiones de este documento.*

- 1.- Objetivo
- 2.- Materiales necesarios
- 3.- Factores condicionantes
  - 3.1- Potencia de transmisión de las tarjetas
  - 3.2- Calidad de los conectores
  - 3.3- Longitud y calidad del pigtail
  - 3.4- Longitud y calidad del cable coaxial
  - 3.5- Ganancias y tipos de antena
  - 3.6- Distancia entre antenas
  - 3.7- Zona de Fresnel
  - 3.8- Condiciones del terreno y meteorológicas
  - 3.9- Fórmula general
- 4.- Hardware
  - 4.1- Elegir entre tarjeta o AP
  - 4.2- Potencia necesaria
- 5.- Antenas
  - 5.1- Tipo necesario
  - 5.2- Ganancias
  - 5.3- Montaje
- 6.- Conexiones
  - 6.1- Cableado
  - 6.2- Conectores
- 7.- Montando el enlace
- 8.- Resultados
- 9.- Glosario
- 10.- Bibliografía

## 1.- OBJETIVO

El objetivo es enlazar dos redes a través de una conexión punto a punto. Dado que la ubicación física de ambas redes distan varios kilómetros entre sí, hemos elegido la tecnología 802.11b dado su bajo coste y su alto rendimiento. Con la tecnología 802.11b se puede alcanzar una velocidad de hasta 11 Mbps.

## 2.- MATERIALES NECESARIOS

Para establecer el enlace hemos elegido:

- Dos PC's
- Dos tarjetas wireless 802.11b con conector de antena externa
- Dos "pigtaills" o latiguillo conversor de tipo de conectores
- Cable coaxial y conectores
- Dos antenas

## 3.- FACTORES CONDICIONANTES

Los factores que van a condicionar y determinar el funcionamiento y el rendimiento del enlace son los siguientes:

- Potencia de transmisión de las tarjetas
- Calidad de los conectores
- Longitud y calidad del pigtail
- Longitud y calidad del cable coaxial
- Ganancias y tipos de antenas
- Distancia entre antenas
- Zona de Fresnel
- Condiciones del terreno y meteorológicas

### 3.1- Potencia de transmisión de las tarjetas

Según la potencia de transmisión de las tarjetas, podemos clasificarlas en dos tipos generales:

- 30 mW de potencia de transmisión (aprox. 15 dB)
- 100 mW de potencia de transmisión (aprox. 20 dB)

Cuanto mayor sea la potencia de transmisión, mayor será el alcance del enlace, siempre teniendo en cuenta los demás factores condicionantes.

### 3.2- Calidad de los conectores

Debemos ser cuidadosos a la hora de realizar las conexiones, crimpados y soldaduras de los conectores. Es preferible gastar algo más de dinero en conectores y herramientas de calidad y ganar en estabilidad del enlace y evitar pérdidas de señal. Para este tipo de cableado se suele utilizar conectores de tipo N.

### 3.3- Longitud y calidad del pigtail

El pigtail es un latiguillo de cable que en un extremo tiene un tipo de conector que irá conectado a la tarjeta (el tipo de conector depende del modelo de la tarjeta) y en el otro extremo tiene un conector al cual conectaremos el cable coaxial. Este conector suele ser de tipo N.

Cuanto más corto y de más calidad sea el pigtail, menor será la pérdida de señal. El pigtail podemos comprarlo hecho o bien hacernos uno a medida. Se aconseja que en ningún caso el pigtail supere los 2 metros de longitud, si bien unos 20cm pueden ser suficientes.

### 3.4- Longitud y calidad del cable coaxial

El cable coaxial es uno de los factores más importantes a la hora de elegir el tipo de montaje que vamos a realizar. El coaxial deberá recorrer desde la antena (colocada habitualmente en el exterior del edificio y en el punto más alto de este) hasta la ubicación del PC (normalmente dentro del edificio). Debemos tener en cuenta:

- Cuanto más largo sea el cable coaxial, mayor será la pérdida de señal
- La calidad del cable afecta a la pérdida de señal / metro. Podríamos decir que:

cable de menor pérdida = cable más grueso y rígido = cable más caro

No existe longitud máxima para el cable coaxial, pero a mayor longitud, mayor pérdida.

