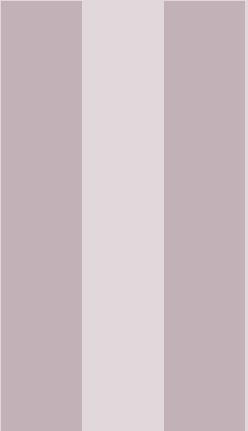




Legislación y regulación



Proyecto final 1

Dispositivos de fibra óptica



Sistemas de radio digital y M.O.



1	Ondas electromagnéticas e introducción	5
1.1	Radiaciones electromagnéticas	5
1.2	Radio enlaces terrenos microondas	8
1.3	Enlace de microondas	12



1. Ondas electromagnéticas e introducción

1.1 Radiaciones electromagnéticas

Los campos electromagnéticos de baja frecuencia incluyen aquellos generados por corrientes eléctricas de frecuencia industrial, como las producidas por líneas eléctricas, electrodomésticos o equipos electrónicos. Estos campos generalmente tienen frecuencias inferiores a los 300 kilohertz (kHz) y se asocian con la transmisión de energía eléctrica. Por otro lado, los campos electromagnéticos de alta frecuencia se refieren a aquellos generados por dispositivos inalámbricos, como redes Wi-Fi, telefonía móvil, transmisiones de radio y televisión, así como por equipos de radar y microondas. Estos campos tienen frecuencias más altas, que van desde los megahertz (MHz) hasta los gigahertz (GHz). Se debe de recordar la ecuación ??, con esa ecuación se puede encontrar:

Definición 1.1 — Energía de una onda. Se refiere a la cantidad de energía transportada por una onda. En el contexto de las ondas, como las ondas electromagnéticas o las ondas sonoras, la energía de onda representa la energía total asociada con la propagación de la onda a través del medio en el que se está propagando.

$$E = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda} \quad (1.1)$$

Donde:

- **h:** Constante de Plank. $(6.626069 \times 10^{-34}) \text{ (J} \cdot \text{s)}$
- **f:** Frecuencia. (Hz)
- **c:** Velocidad de luz: 3×10^8 (m/s)
- **λ :** Longitud de onda. (m)

1.1.1 Radiaciones ionizantes y no ionizantes

Las radiaciones se pueden clasificar en dos categorías principales: radiaciones ionizantes y radiaciones no ionizantes.

Las **radiaciones ionizantes** son aquellas que tienen suficiente energía para ionizar átomos o moléculas, lo que significa que pueden eliminar electrones de los átomos con los que interactúan. Ejemplos de radiaciones ionizantes incluyen los rayos X, los rayos gamma y las radiaciones nucleares. Estas radiaciones pueden ser dañinas para los tejidos vivos y

pueden tener efectos biológicos significativos, como causar mutaciones genéticas o dañar células y tejidos.

Por otro lado, las **radiaciones no ionizantes** son aquellas que no tienen suficiente energía para ionizar átomos o moléculas. Ejemplos de radiaciones no ionizantes incluyen las ondas de radio, las microondas, la radiación infrarroja, la luz visible y las ondas de radiofrecuencia. Estas radiaciones generalmente son consideradas como seguras para los seres humanos en niveles de exposición típicos, aunque exposiciones excesivas a algunas de estas radiaciones pueden generar efectos térmicos o producir daños en la piel.

En general, la diferencia fundamental entre las radiaciones ionizantes y no ionizantes radica en su capacidad para ionizar átomos o moléculas. Esta distinción es importante en términos de los efectos biológicos y los riesgos asociados con la exposición a cada tipo de radiación.

1.1.2 ICNIRP

La International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) es una organización científica independiente que se dedica a evaluar los posibles riesgos para la salud asociados con las radiaciones no ionizantes y establecer directrices de protección. Según la ICNIRP, las radiaciones no ionizantes, como las provenientes de campos electromagnéticos de frecuencias de radio y microondas, **no representan** un riesgo significativo para la salud siempre que se mantengan dentro de los límites de exposición recomendados. La comisión establece límites basados en una revisión exhaustiva de la literatura científica y considera tanto los efectos térmicos como los efectos no térmicos. En particular, en relación con el calentamiento, la ICNIRP establece límites de exposición diseñados para prevenir el aumento excesivo de la temperatura en los tejidos corporales, que se considera el principal mecanismo de daño. En general, la ICNIRP sostiene que, si se cumplen estos límites, no se esperan efectos adversos para la salud relacionados con el calentamiento debido a las radiaciones no ionizantes. Sin embargo, la investigación científica continúa y la ICNIRP realiza revisiones periódicas de sus directrices para tener en cuenta los avances científicos y la evidencia emergente.

