

PRÁCTICA EMPRESARIAL EN LA EMISORA RADIO CATÓLICA
METROPOLITANA 1450 A.M.

MANUEL FELIPE ARANDA MARRUGO
ID. 000067575



UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERIA Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BUCARAMANGA
2009

PRÁCTICA EMPRESARIAL EN LA EMISORA RADIO CATÓLICA
METROPOLITANA 1450 A.M.

MANUEL FELIPE ARANDA MARRUGO
ID. 000067575

Práctica empresarial para optar por el título de Ingeniero Electrónico

Supervisor en la universidad
Ing. ALEX ALBERTO MONCLOU SALCEDO
Director facultad de Ingeniería Electrónica

Supervisor en la empresa
Ing. EDUARDO ORTIZ

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERIA Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BUCARAMANGA
2009

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bucaramanga, Marzo de 2009

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	18
1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	19
1.1 HISTORIA DE RADIO CATÓLICA METROPOLITANA.....	19
1.2 IDENTIDAD CORPORATIVA.....	20
1.2.1 Misión.....	20
1.2.2 Visión.....	20
1.3 VALORES CORPORATIVOS.....	20
1.4 OBJETIVOS INSTITUCIONALES.....	21
1.4.1 General.....	21
1.4.2 Específicos.....	21
1.5 VENTAJAS Y POSIBILIDADES DE RADIO CATÓLICA METROPOLITANA.....	21
2. OBJETIVOS	23
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	23
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	23
3. DESCRIPCIÓN DE LA PRÁCTICA	24
3.1 DIAGNÓSTICO DE LA EMPRESA.....	24
3.2 ACTIVIDADES A DESARROLLAR.....	24
4. MARCO TEÓRICO	26
4.1 HISTORIA DE LA RADIO.....	26

	pág.
4.1.1 Ondas electromagnéticas.....	27
4.1.2 Marconi el primero.....	28
4.1.3 La modulación.....	29
4.1.4 Onda radial servidora.....	31
4.2 PRINCIPALES ASPECTOS DE LA RADIO.....	31
4.2.1 Regulación de la radio.....	31
4.2.2 Aspectos técnicos.....	31
4.2.2.1 La Señal.....	31
4.2.2.2 La frecuencia.....	31
4.2.3 Diferencias entre Radio AM y FM.....	31
4.2.3.1 AM (Amplitud Modulada).....	32
4.2.3.2 FM (Frecuencia Modulada).....	32
4.2.4 Potencia de operación - Sistema AM.....	32
4.2.4.1 Estación Clase A.....	32
4.2.4.2 Estación Clase B.....	32
4.2.4.3 Estación Clase C.....	32
4.2.4.4 Estación Clase D.....	32
4.2.5 Potencia de Operación FM.....	32
4.2.5.1 Estación Clase A.....	33
4.2.5.2 Estación Clase B.....	33
4.2.5.3 Estación Clase C.....	33
4.2.5.4 Estación Clase D.....	33

	pág.
4.3 AMPLITUD MODULADA.....	33
4.3.1 Aplicaciones tecnológicas de la AM.....	33
4.3.2 Representación matemática de la modulación en AM.....	33
4.3.3 Espectro de frecuencias y ancho de banda de AM.....	34
4.3.4 Recepción y demodulación en AM.....	36
4.3.4.1 Radio de Galena.....	37
4.3.4.2 Receptor de radiofrecuencia sintonizada.....	38
4.3.4.3 Receptor superheterodino.....	40
▶ Sección de RF.....	40
▶ Sección de mezclador/convertidor.....	41
▶ Sección de FI.....	41
▶ Sección de detector.....	42
▶ Sección de amplificador de audio.....	42
4.3.5 Distribución de potencia en AM.....	42
4.4 LÍNEAS DE TRANSMISIÓN.....	44
4.4.1 Tipos de líneas de transmisión.....	44
4.4.1.1 Balunes.....	46
4.4.1.2 Líneas de transmisión de conductores paralelos.....	47
▶ Línea de transmisión de alambre.....	47
▶ Conductores gemelos.....	48
▶ Cable de par trenzado.....	48
▶ Par de cable blindado.....	49

	pág.
4.4.1.3 Líneas de transmisiones concéntricas o coaxiales.....	49
4.4.2 Perdidas en líneas de transmisión.....	50
4.4.2.1 Pérdidas en el conductor.....	50
4.4.2.2 Pérdida por calentamiento del dieléctrico.....	51
4.4.2.3 Pérdida por radiación.....	52
4.4.2.4 Pérdida por acoplamiento.....	52
4.4.2.5 Efecto corona (o efecto de arco voltaico).....	52
4.4.3 Ondas incidentes y reflejadas.....	52
4.4.3.1 Líneas de transmisión resonantes y no resonantes.....	52
4.4.3.2 Coeficiente de reflexión.....	53
4.5 ANTENAS.....	53
4.5.1 Funcionamiento básico de la antena.....	54
4.5.1.1 Circuitos equivalentes a una antena.....	55
4.5.2 Reciprocidad de antenas.....	55
4.5.3 Terminología y definiciones para antenas.....	56
4.5.3.1 Sistema de coordenadas de la antena.....	56
4.5.3.2 Diagrama de radiación.....	57
4.5.3.3 Campos cercano y lejano.....	59
4.5.3.4 Resistencia de radiación.....	59
4.5.3.5 Ganancia directiva y ganancia de potencia.....	61
4.5.3.6 Potencia isotrópica efectiva irradiada.....	62
4.5.3.7 Densidad de potencia capturada.....	63

	pág.
4.5.3.8 Área de captura y potencia capturada.....	64
4.5.3.9 Polarización de la antena.....	66
4.5.3.10 Abertura del haz de la antena.....	66
4.5.3.11 Ancho de banda de antena.....	67
4.5.3.12 Impedancia de entrada a la antena.....	67
4.5.4 Antenas básicas.....	68
4.5.4.1 Doblete elemental.....	68
4.5.4.2 Dipolo de media onda.....	69
▶ Efectos del terreno sobre un dipolo de media onda.....	71
4.5.4.3 Antena conectada a tierra.....	74
4.5.5 Carga de la antena.....	75
4.5.5.1 Bobinas de carga.....	76
4.5.5.2 Carga por el extremo superior.....	76
4.5.6 Antenas de uso especial.....	77
4.5.6.1 Dipolo doblado.....	77
▶ Antena de Yagi-Uda.....	78
4.5.6.2 Antena de torniquete.....	79
4.5.6.3 Antena log-periódica.....	80
4.5.6.4 Antena de cuadro.....	82
4.5.6.5 Antenas de conjunto enfasado.....	83
4.5.6.6 Antena helicoidal.....	84
4.5.7 Conjuntos de antenas.....	86

	pág.
4.5.7.1 Red de radiación lateral.....	87
4.5.7.2 Red de radiación longitudinal.....	88
4.5.7.3 Conjunto no resonante: la antena rómbica.....	89
5. DESARROLLO DEL PLAN DE TRABAJO.....	90
5.1 RECONOCIMIENTO DEL EQUIPO UTILIZADO EN LA EMISORA.....	90
5.1.1 Equipos ubicados en el edificio donde funciona la emisora.....	90
5.1.1.1 Cuarto de producción.....	90
▶ Tocabdiscos.....	91
▶ Reproductor de casetes.....	91
▶ Reproductor de CD's.....	92
▶ Reproductor de Minidisc.....	92
▶ Amplificador de sonido de producción.....	92
▶ Consola mezcladora de sonido.....	93
▶ Computador de producción.....	93
▶ Computador servidor de la página web.....	93
▶ Amplificador de sonido de retorno.....	94
▶ Consolas receptoras de satélites.....	94
▶ Consola receptora del equipo móvil.....	94
▶ Enlace transmisor de FM.....	95
5.1.1.2 Cuarto de grabación.....	95
5.1.1.3 Cuarto de transmisión.....	97
▶ Reproductor de casetes.....	97

	pág.
▶ Reproductor de CD's.....	97
▶ Consola de retorno.....	98
▶ Reproductor de Minidisc.....	98
▶ Híbrido telefónico.....	98
▶ Preamplificador de micrófonos.....	99
▶ Consola mezcladora de sonido.....	99
▶ Computador de transmisión.....	99
▶ Mesa de trabajo.....	100
5.1.2 Equipos usados para transmisiones fuera del edificio donde funciona la emisora.....	100
5.1.2.1 Equipo Móvil.....	100
5.1.2.2 Consola híbrido telefónico.....	101
5.1.3 Equipos ubicados en Santa Bárbara (Transmisores).....	101
5.1.3.1 Enlace receptor FM.....	101
5.1.3.2 Compresor limitador.....	102
5.1.3.3 Monitor de modulación AM.....	102
5.1.3.4 Transmisor AM de 5 KW.....	103
5.1.3.5 Transmisor AM de emergencia de 1.5 KW.....	103
5.1.3.6 Caja de sintonía.....	104
5.1.3.7 Antena de transmisión AM.....	104
5.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y TÉCNICO.....	105
5.2.1 Reparación de cables de sonido y conectores.....	105

	pág.
5.2.2 Reparación de accesorios y consolas.....	106
5.2.3 Corrección de posición de una antena receptora satelital.....	106
5.2.4 Rectificación de la caja de sintonía en transistores.....	107
5.2.5. Asistencia técnica en la reparación del transmisor AM de 5 KW.....	107
5.3 PRESENTACIÓN DE PROYECTO PARA EL MEJORAMIENTO DEL EQUIPO MÓVIL.....	108
6. APORTES AL CONOCIMIENTO.....	109
7. RECOMENDACIONES A LA EMPRESA.....	111
8. CONCLUSIONES.....	112
BIBLIOGRAFÍA.....	113

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 4.1. Generación de AM.....	34
Figura 4.2. Espectro de voltajes para una onda DSBFC de AM.....	35
Figura 4.3. Generación de una envolvente de AM de DSBFC, representada en el dominio del tiempo.....	36
Figura 4.4. Radio de Galena.....	38
Figura 4.5. Diagrama de bloques de un receptor no coherente sintonizado de radiofrecuencias.....	39
Figura 4.6. Diagrama de bloques de un receptor superheterodino.....	41
Figura 4.7. Espectro de potencias para una onda de AM de DSBFC con una señal moduladora de frecuencia única.....	44
Figura 4.8. Sistema de transmisión diferencial o balanceado.....	45
Figura 4.9. Resultados de corrientes metálicas y longitudinales en una línea de transmisión balanceada.....	46
Figura 4.10. Sistema de transmisión asimétrico o desbalanceado.....	46
Figura 4.11. Balunes.....	47
Figura 4.12. Líneas de transmisión.....	48
Figura 4.13. Líneas de transmisión concéntricas o coaxiales.....	50
Figura 4.14. Conductor redondo aislado mostrando las líneas de flujo magnético, distribución de corrientes y el efecto de superficie.....	51
Figura 4.15. Fuente, carga, línea de transmisión y sus correspondientes ondas incidente y reflejada.....	53
Figura 4.16. Radiación de una línea de transmisión.....	54
Figura 4.17. Circuitos equivalentes a antenas.....	55

	pág.
Figura 4.18. Coordenadas esféricas.....	56
Figura 4.19. Gráficas de radiación.....	58
Figura 4.20. Circuito equivalente simplificado de una antena.....	61
Figura 4.21. Polarizaciones de antena.....	66
Figura 4.22. Abertura de haz de antena.....	67
Figura 4.23. Doblete elemental.....	69
Figura 4.24. Distribuciones idealizadas de voltaje y de corriente a lo largo de un dipolo de media onda.....	70
Figura 4.25. Curva de impedancia para un dipolo de media onda con alimentación central.....	70
Figura 4.26. Gráficas de radiación de un dipolo de media onda.....	71
Figura 4.27. Efectos del suelo sobre un dipolo de media onda.....	72
Figura 4.28. Gráfica de radiación vertical para un dipolo de media onda.....	73
Figura 4.29. Resistencia de radiación en función de la altura sobre el suelo.....	74
Figura 4.30. Antena aterrizada de cuarto de onda.....	75
Figura 4.31. Bobina de carga.....	76
Figura 4.32. Antena cargada por la terminal.....	77
Figura 4.33. Carga de antena de hilos horizontales.....	77
Figura 4.34. Dipolo doblado.....	78
Figura 4.35. Antena de Yagi-Uda.....	79
Figura 4.36. Antena de torniquete.....	80
Figura 4.37. Antena log-periódica.....	81

	pág.
Figura 4.38. Impedancia de entrada log-periódica en función de la frecuencia.....	82
Figura 4.39. Antena de cuadro.....	82
Figura 4.40. Antena de elementos enfasados.....	84
Figura 4.41. Antena helicoidal de radiación longitudinal.....	85
Figura 4.42. Red de antenas.....	87
Figura 4.43. Antena de radiación lateral.....	88
Figura 4.44. Antena de radiación longitudinal.....	88
Figura 4.45. Antena de rombo.....	89
Figura 5.1. Vista frontal del tocadiscos ubicado en el cuarto de producción	91
Figura 5.2. Vista frontal del reproductor de casetes ubicado en el cuarto de producción.....	91
Figura 5.3. Vista frontal del reproductor de CD's ubicado en el cuarto de producción.....	92
Figura 5.4. Vista frontal del reproductor de Minidisc ubicado en el cuarto de transmisión.....	92
Figura 5.5. Vista frontal del amplificador de sonido ubicado en el cuarto de transmisión.....	93
Figura 5.6. Consola mezcladora de sonido ubicada en el cuarto de producción.....	93
Figura 5.7. Vista frontal del amplificador de sonido que alimenta los parlantes de retorno.....	94
Figura 5.8. Consolas receptoras de señales satelitales.....	94
Figura 5.9. Vista frontal del enlace FM usado en la emisora.....	95
Figura 5.10. Mesa de trabajo con micrófonos ubicada en el cuarto de grabación.....	96

	pág.
Figura 5.11. Regleta de retorno instalada en la mitad de la mesa de trabajo.....	96
Figura 5.12. Vista frontal del reproductor de casetes ubicado en el cuarto de transmisión.....	97
Figura 5.13. Vista frontal del reproductor de CD's ubicado en el cuarto de transmisión.....	97
Figura 5.14. Vista frontal de la consola de retorno ubicada en el cuarto de transmisión.....	98
Figura 5.15. Vista frontal del reproductor de Minidisc ubicado en el cuarto de transmisión.....	98
Figura 5.16. Vista frontal del Híbrido telefónico usando en el cuarto de transmisión.....	99
Figura 5.17. Vista frontal del preamplificador de micrófonos.....	99
Figura 5.18. Consola mezcladora de sonido ubicada en el cuarto de producción.....	99
Figura 5.19. Equipo móvil utilizado para transmisiones inalámbricas.....	100
Figura 5.20. Antena de doble dipolo (accesorio del equipo móvil).....	101
Figura 5.21. Consola híbrido telefónico utilizado para transmisiones vía línea telefónica.....	101
Figura 5.22. Enlace receptor FM.....	102
Figura 5.23. Modelo de antena directiva de rejilla usada para los enlaces transmisor y receptor.....	102
Figura 5.24. Compresor limitador.....	102
Figura 5.25. Monitor de modulación AM.....	103
Figura 5.26. Transmisor AM de tubos al vacío de 5 KW.....	103
Figura 5.27. Transmisor AM de tubos al vacío de 1.5 KW.....	104

	pág.
Figura 5.28. Interior de la caja de sintonía utilizada para el acoplamiento transmisor-antena.....	104
Figura 5.29. Antena AM ubicada en Santa Bárbara.....	105

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 4.1. Distancia entre elementos para redes de Yagi.....	79
Tabla 4.2. Dipolo con directores y reflectores.....	89

RESUMEN

PRÁCTICA EMPRESARIAL EN LA EMISORA RADIO CATÓLICA METROPOLITANA 1450 AM.

MANUEL FELIPE ARANDA MARRUGO.

FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA.

ALEX ALBERTO MONCLOU SALCEDO.

PALABRAS CLAVES. Emisora, Radiodifusión, Antena, Transmisor, Enlace, Telecomunicación, AM.

La radiodifusión en Colombia es un área usualmente limitada a ingenieros especializados en el tema, basados mayormente en su experiencia personal y soportada en informaciones teóricas. A raíz de esto se tuvo la idea de brindar un documento que pudiera servir de guía a los interesados que quisiesen explorar en el tema, de manera que puedan informarse sobre los equipos involucrados en el desempeño de la tarea diaria de una emisora radial AM; así mismo, cómo solucionar los problemas usuales y algunos más complejos basándose en la experiencia personal que se obtuvo en el transcurso de la práctica.

Con el fin de lograr este conocimiento general de los equipos utilizados en la emisora y de sus reparaciones pertinentes, fue necesario basarse principalmente en el conocimiento Teórico y Práctico obtenido del aprendizaje en la universidad, y además de las indicaciones personales realizadas por el Ingeniero encargado de la emisora y supervisor de la práctica Eduardo Ortiz, logrando en gran parte la experiencia adquirida de su bagaje en el manejo del área de telecomunicaciones.

Como resultado de la realización de este documento basado en las experiencias adquiridas en el transcurso de la práctica, se espera que sirva de soporte para el desarrollo de posteriores estudios o investigaciones referentes al manejo y reparación de equipos de radiodifusión sonora y telecomunicaciones, aportando así una herramienta de estudio teórico obtenida de experiencias prácticas; pudiendo ser esta, la base para la presentación de soluciones que puedan mejorar el desempeño de equipos de radiodifusión.

SUMMARY

PRACTICA EMPRESARIAL EN LA EMISORA RADIO CATOLICA METROPOLITANA 1450 AM.

MANUEL FELIPE ARANDA MARRUGO.

FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA.

ALEX ALBERTO MONCLOU SALCEDO.

KEY WORDS. Station, Broadcasting, Antenna, Transmitter, Link, Telecommunication, AM.

Broadcasting in Colombia is an area usually limited to engineers specialized in the field, based largely on personal experience and supported by theoretical information. Following this was the idea of providing a document that could serve as a guide to those who wanted to explore the topic, so they can learn about the equipment involved in performing the daily work of an AM radio station; also, how to solve the usual problems and some more complex based on personal experience that was obtained in the course of practice.

To achieve this general knowledge of equipment used in the station and its relevant repairs, had to be based mainly on theoretical and practical knowledge gained from learning in college, and in addition to the information performed by the engineer responsible of the station and supervisor of practice Eduardo Ortiz, achieving much of the lessons learned from his experience in managing the telecommunications area.

As a result of the realization of this document based on the experience gained in the course of practice, is expected to provide support for the development of further studies or researches relating to the management and repair of equipment for radio and telecommunications, thereby providing a tool for theoretical study from practical experience gained; besides, this may be the basis for the presentation of solutions that can improve the performance of broadcasting equipment.

INTRODUCCIÓN

La comunicación radial, siendo reconocida actualmente como un área exclusiva de la electrónica (por lo menos en Colombia), debido a la relativamente poca cantidad de ingenieros especializados en ella, es un campo de la electrónica que posee ciertos vacíos informativos que la mayoría de las veces solo pueden ser llenados empíricamente a través del trabajo de campo, convirtiendo a la radiodifusión en un campo casi exclusivamente reservado a los expertos conocedores del área y a sus descendientes directos (familiares, colaboradores, entre otros), que adquieren la experiencia necesaria de ellos.

Esta práctica tiene como finalidad brindar una guía clara y completa que muestre los equipos básicos e indispensables manejados en una emisora radial de AM, además de dar a conocer los principales, usuales y no tan usuales inconvenientes técnicos a los cuales se debe enfrentar un ingeniero encargado en el área. De igual forma, entre los propósitos fundamentales de la práctica, se encuentra la adquisición de experiencia personal en el manejo, mantenimiento y reparación de equipos implementados en radiodifusión, y adquirir la capacidad de brindar soluciones para mejorar factores como recepción y calidad de la señal en un equipo destinado a transmisiones radiales en general.

1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

1.1 HISTORIA DE RADIO CATÓLICA METROPOLITANA

Después de incesantes esfuerzos realizados durante años para que en Bucaramanga existiera una estación radial que promoviera la evangelización de la cultura, gracias a la decidida gestión de Monseñor Víctor Manuel López Forero y Monseñor Néstor Navarro Barrera, el 05 de octubre de 2001, la Arquidiócesis de Bucaramanga y la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga, adquirieron por partes iguales la Emisora Radio Metropolitana de Santander, con el fin de convertirla en Radio Católica Metropolitana “La Buena Nueva en la Radio”, una voz al servicio de la evangelización en el oriente del país.

Radio Metropolitana de Santander, HJHH 1450 A.M., es una estación que fue asignada por el Ministerio de Comunicaciones Nacional hace más de 30 años bajo el nombre de Radio Sol del Oriente y cuya propiedad paso por reconocidos ciudadanos de la región, hasta el señor Pedro José Chinchilla Meza, siendo éste, quien cedió los derechos legales a los actuales propietarios.

El 01 de noviembre de 2001, Radio Católica Metropolitana, dio inicio a sus emisiones de prueba en la jornada de lunes a sábado de 8:00 a.m. a 12:00 m. y de 2:00 p.m. a 6:00 p.m., como periodo de preparación al 01 de diciembre de 2001, cuando Radio Católica Metropolitana da inicio a su programación definitiva en el horario de lunes a domingo de 6:00 a.m. a 10:00 p.m. con la presencia de una parrilla basada en ese momento en la proyección de la fusión entre fe y cultura, gracias a la participación de programas producidos por la Delegación de Comunicaciones de la Arquidiócesis de Bucaramanga, la Universidad Pontificia Bolivariana y el personal base de la emisora, así como, espacios producidos por la EWTN –Radio Católica Mundial– gracias a la donación del decodificador de satélite que realizó esta entidad, y que permitió la emisión en directo de la señal que se origina desde Birmingham – Alabama (EEUU).

Desde el inicio de sus transmisiones, Radio Católica Metropolitana se ha definido como una estación con proyección social, que permite la participación de la comunidad a través de la producción de programas de interés general. La programación se ha estructurado durante estos años en franjas de emisión, lo cual permite al oyente ubicar fácilmente sus espacios favoritos, ya sean musicales o de contenido.

