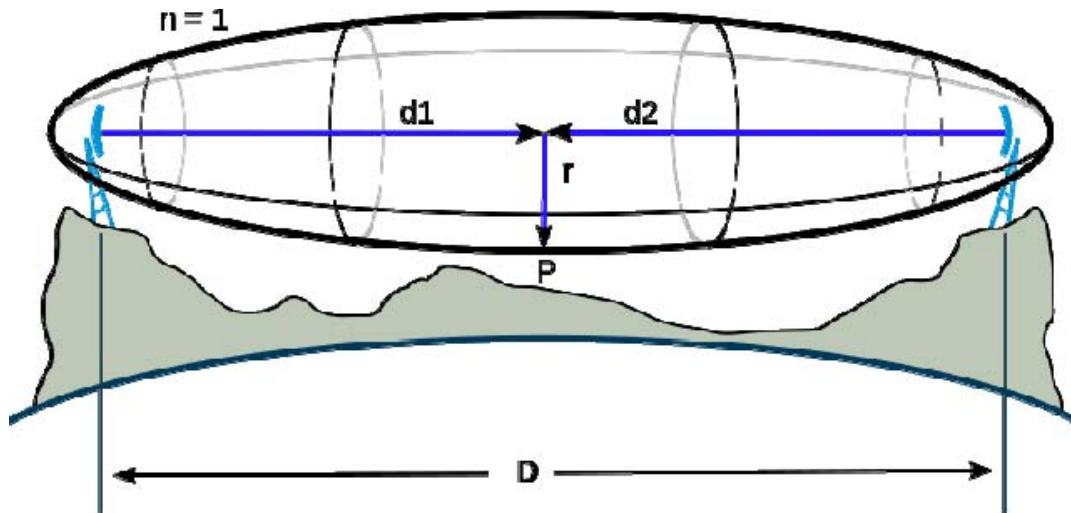


## Estudio de viabilidad de un enlace WiFi



Autores:

**Emilio Monachesi, Francisco A. Gómez López, Agustín Carrasco, Ana María Frenzel, Guillermo Chaile**

Proyecto PID 25/031:

“Efecto de la Foresta en las Transmisiones Electromagnéticas dentro de una WLAN”

Facultad Regional Tucumán

Universidad Tecnológica Nacional – U.T.N.

Argentina

Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional – edUTecNe

<http://www.edutecne.utn.edu.ar>

[edutecne@utn.edu.ar](mailto:edutecne@utn.edu.ar)

© [Copyright] La Editorial de la U.T.N. recuerda que las obras publicadas en su sitio web son de libre acceso para fines académicos y como un medio de difundir la producción cultural y el conocimiento generados por docentes universitarios y autores auspiciados por las universidades, pero que estos y edUTecNe se reservan el derecho de autoría a todos los fines que correspondan.

# Estudio de viabilidad de un enlace WiFi

*Emilio Monachesi<sup>1</sup>, Francisco A. Gómez López<sup>1,2</sup>, Agustín Carrasco<sup>1</sup>, Ana María Frenzel<sup>1</sup>, Guillermo Chaile<sup>1</sup>*

Proyecto PID 25/031: "Efecto de la Foresta en las Transmisiones Electromagnéticas dentro de una WLAN"  
Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Tucumán<sup>1</sup>  
Beca Bicentenario de Investigación y Posgrado<sup>2</sup>

## Resumen

Un sistema básico de comunicación consiste de tres partes fundamentales, el **emisor** (que transmite la información), el **receptor** (aquel que individual o colectivamente recibe la información) y el **canal**, el medio físico a través del cual viaja la información, este último introduce ruido, atenuación, distorsión e interferencia a la misma, produciendo su degradación. El emisor y el receptor pueden encontrarse desde unos pocos metros de distancia a cientos de kilómetros, pero independientemente de ello, la transferencia de información de un extremo a otro debe ser eficiente, confiable y segura.