1.1.3 SAR

El SAR (Specific Absorption Rate, tasa de absorción específica) es una medida que se utiliza para **cuantificar** la cantidad de energía de radiofrecuencia (RF) absorbida por el cuerpo humano cuando se expone a radiación electromagnética, especialmente en el rango de las frecuencias de radio y microondas (entre 100 kHz y 100 GHz). El SAR se expresa típicamente en vatios por kilogramo (W/kg).

El SAR se utiliza como una herramienta para evaluar la seguridad de dispositivos que emiten radiación electromagnética, como teléfonos móviles, tabletas, computadoras portátiles y otros dispositivos inalámbricos. Mide la **cantidad** de energía RF **absorbida** por el cuerpo en función de la tasa de absorción y la distribución de la energía en los tejidos.

Es importante tener en cuenta que el SAR **solo mide** la absorción de energía RF y no evalúa los posibles efectos biológicos o de salud asociados. Los límites de SAR se establecen para evitar el calentamiento excesivo de los tejidos corporales debido a la exposición a la radiación RF.

1.1.4 Medición

Las ondas electromagnéticas se pueden medir utilizando instrumentos específicos llamados medidores o analizadores de campo electromagnético. Estos dispositivos están diseñados para detectar y cuantificar la intensidad de las ondas electromagnéticas en diferentes rangos de frecuencia.

Existen varios tipos de medidores de campo electromagnético disponibles en el mercado, cada uno con sus propias características y capacidades de medición. Algunos de los dispositivos comunes utilizados para medir las ondas electromagnéticas son:

- Medidores de campos eléctricos y magnéticos:** Estos medidores pueden medir tanto los campos eléctricos como los campos magnéticos en diversas frecuencias. Utilizan antenas o sondas especiales para capturar y medir la intensidad de los campos en unidades específicas, como voltios por metro (V/m) para campos eléctricos y teslas



(T) para campos magnéticos.

- Espectrofómetros o analizadores de espectro:** Estos dispositivos permiten analizar y visualizar la distribución de energía en diferentes frecuencias dentro de un rango específico. Proporcionan una representación gráfica del espectro electromagnético, mostrando la intensidad de las ondas en función de la frecuencia.



- Dosímetros personales:** Estos dispositivos portátiles se utilizan para medir la exposición personal a la radiación electromagnética durante un período de tiempo determinado. Registran y almacenan los niveles de exposición acumulados, lo que permite



evaluar la exposición a largo plazo.

Es importante seguir las instrucciones del fabricante y utilizar los equipos de medición adecuados según el tipo de ondas electromagnéticas que se desee medir (como frecuencias de radio, microondas, campos electromagnéticos de baja frecuencia, etc.). Además, es recomendable mantenerse actualizado con las regulaciones y límites de exposición establecidos por las autoridades competentes en relación con la radiación electromagnética.

1.2 Radio enlaces terrenos microondas

Un radioenlace es una forma de interconexión entre terminales de telecomunicaciones utilizando ondas electromagnéticas. Estos enlaces se establecen típicamente en el rango de frecuencias de 800 MHz a 42 GHz. En la implementación de un radioenlace, se considera que la trayectoria de la señal está sujeta a obstáculos naturales o artificiales, como montañas o edificios, y también puede ser afectada por la curvatura de la Tierra.

Para establecer un radioenlace, se requiere un conjunto de equipos de transmisión y recepción que permiten enviar señales de un nodo o centro de red a otro utilizando tecnología de radio. Dependiendo del diseño del radioenlace, puede transportar una sola señal o varias simultáneamente.

Un ejemplo práctico de un radioenlace es la conexión inalámbrica utilizada para transmitir datos entre una estación base de telefonía móvil y un teléfono móvil. La estación base emite señales de radio en un rango de frecuencia específico, y el teléfono móvil, equipado con un receptor adecuado, recibe y decodifica estas señales para establecer la comunicación. En resumen, los radioenlaces permiten la comunicación a través de ondas electromagnéticas en un rango de frecuencias determinado y superan obstáculos físicos en el camino de la señal. Estos enlaces son fundamentales en las redes de telecomunicaciones para establecer conexiones inalámbricas confiables y eficientes.