Como parte del crecimiento y evolución de la estación, la participación de los productores ha venido creciendo a través de estudiantes, docentes, sacerdotes, diáconos, religiosos y religiosas, laicos, profesionales independientes, músicos, y muchas personas que con su esfuerzo llevan a miles de oyentes un mensaje de luz, esperanza y conocimiento. Dentro de esta labor han cumplido un papel importante

las Radios Amigas, tales como EWTN –Radio Católica Mundial–, Radio Vaticano, Radio Paz de Miami, Radio Exterior de España, **Deutsche Welle**, Radio Netherlands, Radio Canadá Internacional, Convenio Andrés Bello, y recientemente la RRUC –Red de Radios Universitarias de Colombia– y ARCA –Asociación Radial Católica–, de las cuales Radio Católica Metropolitana es socia fundadora.

Dentro de la evolución lógica de un proyecto de comunicación, en el año 2005 se observa la necesidad de actualizar y redefinir el Proyecto Comunicativo de Radio Católica Metropolitana, de esta manera se orienta la programación hacia la promoción de la Evangelización de la Cultura, como respuesta a la urgente necesidad de un mensaje más cercano a la realidad, y como un fuerte compromiso al llamado que hace el Magisterio de la Iglesia para responder concretamente a la aplicación de su doctrina social.

En este contexto, ha surgido Radio Católica Metropolitana como una verdadera opción para los habitantes de diferentes clases sociales, edades, ocupaciones, y lugares de esta región, quienes se han volcado al apoyo y patrocinio decidido de este proyecto de evangelización de la cultura, todos con el único propósito de llevar *La Buena Nueva en la Radio* a tantas personas que necesitan día a día una voz de esperanza, como camino de salvación.

1.2 IDENTIDAD CORPORATIVA

1.2.1 Misión. Radio Católica Metropolitana difunde y promueve la Evangelización de la Cultura, a través de una programación que anuncia la Buena Nueva con contenidos de calidad e innovación, que informa, educa y entretiene desde diferentes géneros y formatos permitiendo la participación de productores radiales en comunión con los principios y valores de la Iglesia Católica.

1.2.2 Visión. En el año 2010 Radio Católica Metropolitana será la estación líder de la Evangelización de la Cultura en el oriente colombiano, gestora de recursos que permitan su autosostenimiento, con una programación preferida y respaldada por una amplia audiencia que a través de ella interioriza los principios y valores de la Iglesia Católica.

1.3 VALORES CORPORATIVOS

La Verdad, para ser libres.

La Fe, como respuesta a los llamados de Dios.

La Esperanza, para ser proclamada.

La Responsabilidad, que nos compromete.

La Justicia, para ser vivida.

La Solidaridad, que nos mueve a vivir la caridad.

El Compromiso, con la paz y el desarrollo del País.

1.4 OBJETIVOS INSTITUCIONALES

1.4.1 General. Ofrecer espacios radiales que eduquen, informen y entretengan, a partir del uso adecuado y responsable del lenguaje radiofónico desde sus diferentes géneros y formatos.

1.4.2 Específicos.

- ▶ Desarrollar acciones de comunicación radiofónicas al servicio de la Iglesia Católica.
- ▶ Realizar procesos de capacitación permanente a los diferentes agentes de pastoral, involucrados en proyectos radiofónicos.
- ▶ Diseñar y ejecutar acciones permanentes de gestión y comercialización, que permitan el autosostenimiento de la emisora.
- ▶ Generar espacios de formación desde la producción radiofónica, que ponga a prueba la creatividad, capacidad investigativa, responsabilidad y sensibilidad social de la comunidad universitaria, a fin de marcar la diferencia con respecto a otras estaciones radiales, y cautivar nuevas audiencias.

1.5 VENTAJAS Y POSIBILIDADES DE RADIO CATÓLICA METROPOLITANA

Radio Católica Metropolitana como la emisora oficial de la Arquidiócesis de Bucaramanga y la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga, cuenta con 16 horas de programación variada; asegurando con sus contenidos el informar, educar, entretener e iluminar a los oyentes, dando primacía a un profundo humanismo en cuanto a la valoración de la verdad, de la caridad humana, de la solidaridad, de la justicia, del amor y de la esperanza, valores universales y culturales que no agotan la propuesta del evangelio mediante la incorporación de mensajes que pretenden responder a esa sed espiritual y sentido religioso que no ha desaparecido en las personas de hoy.

Como medio eclesial que evangeliza la cultura, permite la unidad de pensamientos y de esfuerzos en el respeto por la pluralidad de carismas que la Iglesia Arquidiocesana posee, dando participación a un número representativo de sacerdotes, comunidades de laicos, comunidades religiosas, grupos apostólicos, estudiantes y docentes universitarios que hacen presencia dentro de la programación que la estación ofrece diariamente.

Permanente Radio Católica Metropolitana, motiva y anima la creatividad y el entusiasmo de quienes están dispuestos y desean dedicar tiempo, conocimientos y esfuerzos en este trabajo de la radio, preocupándose por ofrecer una formación humana y profesional a los comunicadores y programadores para el ejercicio responsable de llevar la Buena Nueva con servicio de entrega y compromiso,

apoyando la labor pastoral que adelanta la Iglesia (Ética de las Comunicaciones Sociales 36).

Asegurando que no falte el contenido religioso y espiritual en su programación, Radio Católica Metropolitana sigue creando nuevas audiencias para evangelizar la cultura mediante la creación de enlaces y convenios a través del satélite de las Radios Internacionales como: EWTN -Radio Católica Mundial-, Radio Vaticano, Radio Paz de Miami, Radio Exterior de España, **Deutsche Welle** de Alemania, Radio Canadá Internacional, Asociación Radial Católica (ARCA), Red de Radios Universitarias de Colombia (RRUC), los servicios de Internet, y transmisiones vía satélite.

Nuestra estación cuenta con un cubrimiento que ha permitido el reconocimiento como única emisora en su género en esta región del país; constituyéndose en un canal a través del cual un gran porcentaje de católicos de esta localidad se informan de todos los pormenores en el acontecer de la Iglesia Católica a nivel local, nacional y mundial, posibilitando así la participación de los oyentes no solo como receptores del mensaje, sino también como interlocutores que participan y apoyan junto con laicos y sacerdotes, para crear y fomentar campañas de ayuda a Instituciones Sociales como Centros Penitenciarios de Reclusión, y de la misma Iglesia a través de donaciones (asilos, fundaciones, etc.), fortaleciendo una espiritualidad de comunión e impulsando la evangelización en estos lugares.

Enormes posibilidades ofrece Radio Católica Metropolitana para el apostolado, dando a conocer las verdades de la fe, transmitiendo e informando todo lo que hace parte de la vida de la Iglesia Católica, así como evangelizando la cultura con programas que educan y crean conciencia con una información oportuna y veraz, servicio a la comunidad y sano entretenimiento, promoviendo los valores culturales que conforman la identidad nacional y regional, fomentando la unidad y la solidaridad.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Adquirir experiencia en el mantenimiento y manejo de equipos de transmisión y recepción utilizados en radiodifusión, además de conocer e implementar métodos enfocados al mejoramiento y optimización de la transmisión de señales.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ▶ Conocer e identificar los equipos usados en la emisora Radio Católica Metropolitana.
- ▶ Aprender y llevar a cabo los mantenimientos preventivos periódicos necesarios para el óptimo funcionamiento de la emisora, y, en caso de ser necesario, llevar a cabo reparaciones inmediatas necesarias.
- ▶ Diseñar e iniciar la creación de un transmisor que mejore la recepción en el edificio donde se encuentra ubicado la emisora de la señal transmitida por el móvil utilizado para el cubrimiento de noticias, hechos o eventos que precisen ser realizados fuera del edificio.
- ▶ Adquirir experiencia en el mantenimiento, manejo y aplicaciones del equipo usado en radiodifusión.

3. DESCRIPCIÓN DE LA PRÁCTICA

3.1 DIAGNÓSTICO DE LA EMPRESA

La emisora “Radio Católica Metropolitana” es una empresa constantemente dedicada a radiodifusión pública por lo que requiere de ocasionales reparaciones técnicas y continuos mantenimientos preventivos para evitar presentar problemas que obliguen a la emisora a tener que salir del aire.

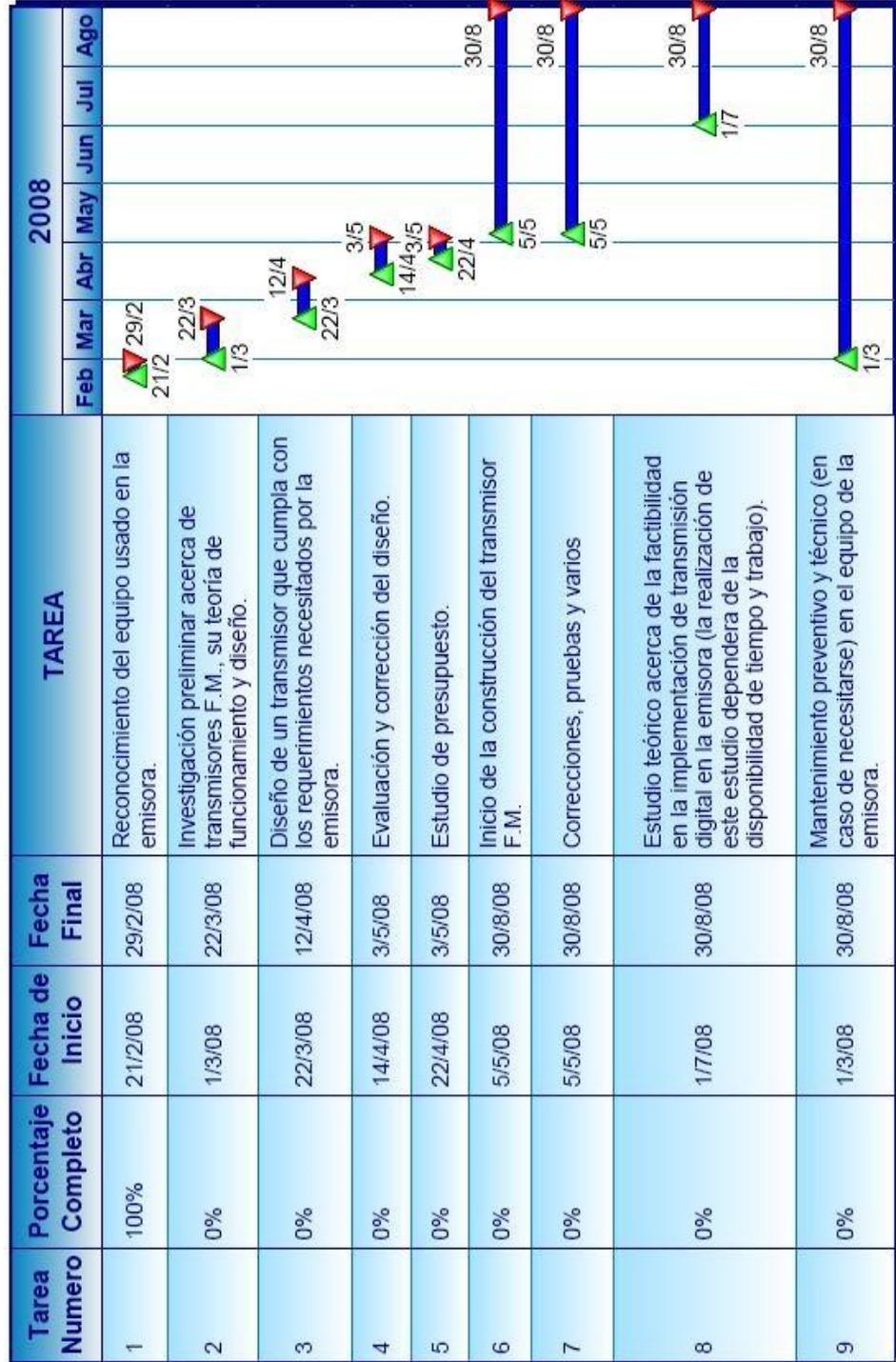
Además de lo previamente descrito, la emisora Radio Católica Metropolitana plantea otro problema que consiste en mejorar la transmisión realizada por un equipo móvil usado para el trabajo de campo que precise ser realizado fuera del edificio, por lo que se planea hacer el diseño y realización de una especie de repetidor (transmisor-receptor) ubicado estratégicamente sobre una superficie elevada que mejore la recepción de la señal enviada por el móvil. Cabe resaltar que en la emisora se propone solo enfocarse al diseño de un transmisor, ya que esta cuenta con un receptor que puede adecuarse y utilizarse para la implementación de este plan.

3.2 ACTIVIDADES A DESARROLLAR

- ▶ Reconocimiento del equipo usado en la emisora.
- ▶ Investigación preliminar acerca de transmisores FM, su teoría de funcionamiento y diseño.
- ▶ Diseño de un transmisor que cumpla con los requerimientos necesitados por la emisora.
- ▶ Evaluación y corrección del diseño.
- ▶ Estudio de presupuesto.
- ▶ Inicio de la construcción del transmisor FM
- ▶ Correcciones, pruebas y varios.
- ▶ Estudio teórico acerca de la factibilidad en la implementación de transmisión digital en la emisora.
- ▶ Mantenimiento preventivo y técnico en el equipo de la emisora.

Tabla 3.1. Cronograma de actividades planteado para la práctica.

Cronograma de Actividades (Emisora Radio Católica Metropolitana 1450 A.M.)



Fuente: Autor

1. MARCO TEÓRICO

4.1 HISTORIA DE LA RADIO

Aun cuando la radiotelefonía moderna nace solo en 1907, año en que el norteamericano Lee de Forest inventa el "audiófono", la historia de esta forma de comunicación se remonta, para los investigadores, a fines del siglo XIX y principios del siglo XX, cuando Guillermo Marconi aporta la telegrafía sin hilos. Concebida como fórmula de transmisión y recepción de voces, música y sonidos mediante ondas electromagnéticas, la RADIO surge como el punto culminante en la carrera de triunfos ejecutada por el ser humano a través de miles de años de historia, para resolver un problema surgido junto con la cohabitación del planeta por las primeras comunidades: la necesidad de intercomunicación a distancia entre los seres.

Esta larga carrera tiene sus primeros pasos insertados en la alborada de los siglos. Los chinos se anunciaron por un sistema de "telégrafo óptico" los avances de los tártaros. En 1190 antes de Cristo, Agamenón anunciaba por un sistema similar la caída de Troya. Unos trescientos años antes de Cristo también, los griegos se comunicaban entre los puestos militares las decisiones estratégicas y los resultados de las batallas mediante señales que correspondían a cada una de las letras de su alfabeto. Las señales de fuego o las señales de humo fueron socorridos sistemas de los primeros pueblos.

Las fórmulas y sistemas se multiplicaron por centenares en la historia de la humanidad, pero, buscando una antesala más inmediata, el despertar de las ciencias de telecomunicaciones se sitúa en pleno siglo XVIII, cuando, Obsesionado por las posibilidades de un descubrimiento fabuloso, *la electricidad*, el hombre busca en ese campo una solución para el problema milenario.

Como precursor de precursores, el primer hombre que surge en materia de historia de las telecomunicaciones es el de Georges Louis Lesage, físico suizo nacido en Ginebra, en 1724, de padres franceses. Médico y filósofo de cierta fama, Lesage (que se había doctorado en París) se dedicó por un tiempo a la enseñanza de las ciencias. En 1774, dando forma a una idea madurada durante catorce años, Lesage construye un verdadero "juguete científico", que no es otra cosa que el primer telégrafo. Aunque primitivo, el telégrafo de Lesage contuvo los elementos básicos del aparato definitivo. En términos simples, puede definirse como un conjunto de veinticuatro hilos, numeración que coincidió con las letras del abecedario, que en la estación transmisora se ponían en contacto, mediante un conductor electromagnético, llevando movimiento a los electrómetros de la llamada estación receptora.

Pero sería otro francés, Claude Chappe, nacido en Brulon, departamento de Sarthe, en 1763, quien construiría lo que puede ser considerado el primer telégrafo de señales o primer telégrafo óptico. Chappe, que abandonó la carrera eclesiástica para dedicarse por completo a la investigación y experimentación física, inventó en 1791 un aparato capaz de transmitir señales hasta doce kilómetros de distancia, tanto de día como de noche, y que se interpretaba mediante un código preestablecido. Inicialmente, Chappe utilizó una regla de madera que giraba en torno a un eje y que llevaba a su vez numerosas reglillas colgantes, que al moverse originaban las señales. Perfeccionado su creación, Chappe la presentó a la Convención Nacional con pleno éxito, recibiendo, un año más tarde, el encargo de unir por su sistema París y Lille. En 1800, Francia había instalado 29 de estas líneas, uniendo la casi totalidad de sus departamentos, y cinco años más tarde el sistema se utilizaba en toda Europa. Lamentablemente, a estas alturas el inventor descubrió que un siglo antes un inglés de apellido Hooke había exhibido ante la Royal Society un proyecto similar al suyo. Desilusionado, el físico francés se suicidó.

Sin embargo cuatro años después de la invención de Chappe, ya el mundo disponía de otros elementos de avanzada en materia de telecomunicaciones. El 16 de diciembre de 1795, la Academia de Ciencias Naturales y Artes de Barcelona había tomado conocimiento de una *Memoria sobre electricidad aplicada a la telegrafía*, de la que era autor el profesor del Instituto Clínico de Barcelona Francisco Salvá y Campillo. La memoria contenía la descripción del primer telégrafo eléctrico. Un año más tarde, la *Gaceta de Madrid* daba cuenta de que el aparato se había ensayado con todo éxito. Desgraciadamente, circunstancias políticas hicieron olvidar por esos días el invento de Salvá. El profesor español había aportado, además, otro importante invento, *el telégrafo de chispas*, que, como lo reconoció el propio Guillermo Marconi, fue el elemento verdaderamente precursor de la telegrafía sin hilos, ciencia que finalmente desplazaría los sistemas iniciados por Lesage, Chappe, el propio Salvá, y perfeccionados por Morse.

4.1.1 Ondas electromagnéticas. Para llegar al campo de la radiodifusión debe incursionarse, naturalmente, en el de otro elemento básico: el de las ondas electromagnéticas.

La existencia de las ondas electromagnéticas fue demostrada matemáticamente por primera vez, en 1873, por el escocés Clerk Maxwell, quién las definió como análogas a la luz. Pero noventa años más tarde ellas irían a ser descubiertas experimentalmente, abriéndose campo a su utilización. Este descubrimiento se debe al físico alemán Enrique Hertz (nacido en 1857) quién durante cuatro años se dedicó a verificar la teoría de Maxwell en el sentido de que ondas más largas que las de la luz podrían producir efectos electromagnéticos. Hertz partía de la suposición básica de que si se producía una descarga eléctrica entre dos terminales altamente potentes, el éter lograría reflejar esos impulsos. Los cuatro años que demoró la investigación fueron largos y agotadores para el tenaz físico

alemán. Finalmente, en 1886, anunciaba que había logrado transmitir señales de un cuarto a otro, en su propio laboratorio de Karlsruhe. Las ondas electromagnéticas, que serían conocidas definitivamente como *ondas hertzianas*, piedra angular de la telegrafía sin hilos, habían sido descubiertas.

De criterio eminentemente científico, Hertz no se detuvo a medir las posibilidades utilitarias de su gran descubrimiento, hecho que sí fue explorado por otros hombres de ciencia posteriores, entre ellos Guillermo Marconi. Por otra parte, los elementos de este invento eran muy simples. Para hacerlo operar bastaba utilizar un emisor apropiado y un receptor con arco de latón. El emisor apropiado para Hertz fue el carrete o bobina de Ruhmkorff, creación del físico alemán Heinrich Ruhmkorff, que permitía por medio de interrupciones muy rápidas desarrollar una corriente continua primaria de alta tensión en un hilo secundario muy fino.

En 1890 una nueva hazaña iba a facilitar el camino hacia la telegrafía sin hilos, Edouard Branly, físico francés nacido en 1846, inventó el *cohesor*, un pequeño tubo de vidrio lleno de limaduras de plata, que se utilizaría como detector para señales inalámbricas. En honor a la exactitud histórica, este tubo había sido descubierto ya en 1884 por el italiano Temístocles Calzecchi-Onesti, pero la invención se desconocía en Francia.

El último elemento que prepararía la serie que utilizaría finalmente Marconi fue la antena. Su invención corresponde a Alexander Stepanovitch Popoff, catedrático de Física de la Escuela Imperial Rusa de Torpedos, que funcionaba cerca de Kronstadt, próximo a San Petersburgo. Alexander S. Popoff se sintió atraído hacia nuevas experimentaciones, después de escuchar una conferencia ofrecida por Oliver Joseph Lodge sobre *La obra de Hertz*. Después de realizar algunos experimentos con los cohesores Branley construyó, en 1895, un receptor de alambre exterior, que descubrió en una monografía leída ante la Sociedad de Física y Química Rusa, el 7 de mayo del mismo año. El receptor de Popoff tuvo el mérito de poder captar perturbaciones eléctricas, incluidas las de carácter atmosférico. Sobre este punto, puede agregarse que en Rusia se considera a Popoff como el verdadero inventor de las radiocomunicaciones y celebra precisamente el 7 de mayo de cada año *El Día de la Radio*.

Finalmente, la idea de aplicar las ondas hertzianas a la telegrafía sin hilos perteneció al inglés William Crookes, quién adaptó el manipulador y el receptor de Morse. Dos años más tarde, Oliver Lodge enviaba señales a través del Canal de Bristol.

4.1.2 Marconi el primero. Todos los elementos anteriores serían recogidos finalmente por el genio de un solo hombre, considerado el verdadero e inmediato precursor de la radiotelefonía, y honrado como el inventor de la telegrafía sin hilos: Guillermo Marconi. Marconi coordinó hábilmente el carrete de Ruhmkorff, del excitador de Hertz, la antena del ruso Popoff y el cohesor de Branly. Con estos

cuatro elementos básicos puso en acción la transmisión en mayo de 1896, transmitiendo las primeras señales de un punto a otro. La experiencia se llevó a cabo en el patio de su propia casa, extendiéndose más tarde a un punto más allá de las colinas de la campiña que circundaba su hogar; la telegrafía sin hilos había sido inventada.

Poco después Marconi presentaba su invento en Inglaterra y se abocaba a perfeccionarlo con ayuda oficial. En 1907 hacía transmisiones primero a noventa metros, y luego a catorce kilómetros, uniendo con un mensaje Levernock Point y Brean Down.