En las redes WiFi (WLAN) la información viaja mediante ondas electromagnéticas no guiadas en el espacio libre y dependiendo de los sistemas irradiantes utilizados (antenas), los sistemas pueden ser punto a punto, punto a multipunto o multipunto a multipunto.

El estudio de los elementos que compone un sistema de comunicación, y los cálculos relativos al mismo se denomina *Estudio de viabilidad de un enlace WiFi*.

**Palabras Claves:** emisor, receptor, WiFi, cálculo de enlace, atenuación, espacio libre, pérdidas, ganancia de antena, dBm, dBi.

## 1. Introducción

El *Estudio de viabilidad de un enlace WiFi* para una configuración dada, consiste en el cálculo de las ganancias y las pérdidas de todos los componentes del mismo, desde el transmisor al receptor, pasando por los cables, conectores, antenas y el canal (espacio libre). Para realizar el mejor diseño y elegir el equipamiento adecuado, se debe estimar los valores de potencia en las diferentes partes del enlace WiFi.

Así para comenzar podemos afirmar que un enlace WiFi está formado por tres aspectos básicos:

*1.-Energía efectiva emitida:* energía emitida [dBm] - las pérdidas (cables y conectores) [dB] + ganancia de la antena [dBi], también es conocida como PIRE (Potencia Isotrópica Radiada Equivalente).

2.-Pérdidas en la propagación: pérdidas en el espacio libre [dB].

3.-Sensibilidad efectiva de recepción: ganancia de la antena [dBi] - pérdidas en los cables [dB] - sensibilidad del receptor [dBm].

El cálculo del enlace es la sumatoria de todos los aportes (en decibeles) en el camino de estas tres partes principales.

O sea que para conseguir un buen funcionamiento de una WLAN, la *Energía efectiva emitida + Pérdidas en la propagación + Sensibilidad efectiva de recepción* debe ser **mayor** que 0. Dicho valor nos indicará el margen de funcionamiento que tiene el sistema. En otras palabras este valor se conoce como *Margen de desvanecimiento*  $M_d$  y no es otra cosa que la potencia extra de señal que un enlace necesita para asegurarse que continuara en funcionamiento aunque sufra efectos anómalos (condiciones atmosféricas adversas, desvanecimientos multitrayectorias, entre otras). Un buen enlace WiFi debería tener un margen entre 6 a 20 dB dependiendo de la naturaleza del medio físico (ciudad, rural, bosques, etc.)

Así:

$$M_d = P_{TX} - P_{ctx} + G_{TX} - P_{FSL} + G_{RX} - P_{RX} - S_{RX}$$

Donde:

$P_{TX}$  = Potencia del transmisor [dBm].

$P_{ctx}$  = Pérdida en el cable de TX [dB].

$G_{TX}$  = Ganancia de antena de TX [dBi].

$P_{FSL}$  = Pérdidas en la propagación en espacio libre [dB].

$G_{RX}$  = Ganancia de antena de RX [dBi].

$P_{ctx}$  = Pérdidas en el cable de RX [dB].

$S_{RX}$  = Sensibilidad del RX [dBm].

$M_d$  = Margen de desvanecimiento [dBm].

## 2. Consideraciones en la etapa de transmisión

### 2.1. Potencia del Transmisión

$P_{TX}$  es la potencia de salida del equipo de radio y en las especificaciones técnicas se encuentra el valor máximo típico dado por el fabricante.

El límite máximo permitido depende de las regulaciones vigentes en cada país, dependiendo también de la frecuencia de operación y puede cambiar al variar el marco regulatorio, por lo tanto los equipos deben ser homologados para su puesta en funcionamiento.

La potencia de transmisión típica en los equipos IEEE 802.11 varía entre 15 – 26 dBm (30 – 400 mW) y depende de la tipología a usar.

