

Diseño de radioenlaces

Francisco Ramos Pascual. Profesor Titular de la Universidad Politécnica de Valencia.
<http://www.radioptica.com>

Hoy en día los sistemas inalámbricos nos rodean por todas partes. A los ya habituales sistemas de telefonía móvil, se unen las redes de datos inalámbricas, la televisión digital terrestre o los radioenlaces punto a punto. Para el correcto funcionamiento de estos sistemas resulta crucial un diseño adecuado del interfaz radioeléctrico. El diseño de radioenlaces es una disciplina que involucra toda una serie de cuestiones tales como la elección de la banda de frecuencias, el tipo de antenas y los equipos de radiocomunicación, el cálculo del balance de potencias, la estimación de los niveles de ruido e interferencia o el conocimiento de las distintas modalidades y fenómenos de propagación radioeléctrica, entre otras. Debido a su gran variedad, en este artículo haremos mención solamente a algunas de estas cuestiones, invitando al lector interesado a que profundice en el análisis de las mismas en la bibliografía que se acompaña.

Planificación inicial del radioenlace y elección de los emplazamientos

Además de la elección de los equipos de radio y de sus parámetros de funcionamiento, los factores más importantes que determinan las prestaciones de un sistema fijo de acceso inalámbrico son la buena situación de las antenas, la correcta planificación del enlace radioeléctrico y la elección de un canal libre de interferencias. Sólo con una buena planificación del enlace entre antenas puede conseguirse evitar las interferencias y los desvanecimientos de la señal, alcanzando una alta disponibilidad en el sistema.

La planificación del enlace radioeléctrico de un sistema de radiocomunicaciones comienza con el cálculo del alcance. Para ello se deben conocer la banda de frecuencias, las características climáticas de la zona y las especificaciones técnicas de los equipos de radio: potencia del transmisor, ganancia de las antenas, sensibilidad del receptor, tasa de error, disponibilidad, etc. Este cálculo del alcance del sistema constituye una primera estimación teórica que deberá verificarse tras la instalación de los equipos. La utilización de aplicaciones informáticas de simulación con cartografías digitales del terreno y de los edificios constituye una potente herramienta de ayuda en la planificación. Valiéndose de las mismas es posible determinar las mejores localizaciones para instalar las antenas y estimar su alcance o cobertura, así como los posibles niveles de interferencia que provienen de otros emplazamientos vecinos, especialmente en el caso de sistemas celulares o de acceso radio punto a multipunto. Posteriormente, las visitas a los posibles emplazamientos permite determinar su aptitud para albergar los equipos de radiocomunicaciones.

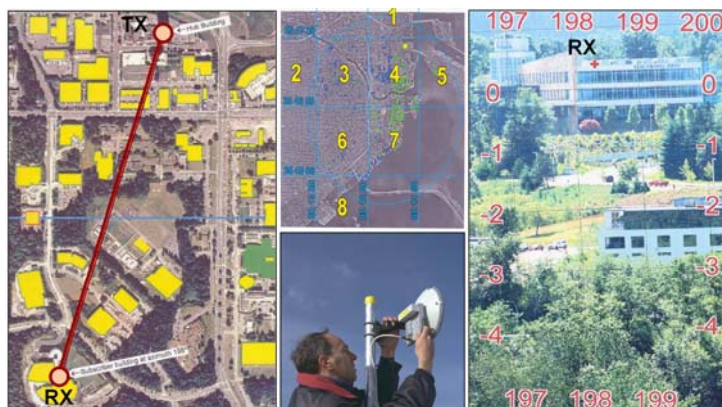


Figura 1: Los mapas y fotografías resultan clave para la elección de los emplazamientos de las antenas de un radioenlace, la identificación de posibles obstáculos y el correcto apuntamiento de las antenas.