The Marconi Wireless Telegraphy Signal Co. como se llamó en definitiva la empresa para utilizar comercialmente su invento, daría sucesivamente nuevos y sorprendentes golpes. En 1899 un radiograma cruzaba el Canal de la Mancha; en 1900, dos barcos franceses se comunicaban en plena navegación. Finalmente, el 12 de diciembre de 1901 se logra que un mensaje cruzara el Atlántico desde Poldhu, condado de Cornwall, en el sudoeste de Inglaterra, hasta la colina de Signal Hill, en la costa, cerca de Saint John, en Terranova.

Las comunicaciones en ondas de radio se hacían así, mediante sistema telegráfico, y para la época, tal posibilidad sería superior a cualquier expectativa. Pero había una meta próxima, a la que Marconi no logró llegar, la reproducción o retransmisión de la voz humana y el sonido.

4.1.3 La modulación. El problema que se suscitaría en seguida era, en términos simples, impartir a las ondas de radio las vibraciones que caracterizan los sonidos de cada letra, y el conjunto de ellas, las palabras. La forma y número de las vibraciones era variable, y era necesario descubrir la forma de imprimirlas a la onda de radio. En este punto entraban también a jugar los términos de amplitud y frecuencia.

Las investigaciones en torno a la solución de este punto fueron presurosas, y conformaron una desesperada carrera contra el tiempo. La palma de oro se la iba a llevar el norteamericano Lee de Forest al inventar *el audión*, que hacía posible la telefonía inalámbrica a largas distancias, y que le valiera el título de creador de la radiodifusión.

Antes de Forest, Thomas Alva Edison había observado que cualquier filamento que se calentara en el vacío emitía flujos de electrones susceptibles de ser regulados por algún tipo de rejilla. Esta idea había sido recogida por Ambrose Fleming (físico inglés, nacido en Lancaster en 1849), que en 1904, basándose en la teoría de Edison, había inventado el detector termoiónico o diodo que permitió la transmisión de la voz humana por medio de las ondas hertzianas, pero en forma rudimentaria.

Mientras Fleming laboraba en Inglaterra, en los Estados Unidos otro investigador se aproximaba a una etapa culminante en materia de telegrafía sin hilos. Era Lee de Forest (norteamericano, nacido en Council Bluffs, estado de Iowa, en 1873). Forest se había doctorado en ciencias en 1899, y había fundado una compañía de telegrafía sin hilos, donde mantenía un laboratorio experimental que dirigía personalmente. Forest se había fijado en las limitaciones del cohesor de Branly y había construido, por oposición, un detector electrolítico. Más tarde descubrió que una válvula de vacío, con filamento, placa y rejilla, no solo podría utilizarse como detector sino como amplificador y oscilador. Así reunió en una válvula termoiónica los electrones esenciales de detección, amplificación y oscilación, destinados a la emisión y recepción de ondas radiales. El tubo de radio fue inventado, y la radiotelefonía entraba, gracias a ello, a la edad adulta.

Los pasos siguientes estarían conformando una carrera acelerada de constante superación, pero sobre el descubrimiento básico de Lee de Forest, que paradójicamente ganó millones con su invento y los perdió también peleando judicialmente por la prerrogativa de su invención.

Entre las nuevas formulaciones se destaca el proceso de *regeneración* o de *superreacción*, inventado por el profesor E. H. Armstrong, de la Universidad de Columbia, quién logró reforzar el impulso inicial, devolviendo parte de la corriente producida en el circuito filamento-placa hacia la rejilla. Este sistema se puso en vigencia ya en 1914. Los técnicos se abocaron después a mejorar las cualidades de recepción, logrando nuevos sistemas, entre ellos el de montaje heterodino, que dispone de un circuito independiente, productor de corriente alterna de frecuencia ligeramente diferente a la de la corriente oscilante recibida por la antena.

Al sistema de radio conocido como AM, modulación de amplitud, se agregó más tarde el de FM, modulación de frecuencia, donde la amplitud de la onda se mantiene constante, mientras se hace variar la frecuencia. Las radiofrecuencias, por otra parte, se utilizaron con éxito posteriormente en transmisiones por teletipo, y especialmente en la llamada telefotografía. En este último campo es importante el aporte realizado ya a principios de siglo por el físico alemán Arthur Knorn (nacido en Breslau, en 1870), quién en 1903, comunicó oficialmente a la Academia de Ciencias de París que había inventado un dispositivo capaz de transmitir fotografías a distancia. El sistema se basaba en las diferencias de resistencia eléctrica de un elemento, el selenio, según la intensidad de la luminosidad a la que se era sometido. Las excitaciones que el selenio recibe son a su vez irradiadas por una antena transmisora, y captadas en el receptor por otro dispositivo, también sobre la base del selenio, que transforma las ondas en puntos de diversas intensidades, que conforman la fotografía transmitida originalmente. El invento de Knorn fue perfeccionado más tarde por otros investigadores, especialmente por el alemán Hittorf.

4.1.4 Onda radial servidora. La humanidad tuvo exacta conciencia de la utilidad de la comunicación radial cuando por primera vez fue posible socorrer, gracias a oportunos llamados radiales, a grandes grupos de personas en peligro, especialmente en accidentes marítimos. Es así como el 23 de enero de 1900, un llamado por radio al rompehielos *Yermak* permitió salvar a un pequeño grupo de pescadores en las cercanías de la isla Hegland, en el Mar Báltico; el 14 de abril de 1912, el famoso barco *Titanic* se hundía con 1.503 personas. Un oportuno llamado al *Carpathia* permitió salvar a 710 sobrevivientes.

Así como estas primeras intervenciones radiales, como olvidar las más representativas, como: *Un pequeño paso del hombre, un gran paso para la humanidad*, palabras de Neil Armstrong el año 1969, al posarse por primera vez el hombre sobre la Luna.

4.2 PRINCIPALES ASPECTOS DE LA RADIO

4.2.1 Regulación de la radio. La reglamentación para el uso de las frecuencias de Radio y todo lo relacionado con la operatividad legal del medio en Colombia, está consignada en los decretos del Gobierno Nacional números 1445, 1446 y 1447 de 1995.

4.2.2 Aspectos técnicos. Elementos que se consideran básicos en el ambiente técnico de la Radio.

4.2.2.1 La Señal. Los impulsos electromagnéticos que se transmiten por Radio o TV se llaman Señal. Es así que si una emisora tiene un buen registro sonoro en una región se dice que tiene buena señal y sus transmisiones se oyen con claridad en su área de influencia.

4.2.2.2 La frecuencia. Todas las señales se transmiten por ondas electromagnéticas denominadas *ondas de Radio*. Las frecuencias se miden en valores de miles de ciclos por segundo llamados Kiloherzt, o en millones de ciclos por segundo Megahertz. En Colombia el organismo rector de esta reglamentación es el Ministerio de Comunicaciones que le asigna a cada emisora su respectiva frecuencia para que su emisión no interfiera con otras estaciones. Una estación con una frecuencia asignada de 770.000 ciclos por segundo (770 KHZ) se identifica con el número 770 Khz en el dial.

4.2.3 Diferencias entre Radio AM y FM. Todas las ondas electromagnéticas tienen una altura o magnitud, que se conoce como amplitud de onda y tienen velocidad medida por la frecuencia con la cual una sucesión de ondas por minuto o por segundo, pasa por un punto determinado. Con base en estas dos dimensiones (amplitud y frecuencia) se han establecido dos sistemas separados para la transmisión de Ondas Sonoras.

4.2.3.1 AM (Amplitud Modulada). Sistema de transmisión de señales electromagnéticas por medio de la variación de la amplitud (magnitud) de la Onda Electromagnética, en contraste con la variación de la frecuencia. Este sistema permite que la señal se pueda escuchar a mayor distancia que la FM, especialmente en horas de la noche. El sistema AM opera entre los 535 y los 1.705 Kiloherztz.

4.2.3.2 FM (Frecuencia Modulada). Sistema de transmisión de Onda de Radio que se regula por la variación de la frecuencia y no por su amplitud, como ocurre con la AM. Una Onda de FM tiene 20 veces más el ancho de una Onda de AM, lo cual es la razón de su buena calidad en la señal, aunque ésta recorre menores distancias y es más sensible a los obstáculos físicos en el desplazamiento de dicha señal.

Aparte de la frecuencia, la recepción de una emisora está determinada también por las condiciones atmosféricas y por la potencia en kilovatios de la estación, que influirá necesariamente en el cubrimiento de una región determinada y en la calidad de la señal.

4.2.4 Potencia de operación - Sistema AM. A conformidad con la clasificación de las estaciones, según las disposiciones oficiales, los rangos de potencia de operación para estaciones de radio AM se encuentran establecidos de la siguiente manera:

4.2.4.1 Estación Clase A. (antes sub-banda Preferencial). La potencia debe ser superior a 10 KW e inferior a 250 KW. Comprende las frecuencias entre los 535 y los 1000 Kiloherztz.

4.2.4.2 Estación Clase B. (antes sub-banda Regional). La potencia debe ser superior a 5 KW e inferior a 10KW. Comprende las frecuencias entre los 1010 y los 1250 Khz.

4.2.4.3 Estación Clase C. (antes sub-banda Local). La potencia debe ser superior a 1 KW e inferior a 5 KW. Comprende las frecuencias entre los 1260 y los 1705 Khz.

4.2.4.4 Estación Clase D. (Frecuencia de interés público). La potencia máxima no debe exceder de 250 Watios.

NOTA: Las variaciones no deben ser superiores ni inferiores al 10% de la potencia autorizada.

4.2.5 Potencia de Operación FM. El servicio de Radiodifusión Sonora le asignó a la Frecuencia Modulada la Banda de 88 a 108 Megahertz.

4.2.5.1 Estación Clase A. Mínimo 15 KW y máximo 100 KW de la potencia radiada aparente en la dirección de máxima ganancia de antena.

4.2.5.2 Estación Clase B. Potencia superior a 5 KW e inferior a 15 KW.

4.2.5.3 Estación Clase C. Potencia mínima de 1 KW y máxima de 5 KW.

4.2.5.4 Estación Clase D. (de interés público) Potencia mínima de 100 Watios y máximo de 250 Watios.

4.3 AMPLITUD MODULADA

Amplitud modulada (AM) o modulación de amplitud (como se explicó anteriormente de una forma leve) es un tipo de modulación lineal que consiste en hacer variar la amplitud de la onda portadora de forma que esta cambie de acuerdo con las variaciones de nivel de la señal moduladora, que es la información que se va a transmitir.

4.3.1 Aplicaciones tecnológicas de la AM. Una gran ventaja de AM es que su demodulación es muy simple y, por consiguiente, los receptores son sencillos y baratos; un ejemplo de esto es la radio a galena. Otras formas de AM como la modulación por Banda lateral única o la Doble Banda Lateral son más eficientes en ancho de banda o potencia pero en contrapartida los receptores y transmisores son más caros y difíciles de construir, ya que además deberán reinsertar la portadora para conformar la AM nuevamente y poder demodular la señal transmitida.

La AM es usada en la radiofonía, en las ondas medias, ondas cortas, e incluso en la VHF: es utilizada en las comunicaciones radiales entre los aviones y las torres de control de los aeropuertos. La llamada *Onda Media* (capaz de ser captada por la mayoría de los receptores de uso doméstico) abarca un rango de frecuencia que va desde 550 a 1600 kHz.

4.3.2 Representación matemática de la modulación en AM. Al considerar la señal moduladora (señal del mensaje) como:

$$v_m(t) = E_m \sin(2\pi f_m t)$$

y señal portadora como:

$$v_c(t) = E_c \sin(2\pi f_c t)$$

La ecuación de la señal modulada en AM es la siguiente:

$$v_{am}(t) = E_c \sin(2\pi f_c t) + E_m \sin(2\pi f_m t) \sin(2\pi f_c t) \quad (4-1)$$

Donde: $v_{am}(t) =$ Señal modulada
 $m =$ Índice de modulación (suele ser menor a uno) $= E_s/E_p$.

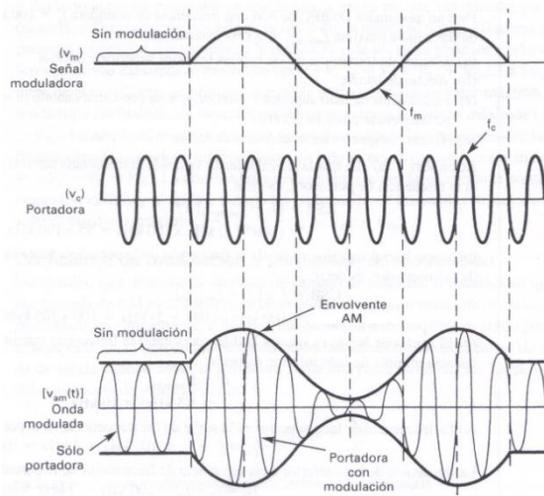
Básicamente, se trata de multiplicar el mensaje a transmitir $E_m \sin(2\pi f_m t)$ por la portadora sinusoidal y, a su vez, sumarle esa portadora sinusoidal. Reemplazando el valor E_m en términos de E_c y al mismo tiempo sacando factor común de este término y de $\sin(2\pi f_c t)$ en la ecuación 4-1 obtenemos:

$$v_{am}(t) = E_c [1 + m \sin(2\pi f_m t)] \sin(2\pi f_c t)$$

$$v_{am}(t) = \underbrace{[1 + m \sin(2\pi f_m t)]}_{\text{Forma de onda moduladora}} \underbrace{[E_c \sin(2\pi f_c t)]}_{v_c(t) \rightarrow \text{Señal portadora}} \quad (4-2)$$

El resultado de esta ecuación se aprecia en la figura 4.1.

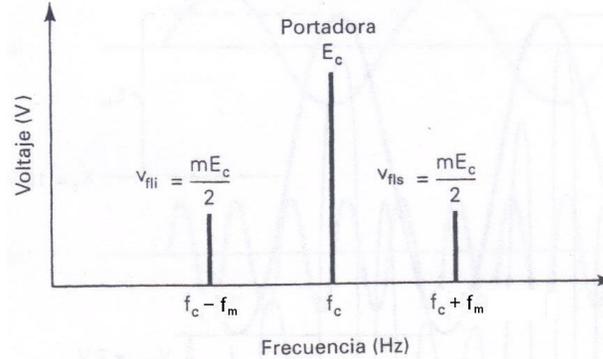
Figura 4.1. Generación de AM.



Fuente: TOMASI, Wayne. Sistemas de comunicaciones electrónicas.

4.3.3 Espectro de frecuencias y ancho de banda de AM. Un modulador de AM es un dispositivo no lineal. En consecuencia, hay mezclado no lineal, y la envolvente de salida es una onda compleja formada por un voltaje de DC, la frecuencia de la portadora y la suma ($f_c + f_m$) y diferencia ($f_c - f_m$) de las frecuencias, es decir, los productos cruzados. Las frecuencias de suma y diferencia están desplazadas respecto a la frecuencia de la portadora una cantidad igual a la frecuencia de la señal moduladora. Por consiguiente, un espectro de señal de AM contiene los componentes de frecuencia apartados f_m Hz a ambos lados de la portadora (ver fig. 4.2). Sin embargo, se debe hacer notar que la onda moduladora no contiene un componente de frecuencia que sea igual a la de la señal moduladora. El efecto de la modulación es trasladar la señal moduladora en el dominio de la frecuencia, de modo que se refleje simétricamente respecto a la frecuencia de la portadora.

Figura 4.2. Espectro de voltajes para una onda DSBFC de AM.



Fuente: TOMASI, Wayne. Sistemas de comunicaciones electrónicas.

Como se pudo observar en la ecuación 4-2, la forma de onda moduladora contiene un componente constante (1) y un componente sinusoidal con la frecuencia de la señal moduladora [$m \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_m \cdot t)$]. El siguiente análisis demostrará porqué el componente constante produce el componente de la portadora en la onda modulada, y el componente sinusoidal produce las frecuencias laterales. Si se hace la multiplicación en la ecuación 4-2 obtenemos:

$$v_{am}(t) = E_c \sin(2\pi f_c t) + [mE_c \sin(2\pi f_c t)][\sin(2\pi f_c t)]$$

Por consiguiente,

$$v_{am} = E_c \sin(2\pi f_c t) - \frac{mE_c}{2} \cos[2\pi(f_c + f_m)t] + \frac{mE_c}{2} \cos[2\pi(f_c - f_m)t] \quad (4-3)$$

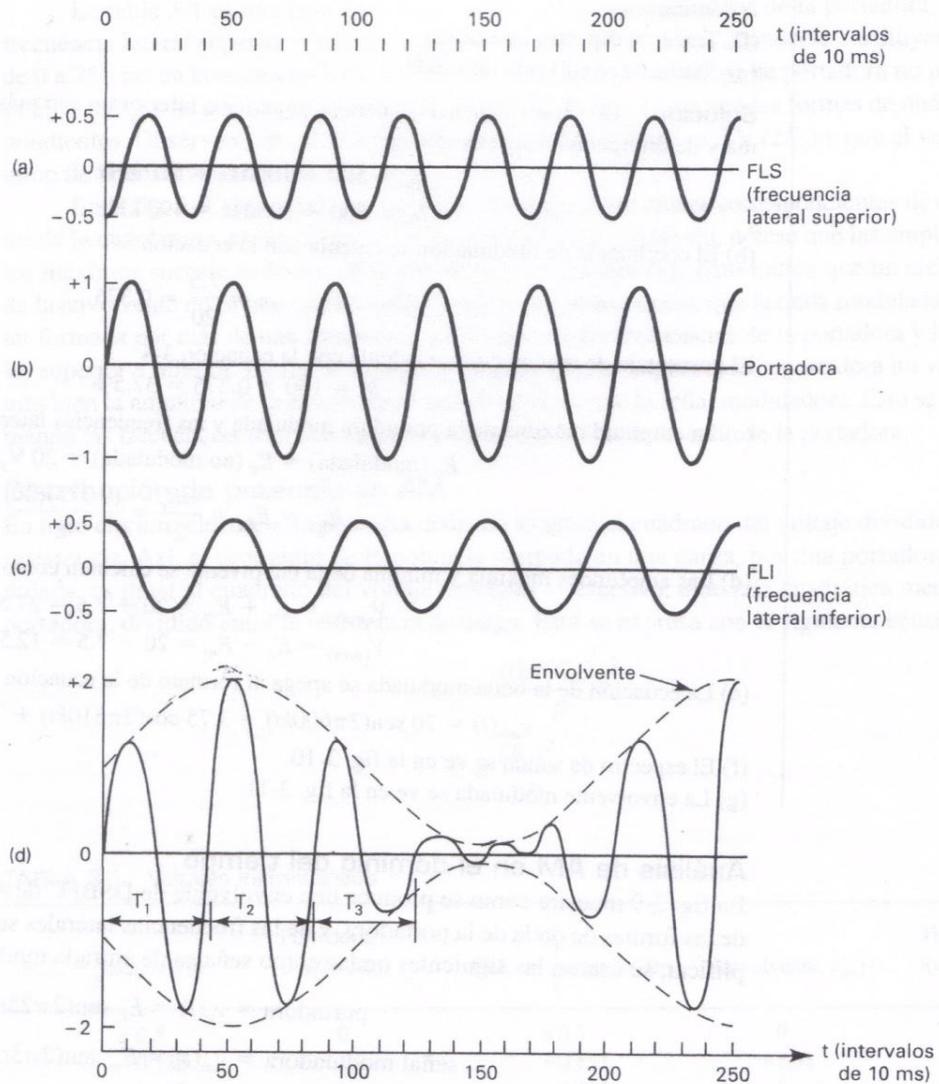
Donde: $E_c \sin(2\pi f_c t)$ = Señal portadora (volts).
 $-(mE_c/2) \cos[2\pi(f_c + f_m)t]$ = Señal de la frecuencia de lado superior (volts).
 $+(mE_c/2) \cos[2\pi(f_c - f_m)t]$ = Señal de la frecuencia de lado inferior (volts).

De la ecuación 4-3 se deben hacer notar algunas características interesantes acerca de la modulación de amplitud con portadora completa y doble banda lateral (DSBFC). La primera es que se observa que la amplitud de la portadora después de la modulación es igual a la que era antes de la modulación, E_c . Por consiguiente, la amplitud de la portadora no se altera por el proceso de modulación. En segundo lugar, que la amplitud de las frecuencias de lado superior e inferior depende tanto de la amplitud de la portadora como del coeficiente de modulación.

También, de acuerdo con la ecuación 4-3, es evidente la relación de fases relativas de la portadora y las frecuencias laterales superior e inferior. La componente portadora es una función seno positiva, la frecuencia lateral superior

es una función coseno negativa y la frecuencia de lado inferior es una función coseno positiva. También, la envolvente es una forma de onda repetitiva. Así, al principio de cada ciclo de la envolvente, la portadora está desfasada 90° con respecto a las frecuencias laterales superior e inferior, y éstas están desfasadas 180° entre sí. Esta relación de fases se puede ver en la figura 4.3 para $f_c = 25\text{Hz}$ y $f_m = 5\text{Hz}$.

Figura 4.3. Generación de una envolvente de AM de DSBFC, representada en el dominio del tiempo: (a) $-\frac{1}{2}\cos(2\pi 30t)$; (b) $\sin(2\pi 25t)$; (c) $+\frac{1}{2}\cos(2\pi 20t)$; (d) suma de (a), (b) y (c).



Fuente: TOMASI, Wayne. Sistemas de comunicaciones electrónicas.

4.3.4 Recepción y demodulación en AM. Hay dos tipos básicos de radiorreceptores: *coherentes* y *no coherentes*. Con un receptor coherente o *síncrono*, las frecuencias generadas en el receptor, que se usan para

demodulación se sincronizan con las frecuencias de un oscilador, generadas en el transmisor (el receptor debe tener algún medio de recuperar la portadora recibida y sincronizarse a ella). Para ello, es necesario conocer la frecuencia de la portadora f_c y, en ocasiones, también la fase, lo que requiere la utilización de un PLL (*Phase Lock Loop*). En este otro supuesto, no es necesario que el índice de modulación sea menor que la unidad, o lo que es lo mismo, no es necesario que la envolvente $E_c + m \sin(2\pi f_m t)$ sea siempre positiva.