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

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

**Tabla 1:** Potencias de transmisión típica de una tarjeta inalámbrica IEEE 802,11a/b

## 2.2. Pérdida en el cable

La unión entre el equipo de transmisión con el sistema irradiante (antenas) se realiza mediante cables de RF, la selección adecuada de los mismos nos permitirá minimizar las atenuaciones, pero independientemente de la calidad del cable a utilizar, siempre habrá pérdidas. Las pérdidas dependen del tipo de cable y la frecuencia de operación y normalmente se miden en dB/m, por eso, el cable hacia la antena debe ser lo más corto posible.

La pérdida típica está entre 0,1 dB/m y 1 dB/m y en general, mientras más grueso y más rígido sea el cable menor atenuación presentará.

Normalmente los fabricantes de equipos de Tx proveen un *pigtail*, 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), y en algunos casos también especifican la pérdida de sus pigtail en dB.

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).

Tipo de cable	Pérdida [dB/100m]
RG58	CA 80 - 100
RG213	CA 50
LMR-200	50
LMR-400	22
Aircom plus	22
LMR-600	14
Flexline de ½"	12
Flexline de 7/8"	6,6
C2FCP	21
Helix de ½"	12
Helix de 7/8"	7

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

## 2.3. Pérdidas en los conectores

Una pérdida estimada práctica se toma por lo menos de 0,25 dB para cada conector en su cableado. Estos valores son para conectores bien armados, mientras que los conectores mal soldados pueden implicar pérdidas mayores y que en su mayoría no se dimensionan y provocan errores en los cálculos iniciales. 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, se debe considerar un promedio de 0,3 a 0,5 dB de pérdidas por conector como regla general.

El uso de protectores contra descargas eléctricas debe ser tenido en cuenta, ya que los mismos se encuentran en el camino entre los equipos de Tx y las antenas. Valores de hasta 1 dB de pérdida, son típicos.

## **2.4. Amplificadores**

En general, el uso de amplificadores agrega una ganancia adicional al enlace cuando el mismo dentro del cálculo inicial corre peligro de ser viable, pero en realidad debe ser la última opción. La elección mas usada es en realidad la utilización de antenas de alta ganancia y de equipos con una alta sensibilidad en el receptor.

Técnicamente hablando, no hay límites en la cantidad de potencia que se puede suministrar a través de un amplificador, pero 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 elevando así el piso de ruido.

## **2.5. Ganancia de antena**

Las antenas son dispositivos pasivos que crean el efecto de amplificación debido a su forma física. La ganancia de una antena típica varía entre 2 dBi (antena integrada) y 8 dBi (antena omnidireccional) hasta 21 a 30 dBi (antenas parabólicas grilladas o solidas). 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.

## **3. Pérdidas en la propagación**

Una parte fundamental en la planificación de una red inalámbrica consiste en predecir el camino de propagación entre el transmisor y el receptor, como así también la cantidad de la pérdida de señal en ese camino. Teniendo en cuenta la pérdida de potencia en esa trayectoria se puede determinar si la cantidad de potencia con que llega la señal al receptor es suficiente para establecer un enlace entre el transmisor y el receptor, pudiendo simplemente calificarse al enlace como viable o inviable. Esto es independiente del tipo de modulación, técnicas de codificación, protocolos, etc., siendo válido para red analógicas y digitales

### **3.1. Pérdidas en el espacio libre (FLS)**

La Pérdida en el Espacio libre ( $P_{FSL}$ ), se define como la potencia que se pierde debido a la dispersión geométrica del frente de onda electromagnética. *La potencia de la señal se distribuye sobre un frente de onda esférica, de área cada vez mayor a medida que nos alejamos del transmisor, por lo que la densidad de potencia disminuye.*

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.

Esto no tiene que ver con la atenuación que produce la niebla, la lluvia o cualquier otro fenómeno que puede adicionar pérdidas o sea, es independiente del medioambiente, depende únicamente de la distancia.