Las frecuencias utilizadas habitualmente por los radioenlaces fijos exceden de 1 GHz. Por lo tanto, estos sistemas se incluyen dentro de la categoría de sistemas terrenales con visión directa (LOS, Line-Of-Sight). La característica de visibilidad directa o LOS proviene de la dificultad de las señales de radio de alta frecuencia para propagarse bordeando esquinas o para difractarse en torno a obstáculos. Es decir,

debe existir un camino directo sin obstáculos para la propagación de la señal radio entre las antenas transmisora y receptora. Si desde el emplazamiento de una de las antenas puede verse la otra, entonces se dice que existe visión directa. Normalmente, suelen visitarse los posibles emplazamientos y comprobarse la existencia de visión directa como fase previa a la instalación de los equipos de comunicaciones. En el caso de enlaces de corto alcance, la visión directa puede limitarse simplemente a una cuestión de qué altura deben tener las torres o mástiles donde se sitúen las antenas. Sin embargo, es evidente que ello no constituye la solución más sencilla o económica. En cambio, resulta más práctico la búsqueda de zonas geográficas prominentes con buena visibilidad o edificios altos, lugares ideales para la instalación de estaciones base que deben concentrar el tráfico de múltiples enlaces punto a punto. Ahora bien, las antenas no siempre se encuentran en edificios altos, y lo que ocurre más a menudo, ambos extremos del enlace es difícil que se encuentren simultáneamente en lugares favorables.

Para comprobar la existencia de visión directa entre las antenas, deben visitarse los emplazamientos donde se tiene previsto instalarlas y realizar una serie de comprobaciones y tareas que se detallan a continuación:

- Determinación de las coordenadas exactas de los extremos del radioenlace (latitud, longitud y altura sobre el terreno) ayudándose de un receptor GPS.
- Determinación de la orientación del enlace e indicación sobre un mapa de la zona. Esto ayudará a la localización de posibles obstáculos y elementos significativos sobre el mapa.
- En el caso de enlaces de corto y medio alcance se puede comprobar la existencia de visión directa con ayuda de unos prismáticos. La localización visual del otro extremo del enlace puede realizarse con ayuda de una brújula o valiéndose de alguna marca o elemento significativo del mapa. Se debe tener cuidado con los campos magnéticos generados por los motores de las salas de máquinas de los ascensores de la azotea y que pueden falsear la lectura de la brújula. Si no se consiguiera identificar visualmente el otro edificio donde se va a situar la antena, puede servir de ayuda una segunda persona situada en dicho edificio y que emita algún tipo de destello de luz, con un espejo por ejemplo, en el caso de un día soleado.
- En el caso de falta de visión directa debido a algún tipo de obstáculo, resulta necesario determinar la altura del mástil para evitar la obstrucción. El procedimiento que suele emplearse es similar al anterior, solo que ahora puede utilizarse por ejemplo un globo de helio de color llamativo y sujeto por una cuerda. Una persona situada en el extremo opuesto va elevando el globo hasta que resulte visible a través de los prismáticos.
- Una vez asegurada la visión directa, conviene comprobar que la primera zona de Fresnel se encuentra libre de obstáculos. En este caso conviene prever que el entorno resulta cambiante con el tiempo y con la época del año: construcción de nuevos edificios, árboles que crecen, nieve que se acumula en los tejados en invierno, tráfico aéreo, etc. Adicionalmente, se debe asegurar que no existe ningún obstáculo cerca de la posición de ambas antenas. En especial, superficies metálicas u otras antenas transmisoras dirigidas hacia la nuestra. Resulta interesante documentar todas las comprobaciones por medio de fotografías que puedan ayudar posteriormente.

Lamentablemente, en el caso de radioenlaces de más de unos 8 km resulta difícil realizar este tipo de comprobaciones visualmente, por lo que se debe acudir a otros métodos. La solución consiste en conseguir mapas con perfiles de la zona o utilizar aplicaciones informáticas con mapas digitales del terreno. En este caso, las coordenadas exactas de los extremos del enlace resultan de vital importancia.

Un factor importante de degradación en sistemas que operan a altas frecuencias lo constituye la vegetación existente en las inmediaciones del radioenlace. En ciertas ocasiones, el radioenlace puede verse accidentalmente obstruido por árboles o incluso azoteas de edificios en entornos urbanos. En estos casos, el campo electromagnético presente en la antena receptora puede modelarse como la suma de la onda directa proveniente del transmisor, y multitud de pequeñas ondas dispersadas por los edificios adyacentes y por las hojas de los árboles cercanos. Dado que las fases de estas ondas son aleatorias, las señales resultantes pueden estimarse de forma estadística. El resultado final de sumar todas las contribuciones suele modelarse mediante una distribución de Nakagami-Rice.