A continuación, una pequeña tabla que muestra la relación entre modelos de cable LMR y pérdida de señal / metro longitudinal a una frecuencia de 2.4GHz:

Cable	Pérdida en dB/100m
LMR-200	54.2
LMR-240	41.5
LMR-400	21.7
LMR-600	14.2
LMR-900	9.58
LMR-1200	7.27
LMR-1700	5.51

### 3.5- Ganancias y tipos de antenas

En la fórmula que veremos más tarde, veremos que la ganancia de las antenas determina la calidad final del enlace, así como el tipo de antena elegida. Podríamos clasificarlas en:

- Unidireccionales: el haz de rayos se emite en una sola dirección
- Omnidireccionales: el haz de rayos se emite en todas direcciones
- Sectoriales: el haz de rayos se emite en un ángulo determinado

Dentro de cada tipo de antena existen varios subtipos. Ya que el enlace que pretendemos realizar es entre dos puntos, utilizaremos dos antenas unidireccionales, cada una de ellas apuntando hacia la otra.

La antena óptima sería de tipo parabólica con biquad (se han logrado distancias de hasta 35Km con este tipo de antena), pero quizá para nuestro caso concreto nos baste con un par de antenas tipo yagi.

### 3.6- Distancia entre antenas

La distancia entre ambas antenas puede calcularse en caso de conocer el resto de factores determinantes. En nuestro caso, conocemos la distancia que queremos cubrir, adaptando entonces el resto de materiales a la distancia.

Cuanto mayor sea la distancia entre antenas, obviamente mayor será la pérdida de señal. La distancia

máxima puede variar desde varios metros hasta decenas o cientos de kilómetros. Es altamente recomendado que haya una línea de visión directa entre las antenas.

Podemos calcular la pérdida de señal por propagación entre antenas con la siguiente fórmula:

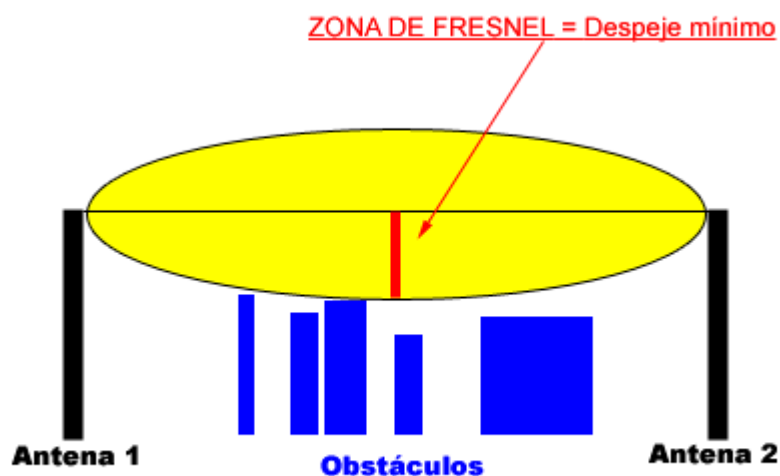
$$P_p = 40 + 20 \cdot \text{Log}(d)$$

$P_p$  = Pérdida por propagación en dB

$d$  = distancia en metros entre las antenas

### 3.7- Zona de Fresnel

La llamada zona de Fresnel es una zona de despeje adicional que hay que tener en consideración además de haber una visibilidad directa entre las dos antenas. Este factor deriva de la teoría de ondas electromagnéticas respecto de la expansión de las mismas al viajar en el espacio libre. Esta expansión resulta en reflexiones y cambios de fase al pasar sobre un obstáculo. El resultado es un aumento o disminución en el nivel de señal recibido.



Toda la zona marcada en amarillo debe permanecer despejada de obstáculos.

Tabla para calcular la zona de Fresnel:

Distancia entre antenas (en Km)	Zona de Fresnel (en metros)
1	3.9
2	5.6
3	7.1
4	8.4
5	9.7
6	11.0
7	12.3
8	13.6

9	15.0
10	16.4
11	17.9
12	19.4
13	21.0
14	22.7
15	24.4
16	26.2
17	28.0
18	29.9
19	31.9
20	34.0
25	45.4
30	58.7

Nota: la zona de Fresnel expresada en la tabla (la que usaremos en la práctica) es calculada según el 70% de la 1ª zona de Fresnel a una frecuencia de 2.4GHz + la curvatura terrestre para cada distancia.

### 3.8- Condiciones del terreno y meteorológicas

Los árboles, los edificios, tendidos eléctricos, etc. influyen en la recepción de la señal. La señal se refleja en los objetos y llega con retardo de fase a la antena receptora, pudiendo provocar pérdidas de señal. Podemos corregir este efecto desplazando 6cm longitudinalmente hacia delante o hacia atrás la antena receptora (6cm es la mitad de la longitud de onda, es decir, desde un pico hasta un valle de la senoide).

