

Propagación ionosférica: capas D, E, F1 y F2 y su efecto en HF

Autor: EA4IPV

Fecha: 23/03/2026

Categoría: Alimentación

Etiquetas: Sin etiquetas

Propagación ionosférica: capas D, E, F1 y F2 y su efecto en HF

La ionosfera es la región de la atmósfera terrestre situada entre los 60 y los 1.000 km de altitud donde la radiación solar ioniza los gases atmosféricos, creando capas con densidades electrónicas variables capaces de refractar las ondas de radio en la banda de HF (3-30 MHz). Comprender el comportamiento de cada capa ionosférica es fundamental para el radioaficionado y el comunicador de emergencias, ya que determina qué frecuencias se pueden utilizar, a qué distancias y en qué horarios para establecer enlaces fiables sin infraestructura terrestre.

La capa D (60-90 km)

La capa D es la más baja de la ionosfera y existe únicamente durante las horas de luz solar directa. Su densidad electrónica es relativamente baja (del orden de 10^8 electrones/cm³), insuficiente para refractar señales de HF, pero sí suficiente para absorberlas. Este efecto absorbente es inversamente proporcional al cuadrado de la frecuencia: las frecuencias más bajas sufren mayor absorción.

Absorción en 160 m (1,8 MHz): Muy fuerte durante el día. La banda de 160 m es prácticamente inutilizable para DX diurno. Solo funciona de noche, cuando la capa D desaparece por completo.

Absorción en 80 m (3,5 MHz): Significativa durante el día, limitando el alcance a unos 200-400 km. De noche se abre para comunicaciones de hasta 3.000-5.000 km.

Absorción en 40 m (7 MHz): Moderada durante el día. Permite comunicaciones nacionales (500-1.500 km) incluso de día. De noche ofrece alcances intercontinentales.

Absorción en 20 m (14 MHz): Baja. La banda de 20 m funciona bien tanto de día como de noche cuando la MUF (Frecuencia Máxima Utilizable) es suficiente.

Durante erupciones solares intensas (clase X), la capa D puede ionizarse extraordinariamente, provocando los llamados SID (Sudden Ionospheric Disturbance) o apagones de HF que pueden durar desde minutos hasta horas, afectando a toda la cara iluminada de la Tierra.

La capa E (90-150 km)

La capa E presenta una densidad electrónica superior a la D (del orden de 10^9 - 10^{10} electrones/cm³) y es capaz de refractar señales de frecuencias medias y bajas de HF. Su comportamiento es relativamente predecible y sigue el ciclo diurno, alcanzando su máxima ionización al mediodía solar.

Propagación normal por capa E: Permite saltos de 1.000-2.000 km en frecuencias hasta unos 5-7 MHz durante el día. Es la capa principal para comunicaciones regionales en 40 y 80 metros diurnos.

Esporádica E (Es): Fenómeno impredecible donde se forman parches de ionización muy densa a alturas de 100-120 km. La MUF puede alcanzar 50-150 MHz, permitiendo comunicaciones de VHF (6 m, 2 m e incluso 70 cm) a distancias de 500-2.300 km. Más frecuente en verano en el hemisferio norte (mayo-agosto).

Detección de Es: Se puede monitorizar en tiempo real mediante el mapa DX de la RSGB, la web DXMaps.com, o el clúster DX. Escuchar balizas de 50 MHz como las del sistema IARU (por ejemplo, ED1YB en 50,055 MHz desde Galicia) ayuda a detectar aperturas.

Las capas F1 y F2 (150-500 km)

La capa F es la más importante para las comunicaciones de larga distancia en HF. Durante el día se divide en dos subcapas: F1 (150-250 km) y F2 (250-500 km). De noche se combinan en una sola capa F a unos 300-350 km. La capa F2 presenta la mayor densidad electrónica de toda la ionosfera (hasta 10^{12} electrones/cm³) y es responsable de la mayor parte de la propagación DX.