El demodulador coherente utiliza la siguiente propiedad matemática de la función seno ($\sin^2 \theta = \frac{1 - \cos 2\theta}{2}$) para multiplicar la función $v_{am}(t)$ por la portadora:

$$v_{am_D}(t) = v_{am}(t) \sin(2\pi f_c t) = E_c [1 + m \sin(2\pi f_m t)] [\sin(2\pi f_c t)] [\sin(2\pi f_c t)]$$

$$v_{am_D}(t) = E_c [1 + m \sin(2\pi f_m t)] \sin^2(2\pi f_c t) = E_c [1 + m \sin(2\pi f_m t)] \left[\frac{1 - \cos(4\pi f_c t)}{2} \right]$$

$$v_{am_D}(t) = E_c \left[\frac{1}{2} + \frac{m \sin(2\pi f_m t)}{2} - \frac{\cos(4\pi f_c t)}{2} - \frac{m \sin(2\pi f_m t) \cos(4\pi f_c t)}{2} \right]$$

A partir de esto, con un filtro paso-bajo y un supresor de continua, se obtiene la señal $\sin(2\pi f_m t)$.

Con los receptores no coherentes o *asíncronos*, no se generan frecuencias en el receptor, o bien las frecuencias que se usan para demodular son totalmente independientes de la frecuencia de la portadora del transmisor. A la *detección no coherente* se le llama con frecuencia *detección de envolvente*, porque la información se recupera a partir de la onda recibida, detectando la forma de la envolvente modulada.

4.3.4.1 Radio de Galena. Un tipo de receptor a considerar en este grupo, de hecho el más simple, es sólo posible en caso de que se cumpla la siguiente condición:

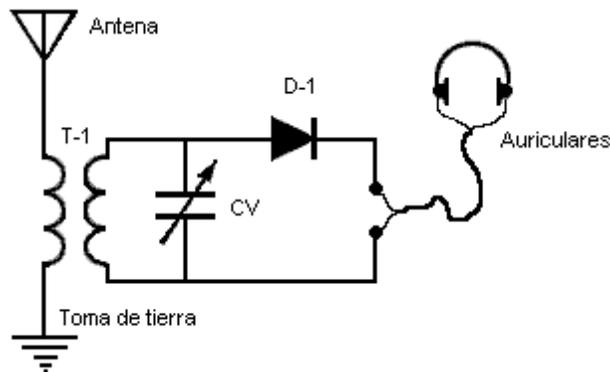
$$\| \sin(2\pi f_m t) \| \leq m$$

En este supuesto, la envolvente de la señal modulada, esto es $E_c + m \sin(2\pi f_m t)$ es siempre positiva y para recuperar la señal moduladora es suficiente con un receptor que capte dicha envolvente. Esto se consigue con un simple circuito rectificador con carga capacitiva. Así funcionaba la pionera radio de galena.

Una radio de galena es un receptor de radio que emplea un cristal semiconductor de sulfuro de plomo, también llamado *galena* para captar las señales de radio de AM. El diodo detector (D-1, fig. 4.4) estaba constituido por una pequeña piedra de galena sobre la que hacía contacto un fino hilo metálico al que se denominaba

barba de gato. Este componente es el antecesor inmediato de los diodos de germanio o silicio utilizados actualmente.

Figura 4.4. Radio de Galena.



Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Radio_a_galena.

El funcionamiento de este receptor, solamente apto para la recepción de AM, es bastante simple. Las ondas electromagnéticas que alcanzan la antena generan en esta mediante el fenómeno de la inducción electromagnética una fuerza electromotriz que hace recorrer una corriente por el devanado primario del transformador T-1 y que se induce en el secundario, el cual tiene un condensador variable (CV) en paralelo.

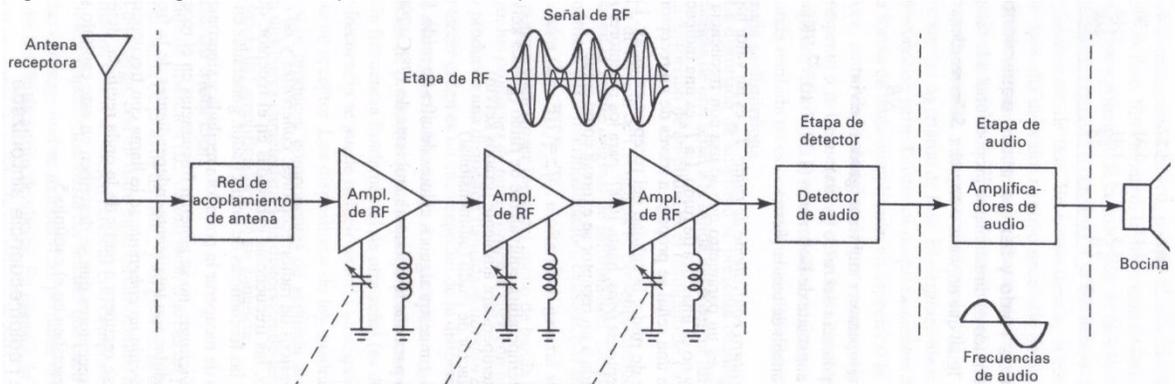
A causa del fenómeno de resonancia se produce un máximo de tensión para la frecuencia de resonancia del circuito paralelo formado por el devanado secundario y el condensador variable. Precisamente por el hecho de ser variable el condensador CV podemos variar la frecuencia de resonancia del conjunto, haciéndola coincidir con las de las distintas emisoras que en cada momento queramos recibir.

El resto es sencillo, al estar las señales moduladas en amplitud el nivel de la onda portadora de alta frecuencia variará en función de la señal moduladora de baja frecuencia (voz, música, etc.) que se transmite, con lo que a la salida del diodo D-1 obtendremos una tensión que variará de la misma forma que la moduladora y por tanto reproducción de la baja frecuencia original, con lo que podremos oírla en los auriculares. La radio de galena recibe toda la energía necesaria para la demodulación de las propias ondas de radio, por lo cual no requiere de una fuente adicional de alimentación. Esto lleva, sin embargo, a una baja intensidad de la señal auditiva, ya que carece de amplificación.

4.3.4.2 Receptor de radiofrecuencia sintonizada. El *receptor de radiofrecuencia sintonizada* (TRF, de *tuned radio-frequency*) fue una de las primeras clases e receptores de AM. Es probable que los receptores TRF sean los de diseño más sencillo que se consiguen en la actualidad; sin embargo tienen

algunos inconvenientes que limitan su empleo a algunas aplicaciones. La figura 4.5 muestra un diagrama de bloques de un radioreceptor TRF de tres etapas que incluye una etapa de RF, una etapa detectora y una etapa de audio. En general, se requieren dos o tres amplificadores de RF para filtrar y amplificar la señal recibida hasta un nivel suficiente para excitar la etapa de detector. El detector convierte las señales de RF en forma directa a información, y la etapa de audio amplifica las señales de información hasta un nivel útil.

Figura 4.5. Diagrama de bloques de un receptor no coherente sintonizado de radiofrecuencias.



Fuente: TOMASI, Wayne. Sistemas de comunicaciones electrónicas.

Aunque los receptores TRF son sencillos y tienen sensibilidad alta, tienen tres desventajas definidas que limitan su utilidad a aplicaciones de un solo canal y baja frecuencia. La principal desventaja es que su ancho de banda es inconsistente, y varía con la frecuencia central cuando se sintoniza dentro de un amplio margen de frecuencias de entrada. Esto se debe a un fenómeno llamado efecto película (*skin effect*). A las radiofrecuencias, el flujo de corriente se limita a la zona externa de un conductor, y entonces, mientras mayor sea la frecuencia, el área efectiva es menor y la resistencia es mayor. En consecuencia, el *factor calidad* ($Q = R/X_L$) de los circuitos tanque permanece relativamente constante dentro de un amplio margen de frecuencias, haciendo que aumente el ancho de banda (f/Q) con la frecuencia. Como resultado, la selectividad del filtro de entrada cambia dentro de los límites apreciables de frecuencias de entrada. Si el ancho de banda se ajusta al valor deseado para señales de RF de baja frecuencia, será excesivo para señales de alta frecuencia.

La segunda desventaja de los receptores TRF es la inestabilidad debida a la gran cantidad de amplificadores de RF, todos sintonizados a la misma frecuencia central. Los amplificadores de varias etapas para alta frecuencia son susceptibles de oscilar. Este problema se puede reducir algo sintonizando cada amplificador a una frecuencia un poco distinta, ligeramente arriba o debajo de la frecuencia central deseada. A esta técnica se le llama sintonía escalonada. La tercera desventaja de los receptores TRF es que sus ganancias no son uniformes dentro de un margen muy amplio de frecuencias, debido a las relaciones L/C no

uniformes de los circuitos tanque acoplados con transformador en los amplificadores de RF.

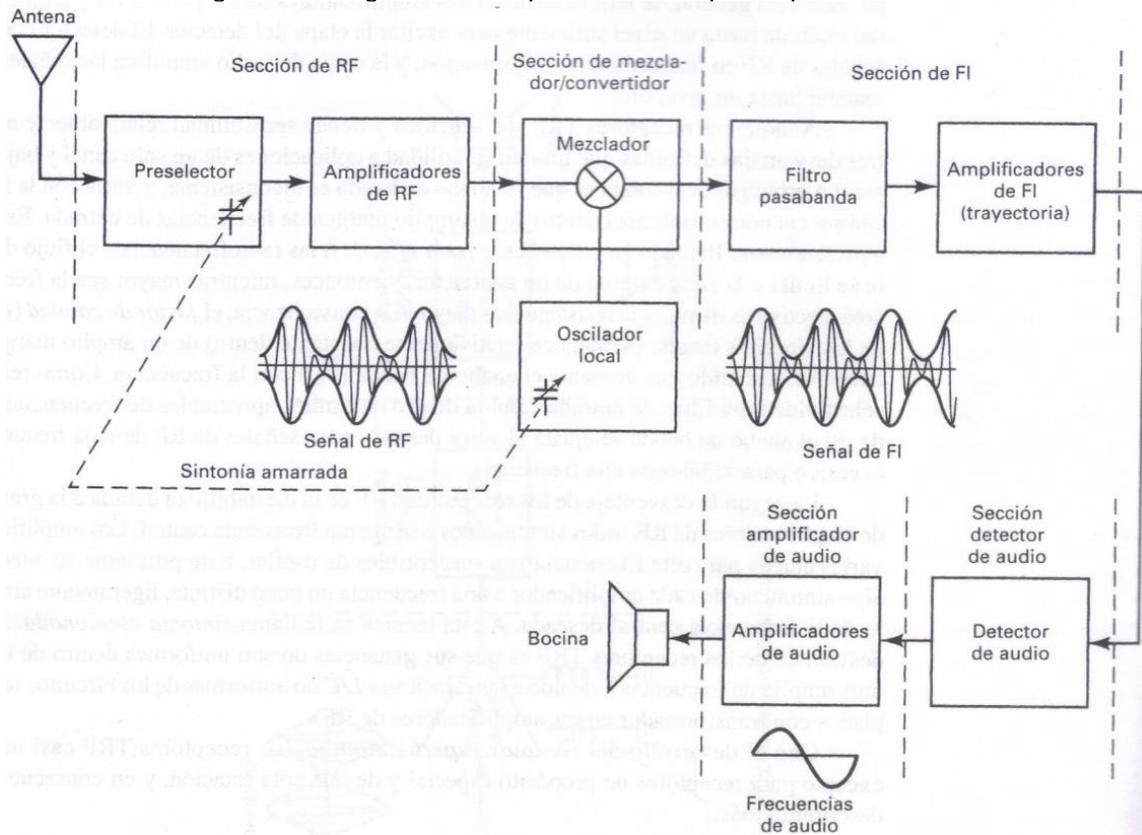
4.3.4.3 Receptor superheterodino. La selectividad no uniforme del TRF condujo al desarrollo del *receptor superheterodino*, cerca del final de la Primera Guerra Mundial. Aunque la calidad del receptor superheterodino ha mejorado mucho respecto a su diseño original, no ha cambiado mucho su configuración básica, y se sigue usando hoy en una gran variedad de servicios de radiocomunicación. Se ha seguido usando porque su ganancia, selectividad y sensibilidad son mejores que las de otras configuraciones de receptor.

Heterodinar quiere decir mezclar dos frecuencias en un dispositivo no lineal, o trasladar una frecuencia a otra usando mezclado no lineal. En la figura 4.6 se ve un diagrama de bloques de un receptor superheterodino no coherente. En esencia, un receptor superheterodino tiene cinco secciones: la sección de RF, la sección de mezclador/convertidor, la sección de FI, la sección del detector de audio y la sección del amplificador de audio.

● **Sección de RF.** La sección de RF consiste en general en una etapa preseleccionadora y en una amplificadora. Pueden ser circuitos separados, o un solo circuito combinado. El preseleccionador es un filtro pasabanda sintonizado a banda ancha, con frecuencia central ajustable, que se sintoniza con la frecuencia portadora deseada. El objetivo principal del preseleccionador es proporcionar suficiente límite inicial de banda para evitar que entre una radiofrecuencia específica no deseada, llamada *frecuencia imagen*. El preseleccionador también reduce el ancho de banda de ruido del receptor, y proporciona paso inicial para reducir el ancho general de banda al mínimo requerido para pasar las señales de información. El amplificador de RF determina la sensibilidad del receptor (es decir, establece el umbral de señal). También, como el amplificador de RF es el primer dispositivo activo que encuentra una señal recibida, es el principal generador de ruido y por consiguiente es un factor predominante para determinar la cifra de ruido del receptor. Un receptor puede tener uno o varios amplificadores de RF, o puede no tener ninguno, dependiendo de la sensibilidad deseada. Algunas de las ventajas de incluir amplificadores de RF en un receptor son las siguientes:

- Mayor ganancia y por consiguiente mayor sensibilidad.
- Mejor rechazo de frecuencia imagen.
- Mejor relación de señal a ruido.
- Mejor selectividad.

Figura 4.6. Diagrama de bloques de un receptor superheterodino.



Fuente: TOMASI, Wayne. Sistemas de comunicaciones electrónicas.

- **Sección de mezclador/convertidor.** En la sección de mezclador/convertidor está una etapa de oscilador de radiofrecuencia (que se suele llamar *oscilador local*) y una etapa de mezclador/convertidor (que se suele llamar *primer detector*). El oscilador local puede ser cualquier circuito oscilador conocido, dependiendo de la estabilidad y la exactitud deseadas. La etapa de mezclador es un dispositivo no lineal, y su objetivo es convertir las radiofrecuencias en frecuencias intermedias (traslación de RF a FI). El heterodinado se lleva a cabo en la etapa de mezclador, y las radiofrecuencias se bajan a frecuencias intermedias. Aunque las frecuencias de portadora y de las bandas laterales se van de RF a FI, la forma de la envolvente permanece igual y, en consecuencia, la información original que contiene la envolvente permanece sin cambios. Es importante observar que, aunque la portadora y las frecuencias laterales superior e inferior cambian de frecuencia, el ancho de banda no cambia en el proceso de heterodinado. La frecuencia intermedia más usada en los receptores de la banda de emisión en AM es 455 KHz.
- **Sección de FI.** La sección de FI consiste en una serie de amplificadores y filtros pasabanda de FI que se llama con frecuencia la *trayectoria de FI*. La mayor parte de la ganancia y la selectividad del receptor se hacen en la sección de FI. La

frecuencia central y el ancho de banda de FI son constantes para todas las estaciones, y se escogen de tal manera que su frecuencia sea menor que cualquiera de las señales de RF que se van a recibir. La FI siempre tiene menor frecuencia que la RF, porque es más fácil y menos costoso fabricar amplificaciones estables de alta ganancia para señales de baja frecuencia. Por lo anterior no es raro ver un receptor con cinco o seis amplificadores de FI y un solo amplificador de RF, o quizá sin amplificador de RF.

🕒 **Sección de detector.** El objetivo de la sección de detector es regresar las señales de FI a la información de la fuente original. El detector se suele llamar *detector de audio*, o *segundo detector* en receptores de banda de emisión, porque las señales de información tienen frecuencias de audio. El detector puede ser tan sencillo como un solo diodo, o tan complejo como un lazo de fase cerrada o un demodulador balanceado.

🕒 **Sección de amplificador de audio.** La sección de audio abarca varios amplificadores de audio en cascada, y una o más bocinas o altoparlantes. La cantidad de amplificadores que se usen depende de la potencia deseada en la señal de audio.

4.3.5 Distribución de potencia en AM. En todo circuito eléctrico, la potencia disipada es igual al cuadrado del voltaje dividido entre la resistencia. Así, el promedio de la potencia disipada en una carga, por una portadora no modulada, es igual al cuadrado del voltaje rms (rms = efectivo, o de raíz cuadrática media) de la portadora, dividido entre la resistencia de carga. Esto se expresa con la siguiente ecuación:

$$P_c = \frac{(0.707 E_c)^2}{R} = \frac{(E_c)^2}{2R} \quad (4-4)$$

Siendo: P_c = Potencia de la portadora (watts).
 E_c = Voltaje máximo de la portadora (volts).
 R = Resistencia de la carga (ohms).

Las potencias en las bandas laterales superior e inferior se determinan con la siguiente ecuación:

$$P_{bls} = P_{bli} = \frac{(mE_c/2)^2}{2R}$$

En donde $mE_c/2$ es el voltaje máximo de las frecuencias laterales superior e inferior. Al reordenar esta ecuación se obtiene:

$$P_{bls} = P_{bli} = \frac{m^2 E_c^2}{8R} = \frac{m^2}{4} \left(\frac{E_c^2}{2R} \right) \quad (4-5)$$

En donde: P_{bls} = Potencia de la banda lateral superior (watts).
 P_{bli} = Potencia de la banda lateral inferior (watts).

Al sustituir la ecuación 4-4 en la ecuación 4-5, se obtiene:

$$P_{bls} = P_{bli} = \frac{m^2 P_c}{4} \quad (4-6)$$

Es evidente, en la ecuación 4-6, que para un coeficiente de modulación $m = 0$, la potencia en las bandas laterales superior e inferior es cero, y que la potencia total transmitida es tan sólo la potencia de la portadora.

La potencia total en una onda de amplitud modulada es igual a la suma de las potencias de la portadora y las de la banda lateral superior e inferior. La potencia total en una envolvente DSBFC de AM es:

$$P_t = P_c + P_{bls} + P_{bli} \quad (4-7)$$

En donde: P_t = Potencia total de una envolvente DSBFC de AM (watts).
 P_c = Potencia de la portadora (watts).
 P_{bls} = Potencia de la banda lateral superior (watts).
 P_{bli} = Potencia de la banda lateral inferior (watts).

Al sustituir la ecuación 4-6 en la 4-7 se obtiene:

$$P_t = P_c + \frac{m^2 P_c}{4} + \frac{m^2 P_c}{4} = P_c + \frac{m^2 P_c}{2}$$

En donde $(m^2 P_c)/2$ es la potencia total de las bandas laterales. Al sacar P_c como factor común:

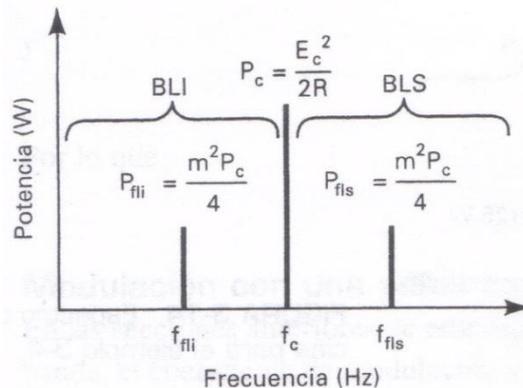
$$P_t = P_c \left(1 + \frac{m^2}{2} \right)$$

De acuerdo con el análisis anterior, se puede ver que la potencia de portadora en la onda modulada es igual que en la onda no modulada. Por tanto, es evidente que la potencia de la portadora no se afecta en el proceso de modulación. También, como la potencia total en la onda de AM es igual a la suma de las potencias de la portadora y de las bandas laterales, la potencia total en una envolvente de AM aumenta con la modulación, es decir, cuando aumenta m aumenta P_t .

La figura 4.7 muestra el espectro de potencias de una onda DSBFC de AM. Nótese que con 100% de modulación, la potencia máxima en la banda lateral

superior e inferior, es igual a la cuarta parte de la potencia en la portadora. Así, la potencia máxima total de las bandas laterales es igual a la mitad de la potencia de la portadora. Una de las desventajas más importantes de la transmisión DSBFC de AM es que la información está contenida en las bandas laterales, aunque la mayor parte de la potencia se desperdicia en la portadora. En realidad, no se desperdicia totalmente, porque permite usar circuitos demoduladores relativamente sencillos y poco costosos en el receptor, lo cual es la ventaja principal de la DSBFC de AM.

Figura 4.7. Espectro de potencias para una onda de AM de DSBFC con una señal moduladora de frecuencia única.



Fuente: TOMASI, Wayne. Sistemas de comunicaciones electrónicas.

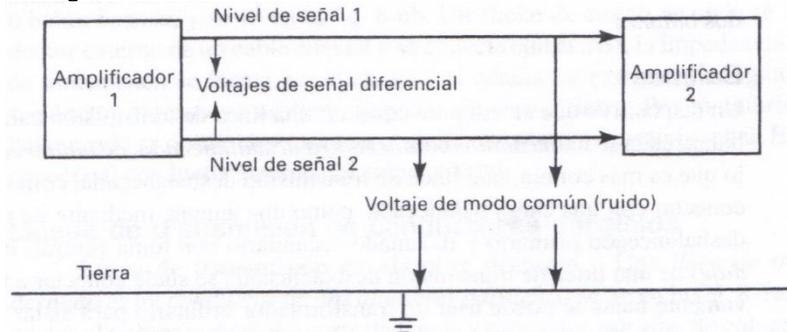
4.4 LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

Una línea de transmisión es un sistema de conductores metálicos para transferir energía eléctrica de un punto a otro. En forma más específica, una línea de transmisión consiste en dos o más conductores separados por un aislador, como por ejemplo un par de alambres o un sistema de pares de alambres. Una línea de transmisión puede tener desde unas pocas pulgadas hasta varios miles de millas de longitud. Se pueden usar las líneas de transmisión para propagar DC o AC de baja frecuencia, como la corriente eléctrica de 60 ciclos y las señales de audio; también se pueden usar para propagar frecuencias muy altas, como las señales de frecuencia intermedia y de radiofrecuencia. Cuando propagan señales de baja frecuencia, el comportamiento de una línea de transmisión es bastante sencillo y muy predecible; sin embargo, cuando se propagan señales de alta frecuencia se complican las características de las líneas de transmisión, y su comportamiento es algo especial.

