

# Introducción a los enlaces wireless

Conceptos básicos y definición de unidades – 3ª parte

*Hoy es habitual el uso de enlaces wireless (inalámbricos) para la transmisión de datos de todo tipo, aplicación a la que no escapa la seguridad electrónica, en especial el video IP. Radiofrecuencia, longitud de onda y decibels son conceptos que repasaremos en esta nota.*



**Ing. Diego Pitrelli**  
Responsable técnico Selnnet  
dpitrelli@selnnet-sa.com.ar

**Y**a hemos visto en ediciones anteriores qué son las zonas de Fresnel, qué son los diagramas de radiación de antenas, la polarización, la ganancia y otros términos específicos. Continuamos en esta oportunidad nuestro camino: entender un cálculo de enlace.

## ATENUACIÓN DEL ESPACIO LIBRE

Cuando hablamos de la propagación de ondas en el espacio libre estamos hablando de la propagación en el vacío, aunque la mayoría de nuestras aplicaciones tratan sobre la propagación de ondas en la atmósfera terrestre. Y está bien que así lo hagamos, porque las ondas se comportan de forma similar, aunque hay algunas diferencias. La principal es que la atmósfera introduce pérdidas.

Las ondas electromagnéticas no necesitan de ningún medio material para propagarse. Es por eso que se puede transmitir hacia el espacio en las comunicaciones satelitales, hacia la luna y, como ya sabemos, la luz es una onda electromagnética que viaja desde el sol hasta nuestro planeta atravesando el vacío total del espacio libre. Esto, entonces, plantea una pregunta mayor: ¿qué son los campos eléctricos, magnéticos y gravitacionales? ¿Por qué pueden existir donde no hay nada, ni átomos, ni moléculas? Esa respuesta, precisamente, aún se desconoce y parte de una gran pregunta heredada de los orígenes de la filosofía: no estrictamente qué son los campos sino qué es la "nada", ya que sólo podemos medir y definir las causas y los efectos de los campos pero no cómo es que existen.

Ahora pongamos las ondas a viajar en medios que sí tienen algo. Y el resultado es que viajan en los materiales que son dieléctricos (o sea en aquellos

que no conducen la electricidad, los aislantes), entre los que se encuentra el aire. De la misma manera, las ondas no viajan demasiado en medios que son conductores, como por ejemplo el agua del mar, lo cual presenta un gran problema para los submarinos, aunque no es tema del que debemos ocuparnos en este artículo. Puede parecer paradójico que las ondas compuestas de campos eléctricos y magnéticos no puedan viajar en medios que son conductores, pero no lo es. Los materiales conductores tienen electrones libres que, al estar en presencia de ondas, generan corrientes; estas corrientes generan pérdidas en la resistencia del material y, dado que existe en la naturaleza el principio de conservación de la energía (la energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma), simplemente estaremos haciendo calentar el material con tanta energía como la que transporta la onda electromagnética incidente.

Este fenómeno sobre los conductores es lo que nos permite recibir la señal en una antena: minimizando las pérdidas, esas corrientes que generan los materiales conductores no son otra cosa que una reproducción de aquellas que fueron transmitidas. Y entonces, aquí, ¡bienvenida la comunicación!

Volviendo a la atenuación en espacio libre, en el vacío no se consideran pérdidas sino atenuación por dispersión de la expansión de la onda. Y retomando a nuestro radiador isotrópico, aquel que radia para todas las direcciones por igual cuyo frente de onda es una esfera que crece, a medida que nos alejamos de él, la potencia irá disminuyendo. Una vez más, por el principio de conservación de la energía, no tiene más opción que distribuirse en la superficie de una esfera que es cada vez más grande. Esto claramente reduce la potencia incidente por área y, si consideramos un área constante, lo que podría ser nuestra antena receptora, entonces la atenuación es regida por la inversa del cuadrado de la distancia.



