

PRESENTACIÓN

El libro *Radiocomunicaciones Teoría y Principios* es una compilación de las notas de clase y los saberes adquiridos por sus autores a lo largo de su experiencia académica. Este documento compila la temática extensa de los sistemas de Radiocomunicaciones y sintetiza una propuesta para implementar la cátedra a en un semestre lectivo dentro de un programa de Ingeniería Electrónica que tenga una línea de profundización en Telecomunicaciones.

El libro se compone de cinco capítulos, en el primer capítulo se da una introducción a los sistemas de radiocomunicaciones, definiciones, aspectos legales en Colombia y conceptos básicos para la correcta interpretación del contenido.

En el segundo capítulo se desarrolla la temática de ruido y las afectaciones que producen en los sistemas de radiocomunicaciones.

En los capítulos tercero y cuarto se desarrollan los contenidos de propagación y radiación, los parámetros que influyen la propagación de la señal y los fenómenos que se pueden producir en ésta. Se detallan los parámetros de las antenas, la radiación y se muestran diferentes tipos de antenas.

El último capítulo se enfoca en la estimación del canal, propagación multitrayecto y desvanecimiento, detallando los diferentes modelos que existen para dicha estimación en entornos tanto exteriores como interiores.

Capítulo Uno

INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE RADIOCOMUNICACIONES

1. INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE RADIOCOMUNICACIONES

La capacidad de comunicarse es la principal razón por la cual el hombre ha alcanzado sus niveles de desarrollo y evolución. Esa capacidad para transmitir información permite que sus ideas sean realizadas por un grupo de personas o una comunidad. A medida que ha incrementado la población global se ha requerido de medios que permitan transmitir información a mayor número de personas, distancia y eficiencia. En este sentido, la eficiencia puede interpretarse como el aumento de la velocidad, aumento de la cantidad de información sin perder la calidad.

En un contexto amplio, es posible clasificar los medios de comunicaciones según el medio que empleen para transmitir información. *Grosso modo* es posible afirmar que los dos principales sistemas que hoy se emplean son los inalámbricos y los guiados. Los medios inalámbricos emplean el aire como medio de transmisión de información. También podría tratarse de un sistema submarino en el cual se emplean ondas mecánicas (como las sonoras), pero no es el objetivo en este documento.

Las ondas electromagnéticas emplean la interfaz aire la cual tiene características dieléctricas similares a las del vacío [1]. Para poder transmitir información empleando las ondas electromagnéticas es necesario conocer la forma de producirlas, de adecuarlas a la interfaz para optimizar su alcance, evitar que interfiera con otros sistemas y recobrar la información en el destino. A medida que viaja la onda también se presentarán cambios en el medio, tales como la temperatura, partículas en el aire en forma de vapor o humo, edificaciones, personas, etc. Además, el hecho de enfrentar estas obstrucciones y viajar con una distancia determinada hace necesaria una cantidad de energía que no es un cálculo simple y lineal.

La estimación de un canal de radio permite predecir con determinado nivel de precisión el comportamiento que tendrá un sistema de comunicaciones inalámbricas en un sitio conocido. Así se determinarán las características como la capacidad, ancho de banda y algunos otros parámetros que se definirán más adelante.

El desafío de continuar evolucionando depende de la capacidad que se tenga de desarrollar nuevas tecnologías que mejoren las condiciones actuales. Es por ello que profundizar en un curso de radiocomunicaciones aporta oportunidades en desarrollo tecnológico, en tanto provee a la sociedad de nuevos servicios y presenta aportes que marcan evolución.

1.1. Definiciones básicas

1.1.1. Elementos de un sistema de radio

Se denomina sistema de comunicaciones radioeléctrico aquel que emplea ondas electromagnéticas en un rango de frecuencias que van desde 30 KHz hasta 3000GHz [2]. Para que exista transmisión de información debe existir como mínimo un transmisor, un canal y un receptor. Para los sistemas de radio a tratar, el canal es el aire, sin embargo, la información que viaja en forma de una onda electromagnética se encontrará con objetos que interfieren o bloquean el camino hacia el receptor. A estos elementos se les conoce como dispersores.

Los dispersores pueden contribuir o destruir parcial o totalmente la información. Cuando una onda electromagnética encuentra un dispersor experimenta modificaciones debidas a los fenómenos físicos de reflexión, difracción, dispersión y absorción [3]. La figura 1.1 muestra los elementos de un sistema de radio.

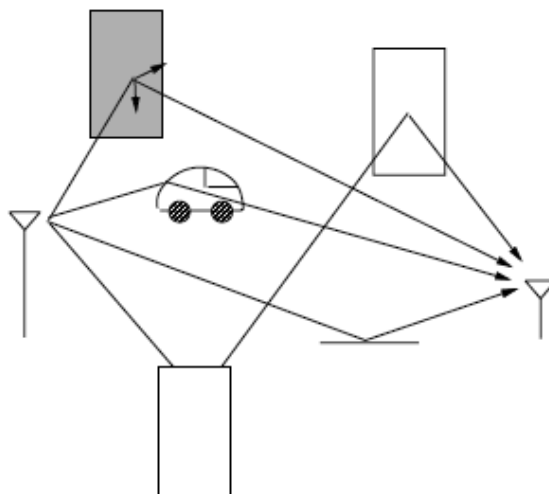


Figura 1.1.