4.4.1 Tipos de líneas de transmisión. En general, las líneas de transmisión se pueden clasificar en *balanceadas* y *desbalanceadas*. En las líneas balanceadas de dos alambres ambos conductores llevan corriente; uno lleva la señal y otro es el regreso. Este tipo de transmisión se llama transmisión *diferencial* o *balanceada* de señal. La señal que se propaga por el alambre se mide como diferencia de

potencial entre los dos conductores. La figura 4.8 muestra un sistema de transmisión balanceado. Ambos conductores de una línea balanceada conducen corriente de señal, y las corrientes tienen igual magnitud con respecto a la masa o tierra eléctrica pero viajan en direcciones opuestas. Las corrientes que fluyen en direcciones opuestas en un par balanceado de alambres se llaman *corrientes de circuito metálico*. Las corrientes que tienen las mismas direcciones se llaman *corrientes longitudinales*. Un par balanceado de alambres tiene la ventaja de que la mayor parte del ruido de interferencia (que a veces se llama *voltaje de modo común*) se induce por igual en ambos conductores, y produce corrientes longitudinales que se anulan en la carga. La anulación de las señales de modo común se llama rechazo de modo común (CMR, de *common-mode rejection*). Son comunes las relaciones de rechazo de modo común (CMRR, de *common-mode rejection ratio*) de 40 a 70 dB.

Figura 4.8. Sistema de transmisión diferencial o balanceado.



Fuente: TOMASI, Wayne. Sistemas de comunicaciones electrónicas.

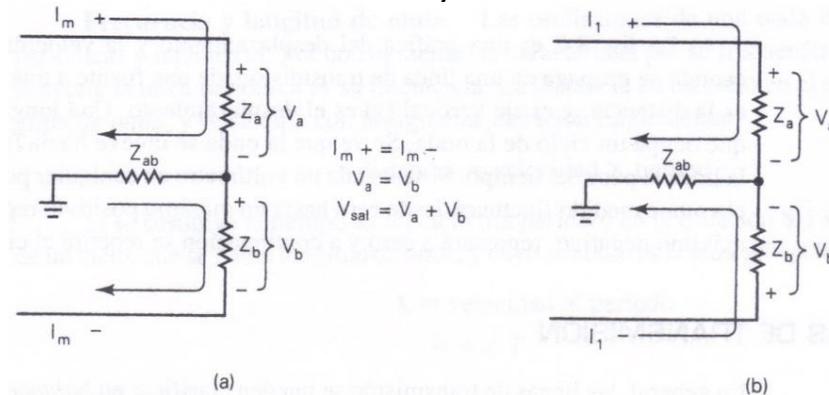
Todo par de alambres puede trabajar en el modo balanceado, siempre que ninguno de ellos esté al potencial de tierra. Aquí se incluye el cable coaxial que tiene dos conductores centrales y un blindaje. En general, el blindaje se conecta a una tierra para evitar que la interferencia estática penetre a los conductores centrales.

La figura 4.9 muestra el resultado de las corrientes metálicas y longitudinales en una línea de transmisión. Se ve que las corrientes longitudinales, que se producen con frecuencia debido a la interferencia de estática, se anulan en la carga.

En una línea de transmisión desbalanceada, un alambre está al potencial de tierra, mientras que el otro tiene el potencial de una señal. A este tipo de transmisión se le llama transmisión de señal *desbalanceada* o *asimétrica*. En la transmisión desbalanceada, el alambre de tierra puede ser también la referencia para otros conductores portadores de señal. Si éste es el caso, el alambre de tierra debe ir donde vaya cualquiera de los conductores de señal. A veces esto origina problemas, porque un tramo de alambre tiene resistencia, inductancia y capacitancia y, en consecuencia, puede existir una pequeña diferencia de potencial entre dos puntos cualesquiera en el conductor de tierra. En

consecuencia, ese conductor no es un punto de referencia perfecto, y puede tener ruido inducido en él. Un cable coaxial normal de dos conductores es una línea desbalanceada. El segundo conductor es el blindaje, que casi siempre se conecta a tierra.

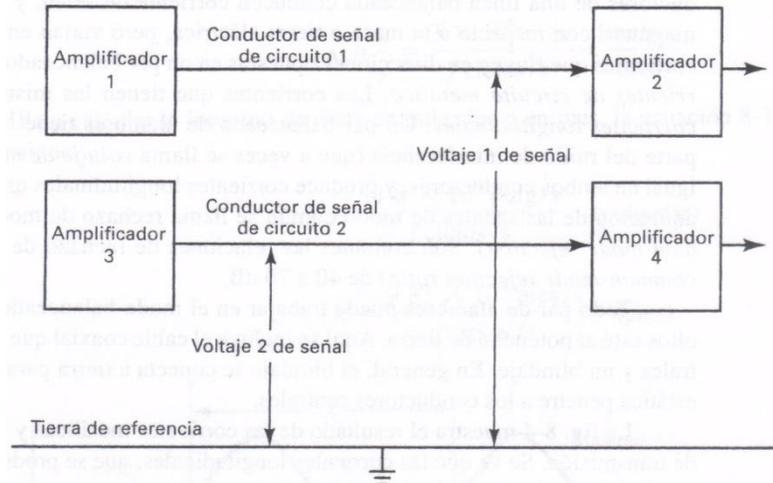
Figura 4.9. Resultados de corrientes metálicas y longitudinales en una línea de transmisión balanceada: (a) corrientes metálicas debidas a voltajes de señal; (b) corrientes longitudinales debidas a voltajes de ruido.



Fuente: TOMASI, Wayne. Sistemas de comunicaciones electrónicas.

La figura 4.10 muestra dos sistemas desbalanceados de transmisión. La diferencia de potencial en cada alambre de señal se mide entre él y la tierra. Las líneas de transmisión balanceadas se pueden conectar a líneas desbalanceadas, y viceversa, con transformadores especiales llamados *balunes*.

Figura 4.10. Sistema de transmisión asimétrico o desbalanceado.



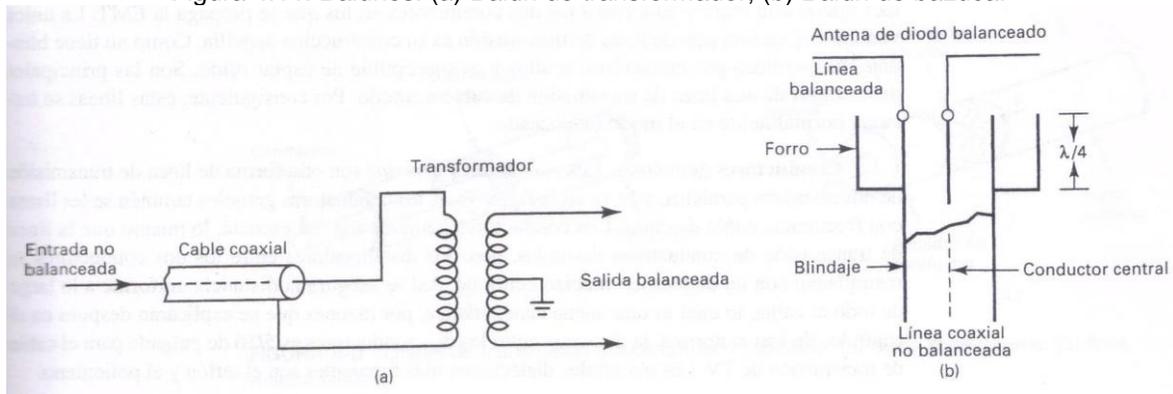
Fuente: TOMASI, Wayne. Sistemas de comunicaciones electrónicas.

4.4.1.1 Balunes. Un dispositivo que se usa para conectar una línea de transmisión balanceada con una carga desbalanceada se llama *balún* (*balanceado a desbalanceado*, de *balanced to unbalanced*). También, lo que es más común,

una línea de transmisión desbalanceada, como un cable coaxial, se puede conectar con una carga balanceada, como una antena, mediante un transformador especial con desbalanceado primario y devanado secundario con toma central. El conductor externo (*blindaje*) de una línea de transmisión desbalanceada se suele conectar a tierra. A frecuencias relativamente bajas se puede usar un transformador ordinario para aislar la tierra de la carga, como se ve en la figura 4.11(a). El balún debe tener un blindaje electrostático conectado a tierra física, para reducir al mínimo los efectos de las capacitancias parásitas.

Cuando las frecuencias son relativamente altas se usan balunes de varios tipos de líneas de transmisión. El más común es el balún de *banda angosta*, que a veces se llama *choke*, *forro* o balún *bazuca*, y se ve en la figura 4.11(b). Un choke de cuarto de onda se instala en torno al conductor externo de un cable coaxial y se conecta con él. Así, la impedancia que se ve hacia la línea de transmisión se forma por el choke y el conductor externo, y es igual a infinito, es decir, el conductor externo ya no tiene impedancia cero a tierra. Por lo anterior, un alambre del par balanceado se puede conectar con el choke sin poner en corto la señal. El segundo conductor se conecta al conductor interno del cable coaxial.

Figura 4.11. Balunes: (a) Balún de transformador; (b) Balún de bazuca.



Fuente: TOMASI, Wayne. Sistemas de comunicaciones electrónicas.

4.4.1.2 Líneas de transmisión de conductores paralelos.

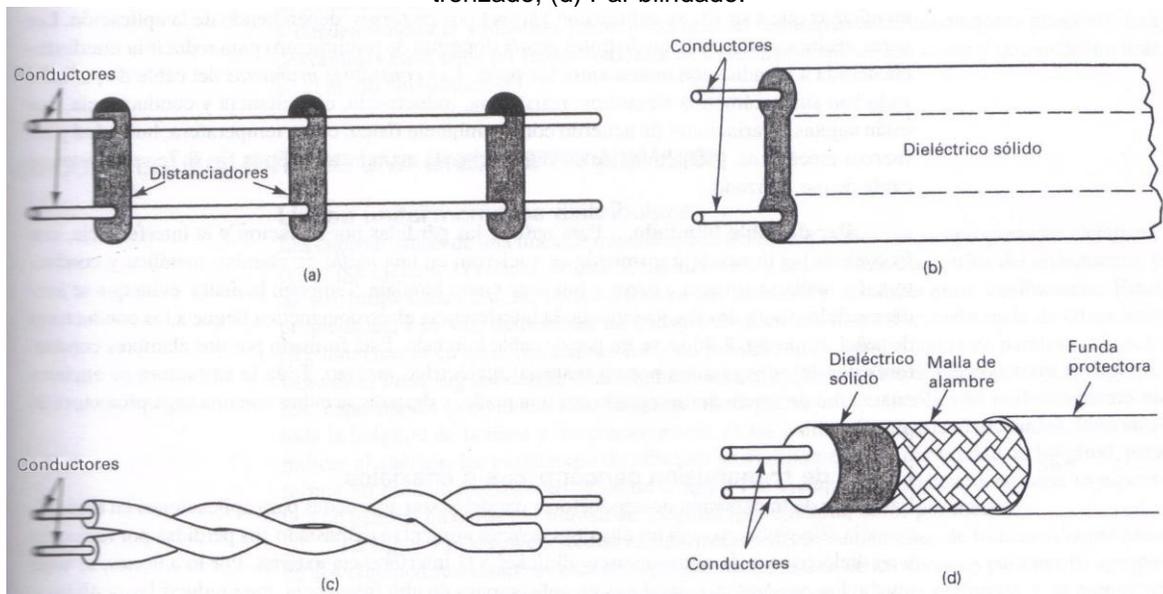
● **Línea de transmisión de alambre.** Una *línea de transmisión de alambre desnudo* es un *conductor de dos alambres paralelos*; se ve en la figura 4.12(a). Consiste simplemente en dos alambres paralelos a corta distancia y separados por aire. Se colocan espaciadores no conductores a intervalos periódicos, para sostenerlos y mantener constante la distancia entre ellos. La distancia entre los dos conductores en general es entre 2 y 6 pulgadas. El dieléctrico no es más que el aire entre y en torno a los dos conductores en los que se propagan las ondas electromagnéticas transversales. La única ventaja real de este tipo de línea de transmisión es su construcción sencilla. Como no tiene blindaje, las pérdidas por radiación son altas y es susceptible de captar ruido. Son las principales

desventajas de una línea de transmisión de cable desnudo. Por consiguiente, estas líneas se trabajan normalmente en el modo balanceado.

► **Conductores gemelos.** Los conductores gemelos son otra forma de línea de transmisión de dos alambres paralelos, y se ve en la figura 4.12(b). A los conductores gemelos también se les llama con frecuencia *cable de cinta*. Los conductores gemelos son, en esencia, lo mismo que la línea de transmisión de conductores desnudos, pero los distanciadores entre los dos conductores se reemplazan con un dieléctrico macizo continuo, así se asegura la distancia uniforme a lo largo de todo el cable. En forma normal, la distancia entre los dos conductores es 5/16 de pulgada para el cable de transmisión de TV. Los materiales dieléctricos más frecuentes son el teflón y el polietileno.

► **Cable de par trenzado.** Un *cable de par trenzado* se forma torciendo entre sí dos conductores aislados. Con frecuencia, los pares se trenzan en *unidades* y las unidades se llevan en *núcleos* que a su vez se cubren con varios tipos de *forros*, dependiendo de la aplicación. Los pares vecinos se trenzan con distintos *pasos* (longitud de torcimiento) para reducir la interferencia debida a la inducción mutua entre los pares. Las *constantes primarias* del cable de par trenzado son sus parámetros eléctricos: resistencia, inductancia, capacitancia y conductancia, que están sujetas a variaciones de acuerdo con el ambiente físico, como temperatura, humedad y esfuerzos mecánicos, y dependen de las diferencias de manufactura. En la figura 4.12(c) se muestra un cable de par trenzado.

Figura 4.12. Líneas de transmisión: (a) Alambres desnudos; (b) Conductores gemelos; (c) Par trenzado; (d) Par blindado.



Fuente: TOMASI, Wayne. Sistemas de comunicaciones electrónicas.

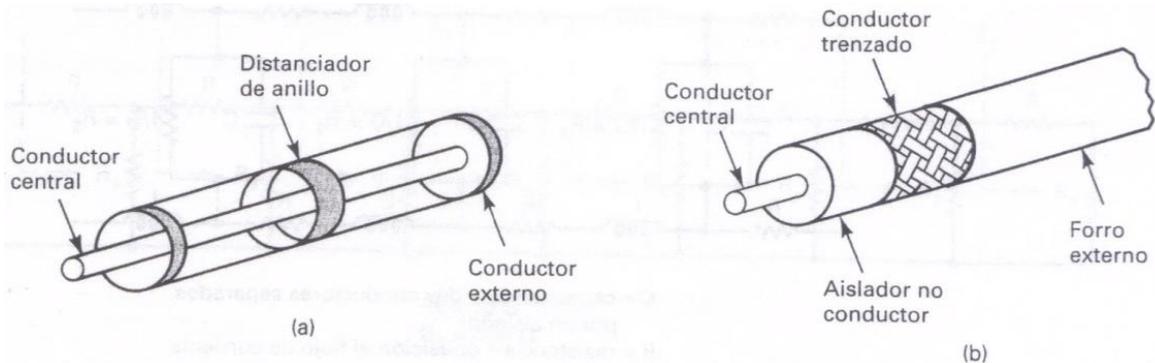
► **Par de cable blindado.** Para reducir las pérdidas por radiación y la interferencia, con frecuencia las líneas de transmisión se encierran en una *mall*a de alambre metálica y conductora. La malla se conecta a tierra y funciona como blindaje. También, la malla evita que se irradien señales fuera de ella, y evita que la interferencia electromagnética llegue a los conductores de señal. En la figura 4.12(d) se ve un par de cable blindado. Está formado por dos alambres conductores paralelos separados por un material dieléctrico macizo. Toda estructura se encierra en un tubo de conductor integrado por una malla, y después se cubre con una capa protectora de plástico.

4.4.1.3 Líneas de transmisiones concéntricas o coaxiales. Las líneas de transmisión de conductores paralelos son adecuadas para aplicaciones en baja frecuencia. Sin embargo, con las altas frecuencias aumentan demasiado sus pérdidas por radiación y en dieléctrico, así como su susceptibilidad a la interferencia externa. Por lo anterior, se usan mucho los *conductores coaxiales* en aplicaciones de alta frecuencia, para reducir las pérdidas y para aislar las trayectorias de transmisión. El cable coaxial básico consiste en un conductor central rodeado por un *conductor externo concéntrico*, a distancia uniforme del centro. A frecuencias de trabajo relativamente altas, el conductor externo coaxial proporciona un excelente blindaje contra la interferencia externa. Sin embargo, no es económico usar un blindaje con frecuencias relativamente bajas. También, casi siempre el conductor externo de un cable coaxial se conecta a tierra, y eso limita su empleo a aplicaciones desbalanceadas o asimétricas.

En esencia hay dos tipos de cables coaxiales: líneas *rígidas llenas de aire* o *líneas flexibles macizas*. La figura 4.13(a) muestra una línea coaxial rígida de aire. Se ve que el conductor central está coaxialmente rodeado por un conductor externo tubular, y que el material aislador es aire. El conductor externo está aislado físicamente, y separado del conductor central por un distanciador, que puede ser de vidrio *pyrex*, poliestireno o algún otro material no conductor. La figura 4.13(b) representa un cable coaxial flexible y macizo. El conductor externo es una malla de alambre flexible, y es coaxial respecto al conductor central. El material aislante es polietileno macizo no conductor, que proporciona tanto soporte como aislamiento eléctrico entre los conductores interno y externo. El conductor interno es un alambre flexible de cobre, que puede ser macizo o huevo.

Es relativamente costoso fabricar los cables coaxiales rígidos de aire, y para minimizar las pérdidas, el aislador de aire debe estar relativamente libre de humedad. Los cables coaxiales macizos tienen menos pérdidas y son más fáciles de fabricar, instalar y mantener. Los dos tipos de cable coaxial son relativamente inmunes a la radiación externa, irradian poco ellos mismos, y pueden funcionar a mayores frecuencias que sus contrapartes de conductores paralelos. Las desventajas básicas de las líneas coaxiales de transmisión son su alto costo y que se deben usar en el modo desbalanceado.

Figura 4.13. Líneas de transmisión concéntricas o coaxiales: (a) Rígida llena de aire; (b) Línea maciza flexible.



Fuente: TOMASI, Wayne. Sistemas de comunicaciones electrónicas.

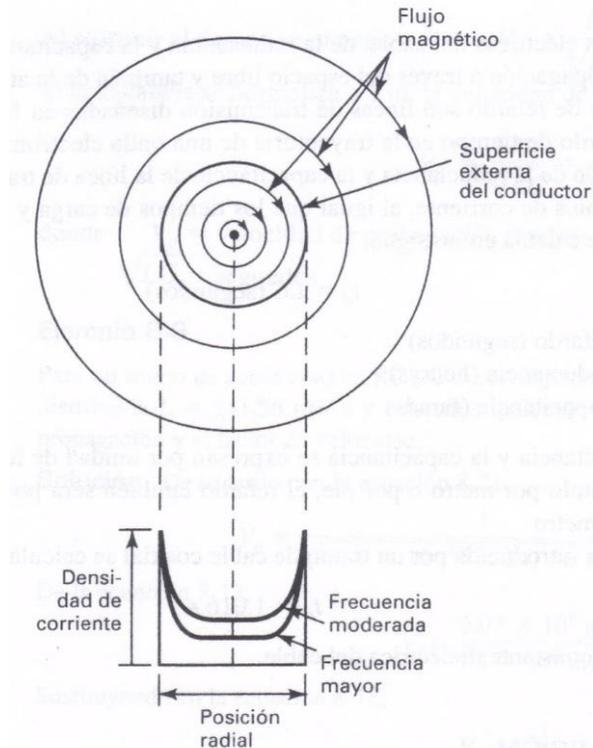
4.4.2 Pérdidas en líneas de transmisión. Para fines de análisis, las líneas de transmisión se consideran, con frecuencia, sin pérdidas. Sin embargo, en realidad hay varias formas en las que se pierde la energía en una línea de transmisión. Están las pérdidas en el conductor, pérdidas por radiación, pérdidas por calentamiento del dieléctrico, pérdidas por acoplamiento y efecto de corona.

4.4.2.1 Pérdidas en el conductor. Como la corriente pasa por una línea de transmisión, y ésta tiene una resistencia finita, hay una pérdida inherente e inevitable de potencia. A veces esto se le llama *pérdida en el conductor* o *pérdida por calentamiento del conductor*, y es tan sólo una pérdida de la forma I^2R . Como la resistencia está distribuida en una línea de transmisión, la pérdida en el conductor es directamente proporcional a la longitud de la línea. También, ya que la disipación de potencia es directamente proporcional al cuadrado de la corriente, la pérdida en el conductor es inversamente proporcional a la impedancia característica. Para reducir las pérdidas en el conductor no hay más que acortar la línea de transmisión o usar un alambre de mayor diámetro (téngase en cuenta que al cambiar el diámetro del alambre también cambia la impedancia característica y, en consecuencia, la corriente).

La pérdida en el conductor depende algo de la frecuencia, debido a una acción llamada *efecto de superficie*. Cuando pasa la corriente por un alambre redondo aislado, el flujo magnético asociado con ella tiene la forma de círculos concéntricos. Esto se ve en la figura 4.14 Se puede demostrar que la densidad de flujo cerca del centro del conductor es mayor que cerca de la superficie. Entonces, las líneas de flujo cercanas al centro del conductor encierran la corriente y reducen la movilidad de los electrones encerrados. Es una forma de autoinductancia, y hace que la inductancia cercana al centro del conductor sea mayor que en la superficie. Así, en las radiofrecuencias, la mayor parte de la corriente pasa por la superficie y no cerca del centro del conductor. Esto equivale a reducir el área transversal del conductor, y a aumentar la oposición al flujo de corriente (es decir, a aumentar la resistencia). La oposición adicional tiene ángulo de fase igual a 0° , y

en consecuencia es una resistencia, y no una reactancia. Así, la resistencia en AC del conductor es proporcional a la raíz cuadrada de la frecuencia. La relación de la resistencia en AC entre la resistencia en DC de un conductor se llama relación de resistencias. Arriba de más o menos 100 MHz, se puede eliminar por completo el centro de un conductor, sin tener absolutamente efecto alguno sobre la pérdida en el conductor o la propagación de la onda electromagnética.