Lectura recomendada: [http://usuarios.lycos.es/pefeco/ondas6/ondas6\\_indice.htm](http://usuarios.lycos.es/pefeco/ondas6/ondas6_indice.htm)

El hielo y la nieve influyen negativamente en las antenas cuando están en contacto directo con éstas. La lluvia en sí tiene poco impacto sobre la pérdida por propagación, pero en el caso de las antenas “flat-panel”, puede disminuir su rendimiento si se crea una película de agua en el panel de la antena.

### 3.9- Fórmula general

Podemos calcular el nivel de recepción de señal en función de todos los factores condicionantes:

$$\text{Nivel\_recepción\_señal} = \text{Potencia\_transmisión\_a} - \text{Pérdida\_conectores\_a} - \text{Pérdida\_cables\_a} + \text{Ganancia\_antena\_a} - \text{Pérdida\_propagación} + \text{Ganancia\_antena\_b} - \text{Pérdida\_cables\_b} - \text{Pérdida\_conectores\_b}$$

O abreviando:

$$Nrs = Pt_a - Pco_a - Pca_a + Ga_a - Pp + Ga_b - Pca_b - Pco_b$$

Para que os hagáis un esquema más gráfico de la fórmula, sigue el mismo orden:

Tarjeta–conectores–coaxial–antena–separación–antena–coaxial–conectores–tarjeta

Para establecer un enlace óptimo, el Nrs debe ser mayor que la sensibilidad + margen.

Para un enlace de correcto, la sensibilidad debe ser:

- Para 11Mbit: -82dBm
- Para 5.5Mbit: -87dBm
- Para 2Mbit: -91dBm
- Para 1Mbit: -94dBm

El margen ha de ser:

- Mínimo: 10dB
- Enlaces expuestos a interferencias (ciudad): 15dB
- Enlaces con condiciones climáticas adversas: 20dB

En nuestro caso, el enlace de 11Mbit que pretendemos crear, atraviesa parte de la ciudad hasta la periferia, por tanto aplicamos los -82dBm de sensibilidad y los 15dB de margen, quedando:

$$Nrs > -82 + 10$$

$$Nrs > -72dBm$$

Concluyendo:

$$Pt_a - Pco_a - Pca_a + Ga_a - Pp + Ga_b - Pca_b - Pco_b > -72dBm$$

Ejemplo:

Tomando los valores ficticios:

$$Pt_a = 15dBm$$

$$Pco_a = 2dB$$

$$Pca_a = 3.4dB$$

$$Ga_a = 24dBi$$

$$Pp = 124dB *$$

$$Ga_b = 24dBi$$

$$Pca_b = 3.4dB$$

$$Pco_b = 2dB$$

$$Nrs > -72dBm$$

Aplicamos la fórmula:

$$Pt_a - Pco_a - Pca_a + Ga_a - Pp + Ga_b - Pca_b - Pco_b > Nrs$$

$$15dBm - 2dB - 3.4dB + 24dBi - 124dB + 24dBi - 3.4dB - 2dB > -72dBm$$

$$-71.8dB > -72dB$$

Correcto!! El nivel de todos los factores es mayor al nivel necesario para alcanzar el enlace a 11Mbit. Por tanto, si la zona de Fresnel está despejada, el enlace funciona.

\* Los 124dB de pérdida por propagación corresponden a una distancia de 16Km.

#### 4.- HARDWARE

Según las necesidades del terreno, los edificios donde se vaya a realizar la instalación, el presupuesto disponible, etc., debemos elegir el hardware adecuado. No es lo mismo establecer un enlace desde una habitación a otra en un mismo edificio que establecer un enlace desde un edificio a otro situado a varios kilómetros, como es el caso.

#### 4.1- Elegir entre tarjeta o AP

En principio, la opción más barata casi siempre es una tarjeta o adaptador wireless, sea tipo PCMCIA, PCI o USB. Las tarjetas son más baratas pero presentan el inconveniente de que tienen que estar unidas físicamente a un PC. Los adaptadores USB también han de estar unidas a un PC a través de un cable USB el cual también tiene una longitud máxima determinada.

Los AP o Access Point, sin embargo, son aparatos independientes capaces de actuar por si solos si están debidamente configurados. Los AP suelen tener una salida ethernet la cual enlazaremos con nuestra red de cable o con nuestro equipo directamente, con lo cual no dependen de un PC para funcionar.

Si la distancia entre el PC y la antena es corta, merece la pena adquirir una tarjeta. Sin embargo, si la distancia entre el PC y la antena es larga, el cable coaxial debe de ser de gran calidad y por tanto muy caro, además de largo. Para cubrir esas largas distancias disponemos de la posibilidad de conectar un AP situado en un lugar cercano a la antena, aunque sea en el exterior o a la intemperie (existen modelos diseñados específicamente para eso) y conectar el AP al PC a través de cable UTP, el cual es mucho más barato.