Capa

Altitud

Densidad electrónica

Efecto principal

Distancia por salto

D

60-90 km

10^8 e/cm³

Absorción (desaparece de noche)

N/A — solo absorbe

E

90-150 km

10^9 - 10^{10} e/cm³

Refracción en MF y HF baja

1.000-2.000 km

F1

150-250 km

10^{10} - 10^{11} e/cm³

Refracción auxiliar (solo de día)

2.000-3.000 km

F2

250-500 km

10^{11} - 10^{12} e/cm³

Refracción principal para DX

3.000-4.000 km

La MUF de la capa F2 varía con el ciclo solar de 11 años. En máximos solares (como el actual ciclo 25, con pico estimado entre 2024-2026), la MUF puede superar los 30 MHz, abriendo las bandas de 10 y 12 metros para DX intercontinental. En mínimos solares, la MUF puede caer a 5-10 MHz, limitando las comunicaciones de larga distancia a las bandas de 40 y 80 metros.

Frecuencia Máxima Utilizable (MUF) y ángulo crítico

La MUF es la frecuencia más alta que puede ser refractada por una capa ionosférica para un ángulo de incidencia y un trayecto determinados. Transmitir por encima de la MUF significa que la señal atraviesa la ionosfera y se pierde en el espacio. Transmitir muy por debajo implica mayor absorción en la capa D.

FOT (Frecuencia Óptima de Trabajo): Se calcula como el 85% de la MUF. Es la frecuencia que ofrece el mejor compromiso entre fiabilidad y mínima absorción. Es la frecuencia recomendada para comunicaciones de emergencia.

LUF (Frecuencia Mínima Utilizable): La frecuencia más baja que puede utilizarse con una señal aceptable. Por debajo de la LUF, la absorción de la capa D es tan grande que la señal se pierde.

Zona de silencio: Zona entre el alcance máximo de la onda de superficie (50-200 km) y el punto donde cae el primer salto ionosférico (500-4.000 km). En esta zona no se recibe señal. Se puede reducir usando frecuencias más bajas (ángulo de salto más vertical) o antenas NVIS.

NVIS (Near Vertical Incidence Skywave): Técnica que usa antenas bajas (a $0,1$ - $0,25 \lambda$ del suelo) para lanzar la señal casi verticalmente. La señal rebota en la capa F2 y cubre un radio de 0-500 km sin zona de silencio. Ideal para comunicaciones de emergencia regionales en 40 y 80 metros.

Para consultar predicciones de MUF en tiempo real se pueden usar herramientas como VOACAP Online (voacap.com), el servicio de predicción del ISES (International Space Environment Service) o la app gratuita HamSCI PropNET.

Aplicación práctica para emergencias

En una situación de emergencia donde las infraestructuras de telecomunicaciones fallen, la propagación ionosférica permite comunicaciones a cientos o miles de kilómetros sin repetidores, satélites ni internet. El plan de frecuencias recomendado según la hora del día:

Hora (UTC)

Banda recomendada

Alcance esperado

Observaciones

06:00-10:00

40 m (7 MHz)

500-2.000 km

La capa D aún no absorbe mucho. Buena para enlace nacional.

10:00-16:00

20 m (14 MHz)

1.500-5.000 km

MUF alta, absorción en D afecta a bandas bajas. Ideal para enlaces europeos.

16:00-20:00

20/40 m (14/7 MHz)

500-4.000 km

Transición. Probar ambas bandas.

20:00-06:00

40/80 m (7/3,5 MHz)

500-5.000 km

Sin capa D. Las bandas bajas abren para DX largo.

Frecuencias de emergencia: La red de emergencia de radioaficionados española (REMER) coordina a través de 7,110 MHz en 40 m y 3,760 MHz en 80 m (frecuencias IARU Región 1 para tráfico de emergencia). La frecuencia internacional de socorro de radioaficionados es 14,300 MHz USB.

 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.