

Radioenlaces punto a punto: comunicación directa entre refugios

Autor: EA4IPV

Fecha: 23/03/2026

Categoría: Alimentación

Etiquetas: Sin etiquetas

Radioenlaces punto a punto: comunicación directa entre refugios

Un radioenlace punto a punto es una conexión de radio dedicada entre dos ubicaciones fijas con antenas directivas apuntándose mutuamente. A diferencia de las comunicaciones generales por radio, un enlace punto a punto está diseñado para maximizar la fiabilidad y la capacidad entre dos puntos concretos, rechazando señales de otras direcciones. En un escenario de preparacionismo, conectar dos refugios, una base con un puesto de observación, o una comunidad rural con un punto de acceso a comunicaciones más amplias mediante un radioenlace dedicado proporciona un canal de comunicación fiable, difícil de interceptar y con requerimientos de potencia mínimos gracias a la ganancia de las antenas directivas en ambos extremos.

Fundamentos del balance de enlace (link budget)

El balance de enlace es el cálculo que determina si una comunicación punto a punto es viable. Suma todas las ganancias (potencia del transmisor, ganancia de antenas) y resta todas las pérdidas (pérdida en el espacio libre, pérdidas en cables, atenuación atmosférica) para obtener la potencia que llega al receptor. Si esta supera la sensibilidad del receptor por un margen suficiente, el enlace es viable.

Parámetro

Fórmula / valor típico

Ejemplo a 30 km en 435 MHz

Pérdida en espacio libre (FSPL)

$FSPL(dB) = 20 \cdot \log_{10}(d) + 20 \cdot \log_{10}(f) + 32,45$ (d en km, f en MHz)

$20 \cdot \log_{10}(30) + 20 \cdot \log_{10}(435) + 32,45 = 29,5 + 52,8 + 32,45 = 114,7$ dB

Potencia del transmisor

Variable

5 W = +37 dBm

Ganancia antena TX

Yagi 10 elementos \approx 13 dBi

+13 dBi

Ganancia antena RX

Yagi 10 elementos \approx 13 dBi

+13 dBi

Pérdidas en cables (2 × 10 m RG-213)

~0,5 dB/10 m a 435 MHz × 2

-1,0 dB

Pérdidas conectores (4 unid.)

~0,2 dB cada uno

-0,8 dB

Señal recibida

PTX + GTX + GRX - FSPL - Lcables - Lconect.

+37 + 13 + 13 - 114,7 - 1,0 - 0,8 = -53,5 dBm

Sensibilidad receptor FM

Típica -120 dBm para 12 dB SINAD

-120 dBm

Margen del enlace

Señal recibida - Sensibilidad

-53,5 - (-120) = 66,5 dB de margen

Un margen de 66,5 dB es enorme – el enlace funcionará con total fiabilidad incluso con condiciones atmosféricas adversas, vegetación intermedia parcial o antenas no perfectamente alineadas. Esto demuestra que con antenas directivas de ganancia moderada, potencias de 5 W son más que suficientes para enlaces de 30 km en UHF.

Zona de Fresnel y línea de vista radioeléctrica

Aunque la señal viaja en línea recta, la propagación de ondas de radio requiere un volumen libre de obstáculos alrededor de la línea directa entre antenas, conocido como zona de Fresnel. La primera zona de Fresnel es un elipsoide cuyo radio máximo (en el punto medio del enlace) debe estar despejado al menos en un 60 % para evitar pérdidas significativas por difracción.

Frecuencia

Radio de Fresnel a 5 km (punto medio)

Radio de Fresnel a 15 km

Radio de Fresnel a 30 km

145 MHz

11,3 m

19,6 m

27,7 m

435 MHz

6,5 m

11,3 m

16,0 m

1.296 MHz

3,8 m

6,5 m

9,3 m

2.400 MHz (Wi-Fi)

2,8 m

4,8 m

6,8 m

El radio de la primera zona de Fresnel se calcula como $r = 17,3 \times \sqrt{(d_1 \cdot d_2 / (f \cdot d))}$, donde d_1 y d_2 son las distancias desde cada extremo al punto de cálculo en km, d es la distancia total en km y f la frecuencia en GHz. A frecuencias más altas, la zona de Fresnel es más estrecha, lo que facilita el despeje de obstáculos.