Figura 4.14. Conductor redondo aislado mostrando las líneas de flujo magnético, distribución de corrientes y el efecto de superficie.



Fuente: TOMASI, Wayne. Sistemas de comunicaciones electrónicas.

Las pérdidas en el conductor, en las líneas de transmisión, varían desde una fracción de decibel por 100 m en los cables coaxiales rígidos con dieléctrico de aire, hasta 200 dB por 100 m en una línea flexible de dieléctrico rígido. Tanto las pérdidas I^2R como las del dieléctrico son proporcionales a la longitud, con frecuencia se agrupan y se expresan en decibeles de pérdida por unidad de longitud, es decir, dB/m.

4.4.2.2 Pérdida por calentamiento del dieléctrico. Una diferencia de potencial entre los dos conductores de una línea de transmisión causa el *calentamiento del dieléctrico*. El calor es una forma de energía que se debe tener en cuenta cuando se propaga energía por la línea. Para las líneas con dieléctrico de aire, la pérdida por calentamiento es despreciable. Si embargo, con las líneas rígidas el calentamiento del dieléctrico aumenta con la frecuencia.

4.4.2.3 Pérdida por radiación. Si la separación entre los conductores de una línea de transmisión es una fracción apreciable de una longitud de onda, los campos electrostático y electromagnético que rodean al conductor hacen que la línea funcione como si fuera una antena, y transfiera energía a cualquier material conductor cercano. La cantidad de energía irradiada depende del material dieléctrico, la distancia entre conductores y la longitud de la línea. Las *pérdidas por radiación* se reducen blindando el cable en forma adecuada. Así, los cables coaxiales tienen menores pérdidas por radiación que las líneas de dos alambres paralelos. La pérdida por radiación también es proporcional a la frecuencia.

4.4.2.4 Pérdida por acoplamiento. La *pérdida por acoplamiento* se presenta siempre que se hace una conexión con o de una línea de transmisión, o cuando se conectan dos tramos separados de línea de transmisión. Las conexiones mecánicas son discontinuidades, es decir, lugares donde se unen los materiales distintos. Las discontinuidades se tienden a calentar, irradian energía y disipan potencia.

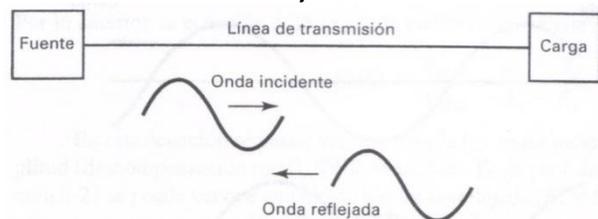
4.4.2.5 Efecto corona (o efecto de arco voltaico). El *arco voltaico* es una descarga luminosa que se produce entre dos conductores de una línea de transmisión, cuando la diferencia de potencial entre ellos es mayor que el voltaje de *ruptura* del dieléctrico aislante. En general, una vez que se produce el efecto de arco voltaico o efecto corona, la línea de transmisión se destruye.

4.4.3 Ondas incidentes y reflejadas. Una línea de transmisión ordinaria es bidireccional: la energía se puede propagar por igual en ambas direcciones. El voltaje que se propaga desde la fuente hacia la carga se llama *voltaje incidente*, y el que se propaga de la carga hacia la fuente se llama *voltaje reflejado*. De igual manera hay corrientes incidente y reflejada. En consecuencia, la potencia incidente se propaga hacia la carga, y la potencia reflejada se propaga hacia la fuente. El voltaje y la corriente incidentes siempre está en fase cuando la impedancia es de carácter resistivo. En una línea infinitamente larga, toda potencia incidente se almacena en ella, y no hay potencia reflejada. También, si la línea termina en una carga puramente resistiva igual a la impedancia característica de la línea, la carga absorbe toda la potencia incidente (suponiendo que la línea no tenga pérdidas). Para contar con una definición más práctica, la potencia reflejada es la parte de la potencia incidente que no absorbió la carga. En consecuencia, la potencia reflejada nunca puede ser mayor que la potencia incidente.

4.4.3.1 Líneas de transmisión resonantes y no resonantes. Una línea de transmisión sin potencia reflejada se llama línea *plana* o *no resonante*. Una línea de transmisión es no resonante si su longitud es infinita o si termina en una carga resistiva igual al valor óhmico de su impedancia característica. En una línea plana, el voltaje y la corriente son constantes en toda su longitud, si se supone que no tiene pérdidas. Cuando la carga no es igual a la impedancia característica de la

línea, algo de la potencia se refleja y va hacia la fuente. Si la carga es un circuito cerrado o abierto, toda la potencia incidente se refleja hacia la fuente. Si se sustituyera la fuente por una abertura y un corto y la línea fuera sin pérdidas, la energía presente en ella se reflejaría de un lado a otro (oscilaría) entre los extremos de la fuente y la carga, de modo parecido a cuando la energía va y viene entre el capacitor y el inductor de un circuito tanque LC . A esto se le llama línea de transmisión *resonante*. En una línea resonante, la energía es transferida en forma alternativa entre los campos magnéticos y eléctricos de la inductancia y la capacitancia distribuida de la línea. La figura 4.15 muestra una fuente, una línea de transmisión y una carga, con sus respectivas ondas incidente y reflejada.

Figura 4.15. Fuente, carga, línea de transmisión y sus correspondientes ondas incidente y reflejada.



Fuente: TOMASI, Wayne. Sistemas de comunicaciones electrónicas.

4.4.3.2 Coeficiente de reflexión. El *coeficiente de reflexión* es una cantidad vectorial que representa la relación del voltaje reflejado entre el voltaje incidente, o la corriente reflejada entre la corriente incidente. La definición matemática del coeficiente de reflexión, representado por la gamma mayúscula Γ , es:

$$\Gamma = \frac{E_r}{E_i} \text{ o } \frac{I_r}{I_i}$$

Siendo: Γ = Coeficiente de reflexión (adimensional).
 E_i = Voltaje incidente (volts).
 E_r = Voltaje reflejado (volts).
 I_i = Corriente incidente (amps).
 I_r = Corriente reflejada (amps).

En la anterior ecuación se ve que el valor máximo, y el peor de los casos para $\Gamma = 1$, cuando $E_r = E_i$, el valor mínimo, y de condición ideal, es cuando $\Gamma = 0$ ($E_r = 0$).

4.5 ANTENAS

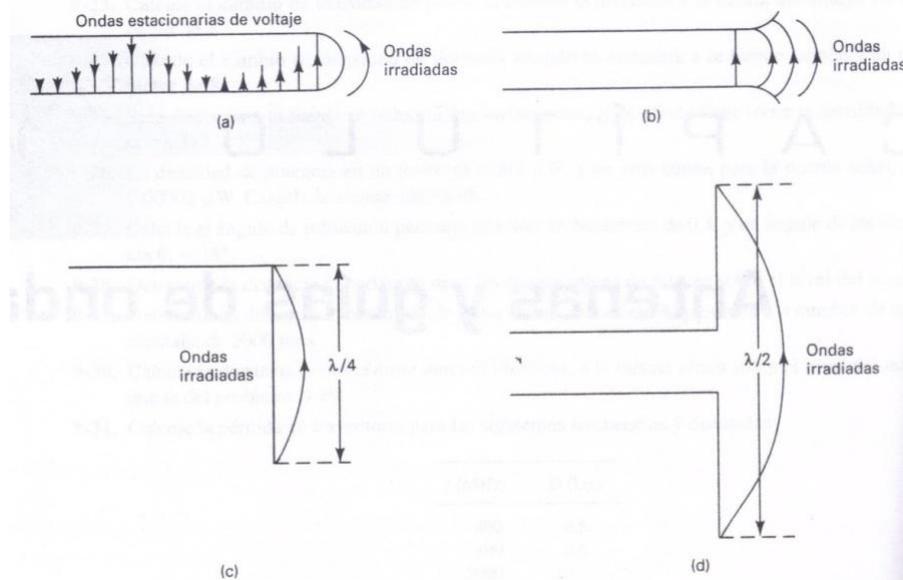
Una *antena* es un sistema conductor metálico capaz de *radiar* y capturar ondas electromagnéticas. Las antenas son para conectar las líneas de transmisión con el espacio libre, el espacio libre a líneas de transmisión, o ambas cosas. En esencia, una línea de transmisión acopla la energía de un transmisor o de un receptor con

una antena, que a su vez acopla la energía con la atmósfera terrestre, y de la atmósfera terrestre a una línea de transmisión. En el extremo transmisor de un sistema de radiocomunicaciones con el espacio libre, una antena convierte la energía eléctrica que viaja por una línea de transmisión en ondas electromagnéticas que se emiten al espacio. En el extremo receptor, una antena convierte las ondas electromagnéticas en el espacio en energía eléctrica en una línea de transmisión.

Una *guía de ondas* es un tipo especial de línea de transmisión formado por un tubo metálico conductor, a través del cual se propaga energía electromagnética. Una (o *un*) guía de ondas se usa para interconectar en forma eficiente ondas electromagnéticas entre una antena y un transceptor.

4.5.1 Funcionamiento básico de la antena. El funcionamiento básico de una antena se comprende mejor con referencia en las ilustraciones de ondas estacionarias en una línea de transmisión, figura 4.16(a). La línea de transmisión termina en un circuito abierto, que representa una discontinuidad abrupta para la onda incidente de voltaje y tiene la forma de una inversión de fase. La inversión de fase hace que se irradie algo del voltaje incidente, sin reflejarse hacia la fuente. La energía *radiada* se propaga alejándose de la antena, en forma de ondas electromagnéticas transversales. La *eficiencia de irradiación* de una línea de transmisión abierta es extremadamente baja. Es la relación de la energía irradiada entre la energía reflejada. Para irradiar más energía tan sólo se apartan entre sí los conductores. A la antena obtenida así se le llama un *dipolo* (quiere decir dos polos), y se ve en la figura 4.16(b).

Figura 4.16. Radiación de una línea de transmisión: (a) Radiación de línea de transmisión; (b) Conductores divergentes; (c) Antena de Marconi; (d) Antena de Hertz.

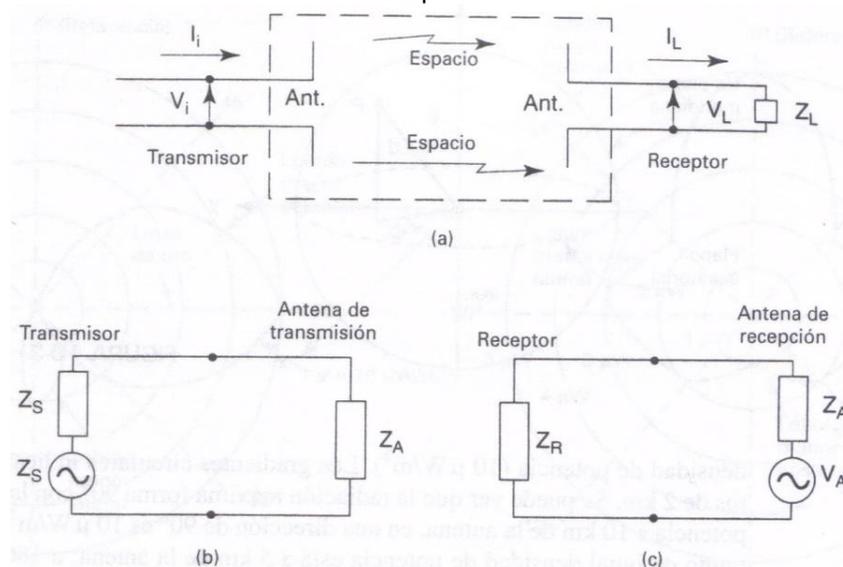


Fuente: TOMASI, Wayne. Sistemas de comunicaciones electrónicas.

En la figura 4.16(c), los conductores se apartan en una línea recta a la distancia de un cuarto de onda. Esa antena se le llama *antena de cuarto de onda* o *monopolo vertical* (a veces se le llama antena de Marconi). Un dipolo de media onda se llama *antena de Hertz*, y se ve en la figura 4.16(d).

4.5.1.1 Circuitos equivalentes a una antena. En las radiocomunicaciones, los transmisores están conectados a los receptores a través de líneas de transmisión, antenas y espacio libre. Las ondas electromagnéticas se acoplan desde las antenas transmisoras a las receptoras, a través del espacio libre en una forma parecida a cuando la energía se acopla del primario al secundario de un transformador. Sin embargo, con las antenas el grado de acoplamiento es mucho menor que en un transformador, e interviene una onda electromagnética y no solo una onda magnética. Un sistema de acoplamiento con antena se puede representar con una red de cuatro terminales como la de la figura 4.17(a). La energía electromagnética se debe transferir de la antena transmisora a un espacio libre y después desde el espacio libre a una antena receptora. La figura 4.17(b) muestra el circuito equivalente de una antena transmisora, y la figura 4.17(c) muestra el circuito equivalente para una antena receptora.

Figura 4.17. Circuitos equivalentes a antenas: (a) Antena como red de cuatro terminales; (b) Circuito equivalente a una antena de transmisión; (c) Circuito equivalente a una antena de recepción.



Fuente: TOMASI, Wayne. Sistemas de comunicaciones electrónicas.

4.5.2 Reciprocidad de antenas. Una antena básica es un *dispositivo recíproco pasivo*; pasivo porque en realidad no puede amplificar una señal, al menos no en el sentido verdadero de la palabra. Una antena es un dispositivo recíproco porque las características y el desempeño de transmisión y de recepción son idénticas, como la ganancia, la directividad, frecuencia de operación, ancho de banda, resistencia de radiación, eficiencia, etc.

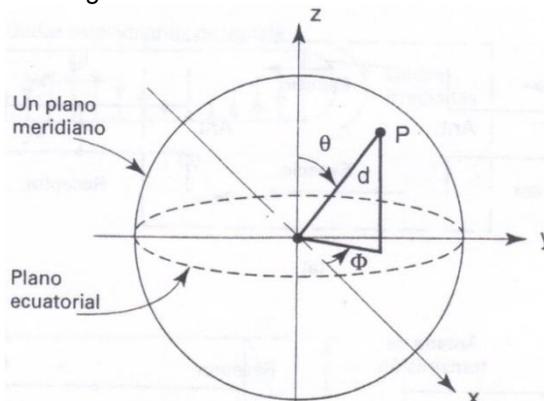
Las antenas de transmisión deben poder manejar potencias grandes y, en consecuencia, deben ser materiales que soporten altos voltajes y grandes potencias, como por ejemplo, de tubo metálico. Por otra parte, las antenas de recepción producen voltajes y corrientes muy pequeños y se pueden hacer con alambre de diámetro pequeño. Sin embargo, en muchos sistemas de radio comunicación, se usa la misma antena para transmitir y para recibir. En estos casos, la antena debe ser de materiales robustos. Si se usa una antena para transmitir y para recibir debe existir un medio para evitar que las señales de transmisión, que son de gran potencia, se acoplen hacia el receptor, que es relativamente sensible. Para dirigir las señales de transmisión y de recepción se puede usar un elemento especial llamado *diplexor*, así como para proporcionarles el aislamiento necesario.

Las antenas normales no tienen componentes activos (diodos, transmisores, FET, etc.); por lo mismo son pasivas y recíprocas. En la práctica, una antena activa no existe. Lo que se suele llamar antena activa es en realidad la combinación de una antena pasiva y un amplificador de bajo ruido (LNA, de *low-noise amplifier*). Las antenas activas no son recíprocas, es decir, transmiten o reciben, pero no ambas cosas. Es importante hacer notar que las antenas activas y las pasivas introducen pérdidas de potencia, independientemente de si se usan para transmitir o para recibir señales.

4.5.3 Terminología y definiciones para antenas.

4.5.3.1 Sistema de coordenadas de la antena. Las características direccionales de una onda electromagnética, irradiada o recibida por una antena, se describen en general en términos de coordenadas esféricas, como se ve en la figura 4.18. Imaginando la antena colocada en el centro de la esfera, y la distancia a cualquier punto en la superficie de la esfera se puede definir con respecto a la antena, mediante el radio de la esfera d y los ángulos θ y ϕ . El plano xy de la figura se llama plano ecuatorial, y cualquier plano que forma ángulo recto con él se llama plano meridiano.

Figura 4.18. Coordenadas esféricas.



Fuente: TOMASI, Wayne. Sistemas de comunicaciones electrónicas.

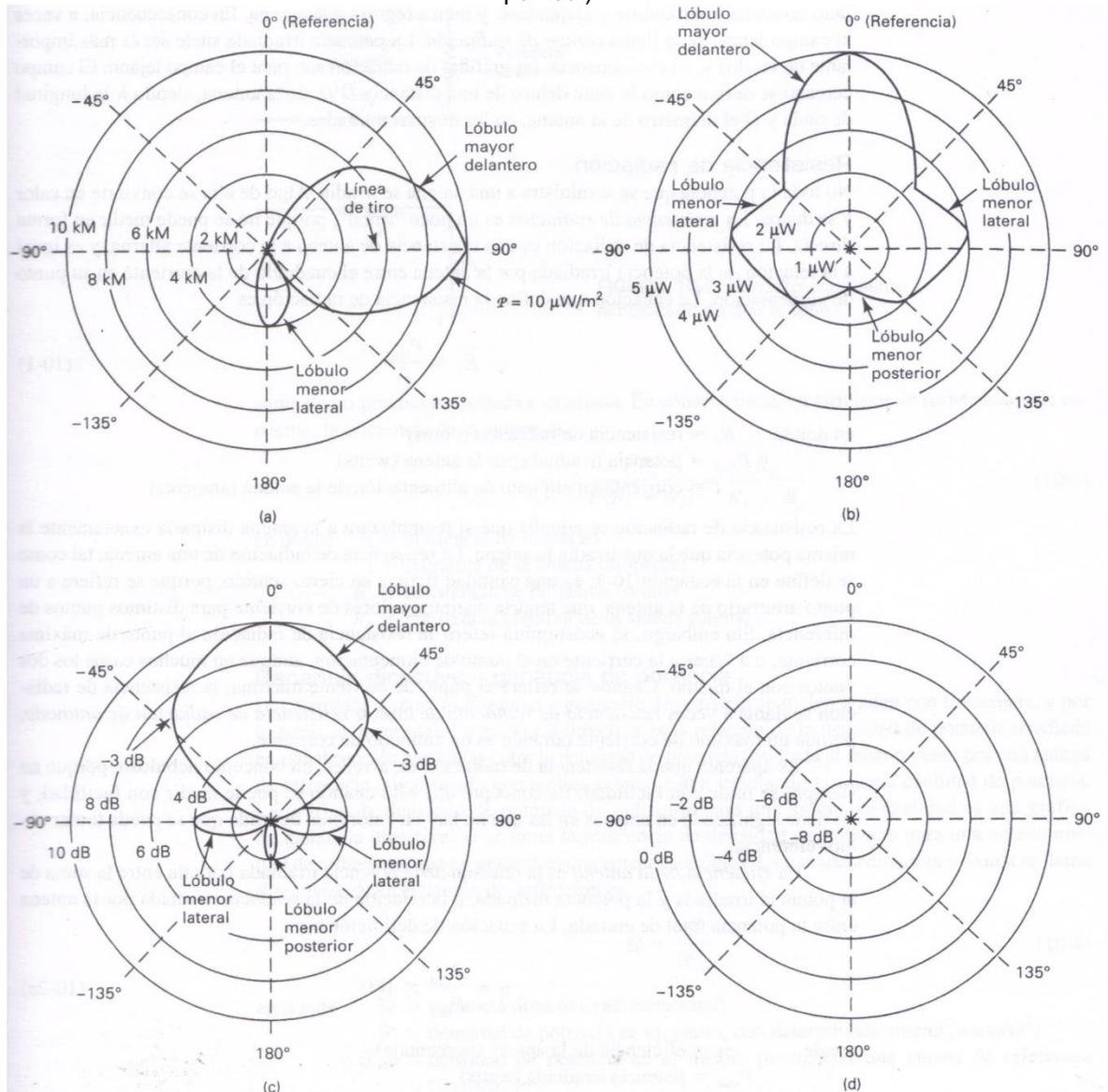
4.5.3.2 Diagrama de radiación. Un *diagrama de radiación* es un diagrama o gráfica *polar* que representa intensidades de campo o densidades de potencia en diversas posiciones angulares en relación con una antena. Si la gráfica de radiación se traza en términos de intensidad del campo eléctrico (\mathcal{E}) o de densidad de potencia (\mathcal{P}) se llama gráfica de radiación *absoluta* (es decir, distancia variable y potencia fija). Si se grafica intensidad de campo o densidad de potencia con respecto al valor en algún punto de referencia, se llama gráfica de radiación *relativa* (es decir, potencia variable, distancia fija). La figura 4.19(a) muestra una gráfica de radiación absoluta para una antena no especificada. La gráfica se traza en papel de coordenadas *polares*, y la línea gruesa representa puntos de igual densidad de potencia ($10\mu W/m^2$). Los gradientes circulares indican la distancia en incrementos de 2 Km. Se puede ver que la radiación máxima forma 90° con la referencia. La densidad de potencia a 10 Km de la antena, en una dirección de 90° es $10\mu W/m^2$. En una dirección a 45° , el punto de igual densidad de potencia está a 5 Km de la antena; a 180° , solo a 4 Km, y en dirección -90° , esencialmente no hay radiación.

