



Radiocomunicaciones
Teoría y principios



Gómez Rojas, Jorge

Radiocomunicaciones. Teoría y principios / Jorge Gómez Rojas, Yésica Tatiana Beltrán Gómez y Luis Leonardo Camargo Ariza. -- 1a. ed. -- Santa Marta : Universidad del Magdalena, 2019.
139 p. -- (Ingeniería y tecnología. Ingeniería electrónica)

Incluye bibliografía.

ISBN 978-958-746-183-1 -- 978-958-746-184-8 (pdf) -- 978-958-746-186-2 (epub)

1. Radio 2. Sistemas de telecomunicación I. Camargo Ariza, Luis Leonardo II. Beltrán Gómez, Yesica Tatiana III. Título IV. Serie

CDD: 621.3828 ed. 23

CO-BoBN- a1038530

Primera edición, febrero de 2019

© UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA

Editorial Unimagdalena
Carrera 32 No. 22 - 08 / bloque 8 - segundo piso
(57 - 5) 4217940 Ext. 1888
Santa Marta D.T.C.H. - Colombia
editorial@unimagdalena.edu.co
<https://editorial.unimagdalena.edu.co>

Colección Ingeniería y Tecnología, serie: Ingeniería Electrónica

Rector: Pablo Vera Salazar
Vicerrector de Investigación: Ernesto Amarú Galvis Lista
Coordinador de Publicaciones y Fomento Editorial: Jorge Enrique Elías-Caro

Diagramación: Xpress Estudio Gráfico y Digital
Diseño de portada: Luis Felipe Márquez Lora
Editor literario: Clinton Ramírez C.
Corrección de estilo: Gran Caribe, Pensamiento, Cultura, Literatura

Santa Marta, Colombia, 2019

ISBN: 978-958-746-183-1 (impreso)
ISBN: 978-958-746-184-8 (pdf)
ISBN: 978-958-746-186-2 (epub)

Impreso y hecho en Colombia - Printed and made in Colombia
Xpress Estudio Gráfico y Digital S.A.S. - Xpress Kimpres (Bogotá)

El contenido de esta obra está protegido por las leyes y tratados internacionales en materia de Derecho de Autor. Queda prohibida su reproducción total o parcial por cualquier medio impreso o digital conocido o por conocer. Queda prohibida la comunicación pública por cualquier medio, inclusive a través de redes digitales, sin contar con la previa y expresa autorización de la Universidad del Magdalena.

Las opiniones expresadas en esta obra son responsabilidad del autor y no compromete al pensamiento institucional de la Universidad del Magdalena, ni genera responsabilidad frente a terceros.

RADIOCOMUNICACIONES

TEORÍA Y PRINCIPIOS

Jorge Gómez Rojas
Yésica Tatiana Beltrán Gómez
Luis Leonardo Camargo Ariza

Colección Ingeniería y Tecnología
Serie: Ingeniería Electrónica

Contenido

PRESENTACIÓN	11
1. INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE RADIOCOMUNICACIONES	15
1.1. Definiciones básicas	16
1.1.1. Elementos de un sistema de radio	16
1.1.2. Servicios de radio	17
1.1.3. Regulaciones	17
1.1.4. Espectro electromagnético	19
1.1.5. Capas atmosféricas	27
1.1.6. Unidades logarítmicas	28
1.2. Cronología de las comunicaciones por radio	31
1.3. Sistemas actuales de radiocomunicación	32
2. RUIDO	43
2.1. Ruido térmico	43
2.2. Ruido blanco	43
2.3. Circuito equivalente	44
2.4. Ruido coloreado	45
2.5. Relación señal a ruido	46
2.6. Factor de ruido	46
2.7. Temperatura de ruido	47
2.8. Sistemas cascada	48
2.8.1. Factor equivalente de ruido	49
2.8.2. Temperatura equivalente de ruido	50
3. PROPAGACIÓN RADIOELÉCTRICA	55
3.1. Propagación en el espacio real	55
3.1.1. Onda de superficie	55

3.1.2. Onda ionosférica	55
3.1.3 Onda espacial	58
3.1.4. Curvatura de los rayos	61
3.1.5. Efecto ducto	62
3.1.6. Atenuación atmosférica	63
3.2. Principio de Huygens-Fresnel	63
3.2.1. Zonas de Fresnel	65
3.3. Difracción	66
3.4. Dispersión	68
4. RADIACIÓN	73
4.1. Parámetros en radiación	76
4.1.1. Impedancia	76
4.1.2. Sistema de coordenadas	77
4.1.3. Impedancia intrínseca	78
4.1.4. Potencia radiada	78
4.1.5. Directividad	79
4.1.6. Ganancia	80
4.1.7. Potencia Isotrópica Radiada Equivalente	80
4.1.8. Potencia Radiada Aparente	80
4.1.9. Diagrama de radiación	80
4.1.10. Polarización	83
4.1.11. Ancho de banda	83
4.1.12. Área efectiva de la antena	83
4.1.13. Longitud efectiva de la antena	84
4.2. Ecuación de Transmisión	86
4.2.1. Región de Fraunhofer	86
4.2.2. Región de Rayleigh	86
4.2.3. Región de Fresnel	86

4.2.4. Ecuación de Friis	87
4.3. Implementación de antenas	89
4.3.1. Dipolo Hertziano	89
4.3.2. Dipolo corto real	90
4.3.3. Longitud arbitraria	91
4.3.4. Dipolo doble	92
4.3.5. Antenas VHF, UHF, SHF	92
4.3.6. Arreglos de antenas	95
4.3.7. Acopladores	97
5. ESTIMACIÓN DE CANAL	103
5.1. Propagación multitrayectoria	103
5.2. Parámetros para la estimación	103
5.2.1. Pérdidas por trayectoria	104
5.2.2. Perfil potencia – retardo	104
5.2.3. Dispersión de retardo temporal	105
5.2.4. Ancho de banda de coherencia	106
5.2.5. Desvanecimiento	107
5.2.6. Dispersión por efecto Doppler	107
5.3. Modelos de propagación	108
5.3.1. Modelos empíricos	108
5.3.2. Modelos semi-empíricos	112
5.3.3. Modelos deterministas	117
5.3.4. Método de momentos	124
5.3.5. Red neuronal artificial	126
5.4. Dispersión difusa	131
REFERENCIAS	135

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.