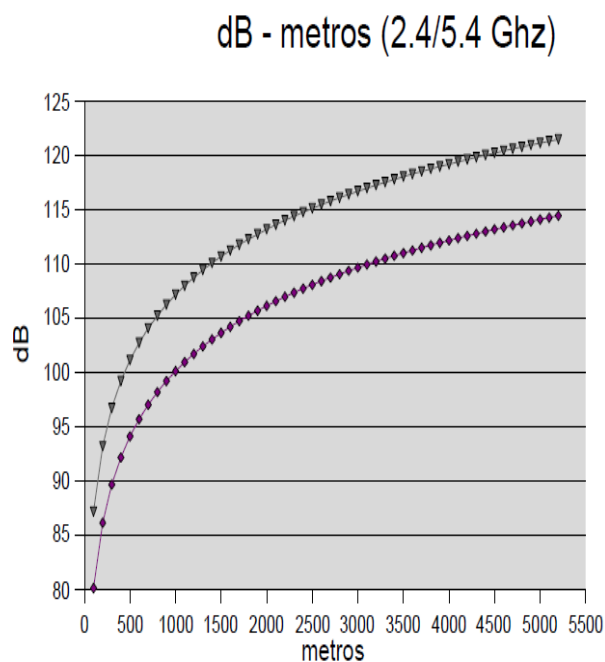
La Pérdida en el Espacio libre es proporcional al cuadrado de la distancia y también proporcional al cuadrado de la frecuencia. Aplicando decibeles, resulta la siguiente ecuación:

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

Donde  $d$ , es la distancia entre las antenas transmisora y receptora;  $f$ , la frecuencia y  $K$ , una constante que depende de las unidades de  $d$  y  $f$ .

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

$$\text{FSL} [\text{dB}] = 20\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) - 187,5$$



**Figura 1:** Pérdidas en dB en función de la distancia en metros a 2,4 GHz y 5,4 GHz.

La figura 1, 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 asumir como “lineal” en dB.

Como regla práctica en una red inalámbrica de 2,4 GHz, se pierden 100 dB en el primer kilómetro y la señal se reduce a 6 dB cada vez que esa distancia se duplica. Esto implica

que un enlace de 2 km tiene una pérdida de 106 dB, mientras que a 4km tiene una pérdida de 112 dB.

Si expresamos la distancia en kilómetros y la frecuencia en GHz la fórmula es:

$$FSL [dB] = 20\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) + 92,4$$

Distancia [km]	915 MHz	2,4 GHz	5,8 GHz
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 (FLS) en dB para diferentes distancias y frecuencias.

Estos valores son teóricos y pueden diferir de manera significativa de las mediciones tomadas. El término “espacio libre” no es siempre tan “libre”, y las pérdidas pueden ser más 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.

### 3.2. Pérdidas por atenuación

Otra pérdida que influye en la propagación es la atenuación. Esto ocurre cuando parte de la potencia de la señal es disipada al atravesar objetos sólidos como árboles, paredes, ventanas, personas, etc. La atenuación puede variar mucho dependiendo de la materia que la señal atraviesa, por lo que es muy difícil de cuantificar. Una forma conveniente de representar esta contribución a la pérdida total es agregando una *pérdida predeterminada* a la del espacio libre. La experiencia muestra que los árboles en general suman de 10 a 20 dB de pérdida por cada uno que esté en camino directo, mientras que las paredes contribuyen de 10 a 15 dB dependiendo del tipo de construcción.

### 3.3. Multitrayectos

A lo largo del trayecto del enlace, la potencia de RF (radio frecuencia) deja la antena transmisora y se dispersa. Una parte de la potencia de RF alcanza la antena receptora directamente, mientras que otra se refleja en el suelo. Parte de esta señal reflejada alcanza la antena receptora, y, puesto que esta señal tiene un trayecto más largo, llega a la antena receptora más tarde que la señal directa. Este efecto es denominado multitrayecto, desvanecimiento (fading) o dispersión de la señal. En algunos casos las señales reflejadas se añaden y no causan problemas; pero cuando se suman desfasadas, la señal recibida es prácticamente nula. En algunos casos, la señal de la antena receptora puede ser anulada por las señales reflejadas.