Curvatura terrestre: A 30 km de distancia, la curvatura de la Tierra introduce una elevación del terreno aparente de unos 53 metros en el punto medio del enlace (calculada como $h = d^2 / (2 \cdot k \cdot R)$, donde $d = 15$ km, $R = 6.371$ km y $k = 4/3$ para refracción estándar). Esto significa que para un enlace de 30 km, las antenas deben estar en puntos elevados o en torres para "ver" por encima de la curvatura más la zona de Fresnel.

Equipamiento práctico para radioenlaces entre refugios

El equipamiento para un radioenlace punto a punto de emergencia puede ser tan simple como dos walkie-talkies de UHF con antenas Yagi caseras, o tan sofisticado como equipos de microondas con parabólicas. La elección depende de la distancia, el terreno y los recursos disponibles.

Enlace VHF/UHF analógico (voz FM): Dos transceptores de 2 m o 70 cm (Baofeng UV-5R, Yaesu FT-65, etc.) con antenas Yagi de 5-10 elementos en mástiles de 3-6 m. Cable coaxial RG-213 (pérdida de 0,3 dB/10 m a 145 MHz, 0,5 dB/10 m a 435 MHz). Conectores PL-259/SO-239 o tipo N para UHF. Alcance práctico: 5-50 km según terreno, con 5 W de potencia.

Enlace DMR digital (voz + datos): Transceptores DMR (Anytone AT-D878UV, TYT MD-UV390) en modo simplex digital. Ventaja: voz digitalizada más resistente al ruido, posibilidad de enviar mensajes de texto cortos y cifrado básico. Mismas antenas que el enlace analógico. El modo DMR Tier II simplex no requiere repetidor ni infraestructura.

Enlace de datos Wi-Fi de largo alcance: Equipos como Ubiquiti LiteBeam AC (5 GHz) o MikroTik SXTsq Lite5 permiten enlaces de datos TCP/IP a distancias de 5-30 km con anchos de banda de 50-300 Mbps. Requieren línea de vista limpia. Alimentación PoE a 24/48 V, consumo de 5-8 W. Permiten voz (VoIP), mensajería, compartir archivos y acceso a servicios de red entre los dos puntos.

Enlace LoRa (telemetría y mensajería): Dispositivos LoRa en 868 MHz (Europa) como Meshtastic en

módulos TTGO T-Beam permiten mensajería de texto a distancias de 5–20 km con línea de vista, consumiendo menos de 100 mA. Sin licencia (ISM), cifrado AES-256 integrado. Ancho de banda muy bajo (Alineación de antenas y puesta en servicio del enlace

La alineación precisa de las antenas directivas es crítica para maximizar la señal. A diferencia de las comunicaciones omnidireccionales donde basta con encender el equipo, un enlace punto a punto requiere que ambas antenas se apunten mutuamente con una precisión que depende de su ancho de haz.

Cálculo del azimut: Determinar el azimut (rumbo magnético) entre las dos ubicaciones usando coordenadas GPS y un calculador de rumbo o la fórmula de Vincenty. Aplicar la declinación magnética local (en España, entre -1° y $+1^\circ$ según la zona en 2026). Apuntar la antena al azimut calculado con una brújula es el punto de partida.

Ajuste fino por señal máxima: Con el enlace transmitiendo un tono continuo o una portadora, rotar lentamente la antena en azimut y luego en elevación buscando el máximo de señal en el S-meter del receptor. Mover en incrementos de $2-3^\circ$ y esperar 2 segundos en cada posición. Fijar con tornillos cuando se alcance el máximo. Repetir en el otro extremo.

Verificación de la calidad del enlace: Medir el nivel de señal recibida (RSSI) en ambos extremos y comparar con el valor calculado en el link budget. Una discrepancia de más de 10 dB indica problemas: obstáculo parcial, desalineación, cable dañado o conector defectuoso. En enlaces digitales (DMR, Wi-Fi), medir también la tasa de error de bit (BER) o el porcentaje de paquetes perdidos.

⚠ Advertencia: Esta información es orientativa y educativa. En situaciones de emergencia real, consulte a profesionales cualificados siempre que sea posible. No ponga en riesgo su vida ni la de otros sin la formación adecuada.