En general, la gran variedad de edificios, tipos de terreno y vegetación a considerar en una determinada zona susceptible de instalar un sistema de radiocomunicaciones, hace que sea extremadamente difícil proporcionar reglas de diseño generales para estimar la cobertura. La utilización de herramientas

informáticas de trazado de rayos y de modelado de obstáculos a partir de información preliminar sobre la zona reduce la complejidad de diseño del sistema. Sin embargo, la realización de mediciones experimentales es indispensable para validar los modelos y proporcionar confianza a los resultados de las predicciones.

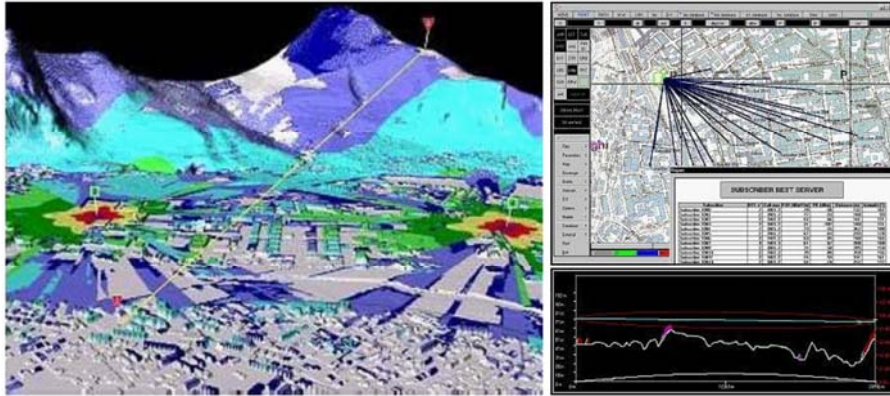


Figura 2: Las herramientas de simulación que incluyen cartografías digitales del terreno resultan de gran ayuda para la planificación de un radioenlace (Fuente: ATDI ICS Telecom nG).

Atenuación causada por gases atmosféricos e hidrometeoros

Otro tipo de factores que también deben tenerse en cuenta son los atmosféricos y meteorológicos. En los radioenlaces troposféricos se producen atenuaciones de la señal durante su propagación, causadas por la absorción y dispersión en hidrometeoros como la lluvia, la nieve, el granizo o la niebla. Estos efectos son especialmente importantes en el caso de sistemas que trabajan a frecuencias milimétricas. Aunque la atenuación causada por la lluvia puede despreciarse para frecuencias por debajo de 5 GHz, ésta debe incluirse en los cálculos de diseño a frecuencias superiores donde su importancia aumenta rápidamente. La atenuación específica debida a la lluvia puede calcularse a partir de la Recomendación UIT-R 838. Dicha atenuación es ligeramente superior para polarización horizontal que para vertical. Esto se debe simplemente a la forma que adquieren las gotas de lluvia por el rozamiento experimentado durante la caída. Para la predicción de la atenuación producida por la lluvia se necesita información sobre las estadísticas de intensidad de precipitación. En la Rec. UIT-R PN.837-1 se proporcionan valores de intensidad de lluvia excedidos durante determinados porcentajes de tiempo y para distintas zonas hidrometeorológicas mundiales. En el caso de España, estas son las llamadas zonas H y K. Por ejemplo, Madrid se encuentra en la zona H, mientras que Valencia se encuentra en la zona K. La Rec. UIT-R P.530-7 establece el procedimiento para calcular la atenuación producida por la lluvia a largo plazo.