*Elementos de un sistema de Radiocomunicaciones y los efectos de los dispersores.
Tomado de [3].*

Dependiendo de la frecuencia empleada en un sistema de radio, las ondas electromagnéticas tendrán ciertas propiedades que serán más apropiadas o no para el servicio de radio.

1.1.2. Servicios de radio

En un sistema de telecomunicaciones se cumple el principio de reciprocidad, es decir, los roles de transmisor y receptor se pueden intercambiar. Acorde a las necesidades, un servicio de radio puede atender una conexión de un punto a otro o de uno a muchos. Estas topologías se conocen como punto a punto y punto multipunto, respectivamente. Sea cual fuere la situación, hay algunos aspectos que deben considerarse.

Cada enlace de radiocomunicación solo funciona para un sentido de transmisión. Para la situación punto a punto, en el transmisor existirá una única frecuencia de portadora para transmitir lo que será la frecuencia de recepción del otro punto y viceversa. Una salvedad a esta acotación está en los sistemas multiportadoras que se detallarán más adelante.

1.1.3. Regulaciones

La estandarización es un proceso de talla internacional que ha permitido que los avances tecnológicos se globalicen, los esfuerzos se unan y no se realice un trabajo doble. Así, estudiando las propiedades de las ondas electromagnéticas se han emitido franjas de frecuencias en las cuales se explota un determinado servicio de telecomunicaciones, conocido como el espectro electromagnético.

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU, *International Telecommunication Union*) es el ente que pertenece a la Organización de Naciones Unidas (ONU) encargado de emitir las recomendaciones para estandarizar servicios a nivel mundial [4]. Su sede oficial está en Suiza y fue creada en la década de 1860. Estas recomendaciones son acatadas en los países por las divisiones gubernamentales destinadas a tal fin. En Colombia el encargado es el Ministerio de las Tecnologías de Información y Comunicaciones (MinTIC). Un homólogo

es el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI, *European Telecommunications Standards Institute*).

La ITU se subdivide en capítulos que permiten tratar con mayor detalle y profundidad cada uno de los campos de las telecomunicaciones, como se describe a continuación:

Capítulo I: Características técnicas y terminología

Capítulo II: Frecuencias

Capítulo III: Coordinación y asignación de frecuencias y planes de modificación

Capítulo IV: Interferencias

Capítulo V: Unidad administrativa

Capítulo VI: Servicios y estaciones

Capítulo VII: Seguridad y atención a desastres

Capítulo VIII: Servicios aeronáuticos

Capítulo IX: Servicios Marítimos

Adicionalmente, existen 42 apéndices que promueven recomendaciones y resoluciones, por ejemplo, los apéndices 16, 17, 18 regulan las frecuencias portadoras para servicios marítimos y aeronáuticos.

La temática en telecomunicaciones es tan vasta que el ITU separó una división únicamente para las radiocomunicaciones, denominada ITU-R (*Radiocommunication Sector of the ITU*). Este sector estudia la propagación y emite recomendaciones en series según servicios, enumeradas por algunas siglas como lo describe la tabla 1.

Tabla 1. Clasificación del espectro electromagnético según la ITU.

Serie	Servicios que orienta
BO	Servicios de satélite - Difusión (Audio y televisión)
BR	Grabación de audio y televisión
BS	Difusión de audio
BT	Difusión de televisión
F	Servicios fijos
IS	Intercambio de servicios y compatibilidad
M	Móvil, ubicación por radio, amateur y relativos a satélites
P	Propagación de ondas radio
RA	Radioastronomía
S	Satélites fijos
SA	Espaciales y meteorológicos
SF	Espectro compartido entre Satélites fijos y terrestres fijos
SM	Administración del espectro electromagnético
SNG	Difusión de noticias vía satélite
TF	Emisión de señales en tiempo y frecuencia
V	Vocabulario y temas relacionados

1.1.4. Espectro electromagnético

No siempre es viable el tener un medio guiado como canal para el sistema de telecomunicaciones. Una alternativa es el empleo de la interfaz aire como medio o canal para las ondas electromagnéticas como transporte de la información, empleando para tal fin enlaces de radiofrecuencia o radioenlaces.

Una tarea importante en el estudio de los sistemas radioeléctricos implica el conocimiento de la regulación de frecuencias radioeléctricas, la concesión de una licencia y uso de bandas libres, la interferencia electromagnética, los estudios de compatibilidad y el desarrollo de un plan de frecuencias.

Casi todos los países del mundo son miembros de la Unión Internacional de Telecomunicaciones y por lo tanto son signatarios del Estatuto de Radio expedido por la ITU. La asignación de bandas de frecuencias se rige por el Reglamento de Radiocomunicaciones. Para la situación de Colombia, el regulador del espectro

electromagnético es la Agencia Nacional del Espectro (ANE), adscrita al MinTIC mediante sanción de la Ley 1341 del 30 de julio de 2009.