Para poner un ejemplo más claro: la cantidad de luz que se recibe desde una lamparita es cada vez menor cuando nos alejamos de ella. La ley del cuadrado de la distancia nos dice que si nos alejamos el doble, entonces recibiremos cuatro veces menos luz y si nos alejamos el triple recibiremos nueve veces menos de luz. Esto también es así para la gravedad, cosa que demostró Newton en 1687. ❶

Suponiendo que se trasmite y recibe con una antena isotrópica, entonces las pérdidas en el espacio libre estarán dadas por el cociente entre la potencia recibida y la potencia transmitida. Luego de hacer un poco de matemáticas, queda la siguiente expresión:

La pérdida en el espacio libre ( $L_f$ ) en dB es  $L_f = 32.45 + 20 \cdot \log(D) + 20 \cdot \log(f)$  donde  $D$  es la distancia en kilómetros y  $f$  la frecuencia en MHz.

El término que es dependiente de la frecuencia ( $f$ ) está presente porque suponemos antenas isotrópicas y ese término tiene que ver con el área efectiva de la antena isotrópica. De todos modos, este es el valor que nos sirve. Recordemos que las ganancias de las antenas están en referencia con estas antenas isotrópicas ideales.

A continuación, una gráfica de la ecuación anterior para 2.4 GHz y para 5.3 GHz. Como se puede ver, la atenuación para 5.3 GHz es aproximadamente 6 dB mayor que para 2.4 GHz. ❷

Está claro que esta atenuación ocurre en el vacío, pero también en cualquier medio en el cual se propague, recordando que en la atmósfera ya no hay atenuaciones sino pérdidas.

### PÉRDIDAS POR ABSORCIÓN

En particular, para nosotros, en los enlaces de datos hablaremos de pérdidas en la atmósfera, está dada porque el aire de nuestra atmósfera está compuesta de una infinidad de gases, moléculas de agua y materiales sólidos, ácaros, material cósmico, ceniza volcánica, etc. La incidencia de las ondas electromagnéticas sobre éstas implica una cierta absorción de potencia que se traduce en atenuación, que es análoga a la absorción dada por un material conductor al circular una corriente, efecto conocido como resistencia. La medida en que la onda es absorbida por la atmósfera es distinta para cada frecuencia y, ciertamente, es casi despreciable para frecuencias menores a los 10 GHz.

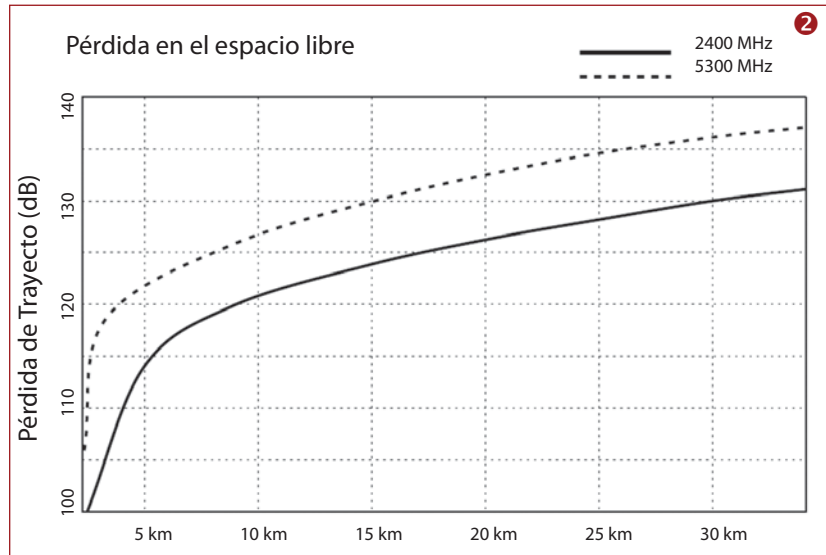
Si el clima es de una intensa lluvia o mucha neblina, entonces hay mucha absorción para frecuencias también menores a los 10 GHz. Esto se debe a que las moléculas de agua absorben mucha energía, fenómeno utilizado por los hornos microondas para calentar nuestra comida, sin que ésta sea la frecuencia de resonancia de la molécula de agua. La frecuencia del horno microondas es 2.45 GHz, porque se fijó antes que el WiFi existiera y, justamente, era una porción del espectro no utilizada para comunicaciones.