### 3.4. Zona de Fresnel

Una explicación breve y sencilla del papel que desempeña las zonas o elipsoides de Fresnel en la propagación de la radiación es verlo como una “tubería virtual” por donde viaja la mayor parte de la energía entre el transmisor y el receptor. Con el objetivo de evitar pérdidas, **no** debería haber obstáculos dentro de esta zona, ya que un obstáculo perturbaría “el flujo de energía”.

Por ejemplo, si la mitad de la “zona de Fresnel” está enmascarada por un obstáculo, (la antena se encuentra en el límite de visión directa) Habrá pérdidas de potencia en la señal de 6 dB (equivalente a una pérdida de potencia del 75%).

Una razón fundamental para hacer este análisis, es como ya vimos, debido al comportamiento causado por la difracción en la propagación de ondas de radio. Debido a esto la onda radiada por el transmisor se convierte en superposición de ondas secundarias. A la antena receptora llegarán señales de cada punto del frente de onda (señal difractada), por lo que habrá varios caminos distintos que unen las dos antenas. Este efecto se puede traducir en una familia de elipsoides que determinan las *Zonas de Fresnel*. Esta zona concentra la mayor parte de la energía, de la energía radiada.

Entonces, la ecuación general de cálculo de las zonas de Fresnel es:

$$r = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}}$$

Donde:

$r$  = radio de la  $n$ ésima zona de Fresnel ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ).

$d_1$  = distancia desde el transmisor al obstáculo en mts.

$d_2$  = distancia desde el obstáculo al receptor en mts.

$d$  = distancia total del enlace en mts.  $d = d_1 + d_2$ .

$\lambda$  = longitud de onda en mts.

Para conseguir el máximo alcance de mis dispositivos de RF, debemos mantener despejado, al menos, el 80% de la primera zona de Fresnel.

Si observamos la figura 3, representamos en color gris la primera zona de Fresnel. Es decir para conseguir comunicarnos a una distancia  $d$  con una señal portadora de frecuencia  $f$ , debemos conseguir que la altura  $r$  de la primera zona de Fresnel (o al menos el 80% de  $r$ ) esté libre de obstáculos.

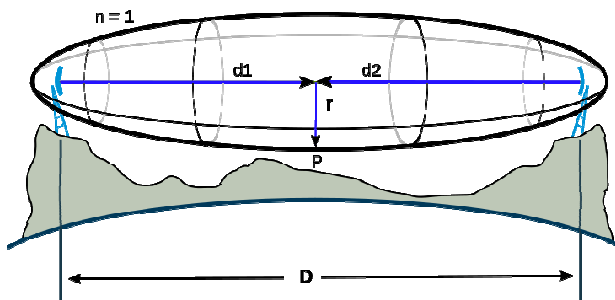


Figura 2: Ejemplo de librar la 1ª zona de Fresnel.



Analizando desde otra perspectiva, imaginemos que estamos en ausencia de cualquier tipo de obstáculos entre emisor y receptor. El fabricante indica que el alcance máximo de un dispositivo son X metros. ¿Cuál es la altura respecto al suelo a la que debemos colocar las antenas para conseguir no entorpecer al menos el 80% de la primera zona de Fresnel y conseguir el máximo alcance?

En la hoja de datos de cualquier fabricante de módulos RF, encontraremos la máxima distancia a la que se pueden comunicar un equipo emisor y receptor.

Estos datos son ciertos, pero bajo ciertas condiciones ideales. Estas condiciones son básicamente:

1. Utilización de antenas correctas.
2. Ausencia de condiciones climáticas adversas, en el caso de comunicaciones exteriores (outdoor).
3. Visión directa entre dispositivos radio, es decir, sin obstáculos en medio.
4. Altura correcta donde se colocarán las antenas para respetar la primera zona de Fresnel.