En la figura 4.19(a), el haz primario está en la dirección de 90° , y se llama *lóbulo mayor* o *principal*. Puede haber más de un lóbulo mayor. También hay un haz *secundario*, o lóbulo *menor* en dirección de -180° . En el caso normal, los lóbulos menores representan radiación o recepción no deseada. Como el lóbulo mayor se propaga y recibe la mayor cantidad de energía, ese lóbulo se llama lóbulo *frontal* (el frente de la antena). Los lóbulos adyacentes al frontal se llaman lóbulos *laterales* (el lóbulo menor de 180° es un lóbulo lateral) y los lóbulos cuya dirección es exactamente opuesta al lóbulo frontal son lóbulos *traseros* (en este diagrama no hay lóbulo trasero). La relación de la potencia de lóbulo frontal a la de lóbulo trasero se llama simplemente *eficiencia direccional*, y la relación de lóbulo frontal a un lóbulo lateral se llama *relación frontal a lateral*. La línea que bisecta el lóbulo mayor, o que apunta desde el centro de la antena con dirección de radiación máxima se llama *línea de tiro*, o a veces *punto de tiro*.

La figura 4.19(b) muestra una gráfica de radiación relativa para una antena no especificada. La línea gruesa representa puntos a igual distancia de la antena (10 Km), y los gradientes circulares indican densidad de potencia en divisiones de $1\mu W/m^2$. Se ve que la radiación máxima ($5\mu W/m^2$) está en la dirección de la referencia (0°), y que la antena irradia la menor potencia ($1\mu W/m^2$) a 180° de la referencia. En consecuencia, la eficiencia direccional es $5:1 = 5$. En general, la intensidad relativa de campo y la densidad de potencia se grafican en decibelios (dB), siendo $dB = 20 \log(\mathcal{E}/\mathcal{E}_{m\acute{a}x})$ o bien $10 \log(\mathcal{P}/\mathcal{P}_{m\acute{a}x})$. La figura 4.19(c) muestra una gráfica de radiación relativa con la densidad de potencia en decibelios. En direcciones $\pm 45^\circ$ de la referencia, la densidad de potencia es -3dB (mitad de potencia) en relación con la densidad de potencia en la dirección de radiación máxima (0°). La figura 4.19(d) muestra la gráfica de radiación para una antena omnidireccional. Una antena omnidireccional, o *isotrópica*, irradia energía en todas

las direcciones por igual y, en consecuencia, la gráfica de radiación es un círculo (en realidad, una esfera). También, con una antena omnidireccional no hay lóbulos frontales, traseros o laterales, porque la radiación es igual en todas las direcciones.

Figura 4.19. Gráficas de radiación: (a) Gráfica de radiación absoluta (distribución fija); (b) Gráfica de radiación relativa (distancia fija); (c) Gráfica de radiación relativa (distancia fija) en decibelios; (d) Gráfica de radiación relativa (distancia fija) en decibelios para una antena direccional (fuente puntual).



Fuente: TOMASI, Wayne. Sistemas de comunicaciones electrónicas.

Las gráficas de radiación de la figura 4.19 son bidimensionales. Sin embargo, la radiación de una antena es en realidad tridimensional. En consecuencia, las gráficas de radiación se toman tanto en el plano horizontal (vista superior) como

los verticales (vista lateral). Para la antena omnidireccional de la figura 4.19(d), las gráficas de radiación en los planos horizontal y vertical son circulares e iguales, porque la gráfica real de radiación para un radiador isotrópico es una esfera.

4.5.3.3 Campos cercano y lejano. El campo de radiación cerca a una antena no es igual que el que está a una gran distancia. El término *campo cercano* se refiere a la gráfica de radiación cerca de una antena, y el término *campo lejano* indica una gráfica de radiación a gran distancia. Durante medio ciclo, se irradia potencia desde una antena, donde algo de la potencia se almacena en forma temporal en el campo cercano. Durante el siguiente medio ciclo, la potencia en el campo cercano regresa a la antena. Esta acción se parece a la forma en la que un inductor almacena y libera energía. En consecuencia, el campo cercano se llama a veces *campo de inducción*. La potencia que llega al campo lejano continúa irradiándose y alejándose, y nunca regresa a la antena. En consecuencia, a veces al campo lejano se le llama *campo de radiación*. La potencia irradiada suele ser la más importante de las dos y, en consecuencia, las gráficas de radiación son para el campo lejano. El campo cercano se define como la zona dentro de una distancia D^2/λ de la antena, siendo λ la longitud de onda y D el diámetro de la antena, en las mismas unidades.

4.5.3.4 Resistencia de radiación. No toda la potencia que se suministra a una antena se irradia. Algo de ella se convierte en calor y se disipa. La *resistencia de radiación* es un poco “irreal”, porque no se puede medir en forma directa. La resistencia de radiación es una resistencia de la antena a la corriente alterna, y es igual a la relación de la potencia irradiada por la antena entre el cuadrado de la corriente en su punto de alimentación. La ecuación que define la resistencia de radiación es:

$$R_r = \frac{P_{rad}}{i^2}$$

En donde: R_r = Resistencia de radiación (ohms).

P_{rad} = Potencia irradiada por la antena (watts).

i = Corriente en el punto de alimentación de la antena (amperes).

La resistencia de radiación es aquella que si reemplazara a la antena disiparía exactamente la misma potencia que la que irradia la antena. La resistencia de radiación de una antena, tal como se define en la anterior ecuación, es una cantidad ficticia en cierto sentido, porque se refiere a un punto arbitrario de la antena, que tendría distintos valores de corriente para distintos puntos de referencia. Sin embargo, se acostumbra referir la resistencia de radiación al punto de máxima corriente, o a veces a la corriente en el punto de alimentación, aunque en muchos casos los dos puntos son el mismo. Cuando se refiere al punto de corriente máxima, la resistencia de radiación se llama a veces *resistencia de*

radiación de lazo, o *resistencia de radiación de antinodo*, porque un máximo de corriente también es un antinodo de corriente.

Es aparente que la resistencia de radiación es, a veces, un concepto nebuloso, porque no siempre se mide con facilidad. Es concepto útil sólo cuando se puede medir con facilidad, y no tiene significado en antenas en las que no hay un valor bien definido que se pueda tomar como referencia.

La *eficiencia de la antena* es la relación de la potencia irradiada por ella entre la suma de la potencia irradiada y la disipada, o la relación de la potencia irradiada por la antena entre la potencia total de entrada. La ecuación de definición es:

$$\eta = \frac{P_{rad}}{P_{ent}} \times 100$$

Donde: η = Eficiencia de la antena (porcentaje).
 P_{rad} = Potencia irradiada (watts).
 P_{ent} = Potencia de entrada (watts).

O bien:

$$\eta = \frac{P_{rad}}{P_{rad} + P_d} \times 100$$

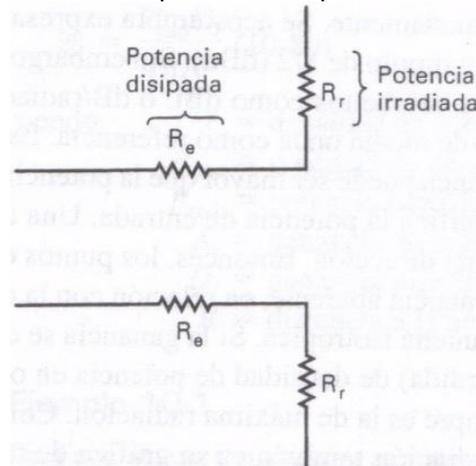
Donde: P_{rad} = Potencia irradiada por la antena (watts).
 P_d = Potencia disipada en la antena (watts).

La figura 4.20 muestra un circuito eléctrico simplificado y equivalente a una antena. Algo de la potencia de entrada se disipa en la resistencia efectiva (del suelo, corona, dieléctricos imperfectos, corrientes parásitas, etc.), y el resto se irradia. La potencia total de la antena es la suma de las potencias disipada e irradiada. En consecuencia, en términos de resistencia y de corriente, la eficiencia de la antena es:

$$\eta = \frac{i^2 R_r}{i^2 (R_r + R_e)} = \frac{R_r}{R_r + R_e}$$

En donde: η = Eficiencia de la antena.
 i = Corriente de la antena (amperes).
 R_r = Resistencia de radiación (ohms).
 R_e = Resistencia efectiva de la antena (ohms).

Figura 4.20. Circuito equivalente simplificado de una antena.



Fuente: TOMASI, Wayne. Sistemas de comunicaciones electrónicas.

4.5.3.5 Ganancia directiva y ganancia de potencia. Los términos *ganancia directiva* y *ganancia de potencia* se malentienden con frecuencia, y por lo tanto, se usan mal. La ganancia directiva es la relación de la densidad de potencia irradiada en una dirección particular entre la densidad de potencia irradiada al mismo punto por una antena de referencia, suponiendo que ambas antenas estén irradiando la misma cantidad de potencia. La gráfica de densidad de potencia de radiación para una antena en realidad es una gráfica de ganancia directiva, si se toma la referencia de densidad de potencia para una antena normal de referencia, que en general es una antena isotrópica. La ganancia directiva máxima se llama *directividad*. La ecuación de definición es:

$$D = \frac{\mathcal{P}}{P_{ref}}$$

En donde: D = Ganancia directiva (adimensional).

\mathcal{P} = Densidad de potencia en un punto, con determinada antena ($watts/m^2$).

P_{ref} = Densidad de potencia en el mismo punto, con una antena de referencia ($watts/m^2$).

La *ganancia de potencia* es lo mismo que la ganancia directiva, excepto que se usa la potencia total alimentada a la antena; es decir, se toma en cuenta la eficiencia de la antena. Se supone que la antena dada y la antena de referencia tienen la misma potencia de entrada, y que la antena de referencia no tiene pérdidas ($\eta = 100\%$). La ecuación de la ganancia de potencia, A_p , es:

$$A_p = D\eta$$

Si la antena es sin pérdidas, irradia 100% de la potencia de entrada, y la ganancia de potencia es igual a la ganancia directiva. La ganancia de potencia de una antena también se expresa en decibelios en relación con una antena de referencia. En este caso, la ganancia de potencia es:

$$A_p(dB) = 10 \log \frac{\mathcal{P}_\eta}{\mathcal{P}_{ref}}$$

Para una referencia isotrópica, la ganancia de potencia en decibelios, de un dipolo de media onda, es 1.64 (2.15 dB), aproximadamente. Se acostumbra expresar la ganancia de potencia en decibelios, cuando se refiere a un dipolo de $\lambda/2$ (dBd). Sin embargo, si la referencia es un radiador isotrópico, se mencionan los decibelios como dBi, o dB/radiador isotrópico, y es 2.15 dB mayor que si se usara un dipolo de media onda como referencia. Es importante notar que la potencia irradiada de una antena nunca puede ser mayor que la potencia de entrada. Por consiguiente, en realidad la antena no amplifica la potencia de entrada. Una antena tan sólo concentra su potencia irradiada en determinada dirección. Entonces, los puntos en donde la potencia irradiada se concentra obtienen una ganancia aparente, en relación con la densidad de potencia en esos mismos puntos si se usara una antena isotrópica. Si la ganancia se obtiene en una dirección, debe haber una reducción (una pérdida) de densidad de potencia en otra dirección. La dirección a la que “apunta” una antena siempre es la de máxima radiación. Como una antena es un dispositivo recíproco, su gráfica de radiación también es su gráfica de recepción. Para alcanzar una potencia *capturada* máxima, una antena de recepción debe apuntar en la dirección desde donde se desea recibir. En consecuencia, las antenas de recepción tienen directividad y ganancia de potencia, exactamente como las de transmisión.

4.5.3.6 Potencia isotrópica efectiva irradiada. La *potencia isotrópica efectiva irradiada* (EIRP, por *effective isotropic radiated power*) se define como la potencia equivalente de transmisión y se expresa como sigue:

$$EIRP = P_{rad} D_t (\text{watts}) \quad (4-8)$$

Siendo: P_{rad} = Potencia total irradiada (watts)
 D_t = Ganancia directiva de la antena de transmisión (adimensional).

O bien:
$$EIRP(dBm) = 10 \log \frac{P_{rad}}{0.001} + 10 \log D_t \quad (4-9)$$

O también:
$$EIRP(dBW) = 10 \log(P_{rad} D_t) \quad (4-10)$$

La ecuación 4-8 se puede escribir en función de la potencia de entrada y la ganancia de potencia de la antena, como sigue:

$$EIRP = P_{ent} A_t$$

En donde: P_{ent} = Potencia total de entrada de la antena (watts).
 A_t = Ganancia de potencia de la antena de transmisión (adimensional).

O bien:
$$EIRP(dBm) = 10 \log\left(\frac{P_{ent} A_t}{0.001}\right)$$

$$EIRP(dBW) = 10 \log(P_{ent} A_t)$$

La EIRP, o simplemente ERP (de *effective radiated power*, potencia efectiva radiada) es la potencia equivalente que tendría que irradiar una antena isotrópica para alcanzar la misma densidad de potencia en la dirección elegida y en determinado punto, que otra antena. Por ejemplo, si determinada antena de transmisión tiene ganancia de potencia de 10, la densidad de potencia a una distancia dada de la antena es 10 veces mayor que la que sería si la antena fuera un radiador isotrópico. Una antena isotrópica tendría que irradiar 10 veces más potencia para alcanzar la misma densidad de potencia. Por lo tanto, la antena dada irradia 10 veces más potencia que una antena isotrópica con la misma potencia y eficiencia.

Para calcular la densidad de potencia en determinado punto a una distancia R de la antena transmisora, la expresión es como sigue:

$$\mathcal{P} = \frac{P_{ent} A_t}{4\pi R^2} \quad (4-11)$$

O en términos de ganancia directiva:

$$\mathcal{P} = \frac{P_{rad} D_t}{4\pi R^2}$$

Siendo: \mathcal{P} = Densidad de potencia (watts por metro cuadrado).
 P_{ent} = Potencia de entrada a la antena de transmisión (watts).
 P_{rad} = Potencia radiada por la antena de transmisión (watts).
 A_t = Ganancia de potencia de la antena de transmisión (adimensional).
 D_t = Ganancia directiva de potencia de la antena de transmisión (adimensional).
 R = Distancia a la antena de transmisión (metros).

4.5.3.7 Densidad de potencia capturada. Las antenas son dispositivos recíprocos; así, tienen la misma resistencia de radiación, ganancia de potencia y directividad, cuando se usan para recibir las ondas electromagnéticas que cuando

se usan para transmitir las. En consecuencia, la densidad de potencia recibida o capturada por una antena es el producto de la densidad de potencia en el espacio que rodea a la antena de recepción, por su ganancia direccional. Así, se puede ampliar la ecuación 4-11 para incluir la ganancia de potencia de la antena receptora, escribiéndola en la siguiente forma:

$$C = \frac{P_{ent} A_t A_r}{4\pi R^2}$$

En la que: C = Densidad de potencia capturada (watts por metro cuadrado).
 P_{ent} = Potencia de entrada a la antena de transmisión (watts).
 A_t = Ganancia de potencia de la antena de transmisión (adimensional).
 A_r = Ganancia de potencia de la antena de recepción (adimensional).
 R = Distancia entre las antenas de recepción y transmisión (metros).

Densidad de potencia capturada es la densidad de potencia en el espacio, en W/m^2 , y es una cantidad algo engañosa. Lo que tiene más importancia es la potencia real, en watts, que produce una antena en sus terminales de salida; esto, naturalmente, depende de cuánta potencia captura la antena de recepción, así como su eficiencia.

4.5.3.8 Área de captura y potencia capturada. Si bien existe una relación recíproca entre las propiedades de transmisión y de recepción de una antena, con frecuencia es más útil describir las propiedades de recepción en una forma un poco distinta. Mientras que la ganancia de potencia es el parámetro natural para describir la mayor densidad de potencia de una señal transmitida, por las propiedades direccionales de la antena transmisora, para describir las propiedades receptoras de una antena se usa una cantidad relacionada, que se llama *área de captura*.

El *área de captura* de una antena es un *área efectiva*, y se puede describir como sigue: una antena de transmisión irradia una onda electromagnética que tiene cierta densidad de potencia, en W/m^2 , en el lugar de la antena de recepción. No es la potencia real recibida, sino más bien la cantidad de potencia que incide en, o pasa a través de cada área unitaria de una superficie imaginaria que es perpendicular a la dirección de propagación de las ondas electromagnéticas. Una antena receptora expuesta al campo electromagnético tendrá inducidos en ella un voltaje y una corriente de radiofrecuencia, que producirán una potencia correspondiente de radiofrecuencia en las terminales de salida de la antena. En principio, la potencia (en watts) disponibles en las terminales de salida de la antena, es la *potencia capturada*. La potencia capturada se puede entregar a una carga, que puede ser una línea de transmisión o los circuitos de entrada a un

receptor. Para que aparezca la potencia capturada en las terminales de la antena, ésta debe haber capturado potencia de un espacio inmediato que la rodee.

La potencia capturada es directamente proporcional a la densidad de potencia recibida y al área de captura de la antena receptora. Como cabe esperar, el área física transversal de una antena, y su área efectiva de captura, no necesariamente son iguales. De hecho, algunas veces hay antenas con áreas transversales físicamente pequeñas que pueden tener áreas de captura bastante mayores que sus áreas físicas. En esos casos, es como si la antena se extendiera y capturara o absorbiera potencia de una zona mayor que su tamaño físico.

Hay una relación obvia entre el tamaño de una antena y su capacidad para capturar la energía electromagnética. Esta sugiere que también debe haber una relación entre la ganancia de una antena y su área transversal de recepción. La relación entre las dos cantidades se expresa como sigue:

$$A_c = \frac{A_r \lambda^2}{4\pi} \quad (4-12)$$

Siendo: A_c = Área efectiva de captura (metros cuadrados).
 λ = Longitud de onda de la señal recibida (metros).
 A_r = Ganancia de potencia de la antena receptora (adimensional).

Si se despeja la ganancia de la antena de la ecuación 4-12, se obtiene:

$$A_r = \frac{A_c 4\pi}{\lambda^2}$$

La potencia capturada es tan sólo el producto de la densidad de potencia en la zona que rodea a la antena receptora, por el área de captura de esa antena. La potencia capturada se define como:

$$P_{cap} = \mathcal{P} A_c \quad (4-13)$$

En donde: P_{cap} = Potencia capturada (watts).
 A_c = Área efectiva de captura (metros cuadrados).
 \mathcal{P} = Densidad de potencia capturada (watts por metro cuadrado).

Se pueden sustituir las ecuaciones 4-11 y 4-12 en la ecuación 4-13, y se obtiene:

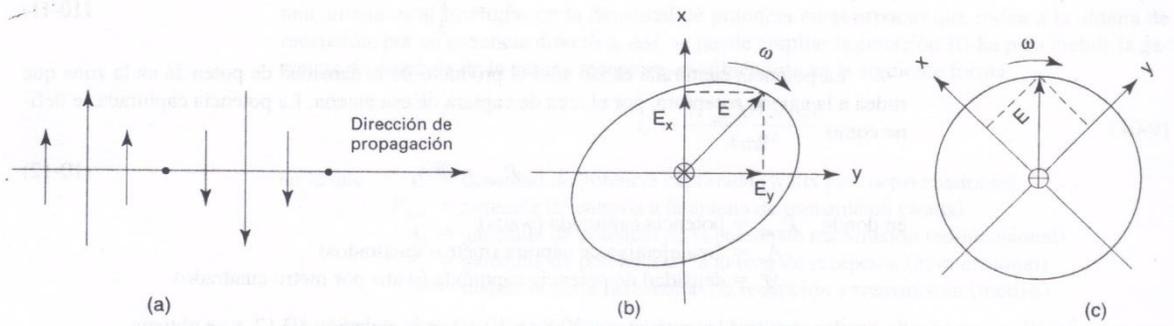
$$P_{cap} = \frac{(P_{ent} A_t)(A_r \lambda^2)}{16\pi^2 R^2}$$

En donde: P_{cap} = Potencia capturada (watts).

λ = Longitud de onda de la señal recibida (metros).
 A_r = Ganancia de potencia de la antena receptora (adimensional).
 A_t = Ganancia de potencia de la antena transmisora (adimensional).
 R = Distancia entre las antenas de transmisión y de recepción (metros).
 P_{ent} = Potencia de entrada de la antena de transmisión (watts).

4.5.3.9 Polarización de la antena. La *polarización* de una antena no es más que la orientación del campo eléctrico que se irradia de ella. Una antena puede estar *polarizada linealmente* (en general, horizontal o verticalmente, suponiendo que los elementos de la antena están en un plano horizontal o en uno vertical), *elípticamente* o *circularmente*. Si una antena irradia una onda electromagnética verticalmente polarizada, se define a la antena como verticalmente polarizada (o polarizada verticalmente). Si una antena irradia una onda electromagnética horizontalmente polarizada, se dice que la antena está polarizada horizontalmente; si el campo eléctrico gira describiendo una elipse, está elípticamente polarizada; si el campo eléctrico gira en forma circular, está circularmente polarizada. La figura 4.21 muestra las diversas polarizaciones que se acaban de describir.

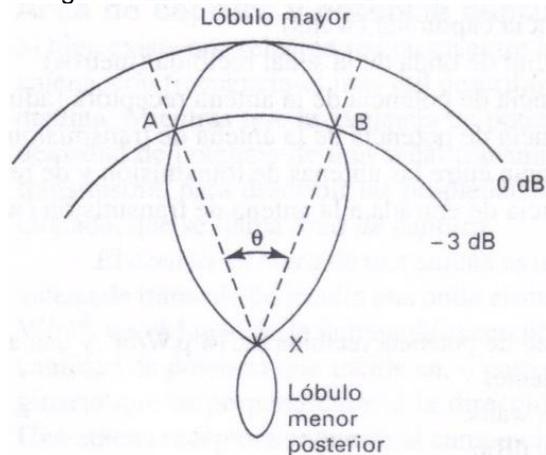
Figura 4.21. Polarizaciones de antena: (a) Lineal; (b) Elíptica; (c) Circular.



Fuente: TOMASI, Wayne. Sistemas de comunicaciones electrónicas.

4.5.3.10 Abertura del haz de la antena. La *abertura (angular) del haz* de una antena es la separación angular entre dos puntos de media potencia (-3 dB) en el lóbulo mayor de la gráfica de radiación de una antena, que se suele tomar en uno de los planos "principales". La apertura del haz de la antena cuya gráfica de radiación se ve en la figura 4.22, es el ángulo definido por los puntos A, X y B (el ángulo θ). Los puntos A y B son los puntos de media potencia (la densidad de potencia en ellos es la mitad de la que hay, a igual distancia de la antena, en la dirección de radiación máxima). La apertura del haz de una antena se llama a veces ancho de haz de -3 dB, o ancho de haz de media potencia, o *ancho de lóbulo*.

