

Trabajo Práctico N°2 – Resultados y Conceptos Clave

Ejercicio 1 – Emisora AM/FM y modos de propagación

Resultados numéricos

a) Clasificación: AM 440 kHz → banda MF - FM 103,7 MHz → banda VHF.

Longitud de onda: $\lambda(\text{AM}) \approx 681,8 \text{ m}$ - $\lambda(\text{FM}) \approx 2,89 \text{ m}$.

Velocidad de propagación en aire $\approx 2,997 \times 10^8 \text{ m/s}$ (diferencia de 0,03 % con respecto al vacío, prácticamente despreciable)

Hilo de razonamiento

b) Tres modos: onda de tierra/superficie (corto alcance, predomina de día en AM), onda ionosférica/celeste (alcance largo, predomina de noche en AM por reflexión en la ionosfera), onda directa/espacial-LOS (predomina en FM, exige línea de vista). El corte detrás de las lomadas en FM es por bloqueo de la línea de vista; el alcance nocturno de la AM es por onda ionosférica; el achique diurno de la AM es porque de día domina la onda de tierra (la ionósfera absorbe en vez de reflejar).

c) *Skip*: zona de silencio donde la onda reflejada por la ionosfera "salta" el terreno cercano y aparece más lejos. *Fading*: variación de intensidad en el tiempo por interferencia multitrayecto (ionosfera cambiante). La intensidad que sube y baja de noche se explica por *fading*, no por *skip* (el *skip* explica dónde se recibe, no cómo varía en el tiempo).

d) Frecuencia crítica: la máxima que la ionosfera refleja en incidencia vertical. Ángulo crítico: el mayor ángulo de incidencia con el que una frecuencia superior a la crítica aún puede reflejarse. Altura virtual: altura aparente desde la que "parece" reflejar la onda. La FM (103,7 MHz) está muy por encima de las frecuencias críticas típicas de la ionosfera incluso en incidencia muy oblicua: la atraviesa y se pierde en el espacio, en vez de reflejarse como la AM.

Ejercicio 2 – Fuente isotrópica de 50 W

Nota: este ejercicio no tiene un resultado numérico único, cada grupo debía declarar y justificar una distancia asumida. A modo de referencia de orden de magnitud, para una distancia razonable de escritorio-a-fuente de ~15-20 m: densidad de potencia del orden de 10^{-2} W/m^2 (decenas de mW/m^2), y atenuación respecto de 1 m del orden de 24-26 dB. Lo que se evalúa en este ejercicio no es el número exacto sino que la distancia esté explicitada y el cálculo sea consistente con ella

Hilo de razonamiento

a) La fuente isotrópica no existe físicamente (ninguna antena real radia igual en todas direcciones), pero se usa como referencia porque da una base de comparación simple e independiente de la dirección (ganancia 0 dB de referencia, dBi) para caracterizar antenas reales.

d) Es atenuación por espacio libre (dispersión geométrica de la potencia sobre una esfera cada vez mayor), no absorción. La energía no se disipa en el aire: la potencia total que atraviesa cualquier esfera imaginaria sigue siendo la misma; lo que baja es la densidad de potencia (W/m^2) porque se reparte sobre una superficie más grande.

Ejercicio 3 – WiFi doble banda (2,4 GHz y 5 GHz)

Resultados numéricos

a) Clasificación: 2,4 GHz $\rightarrow$ banda UHF - 5 GHz $\rightarrow$ banda SHF

Longitud de onda: $\lambda(2,4 \text{ GHz}) = 12,5 \text{ cm}$ - $\lambda(5 \text{ GHz}) = 6 \text{ cm}$

Hilo de razonamiento

b) Dieléctrico y aislante no son sinónimos: dieléctrico describe cómo un material se polariza e interactúa con el campo (refleja, refracta, atenúa según su permitividad), aislante describe la baja conductividad eléctrica (DC). Un material puede ser buen aislante y aun así atenuar bastante una onda de RF. En el edificio: el hormigón armado (con hierro) actúa casi como una malla conductora, muy reflectante/atenuante; el yeso de los tabiques es un dieléctrico de baja pérdida (deja pasar bastante señal); el vidrio de las ventanas deja pasar razonablemente bien (salvo vidrios con capa metálica).

c) A menor λ (5 GHz): más ancho de banda disponible y más canales, pero menor alcance y peor penetración en obstáculos (por eso no llega al aula del fondo). A mayor λ (2,4 GHz): mejor alcance/penetración, pero poco ancho de banda (solo 3 canales no superpuestos) y banda muy congestionada (comparte espectro con Bluetooth, microondas, otras redes), de ahí la velocidad baja y los cortes en horarios de mayor concurrencia.

d) Ninguna banda es "mejor" en absoluto: conviene asignarlas según el caso de uso. Propuesta: 5 GHz para las aulas contiguas al pasillo (alta velocidad, poca interferencia); 2,4 GHz (o mejor, un punto de acceso adicional) para el aula del fondo, priorizando cobertura por sobre velocidad.