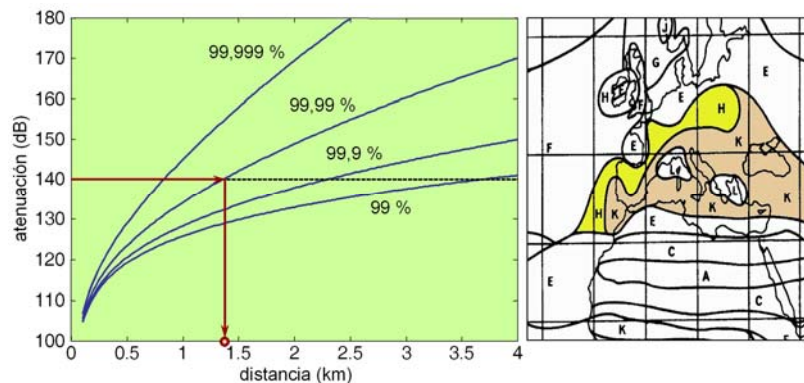


Figura 3: La disponibilidad de un radioenlace se ve afectada por las estadísticas de lluvia de la zona hidrometeorológica (ejemplo para un enlace a 40 GHz en la zona K).

Los cálculos de la atenuación por lluvia en un radioenlace se utilizan para realizar el diseño de cobertura o alcance del sistema de radiocomunicaciones dado un cierto valor de disponibilidad o calidad de

servicio. Por ejemplo, supongamos un radioenlace funcionando a una frecuencia de 40 GHz con polarización vertical. Las pérdidas de propagación del sistema serán, en una primera aproximación, las pérdidas en espacio libre, las pérdidas por absorción atmosférica y las pérdidas por lluvia. Suponiendo una potencia transmitida de +23 dBm, una ganancia de la antena transmisora de 12 dB, una ganancia de la antena receptora de 30 dB y una sensibilidad del receptor de -75 dBm, se tiene un valor máximo para las pérdidas de propagación de 140 dB. A partir de este requisito se puede calcular el alcance o cobertura de nuestro sistema. En este caso, para una disponibilidad del 99,99%, se obtiene una cobertura de 1,4 km.

La atenuación por niebla está gobernada por las mismas ecuaciones que en el caso de la lluvia. La principal diferencia es que la niebla puede modelarse como un conjunto de gotas de agua muy pequeñas en suspensión (con radios variables entre 0,01 y 0,05 mm). Para frecuencias por debajo de 300 GHz la atenuación producida por la niebla es linealmente proporcional al contenido total de agua por unidad de volumen para cada frecuencia. Una concentración de 0,032 g/m³ corresponde a un nivel de niebla que permite visibilidad a unos 700 m. Por otro lado, una concentración de 0,32 g/m³ permite visibilidad a algo más de 100 m. El nivel máximo de contenido de agua se sitúa en torno a 1 g/m³, con densidades considerablemente menores para la mayor parte de las nieblas. Para una frecuencia de 100 GHz, la atenuación en el caso de niebla densa es de tan solo 1 dB/km. Por lo tanto, en el diseño de radioenlaces con suficiente margen de señal para evitar la atenuación por lluvia, la niebla no constituirá un factor de limitación.

Por otra parte, la atenuación de las microondas al atravesar nieve en polvo es al menos un orden de magnitud inferior que para la lluvia considerando la misma tasa de precipitación. No obstante, la atenuación para la nieve húmeda es comparable a la de la lluvia e incluso superior en la banda de frecuencias milimétricas. Medidas experimentales han demostrado valores de atenuación en torno a 2 dB/km para 35 GHz y una tasa de precipitación de 5 mm/h. Para nieve en polvo la atenuación es dos ordenes de magnitud inferior. Debido a la gran cantidad de variables involucradas, en particular el contenido de agua relativo, resulta difícil especificar la atenuación en función de la tasa de precipitación de una forma simple. En todo caso, se recomienda emplear radomos en zonas de fuertes nevadas para evitar la acumulación de hielo y nieve en la superficie de las antenas, ya que pueden provocar niveles de atenuación importantes.



Figura 4: La utilización de radomos de protección evita la acumulación de hielo y nieve en las antenas.

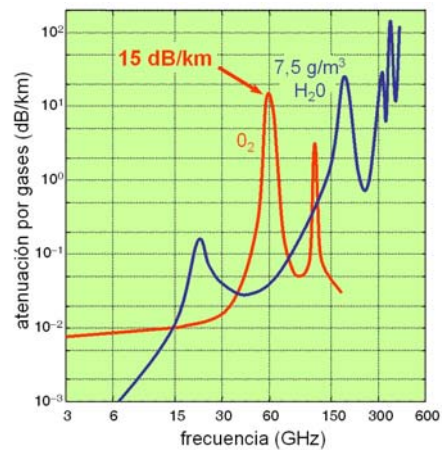


Figura 5: Los gases y vapores atmosféricos también introducen atenuación en los radioenlaces de alta frecuencia.