1.2.1 Clasificación de radio enlaces

1.2.1.1 Radio enlaces fijos terrestres

Los radioenlaces fijos terrestres son aquellos que se establecen entre **dos** puntos de tierra para la transmisión de señales a través de ondas electromagnéticas. Estos enlaces se utilizan

para la comunicación de datos, voz y video. Los radioenlaces fijos terrestres se caracterizan por su alta **confiabilidad** y **estabilidad**, lo que los hace ideales para la transmisión de datos a larga distancia. Estos enlaces pueden cubrir distancias considerables, desde unos pocos kilómetros hasta cientos de kilómetros, dependiendo de los equipos utilizados y las **condiciones** del terreno. La **infraestructura** de un radioenlace fijo terrestre consta de antenas de transmisión y recepción, equipos de radiofrecuencia, sistemas de modulación y demodulación, así como de torres o soportes para ubicar las antenas a una altura adecuada. La alineación precisa de las antenas es esencial para garantizar una transmisión óptima y minimizar la atenuación de la señal.

Los radio enlaces, establecen un concepto de comunicación del tipo dúplex. En cuanto al radiocanal se debe considerar una pareja de portadoras ida y retorno. Se asocia a la idea de circuito de telecomunicación dúplex a 4 hilos. El radio enlace debe ser básicamente entre **puntos visibles**, es decir puntos altos de topografía; es necesario los recorridos entre enlaces tengan una altura libre adecuada para la propagación (una altura de 3 metros mínimo). Los radio enlaces de microondas se realizan **sólo** si existe una **Línea de vista del receptor** (LOS, *Line Of Sight*).

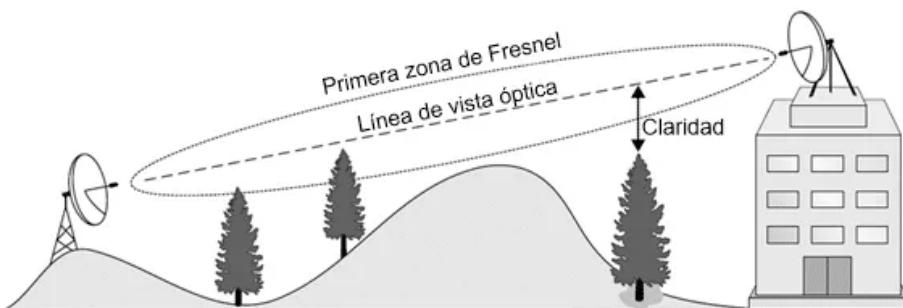


Figure 1.1: Línea de vista en radio enlaces

1.2.2 Estructura

La estructura de un radioenlace terrestre puede variar dependiendo de diversos factores, como la distancia de transmisión, el tipo de aplicación, las condiciones del terreno y las necesidades específicas de la red de comunicación. Sin embargo, en general, un radioenlace terrestre típico consta de los siguientes componentes principales:

- Antenas:** Son los elementos encargados de la transmisión y recepción de las ondas electromagnéticas. Las antenas pueden ser direccionales, lo que significa que enfocan la energía en una dirección específica, o pueden ser omnidireccionales, irradiando la señal en todas las direcciones.
- Torres o soportes:** Son estructuras físicas que sostienen las antenas y las elevan a una altura adecuada. Las torres se utilizan para garantizar una mejor línea de vista y evitar obstrucciones en el camino de la señal.
- Equipos de transmisión y recepción:** Incluyen dispositivos como transmisores, receptores, amplificadores y moduladores/demoduladores. Estos equipos se encargan de procesar la señal para su transmisión o recepción, y aseguran la calidad y fiabilidad de la comunicación.
- Línea de transmisión:** Es el medio físico utilizado para transportar la señal entre los equipos de transmisión y recepción. Puede ser un cable coaxial, fibra óptica o incluso enlaces de microondas inalámbricos.