Podríamos preguntarnos qué tiene que ver esto y lo cierto es que, tal vez, resta decir que la temperatura de los materiales está determinada por la oscilación de sus moléculas. De aquí que exista una temperatura mínima para la naturaleza y no una máxima. Cuando las moléculas están en reposo total, el cero absoluto se encuentra a  $-273^{\circ}\text{C} = 0\text{K}$  (esto lo descubrió Kelvin y lo fijó con su escala absoluta de grados kelvin en 1848).

En el siguiente gráfico se puede ver la atenuación en dB por kilómetro para los gases versus la frecuencia en GHz para el oxígeno (en naranja) y para la molécula de agua (en azul). ③

### CÁLCULO DE UN ENLACE

Hay dos elementos más de los que no hablamos, que están en las ecuaciones de cálculos de enlaces: las pérdidas introducidas por los cables de conexión desde los transmisores hasta las antenas y las introducidas por los conectores. No hicimos hincapié en estas ya que, actualmente, los equipos



son embebidos, es decir que el fabricante proporciona los datos de la potencia transmitida directamente en la antena. De todos modos, si fuera necesario, los cables y conectores tienen sus tablas de atenuación por distancia.

Al fin tenemos los elementos para presentar nuestro cálculo de enlaces, también llamado "presupuesto del enlace" (aunque no se refiere a cuánto va a costar en dinero). Un cálculo de enlace es la cuenta de todas las ganancias y pérdidas desde el radio transmisor hacia el receptor. Si la potencia menos las pérdidas de trayectoria es mayor que el nivel mínimo de señal que requiere el receptor, entonces tendremos un enlace viable. Se realiza con la siguiente ecuación:

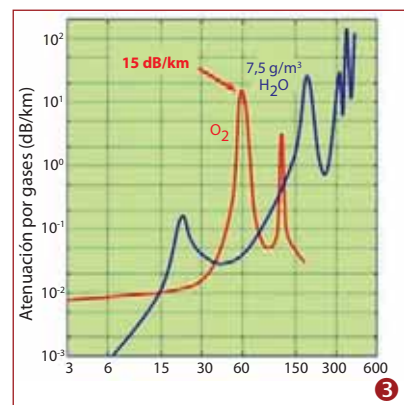
$$\text{Margen} - \text{Sensibilidad del receptor [dBm]} = \text{Potencia del transmisor [dBm]} - \text{Pérdida en el cable TX [dB]} + \text{Ganancia de antena TX [dBi]} - \text{Pérdidas en la trayectoria del espacio libre [dB]} + \text{Ganancia de antena RX [dBi]} - \text{Pérdidas en el cable del RX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

El margen es lo que nos queda en dB entre lo mínimo que necesita el receptor para funcionar y la potencia que realmente llega desde el transmisor, margen que se recomienda que sea de 10 dB como mínimo.

En la página siguiente, un gráfico de lo que implica el cálculo. ④

En él:

- PIRE (Potencia Irradiada Isotrópica Efectiva, en inglés EIRP, *Effective Isotropic Radiated Power*): es la suma de la potencia del transmisor más la ganancia de la antena menos la atenuación del cable y los conectores. Es el equivalente de lo que radiaría una antena isotrópica en ese lugar para producir la densidad de potencia observada en la dirección de máxima



ganancia de una antena.

- Sensibilidad del Rx (RSL o *Received Signal Level*): es la sensibilidad del receptor, un parámetro que indica el valor mínimo de potencia que se necesita para alcanzar una cierta tasa de bit. Esto está dado por el fabricante y varía según la tasa de transferencia que deseamos: a más ancho de banda entonces menos sensibilidad.