Finalmente, los vapores de agua y de oxígeno no condensados poseen líneas de absorción en la banda de frecuencias de microondas y de ondas milimétricas. Por ello existen frecuencias donde se produce una gran atenuación separadas por ventanas de transmisión donde la atenuación es mucho menor. En el caso del vapor de agua, se producen fuertes líneas de absorción para longitudes de onda de 1,35 cm, 1,67 mm e inferiores. En el caso del oxígeno, las longitudes de onda de los picos de absorción son 0,5 y 0,25 cm. La atenuación debida al efecto conjunto de los vapores de agua y oxígeno es aditiva. En aquellas bandas donde los valores de atenuación exceden los 10 dB/km el alcance de las comunicaciones se encuentra enormemente limitado. Pero escogiendo adecuadamente las frecuencias de trabajo es posible obtener niveles de atenuación mucho menores: por ejemplo, a 30 GHz la atenuación es inferior a 0,1 dB/km. Para

frecuencias por encima de 300 GHz, en cambio, la atenuación mínima es todavía elevada (6 dB/km o más) e impone una gran restricción en el caso de enlaces terrestres con visión directa. Sin embargo, determinadas aplicaciones especializadas tales como comunicaciones secretas de corto alcance (entornos "indoor" a 60 GHz) o enlaces entre satélites (no afecta la atenuación atmosférica) se aprovechan del uso de la banda de frecuencias milimétricas. Estas longitudes de onda cortas posibilitan el uso de antenas de alta ganancia muy compactas que compensan parte de las pérdidas introducidas.

Resumen

Como se ha visto, el diseño de un radioenlace involucra una gran variedad de cuestiones a tener en cuenta: emplazamiento, selección de equipos, cálculo del balance de potencias, identificación de obstáculos y posibles interferencias, fenómenos de atenuación y desvanecimiento de las señales, etc. Si bien actualmente la existencia de herramientas informáticas de simulación facilita enormemente la tarea, es importante conocer de primera mano todos los aspectos que pueden influir en el funcionamiento del radioenlace. De este modo, durante la fase final de verificación e instalación de los equipos será posible identificar las posibles causas de un mal funcionamiento y arbitrar los mecanismos adecuados para solucionarlo.

Curso a distancia con certificado de la Universidad Politécnica de Valencia

Diseño de Radioenlaces

El diseño de radioenlaces es una disciplina que involucra toda una serie de cuestiones tales como la elección de la banda de frecuencias, el tipo de antenas y los equipos de radiocomunicación, el cálculo del balance de potencias, la estimación de los niveles de ruido e interferencia o el conocimiento de las distintas modalidades y fenómenos de propagación radioeléctrica, entre otras. Este curso se centra en los conocimientos necesarios para el diseño práctico de radioenlaces, proporcionándose a su vez referencias adicionales con las que se puede acceder a información más específica en el caso de diseños más complejos.

Dirigido a:
Titulados e ingenieros de disciplinas distintas a la Ingeniería de Telecomunicación, o bien que deseen actualizar sus conocimientos. Profesionales e instaladores de telecomunicación. Ingenieros de Sistemas y Redes.

Metodología docente:
Se ofrece el material del curso en formato libro. Todos los ejercicios de autoevaluación se encuentran resueltos. El alumno realiza el curso a su ritmo y en función de su disponibilidad de tiempo (no existen horarios). El profesor está accesible permanentemente para cualquier consulta por e-mail, y realiza una evaluación final de los conocimientos adquiridos.

Más información:
Web: <http://cursos.radioptica.com>
E-mail: info@radioptica.com
Teléfonos: 963877751 - 963877740



UNIVERSITAT
POLITÉCNICA
DE VALÈNCIA



CENTRO FORMACIÓN PERMANENTE
Vicerrectorado de Posgrado y Formación Permanente