5. **Sistema de alimentación y energía:** Incluye los componentes necesarios para suministrar energía eléctrica a los equipos de transmisión y recepción, como fuentes de alimentación y sistemas de respaldo de energía.
6. **Control y gestión:** En algunos casos, los radioenlaces terrestres pueden requerir sistemas de control y gestión para supervisar y optimizar el rendimiento de la red. Esto puede incluir sistemas de monitoreo remoto, configuración y ajuste de parámetros, y diagnóstico de fallas.

Es importante destacar que la estructura exacta de un radioenlace terrestre puede variar en función de las necesidades específicas de la aplicación y la tecnología utilizada. Al diseñar un radioenlace terrestre, se deben considerar factores como la frecuencia de operación, la capacidad de transmisión, la calidad de la señal y la eficiencia espectral para garantizar una comunicación confiable y eficiente.

La **frecuencia intermedia** no es una fija, eso depende para cada frecuencia, por ejemplo, la frecuencia de **450-470 kHz** utilizada en receptores de **radio AM**. En **televisión**, la frecuencia intermedia varía dependiendo del estándar de transmisión, como por ejemplo, 45.75 MHz en el estándar NTSC utilizado en América del Norte.

1.2.3 Repetidores

Los repetidores, tanto pasivos como activos, son dispositivos utilizados en las redes de comunicación para extender la cobertura y mejorar la calidad de la señal transmitida. A continuación, te explico en qué consiste cada tipo de repetidor:

1.2.3.1 Repetidor Pasivo

Un repetidor pasivo es un dispositivo que amplifica y retransmite la señal recibida sin modificarla ni procesarla. Funciona básicamente como un amplificador de señal. Este tipo de repetidor recibe la señal débil, la amplifica y la retransmite en la misma frecuencia sin realizar ningún procesamiento adicional. No requiere de energía eléctrica externa y se basa en componentes pasivos como antenas y filtros.

Los repetidores pasivos son comúnmente utilizados en sistemas de radio y televisión, donde se requiere extender la cobertura en áreas con una señal débil. Sin embargo, tienen limitaciones en cuanto a la amplificación de la señal y pueden introducir cierta degradación en la calidad de la señal debido a ruido y pérdidas en el proceso de amplificación. Estos equipos se colocan en serie, por lo que si uno falla en enlace se corta. Es por esta razón que se requiere equipos de redundancia.

En un sistema con **hot standby**, el componente principal y el componente de respaldo operan simultáneamente, siendo el componente principal el que realiza las operaciones normales. Sin embargo, el componente de respaldo está en un estado de espera activo, monitoreando constantemente el estado del componente principal. Si se detecta una falla o inoperatividad en el componente principal, el componente de respaldo se activa automáticamente y asume las funciones y responsabilidades del componente principal.



Figure 1.2: Repetidor pasivo.

1.2.3.2 Repetidor activo

Un repetidor activo es un dispositivo que recibe, procesa y regenera la señal antes de retransmitirla. A diferencia de los repetidores pasivos, los repetidores activos tienen la capacidad de realizar amplificación de señal, filtrado, regeneración de la forma de onda y otras operaciones de procesamiento de la señal. En ellos se recibe la señal en la frecuencia de portadora y se la baja a una frecuencia intermedia (FI) para amplificarla y retransmitirla en la frecuencia de salida.

Los repetidores activos se alimentan con energía eléctrica externa y utilizan circuitos electrónicos para amplificar y procesar la señal recibida. Además de amplificar la señal, también pueden realizar tareas como filtrado de ruido, corrección de errores y ajuste de niveles de señal. Esto permite mejorar la calidad de la señal y compensar las pérdidas de transmisión.

Los repetidores activos se utilizan ampliamente en redes de telecomunicaciones, como en sistemas de telefonía móvil, donde se requiere una extensa cobertura y una buena calidad de señal. Estos repetidores pueden extender la cobertura de la red, mejorar la capacidad de transmisión y garantizar una comunicación confiable.



Figura 4.4. Repetidor activo.

Figure 1.3: Repetidor activo.