También la potencia radiada depende de la tasa de bits que utilicemos: cuanto mayor es la tasa de transferencia, o sea el ancho de banda, menos es la potencia que tienen disponible los equipos. Todas estas cuentas pueden hacerse sumando y restando, ya que los valores están en dB, que en definitiva son valores logarítmicos. Esta es una de las razones de la ventaja de llevar todo a escalas logarítmicas.

Por último, ya sabemos que los enlaces tienen que tener línea de vista. Por lo tanto, cuando las distancias son grandes, debemos tener en cuenta la curvatura de la tierra y a esto sumarle el despeje de la zona de Fresnel.

En esta página se puede observar una tabla con las alturas mínimas requeridas para 2.4 GHz y la atenuación

de diversos obstáculos a 2.4 GHz

- Tabique de yeso: ~5 dB
- Pared de ladrillo: ~15 a 20 dB
- Concreto: ~25 dB losa ~35 dB
- Vidrio 6 mm: ~1 dB

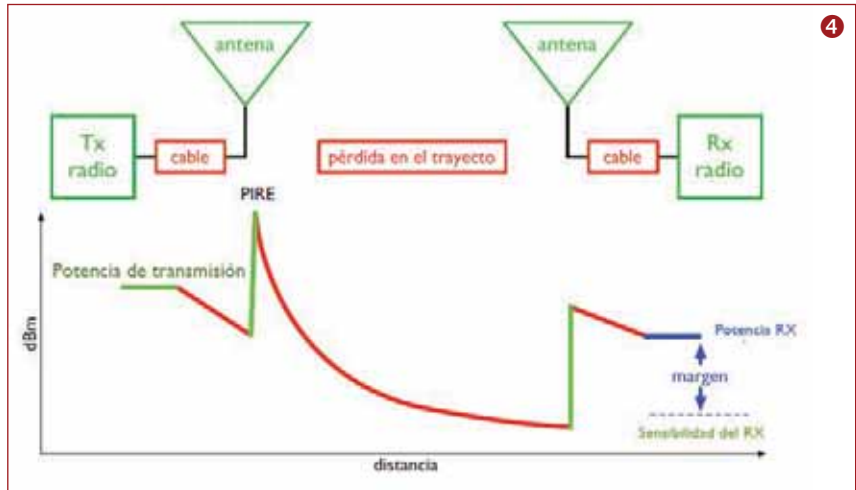
**CONCLUSIÓN**

Realizar un cálculo de enlace no es una tarea muy compleja aunque actualmente, en la práctica, se hace muy poco, ya que se utilizan programas que realizan todos estos cálculos y algunos más, dependiendo de su calidad.

Lo importante es que ahora sabemos qué es lo que el software está haciendo y entonces podemos comprender mejor el resultado.

Recordemos que lo anterior es un estudio para un enlace punto a punto en el espectro llamado microondas, ya que para otras frecuencias existen otros fenómenos como los rebotes en la ionósfera, la propagación por el suelo, etc. Para los enlaces punto a multipunto en zonas urbanas se utilizan simuladores de radiofrecuencia ya que la complejidad es mucho mayor debido a los multicaminos de las señales y otros fenómenos que deben ser tenidos en cuenta.

Fin para esta serie de artículos, que esperamos hayan sido de utilidad. ■



Distancia (km)	1 <sup>er</sup> Zona (m)	70% (m)	Curvatura de la Tierra (m)	Altura mín. requerida (m)
1	5.5	3.9	0.0	3.9
5	12.4	8.7	0.4	9.1
10	17.5	12.2	1.5	13.7
15	21.4	15.0	3.3	18.3
20	24.7	17.3	5.9	23.2
25	27.7	19.4	9.2	28.6
30	30.3	21.2	13.3	34.5