#### 4. Nivel mínimo de la Señal Recibida

Dentro de la sensibilidad efectiva de recepción se encuentra la *sensibilidad del receptor*, expresada siempre en dBm negativos (-dBm) y es el nivel más bajo de señal que la red inalámbrica puede distinguir para una tasa de error determinada.

En un receptor 802.11 la sensibilidad es aquella potencia necesaria para garantizar que no habrá un BER (*Bit Error Rate*) mayor de  $10^{-5}$ . Las sensibilidades no están especificadas en el estándar, pero entre más bajos sean estos valores mejor será la calidad del equipo RX.

Los fabricantes usualmente especifican la sensibilidad del receptor a diferentes tasas de transmisión de datos, entre más alta sea la tasa de datos, menor será su sensibilidad.

SENSITIVIDAD PARA RADIOS 802.11g/b	
Tasa de datos (Mbps)	Umbral (-dBm)
54	72
48	73
36	77
24	81
18	84
12	86
11	85
9	89
6	90
5,5	89
2	91
1	94

Tabla 4: Sensibilidad para receptores 802.11g/b

#### 4.1. Consideraciones del Margen de desvanecimiento

En un trayecto dado, la variación en un período de tiempo de la pérdida en el trayecto puede ser grande, por lo que se debe considerar un margen Md adecuado para asegurar un

enlace estable y de calidad durante condiciones climáticas adversas u otras anomalías atmosféricas. Un margen de 10 a 15 dB es lo típico en condiciones normales, pero en presencia de fading en la señal recibida, se debe tener un margen aun mayor, del orden de 20 dB.

#### 4.2. La Relación S/N (SNR)

La SNR nos da una idea de la calidad del enlace de comunicaciones, expresándose como la razón de la potencia de la señal transmitida y la potencia de ruido.

$$SNR = \frac{P_{Señal}}{P_{Ruido}}$$

La SNR puede evaluarse en términos de la señal recibida ( $P_{RX}$ ), el ruido presente en el canal ( $N$ ) y el ruido agregado por el receptor, también llamado factor de ruido ( $NF$ ). La suma de  $N$  y  $NF$  es igual al piso de ruido en el receptor ( $RNF$ ) y este valor es utilizado como referencia del nivel de potencia para el cálculo de SNR. En el receptor, cualquier señal por encima del nivel de  $RNF$  obtiene valores positivos de SNR.

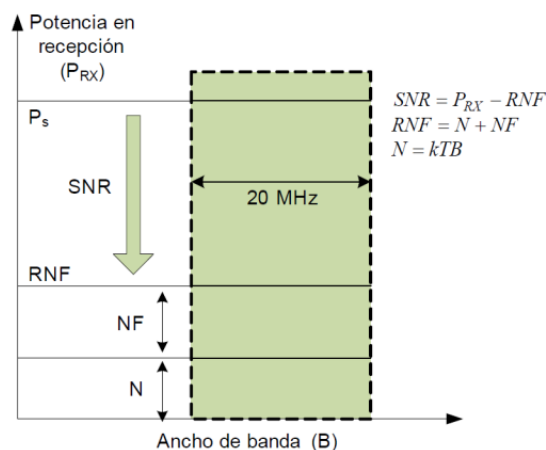


Figura 3: Comparación de la relación señal a ruido (SNR).

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:

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. Enlaces de nuestro proyecto

Las antenas de TX y RX utilizadas para nuestro proyecto son omnidireccionales de alta ganancia (9 dBi).

Se tomaron las mediciones utilizando tres distancias entre las antenas de TX y RX, a 30 mts, 50 mts y 100 mts. Por lo que debemos calcular la pérdida en el espacio libre (FSL) para estos tres casos.

