

Propagación troposférica: ductos, inversiones térmicas y DX en VHF/UHF

Autor: EA4IPV

Fecha: 23/03/2026

Categoría: Alimentación

Etiquetas: Sin etiquetas

Propagación troposférica: ductos, inversiones térmicas y DX en VHF/UHF

En condiciones normales, las señales de VHF y UHF se propagan esencialmente en línea de vista, limitadas por la curvatura terrestre y los obstáculos del terreno. Sin embargo, determinadas condiciones atmosféricas en la troposfera — la capa inferior de la atmósfera hasta los 12 km de altitud — pueden curvar las ondas de radio más allá del horizonte, permitiendo comunicaciones a distancias de 500 a 2.000 km en bandas donde normalmente el alcance máximo es de 50 a 100 km. Estos fenómenos de propagación troposférica son predecibles con cierto margen si se comprenden los mecanismos meteorológicos que los generan. Para un grupo preparacionista, conocer estas ventanas de propagación excepcional puede significar establecer contacto con estaciones lejanas usando equipos modestos de VHF/UHF, algo imposible en condiciones normales.

Inversión térmica y refracción troposférica

En la atmósfera estándar, la temperatura disminuye con la altitud a razón de unos 6,5 °C por kilómetro (gradiente adiabático). El índice de refracción del aire también disminuye gradualmente, curvando ligeramente las ondas de radio hacia la Tierra (razón por la que el horizonte de radio es un 33 % mayor que el horizonte óptico). Una inversión térmica ocurre cuando una capa de aire caliente se sitúa sobre aire más frío, invirtiendo el gradiente normal. Esto crea un cambio brusco en el índice de refracción que actúa como un espejo o guía de ondas para las frecuencias de VHF y UHF.

Tipo de propagación

Mecanismo

Distancia típica

Bandas más afectadas

Refracción aumentada (superrefracción)

Gradiente de refractividad mayor que el estándar (>40 N-units/km)

200–500 km

144 MHz a 10 GHz

Ducto de superficie

Inversión térmica intensa a baja altitud (

500–2.000 km

432 MHz y superiores (más eficaz a frecuencias altas)

Ducto elevado

Inversión térmica a 500–2.000 m de altitud crea un canal de propagación suspendido
300–1.500 km
144 MHz a 5,7 GHz

Scatter troposférico
Dispersión por turbulencias e irregularidades en la troposfera
150–500 km
144 MHz a 2,3 GHz, señales débiles

El parámetro clave es la refractividad N del aire, que depende de la temperatura, la presión y la humedad relativa según la fórmula de Smith-Weintraub: $N = 77,6(P/T) + 3,73 \times 10^5 (e/T^2)$, donde P es la presión en hPa, T la temperatura en Kelvin y e la presión parcial del vapor de agua en hPa. Un gradiente de N superior a 157 N-units/km crea condiciones de ducto.

Condiciones meteorológicas que generan ductos

Los ductos troposféricos no son fenómenos raros: en la Península Ibérica se producen con regularidad estacional, especialmente en el Mediterráneo occidental. Reconocer las situaciones sinópticas que los generan permite anticiparlos con 24–48 horas de antelación consultando mapas meteorológicos estándar.

Anticiclón estival sobre el Mediterráneo: La subsidencia del aire en los anticiclones comprime la atmósfera superior, creando una inversión de temperatura muy marcada entre los 300 y 1.000 metros de altitud. En verano (junio–septiembre), el anticiclón de las Azores o el anticiclón norteafricano generan ductos persistentes sobre el Mediterráneo que pueden durar varios días. Contactos de 1.500 km en 432 MHz son habituales en estos periodos.

Brisa marina (advección costera): En zonas costeras, la advección de aire frío y húmedo del mar bajo aire cálido continental crea inversiones de superficie muy intensas. Frecuente en la costa mediterránea española, Canarias y el litoral portugués. Genera ductos de superficie que permiten comunicaciones VHF costeras a más de 500 km.

Masas de aire subtropical sobre Europa: Las entradas de aire sahariano cálido sobre el Mediterráneo o Europa occidental crean inversiones elevadas muy fuertes. Las "olas de calor" suelen ir acompañadas de condiciones de propagación troposférica excepcionales en 144 y 432 MHz.