Ejercicio 4 – TV satelital a 18 GHz y lluvia

Resultados numéricos

a) Clasificación: banda SHF (*Ku-band* en terminología satelital)

Longitud de onda: $\approx 16,7 \text{ mm}$ (1,67 cm)

Hilo de razonamiento

b) La Fig. 1 es absorción gaseosa en aire despejado (O_2 /vapor de agua), no lluvia, o sea, sirve para ubicar la frecuencia, no para leer la pérdida de la tormenta. A 18 GHz: tramo ascendente de la curva de vapor de agua (antes del pico $\sim 22 \text{ GHz}$), atenuación en aire despejado baja pero ya sensible al

agua. En la tormenta, las gotas suman una atenuación mucho mayor (decenas de dB) que supera el margen del enlace → cae la SNR bajo el umbral del demodulador → pixelado y luego pérdida de sincronismo; al despejar, se restablece solo. El corte es abrupto ("efecto acantilado", propio de lo digital), no gradual como en un sistema analógico.

c) Una gota de lluvia típica mide del orden de 1-3 mm de diámetro, una fracción apreciable de los 16,7 mm de λ a 18 GHz: eso ubica el fenómeno en un régimen de dispersión donde la atenuación por lluvia es muy significativa. En cambio, frente a λ de metros (AM, FM del Ejercicio 1) esa misma gota es diminuta en términos eléctricos, con dispersión (Rayleigh) prácticamente despreciable, por eso la lluvia apenas afecta a la radiodifusión y sí a los enlaces Ku/Ka.

d) Aumentar la potencia del transmisor no alcanza por sí solo frente a tormentas severas (margen insuficiente, límites regulatorios y de equipo). Otras medidas: diversidad de sitio (estaciones terrenas separadas geográficamente para que no las afecte la misma tormenta), codificación y modulación adaptativa (ACM, bajando la tasa en *fades*), antenas de mayor ganancia, y diseñar el margen de lluvia según la disponibilidad objetivo (99,9 %/99,99 %) y la zona pluviométrica de la región.

Ejercicio 5 – Radar de vigilancia

Resultados numéricos

a) Distancia al objeto: 9 km (el tiempo de eco es de ida y vuelta, por eso se divide por 2)

Hilo de razonamiento

b) El organismo regulador del espectro radioeléctrico en Argentina es ENACOM (Ente Nacional de Comunicaciones): administra y regula el uso del espectro, otorga licencias/autorizaciones para servicios radioeléctricos, hace cumplir el CNAF, y fiscaliza interferencias y transmisiones no autorizadas.

c) La distribución del espectro se rige por el CNAF (Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias), basado en el Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT (Región 2 - América), administrado por ENACOM. A qué banda/servicio específico corresponde el radar del enunciado no puede derivarse solo del dato de tiempo de eco (no se da una frecuencia de operación): cada grupo debía investigarlo según la tecnología concreta que eligieron (los radares de vigilancia suelen usar bandas S, C o X, atribuidas al servicio de radiolocalización).

d) Un equipo no autorizado transmitiendo en esa banda genera interferencia perjudicial a los servicios legítimos (ecos falsos, degradación de alcance/precisión del radar u otros sistemas), y expone al operador a sanciones de ENACOM (multas, decomiso, acciones legales), con riesgo agravado si la banda es compartida con servicios de seguridad de la vida (aeronavegación, náutica).

Resumen de lecciones aprendidas

- La velocidad de propagación en aire es prácticamente igual a c (vacío); el error de usarla es despreciable.
- Cada banda del espectro favorece naturalmente un modo de propagación distinto (onda de tierra, onda ionosférica u onda directa), y ese modo dominante es el que determina qué variables geográficas o atmosféricas terminan condicionando el alcance real de un enlace en esa banda.
- *Skip* explica DÓNDE se recibe la señal (zona de silencio); *fading* explica CÓMO varía la intensidad en el tiempo (multitrayecto). No son lo mismo.
- La ionosfera solo refleja frecuencias por debajo de la crítica (según el ángulo de incidencia); las frecuencias VHF y superiores la atraviesan y se pierden en el espacio.
- En espacio libre, la pérdida con la distancia es geométrica (dispersión de potencia sobre una esfera creciente), no absorción: la energía no se disipa, se diluye.
- A mayor frecuencia (menor λ): más ancho de banda y canales disponibles, pero menor alcance y peor penetración de obstáculos.
- Dieléctrico $\neq$ aislante: un material puede ser buen aislante eléctrico y aun así atenuar o reflejar fuertemente ondas de RF (y un conductor, como el hierro del hormigón armado, bloquea la señal aunque no sea el foco del análisis dieléctrico).
- La atenuación por lluvia es un fenómeno aparte de la absorción gaseosa; se vuelve severa cuando el tamaño de gota se acerca al orden de la longitud de onda (K_u/K_a), y es despreciable en AM/FM por la enorme diferencia de escalas.
- El espectro radioeléctrico es un recurso regulado (ENACOM/CNAF en Argentina): toda asignación de banda y potencia debe estar autorizada; transmitir sin autorización tiene consecuencias técnicas y legales.