Si tomamos esta opción, también se nos plantea la problemática de la alimentación del AP. Para no tener que realizar una instalación eléctrica adicional para el AP, existe la opción de utilizar PoE, Power over Ethernet, lo que consiste en aprovechar el cable UTP tanto para datos como para tensión eléctrica. Existen modelos de AP provistos de esta capacidad.

En nuestro caso intentaremos utilizar tarjetas en ambos puntos del enlace, aunque en uno de ellos la distancia puede llegar a ser algo larga (desde un 7º piso hasta la azotea que es un 12º mas prolongaciones), unos 35 metros.

#### 4.2- Potencia necesaria

Es fácil: cuanta más potencia, mejor. Pero no conviene pasarse. Aunque la diferencia en mW es grande entre los dos tipos de tarjeta más comunes (30mW vs. 100mW, lo cual es casi el triple), la diferencia equivalente en dBm no es tan abismal (15dBm vs. 20dBm). Por ello recurriremos más tarde a la fórmula para calcular si nos es suficiente con tarjetas de 30mW.

### 5.- ANTENAS

Las antenas a elegir para nuestro caso concreto, como dijimos antes, serán del tipo unidireccional. Entre las unidireccionales existen varios tipos con varias ganancias cada uno.

#### 5.1- Tipo necesario

Las antenas unidireccionales se dividen en:

- Yagi
- Parabólica
- Helicoidal

En nuestro caso empezaremos por hacer pruebas con antenas de tipo Yagi, debido a su fácil

construcción casera y alto rendimiento. Concretamente fabricaremos antenas con latas de Pringles o latas de tomate. Más información respecto a la construcción de las antenas en la web de [Sevilla Wireless](#).

## 5.2- Ganancias

Según el documento original de O'Reilly, con una lata de patatas pringles podemos construir una antena de 12 dBi. Aunque según los amigos de [GAIPS](#), las antenas de este tipo fabricadas con determinadas latas de tomate en lugar de con latas de pringles, dan mejor rendimiento. En nuestro caso experimentaremos con ambas y anotaremos resultados.

## 5.3- Montaje

El montaje final de la antena es un aspecto importante a tener en cuenta. Deberíamos tener precaución de:

- Montar las antenas de manera que tengan visibilidad directa entre sí
- Ubicarlas cerca del eje del edificio, no en los extremos de éste
- Asegurarse de que la zona donde la montamos es resistente
- Afianzar bien la antena de manera que no se mueva con el viento
- La instalación debe tener una buena toma de tierra
- Sujetar bien el cable coaxial con bridas
- Utilizar suelas de goma si el montaje se realiza en una azotea para evitar resbalones
- Encintar y asegurar todas las conexiones
- Utilizar bridas de color negro. Las blancas se deterioran con los rayos ultravioletas
- Si es posible, proteger el coaxial con tubo corrugado o similar

## 6.- CONEXIONES

Cuanto mejores sean todo el conjunto cable-conectores, menor pérdida de señal habrá entre la tarjeta y la antena. Para ello hemos de elegir el cable adecuado, longitud oportuna y conectores óptimos.

### 6.1- Cableado

El cable que parece tener más éxito en el mundo de la radiofrecuencia es el LMR. Podemos encontrar una lista detallada de los precios oficiales de Times Microwave (fabricante del LMR) en la dirección <http://www.timesmicrowave.com/cgi-bin/byteserver/products/commercial/price/lmrprice.pdf>.

La página en español de Times Microwave es <http://www.timesmicrowave.com/espanol/index.htm>. Ahí encontraremos un amplio catálogo de toda la gama de LMR para poder elegir el que mejor se adapte a nuestras necesidades.

No olvidéis leer la letra pequeña donde dice que la gama LMR-UltraFlex tiene un 15% más de atenuación (pérdida) de señal.

### 6.2- Conectores

Existen multitud de tipos de conectores para cable coaxial, pero quizá el que más nos conviene y el más usado habitualmente sea el de tipo N. Podemos encontrar fotografías y descripciones en la página de [Times Microwave](#), así como las herramientas necesarias para realizar las conexiones.

## 7.- MONTANDO EL ENLACE

Antes de montar el enlace vamos a hacer varios cálculos para orientarnos un poco y poder predecir resultados.