1.3 Enlace de microondas

El espectro de enlaces microondas es una parte del espectro electromagnético que se utiliza para transmitir señales de comunicación en aplicaciones de microondas. El **rango** de frecuencias abarca frecuencias desde aproximadamente 1 GHz (Gigahercio) hasta 300 GHz (Gigahercio). Estas frecuencias se encuentran por encima de las bandas de radio convencionales y por debajo de las frecuencias de infrarrojos. Las microondas tienen una capacidad de propagación directa y en línea recta, lo que significa que suelen requerir una línea de vista clara entre las antenas transmisora y receptora. Objetos sólidos, edificios o accidentes geográficos pueden obstaculizar la propagación de las microondas. En cuanto a la capacidad de transmisión, los enlaces microondas ofrecen una alta capacidad de transmisión de datos debido a las altas frecuencias utilizadas. Estas frecuencias más altas permiten una mayor velocidad de transmisión de datos en comparación con las bandas de frecuencias más bajas utilizadas en las comunicaciones de radio convencionales.

Definición 1.2 — Zonas de Fresnel. Las zonas de Fresnel son áreas elípticas que se forman alrededor de un enlace de comunicación inalámbrica, especialmente en enlaces de microondas y radio. La zona de Fresnel es fundamental para garantizar una comunicación inalámbrica de calidad. Si una obstrucción física se encuentra dentro de una zona de Fresnel significativa, puede causar atenuación de la señal, reflejos o dispersión, lo que puede afectar la calidad de la comunicación y provocar una pérdida de señal.

$$r_n = \sqrt{\frac{n \cdot \lambda \cdot d_1 \cdot d_2}{d_1 + d_2}} \quad (1.2)$$

Donde:

- r_n : Radio de la zona de Fresnel (m).
- n : Número de zona de Fresnel. (1, 2, 3 ...)

- λ : Longitud de onda de la señal (m).
- d_1 : Distancia desde el transmisor hasta el punto de interés (m).
- d_2 : Distancia desde el receptor hasta el punto de interés (m).

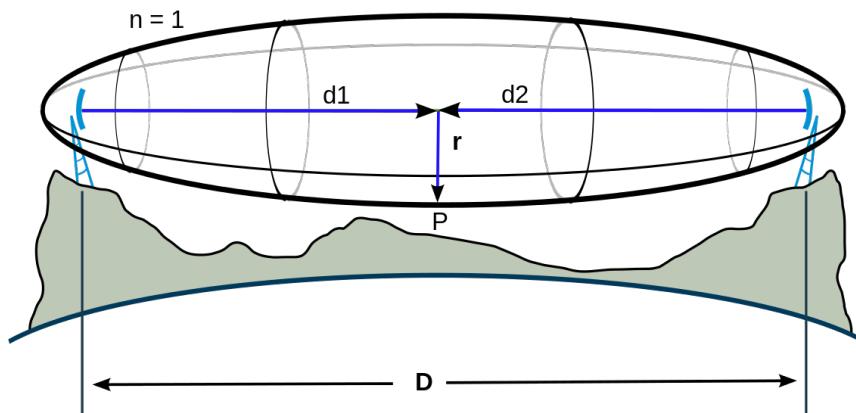


Figure 1.4: Zonas de Fresnel

En un enlace de comunicación inalámbrica, existen tres zonas de Fresnel que se consideran significativas:

1. **Zona de Fresnel 1:** También conocida como la primera zona de Fresnel, es la zona más cercana al enlace y tiene forma de elipse alargada. Esta zona es crucial para la transmisión de la señal, ya que cualquier obstrucción significativa en esta área puede provocar una degradación severa de la señal.
2. **Zona de Fresnel 2:** La segunda zona de Fresnel es la siguiente más cercana al enlace, y también tiene forma de elipse. Aunque su importancia es menor que la zona de Fresnel 1, sigue siendo relevante para mantener la calidad de la señal, ya que una obstrucción en esta zona puede causar atenuación y pérdida de potencia de la señal.
3. **Zona de Fresnel 3:** La tercera zona de Fresnel es la zona más alejada del enlace y también tiene forma de elipse. Aunque tiene menos impacto en la calidad de la señal en comparación con las zonas de Fresnel más cercanas, aún puede tener influencia en la propagación de la señal, especialmente en enlaces de larga distancia.

Estas tres zonas de Fresnel son consideradas significativas debido a su impacto en la propagación de la señal inalámbrica. La presencia de obstrucciones físicas dentro de estas zonas puede causar interferencia, reflexiones y dispersión, lo que afecta la calidad y la intensidad de la señal transmitida. Por lo tanto, es importante tener en cuenta y garantizar un despeje adecuado de estas zonas al planificar y diseñar enlaces de comunicación inalámbrica.