

El Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana ha encargado el diseño y evaluación de una red de radiocomunicaciones para emergencias en una región montañosa y rural, con baja cobertura móvil y escasa infraestructura física. El objetivo es garantizar la conectividad entre unidades móviles, bases logísticas y centros de coordinación en situaciones críticas como incendios forestales, rescates o catástrofes naturales.

Como técnico especialista en sistemas de radiocomunicación, se te encomienda:

1. Proponer un sistema de radiocomunicación adecuado, justificando su elección desde el punto de vista técnico y operativo.
2. Analizar los fenómenos físicos que influirán en la propagación de la señal.
3. Determinar el tipo de antenas más adecuado para cada estación (fija y móvil).
4. Definir los elementos estructurales que debe tener una estación base.
5. Evaluar la viabilidad de implementar radioenlaces para la interconexión de zonas alejadas.

Resolución del caso práctico.

1. Selección del sistema de radiocomunicación

Para garantizar una cobertura fiable y continua en zonas rurales montañosas, es recomendable emplear un **sistema de radiocomunicación analógico o digital basado en la banda HF o VHF**, con opción de salto a UHF en entornos urbanos o donde se requiera mayor calidad.

Justificación técnica:

- **HF (3–30 MHz)** permite aprovechar la **propagación ionosférica**, cubriendo grandes distancias sin necesidad de infraestructura intermedia.
- **VHF (30–300 MHz)** ofrece un equilibrio entre alcance y calidad, con buena capacidad para penetrar vegetación.

- En ciertas condiciones, **UHF (300–3000 MHz)** puede ser adecuado para enlaces de mayor densidad o zonas urbanizadas, gracias a su mayor ancho de banda y capacidad para enlaces directos.

Además, se puede implementar un sistema tipo **TETRA o DMR** en su modalidad troncalizada para la gestión eficiente del espectro, permitiendo comunicaciones simultáneas y priorización de llamadas de emergencia.

2. Fenómenos físicos de propagación

En entornos montañosos, la propagación de las ondas electromagnéticas está influida por múltiples fenómenos:

- **Difracción:** Las ondas rodean obstáculos como montañas, permitiendo cierta cobertura aunque no haya línea de vista directa. Este fenómeno favorece el uso de frecuencias más bajas (HF y VHF).
- **Reflexión y refracción:** Las ondas pueden reflejarse en laderas o cambiar de dirección al atravesar capas atmosféricas con diferentes densidades. Puede provocar trayectos múltiples y distorsiones (fading).
- **Absorción:** La vegetación, el agua y la atmósfera atenúan la señal, especialmente en UHF y SHF, por lo que se deben evitar bandas demasiado altas.
- **Dispersión troposférica:** Puede aprovecharse en enlaces a larga distancia cuando no hay visibilidad directa.
- **Interferencias:** Muy comunes en situaciones de alta actividad electromagnética (centros urbanos, tormentas solares). Es fundamental planificar canales y usar sistemas de filtrado.

Impacto en el diseño: Se debe seleccionar una frecuencia que logre un equilibrio entre alcance, penetración y resistencia a la atenuación, con antenas adaptadas al patrón de propagación local.

3. Tipos de antenas según estación

a) Estaciones móviles (vehículos de emergencia):

- Uso de **antenas monopolo o de látigo**: Simples, robustas y omnidireccionales.
- Deben operar en VHF, con ganancia moderada (2–5 dBi) y estar fijadas en el chasis del vehículo con plano de tierra.

b) Estaciones fijas (centros de coordinación y repetidores):

- **Antenas de panel o Yagi direccionales**, si se requiere enfocar hacia una zona específica.
- **Antenas omnidireccionales de alta ganancia** para cobertura general (hasta 9 dBi).
- En enlaces punto a punto, **parabólicas** o **rejilla** si se emplean bandas UHF o SHF.

c) Portátiles (equipos de mano):

- **Antenas helicoidales o flexibles** de pequeña longitud, adaptadas a VHF/UHF. Aunque con menos ganancia, son adecuadas por su portabilidad.

4. Componentes de una estación base

Toda estación radioeléctrica debe estar conformada por los siguientes módulos:

- **Transceptor principal**: Capaz de operar en las bandas seleccionadas y con tecnología digital (ej. DMR).
- **Antena adecuada**: Según análisis de cobertura, patrón de radiación y ganancia necesaria.
- **Sistema de alimentación**: Estabilizada y redundante (grupo electrógeno + batería).
- **Filtro y protector de sobretensiones**: Para evitar daños por descargas o interferencias.
- **Unidad de control remoto y supervisión**: Permite gestionar la estación desde un centro centralizado.
- **Torre o mástil**: De altura suficiente para evitar obstáculos y facilitar propagación directa.
- **Sistemas auxiliares**: Iluminación, climatización, seguridad física y protección contra el vandalismo.

En zonas remotas, se puede optar por estaciones autosuficientes con paneles solares y almacenamiento energético.

5. Implementación de radioenlaces

Dada la necesidad de interconectar bases lejanas sin infraestructura física, el uso de **radioenlaces punto a punto** es altamente recomendable.

Frecuencias sugeridas:

- Bandas **UHF o SHF (ej. 2.4 GHz, 5.8 GHz)**, donde se dispone de suficiente ancho de banda y tecnología madura.

Requisitos técnicos:

- **Línea de vista directa (LoS)** entre estaciones.
- Uso de **antenas parabólicas** con alta directividad para reducir pérdidas.
- **Cálculo del enlace** (Link Budget), considerando ganancia, atenuación por la distancia y márgenes de seguridad.

Ventajas:

- Implementación rápida.
- Costes reducidos respecto a fibra óptica.
- Escalabilidad y flexibilidad.

Limitaciones:

- Dependencia de condiciones meteorológicas.
- Requiere mantenimiento y vigilancia activa.

Conclusiones

La elección del sistema de radiocomunicación, la adecuada selección de frecuencias y antenas, el análisis de los modos de propagación y el diseño técnico de estaciones y radioenlaces resultan esenciales para garantizar una red fiable, especialmente en entornos adversos o de emergencia.

Además, el análisis evidencia cómo los fundamentos de la propagación electromagnética, el diseño de antenas, los diagramas de radiación y la planificación espectral son herramientas clave en la toma de decisiones estratégicas y operativas dentro del ámbito de las radiocomunicaciones.