Aunque aún no dispongo de los datos concretos para nuestro objetivo (longitud necesaria de cable coaxial, distancia exacta entre edificios, etc...) vamos a hacer cálculos aproximados usando tarjetas de 30mW. El objetivo es conocer la combinación idónea entre tipo de cable y antena.

Datos:

Distancia entre antenas: 10Km aprox.  
 Longitud cable A: 35m aprox.  
 Longitud cable B: 35m aprox.  
 Potencia tarjeta A: 15dBi  
 Potencia tarjeta B: 15dBi  
 Pérdida conectores A: 2 dB aprox.  
 Pérdida conectores B: 2 dB aprox.  
 Ganancia antena A: ?  
 Ganancia antena B: ?  
 Nivel de recepción de señal mínimo para 11Mbps: -72dBm  
 Calculamos la pérdida por propagación en los 10Km:  
 $P_p = 40 + 20 \cdot \text{Log}(10) = 61\text{dB}$

Apliquemos la fórmula:

$$15 - 2 - (35 \cdot \text{atenuación}) + \text{Gan}_A - 61 + \text{Gan}_B - (35 \cdot \text{atenuación}) - 2 > -72$$

Simplificando un poco:

$$-50 + \text{Gan}_A + \text{Gan}_B - (70 \cdot \text{atenuación}) > -72$$

Ya que elegiremos antenas iguales con ganancias iguales para ambos puntos, podemos decir que:

$$\text{Gan}_A = \text{Gan}_B$$

$$(2 \cdot \text{ganancia}) - (70 \cdot \text{atenuación}) > -22\text{dB}$$

Posibles atenuaciones:

$$\text{LMR-200} = 0.542\text{dB/m}$$

$$\text{LMR-400} = 0.217\text{dB/m}$$

$$\text{LMR-600} = 0,142\text{dB/m}$$

Las tres posibilidades respectivas:

$$(2 \cdot \text{ganancia}) - 37.94\text{dB} > -22\text{dB}$$

$$\text{ganancia} > 7.97\text{dB}$$

ó

$$(2 \cdot \text{ganancia}) - 15.19\text{dB} > -22\text{dB}$$

$$\text{ganancia} > -3.40\text{dB}$$

ó

$$(2 \cdot \text{ganancia}) - 9.94 > \text{dB} - 22\text{dB}$$
$$\text{ganancia} > -6.03\text{dB}$$

Entonces, dependiendo del modelo de cable que usemos, la ganancia de cada antena deberá ser mayor de 7,97dBi, de -3.40dBi, o de -6.03dBi respectivamente.

Podemos usar tranquilamente el modelo de cable LMR-200 con un par de antenas fabricadas con latas de pringles (recuerda que pueden llegar a los 12 dBi de ganancia) y cubriremos la distancia perfectamente a 11Mbps, teóricamente.

## 8.- RESULTADOS

Esta parte la rellenaré con los resultados obtenidos.

## 9.- GLOSARIO

dB: decibelio, unidad logarítmica de intensidad usada para indicar potencia ganada o perdida entre dos señales.

dBd: ganancia en decibelios referente a una antena dipolo de onda-media estándar. Esto es una referencia más realista de ganancia de antena.

dBi: ganancia en decibelios referente a un radiador isotrópico. Un radiador isotrópico es una antena teórica con igual ganancia a todos los puntos en una esfera isotrópica.  $2.15\text{dBi} = 0\text{dBd}$

dBm: decibelio referente a un milivatio dentro de una impedancia de 50 ohmios (normalmente)  
 $0\text{dBm} = 1\text{mW}$

## 10.- BIBLIOGRAFIA

- <http://www.qsl.net/n9zia/wireless/page01.html>
- <http://www.gaips.upv.es/>
- <http://www.fab-corp.com/>
- [http://wireless.ictp.trieste.it/school\\_2002/lectures/ermanno/](http://wireless.ictp.trieste.it/school_2002/lectures/ermanno/)
- <http://www.datawaves.com/telecomunicaciones/download/tutorial.doc>
- <http://www1.avaya.com/enterprise/who/docs/pccards/techspecs.html>
- <http://www.radiowavesinc.com/tmp/171.pdf>
- <http://www.cientec.com.mx/tabla2.htm>
- [http://usuarios.lycos.es/pefeco/ondas6/ondas6\\_indice.htm](http://usuarios.lycos.es/pefeco/ondas6/ondas6_indice.htm)
- <http://madridwireless.net/docs/conceptronic/index.htm>
- <http://www.cewindows.net/peripherals/pccardwirelesslan.htm>
- <http://www.sevillawireless.net/>

Última fecha de modificación: 11 de julio de 2002