Para 30 metros:

$$FSL [dB] = 20\log_{10}(0,03) + 20\log_{10}(2,4) + 92,4$$

$$FSL [dB] = -30,4 + 7,6 + 92,4$$

$$FSL [dB] = 69,6$$

Datos	Elementos	Valores
Distancia del enlace: 30 m	Transmisor	18 dBm
	Cable y conector TX	3,5 dB
	Antena TX	9 dBi
	FSL	69,6 dB
Frecuencia: 2,4 GHz	Antena RX	9 dBi
	Cable y conector RX	3,5 dB
	Sensibilidad del RX	-82 dBm
	Total (Margen):	<b>41,4 dB</b>

**Tabla 5:** Presupuesto de potencia para un enlace de 30 metros (PID 25/P031).

$$M_d = P_{TX} - P_{ctx} + G_{TX} - P_{FSL} + G_{RX} - P_{RX} - S_{RX}$$

Para 50 metros:

$$FSL [dB] = 20\log_{10}(0,05) + 20\log_{10}(2,4) + 92,4$$

$$FSL [dB] = -26 + 7,6 + 92,4$$

$$FSL [dB] = 74$$

Datos	Elementos	Valores
Distancia del enlace: 50 m	Transmisor	18 dBm
	Cable y conector TX	3,5 dB
	Antena TX	9 dBi
	FSL	74 dB
Frecuencia: 2,4 GHz	Antena RX	9 dBi
	Cable y conector RX	3,5 dB
	Sensibilidad del RX	-82 dBm
	Total (Margen):	<b>37 dB</b>

**Tabla 6:** Presupuesto de potencia para un enlace de 50 metros (PID 25/P031).

Para 100 metros:

$$FSL [dB] = 20\log_{10}(0,1) + 20\log_{10}(2,4) + 92,4$$

$$FSL [dB] = -20 + 7,6 + 92,4$$

$$FSL [dB] = 80$$

Datos	Elementos	Valores
Distancia del enlace: 100 m	Transmisor	18 dBm
	Cable y conector TX	3,5 dB
	Antena TX	9 dBi
Frecuencia: 2,4 GHz	FSL	80 dB
	Antena RX	9 dBi
	Cable y conector RX	3,5 dB
	Sensibilidad del RX	-82 dBm
	Total (Margen):	<b>31dB</b>

**Tabla 7:** Presupuesto de potencia para un enlace de 100 metros (PID 25/P031).

## 6. Conclusiones

Entender los elementos de un sistema de comunicación y su aporte a todo el cálculo de viabilidad del enlace, en términos de ganancias o pérdidas, es fundamental para implementar una red inalámbrica que funcione en forma confiable y segura.

A pesar de que el cálculo de viabilidad del enlace en el rango de las microondas ha sido muy estudiado, con el advenimiento de nuevas tecnologías punto a punto, punto a multipunto y multipunto a multipunto, trabajando con espectro ensanchado y modulación adaptativa para obtener distintos *throughput*, se hace necesaria una revisión del mismo en referencia a las redes WiFi.

## Referencias

*Bibliografía consultada:*

1. [http://es.wikipedia.org/wiki/Zona\\_de\\_Fresnel](http://es.wikipedia.org/wiki/Zona_de_Fresnel)
2. <http://www.datawaves.com/telecomunicaciones/download/tutorial.doc>
3. [http://www.worldlingo.com/ma/enwiki/es/Fresnel\\_zone](http://www.worldlingo.com/ma/enwiki/es/Fresnel_zone)
4. <http://radiopropagacionuft.wordpress.com/2010/02/03/disenoderadiopropagacion/>
5. <http://madridwireless.net/docs/conceptronic/index.htm>
6. Unidad 06: Cálculo de Radioenlace. *Sebastian Buettrich, wire.less.dk. TRICALCAR | www.wilac.net/tricalcar*
7. Introducción al cálculo de radioenlaces, Pedro Danizio, 2004