Niebla de radiación y estabilidad nocturna: En noches claras con viento en calma, el enfriamiento radiativo del suelo crea inversiones de superficie que pueden atrapar señales de VHF. Más frecuente en mesetas interiores (Castilla, Extremadura) en otoño e invierno.

Herramientas de predicción y detección de propagación troposférica

Existen recursos disponibles que permiten anticipar o confirmar la existencia de condiciones de propagación troposférica anómala, desde mapas de refractividad hasta redes de monitorización en tiempo real.

William Hepburn's Tropo Forecast (dxinfocentre.com): Mapas de predicción de propagación troposférica para Europa, actualizados cada 6 horas. Muestran el índice de refractividad superficial y la probabilidad de ductos. La herramienta más utilizada por los operadores de VHF/UHF europeos.

Radiosondas (sondeos atmosféricos): Los perfiles verticales de temperatura y humedad de las radiosondas lanzadas cada 12 horas (00 y 12 UTC) en estaciones como Madrid-Barajas (08221), Barcelona (08160) o Murcia (08430) muestran las inversiones térmicas directamente. Se consultan en la web de la Universidad de Wyoming (weather.uwyo.edu).

DX Cluster y PSK Reporter: Las redes de DX Cluster (dxcluster.co.uk) y PSK Reporter (pskreporter.info) muestran en tiempo real los contactos establecidos en cada banda. Un estallido repentino de spots en 144 o 432 MHz entre estaciones distantes confirma la existencia de un ducto activo.

Balizas de VHF/UHF: La red de balizas automáticas europeas transmite señales continuas en frecuencias conocidas. En España: ED4YAK en 144,415 MHz (Ávila), ED1YAG en 144,415 MHz (León). Recibir una baliza que normalmente no se escucha indica apertura troposférica.

Relevancia para emergencias: En una crisis prolongada sin internet ni repetidores operativos, una apertura troposférica puede ser la única oportunidad de contactar con estaciones a cientos de kilómetros usando un simple walkie-talkie de VHF y una Yagi casera. Conocer las épocas del año y las condiciones meteorológicas que favorecen estos fenómenos (verano mediterráneo, anticiclones persistentes) permite planificar ventanas de comunicación de largo alcance.

Técnicas operativas para explotar la propagación troposférica

Aprovechar un ducto troposférico requiere técnicas específicas distintas a la operación FM local convencional. El ducto puede ser estrecho en altura (pocos cientos de metros) y selectivo en frecuencia, por lo que la configuración del equipo y la antena marca la diferencia entre hacer contacto o no.

Usar SSB en lugar de FM: SSB (Single Side Band) requiere 10–12 dB menos de relación señal/ruido que FM para ser inteligible. Esto triplica o cuadruplica el alcance efectivo con la misma potencia. En 144 MHz, la sub-banda de SSB es 144,150–144,400 MHz (frecuencia de llamada: 144,300 MHz). En 432 MHz: 432,150–432,400 MHz (llamada: 432,200 MHz).

Modos digitales débiles (FT8, WSPR): FT8 puede decodificar señales 20 dB por debajo del nivel audible, extendiendo el alcance enormemente. WSPR actúa como baliza automática: el equipo transmite periódicamente su indicativo, locator y potencia, y las estaciones que lo reciben lo reportan automáticamente si hay internet. Para uso sin red, FT8 permite QSOs completos con señales imperceptibles al oído.

Antena directiva orientada al horizonte: Una Yagi con ángulo de elevación bajo (0° a 3°) maximiza la señal inyectada en el ducto. Elevar la antena por encima de 5° puede hacer que la señal "escape" del ducto por encima de la capa de inversión. Altura de antena moderada (5–10 m) y apuntando al horizonte es la configuración óptima.

Explorar distintas direcciones: Los ductos no son uniformes: pueden extenderse preferentemente en una dirección (a menudo paralela a la costa). Rotar la antena lentamente 360° escuchando en la frecuencia de llamada SSB permite detectar de dónde llegan las señales más fuertes e identificar la orientación del ducto.

⚠ 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.