La distribución de las frecuencias se da por bandas, las cuales se clasificaron según dos aspectos evaluados y propuestos por la ITU: La necesidad de los sistemas de telecomunicaciones y las propiedades de las ondas electromagnéticas. Una clasificación es apreciada en la tabla 2.

Tabla 2. Clasificación del espectro electromagnético según la ITU.

BANDA	LONGITUD DE ONDA (m)	FRECUENCIA (Hz)
Rayos gamma	< 10 pm	> 30 EHz
Rayos X	< 10 pm	> 30 PHz
Ultravioleta extremo	< 200 nm	> 1,5 PHz
Ultravioleta cercano	< 380 nm	> 789 THz
Luz Visible	< 780 nm	> 384 THz
Infrarrojo cercano	< 2,5 μm	> 120 THz
Infrarrojo medio	< 50 μm	> 6 THz
Infrarrojo	< 1 mm	> 300 GHz
Microondas	< 30 cm	> 1 GHz
Ultra Alta Frecuencia – Radio	< 1 m	> 300 MHz
Muy Alta Frecuencia – Radio	< 10 m	> 30 MHz
Onda Corta – Radio	< 180 m	> 1,7 MHz
Onda Media – Radio	< 650 m	> 650 kHz
Onda Larga – Radio	< 10 km	> 30 kHz
Muy Baja Frecuencia – Radio	> 10 km	< 30 kHz

La ampliación en la franja de radiofrecuencia tiene un uso especial. Esta banda de frecuencia es fundamental en la transmisión de información en sistemas inalámbricos, de tal forma que se encuentra regulada y legislada por los entes anteriormente mencionados, la ITU a nivel mundial y a nivel regional la Agencia Nacional del Espectro ANE. En la tabla 3 se muestra el detalle de las bandas de frecuencias.

Tabla 3. Clasificación del espectro electromagnético según la ITU.

NOMBRE	ABREVIATURA INGLESA	BANDA ITU	FRECUENCIAS	LONGITUD DE ONDA
Extra baja frecuencia	ELF	1	3 – 30 Hz	100.000 – 10.000 km
Súper baja frecuencia	SLF	2	30 – 300 Hz	10.000 – 1.000 km
Ultra baja frecuencia	ULF	3	300 – 3000 Hz	1.000 – 100 km
Muy baja frecuencia	VLF	4	3 – 30 kHz	100 – 10 km
Baja frecuencia	LF	5	30 – 300 kHz	10 – 1 km
Media frecuencia	MF	6	300 – 3000 kHz	1 km – 100 m
Alta frecuencia	HF	7	3 – 30 MHz	100 – 10 m
Muy alta frecuencia	VHF	8	30 – 300 MHz	10 – 1 m
Ultra alta frecuencia	UHF	9	300 – 3000 MHz	1 m – 100 mm
Súper alta frecuencia	SHF	10	3 – 30 GHz	100 – 10 mm
Extra alta frecuencia	EHF	11	30 – 300 GHz	10 – 1 mm

Cabe notar que, por el uso de cada banda de frecuencias, es necesario tener una licencia de parte del ente regulador. Así, cada servicio se encuentra sometido a una concesión por un tiempo finito. Dadas las necesidades de desarrollo y de investigación, existen algunas bandas de frecuencias que no requieren licenciamiento, son de libre uso a nivel internacional y posee un requerimiento de potencia. A estas bandas de frecuencias se les denomina ISM por sus siglas en inglés (*Industrial, Scientific & Medical*) [1]. Entre las distintas opciones de bandas en el espectro radioeléctrico, para la situación de Colombia se emplean las bandas de frecuencias europeas con la limitación de potencia estadounidense de 100 mili vatios [2].

La Agencia Nacional del Espectro reglamenta los requisitos y condiciones para el uso de las bandas de frecuencia libres, con el fin de promover una mayor conectividad en el país, según la Resolución 711 de 2016 [5]. Esta reglamentación establece que las bandas de uso libre para ISM se encuentran en los límites de frecuencia mostrados en la tabla 4 [5], además podrán ser utilizadas con dispositivos de baja potencia y corto alcance.

Tabla 4. Bandas ISM

LÍMITE INFERIOR (MHz)	LÍMITE SUPERIOR (MHz)
6.765	6.795
13.553	13.567
26.957	27.283
40.66	40.7
902	928
2400	2483.5
5725	5875
24000	24250
61000	61500
122000	123000
244000	246000

Otra normatividad muy importante por mencionar es la reglamentación de las condiciones que deben cumplir las estaciones radioeléctricas, con el objeto de controlar los niveles de exposición de las personas a los campos electromagnéticos establecida en la Resolución 754 de 2016 [6].

Esta resolución es aplicada a los proveedores de redes y servicios de telecomunicaciones quienes pueden hacer uso del espectro radioeléctrico, cuyo permiso es otorgado por el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. Aquí entran también los operadores de televisión abierta radiodifundida que se encuentran reconocidos por la Autoridad Nacional de Televisión y los demás prestadores autorizados de servicios de telecomunicaciones, televisión y radiodifusión sonora que tengan estaciones de radiocomunicaciones que generen campos electromagnéticos.