Figura 4.22. Abertura de haz de antena.



Fuente: TOMASI, Wayne. Sistemas de comunicaciones electrónicas.

La ganancia de la antena es inversamente proporcional a la apertura del haz: mientras más grande es la ganancia de una antena, la apertura del haz es menor. Una antena omnidireccional (isotrópica) irradia por igual en todas las direcciones. Por consiguiente, tienen ganancia de unidad y apertura de haz de 360° . Las antenas normales tienen apertura de haz de 30° a 60° , y no es raro que las antenas de microondas de alta ganancia tengan una apertura de haz hasta de 1° .

4.5.3.11 Ancho de banda de antena. El *ancho de banda* de una antena se define, en forma vaga, como el intervalo de frecuencias dentro del cual el funcionamiento de la antena es "satisfactorio". Se toma, en el caso normal, como la diferencia entre las frecuencias de media potencia (diferencia entre las frecuencias máxima y mínima de operación), pero a veces indica las variaciones en la impedancia de entrada de la antena. El ancho de banda de una antena se expresa, también normalmente, como un porcentaje de la frecuencia óptima de operación de esa antena.

4.5.3.12 Impedancia de entrada a la antena. La radiación de una antena es un resultado directo del flujo de corriente de RF. La corriente va hacia la antena pasando por una línea de transmisión, que está conectada con un espacio pequeño entre los conductores que forman la antena. El punto de la antena donde se conecta la línea de transmisión se llama terminal de entrada de la antena, o simplemente *punto de alimentación*. El punto de alimentación presenta una carga de AC a la línea de transmisión, llamada *impedancia de entrada de (o a) la antena*. Si la impedancia de salida del transmisor y la impedancia de entrada de la antena son iguales a la impedancia característica de la línea de transmisión, no habrá ondas estacionarias en la línea y se transmitirá una potencia máxima a la antena, potencia que será irradiada.

La impedancia de entrada de una antena es sólo la relación del voltaje de entrada a la antena a la corriente de entrada a la misma. Es decir:

$$Z_{ent} = \frac{E_i}{I_i}$$

En donde: Z_{ent} = Impedancia de entrada a la antena (ohms).
 E_i = Voltaje de entrada a la antena (volts).
 I_i = Corriente de entrada a la antena (amperes).

En general, la impedancia de entrada a la antena es compleja; sin embargo, si el punto de alimentación está en un máximo de corriente y no hay componente reactivo, la impedancia de entrada es igual a la suma de la resistencia de radiación más la resistencia efectiva.

4.5.4 Antenas básicas.

4.5.4.1 Doblete elemental. El tipo más sencillo de antena es el *doblete elemental*. Es un dipolo eléctricamente corto, y con frecuencia se llama *dipolo corto*, *dipolo elemental* o *dipolo hertziano*. Eléctricamente corto quiere decir que es corto en comparación con media longitud de onda, pero no necesariamente onda de corriente uniforme; en general, cualquier dipolo menor que un décimo de longitud de onda se considera eléctricamente corto. En general, no se puede obtener un doblote elemental; sin embargo, el concepto de dipolo corto es útil para comprender las antenas más prácticas.

Un doblote elemental tiene corriente uniforme en toda su longitud. Sin embargo, se supone que la corriente varía en forma sinusoidal en función del tiempo, y que en cualquier instante es:

$$i(t) = I \sin(2\pi ft + \theta)$$

Siendo: $i(t)$ = Corriente instantánea (amperes).
 I = Amplitud máxima de la corriente de RF (amperes).
 f = Frecuencia (hertz).
 t = Tiempo instantáneo (segundos).
 θ = Ángulo de fase (radianes).

Se puede demostrar, mediante las ecuaciones de Maxwell, que el campo lejano de radiación es:

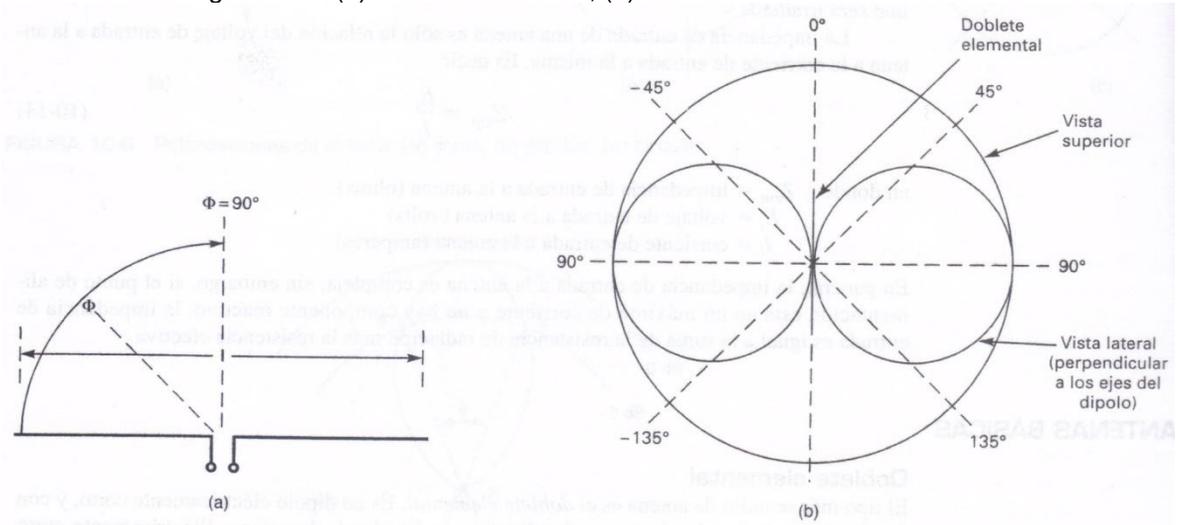
$$\mathcal{E} = \frac{60\pi I l \sin \phi}{\lambda R} \quad (4-14)$$

En donde: \mathcal{E} = Intensidad del campo eléctrico (volts por metro).
 I = Corriente del dipolo (amperes rms).
 l = Longitud de uno a otro extremo del dipolo (metros).
 R = Distancia al dipolo (metros).
 λ = Longitud de onda (metros).

ϕ = Ángulo que forma el eje de la antena con la dirección de radiación, que se indica en la figura 4.23(a).

Al graficar la ecuación 4-14 se obtiene la figura de intensidad relativa del campo eléctrico para un dipolo elemental, que se ve en la figura 4.23(b). Se aprecia que la radiación es máxima en ángulo recto con el dipolo, y baja a cero en los extremos.

Figura 4.23. (a) Doblete elemental; (b) Gráfica de radiación relativa.



Fuente: TOMASI, Wayne. Sistemas de comunicaciones electrónicas.

La gráfica de densidad de potencia relativa se puede deducir con la ecuación 4-14, sustituyendo $\mathcal{P} = \mathcal{E}^2/120\pi$. Entonces el resultado es:

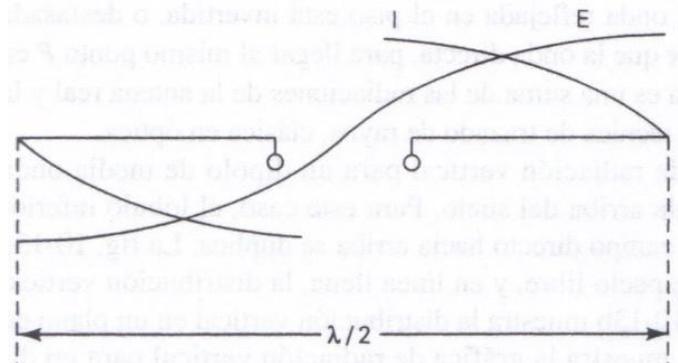
$$\mathcal{P} = \frac{30\pi I^2 l^2 \sin^2 \phi}{\lambda^2 R^2}$$

4.5.4.2 Dipolo de media onda. El dipolo lineal de media onda es una clase de antena entre las más usadas para frecuencias mayores de 2 MHz. A frecuencias menores que 2 MHz, la longitud física de una antena de media onda la hace prohibitiva. Al dipolo de media onda se le llama en general *antena de Hertz*, en honor a Heinrich Hertz, quien fue el primero en demostrar la existencia de las ondas electromagnéticas.

Una antena de Hertz es una antena *resonante*. Esto es, tiene un múltiplo de cuartos de longitud de onda de largo, y tiene circuito abierto en los extremos lejanos. A lo largo de una antena resonante se desarrollan ondas estacionarias de voltaje y corriente. La figura 4.24 muestra las distribuciones idealizadas de corriente y voltaje a lo largo de un dipolo de media onda. Cada polo de la antena se ve como si fuera un tramo de línea de transmisión de cuarto de onda. Por lo

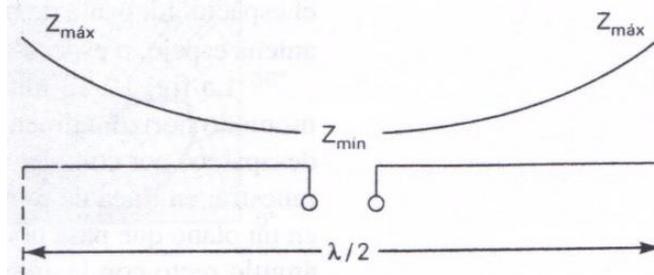
mismo, hay un máximo de voltaje y un mínimo de corriente en los extremos, y un mínimo de voltaje y máximo de corriente en la parte media. En consecuencia, suponiendo que el punto de alimentación está en el centro de la antena, la impedancia de entrada es $E_{mín}/I_{mín}$, y tiene valor mínimo. La impedancia en los extremos de la antena es $E_{máx}/I_{máx}$, y tiene valor máximo. La figura 4.25 muestra la curva de impedancia en un dipolo de media onda alimentado en el centro. La impedancia varía desde un valor máximo en los extremos, de aproximadamente 2500Ω , hasta un mínimo en el punto de alimentación, de unos 73Ω , de los cuales, entre 60 y 70Ω es la resistencia de radiación.

Figura 4.24. Distribuciones idealizadas de voltaje y de corriente a lo largo de un dipolo de media onda.



Fuente: TOMASI, Wayne. Sistemas de comunicaciones electrónicas.

Figura 4.25. Curva de impedancia para un dipolo de media onda con alimentación central.



Fuente: TOMASI, Wayne. Sistemas de comunicaciones electrónicas.

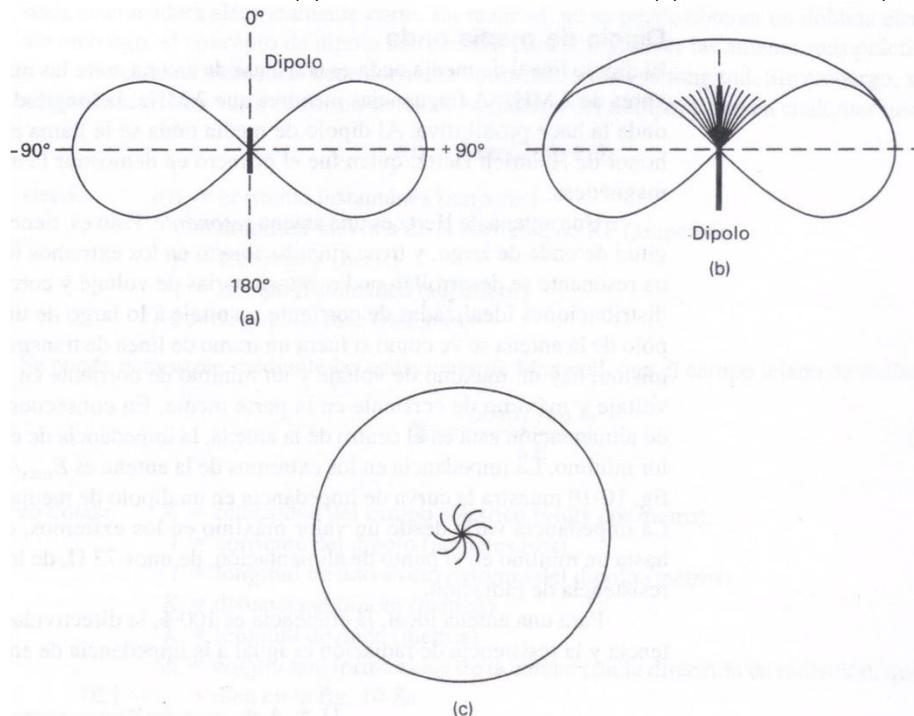
Para una antena ideal, la eficiencia es 100%, la directividad es igual a la ganancia de potencia y la resistencia de radiación es igual a la impedancia de entrada (73), así que:

$$D = \frac{120}{\text{resistencia de radiacion}} = \frac{120}{73} = 1.64$$

$$D \text{ (dB)} = 10 \log 1.64 = 2.16 \text{ dB}$$

Un radiador de alambre, como un dipolo de media onda, se puede concebir como una cantidad infinita de dobletes elementales lado a lado. En consecuencia, la pauta de radiación se puede obtener integrando la ecuación 4-14 sobre la longitud de la antena. La pauta de radiación de un dipolo de media onda en el espacio libre depende de si la antena se pone en dirección horizontal o vertical con respecto a la superficie terrestre. La figura 4.26(a) muestra la pauta de radiación de un dipolo de media onda montado verticalmente, visto de canto. Nótese que dos lóbulos irradian en direcciones opuestas, en ángulo recto con la antena. También nótese que los lóbulos no son círculos. Los lóbulos circulares sólo se obtienen en el caso ideal cuando la corriente es constante en toda la longitud de la antena, lo cual es inalcanzable en una antena práctica. La figura 4.26(b) muestra el corte transversal. Obsérvese que la pauta de radiación tiene forma de ocho, que se parece a la de una dona. La radiación máxima está en un plano paralelo a la superficie terrestre. Mientras mayor es el ángulo de elevación, la radiación es menor, y para 90° no hay radiación. La figura 4.26(c) muestra la vista superior de la pauta de radiación para un dipolo de media onda montado en dirección vertical. La forma es circular, porque la radiación es uniforme en todas las direcciones perpendiculares a la antena.

Figura 4.26. Gráficas de radiación de un dipolo de media onda: (a) Vista vertical (lateral) de un dipolo montado verticalmente; (b) Vista del corte transversal; (c) Vista horizontal (Superior).

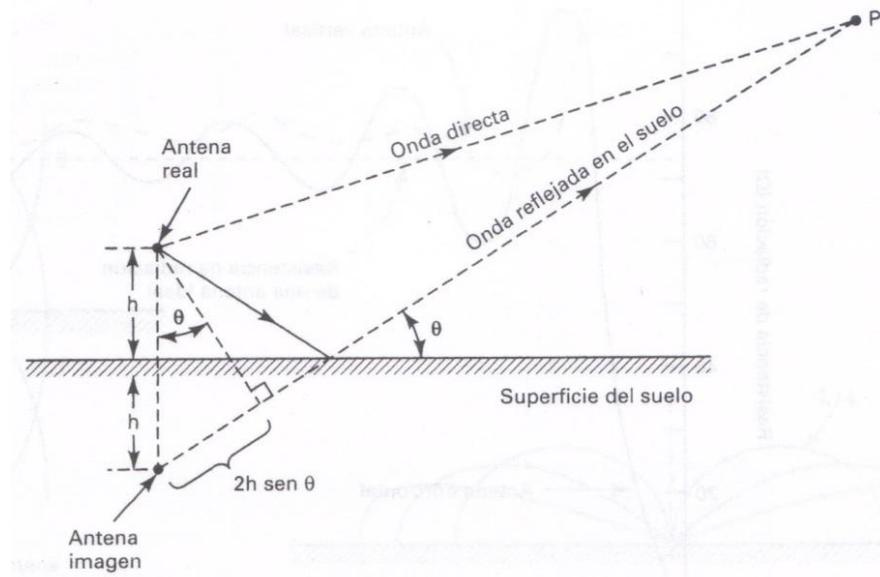


Fuente: TOMASI, Wayne. Sistemas de comunicaciones electrónicas.

► **Efectos del terreno sobre un dipolo de media onda.** Las pautas de radiación de la figura 4.26 son para condiciones en el espacio libre. En la

atmósfera terrestre, la propagación ondulatoria está influida por la orientación de la antena, la absorción atmosférica y los efectos del suelo, como la reflexión. El efecto de la reflexión de un dipolo de media onda no aterrizado sobre el suelo se ve en la figura 4.27. La antena se monta a una cantidad apreciable de longitudes de onda (altura h) sobre la superficie de la tierra. La intensidad de campo en cualquier punto dado del espacio es la suma de las ondas directa y reflejada en el suelo. La onda reflejada en el suelo parece irradiarse de una imagen de la antena situada a la distancia h bajo el suelo. Esta antena aparente es una imagen especular de la antena real. La onda reflejada en el piso está invertida, o desfasada 180° , y recorre una distancia $2h \sin \theta$ mayor que la onda directa, para llegar al mismo punto P en el espacio. La pauta de radiación que resulta es una suma de las radiaciones de la antena real y la antena espejo, o especular. Nótese que es la técnica de trazado de rayos, clásica en óptica.

Figura 4.27. Efectos del suelo sobre un dipolo de media onda.

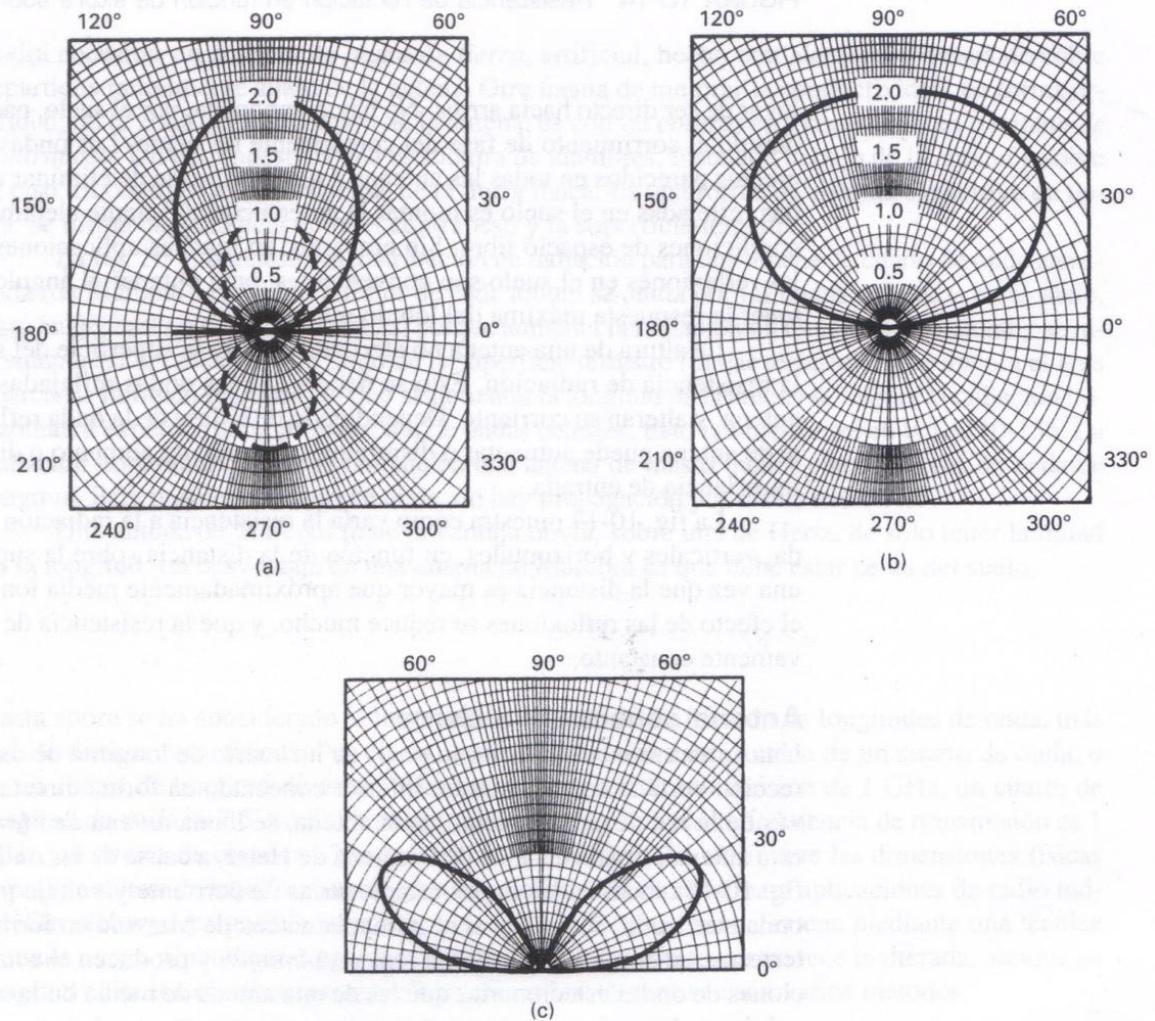


Fuente: TOMASI, Wayne. Sistemas de comunicaciones electrónicas.

La figura 4.28 muestra las gráficas de radiación vertical para un dipolo de media onda montado horizontalmente un cuarto de onda arriba del suelo. Para este caso, el lóbulo inferior desaparece por completo y la intensidad de campo directo hacia arriba se duplica. La figura 4.28(a) muestra, en línea de puntos, la gráfica en espacio libre, y en línea llena, la distribución vertical en un plano que pasa por la antena. La figura 4.28(b) muestra la distribución vertical en un plano en ángulo recto con la antena. La figura 4.28(c) muestra la gráfica de radiación vertical para un dipolo horizontal a media onda arriba del suelo. Se ve que ahora la gráfica se descompone en dos lóbulos, y que la dirección de radiación máxima (vista de frente) está a 30° de la horizontal, en lugar de ser directo hacia arriba. No hay componente por el suelo, para la polarización horizontal, debido al corrimiento de fase del componente reflejado. Las ondas reflejadas en el piso tienen efectos

parecidos en todas las antenas. La mejor forma de eliminar o reducir el efecto de las ondas reflejadas en el suelo es montar la antena con suficiente alejamiento del suelo para obtener condiciones de espacio libre. Sin embargo, en muchas aplicaciones eso es imposible. A veces, las reflexiones en el suelo son convenientes, para obtener el ángulo de elevación deseado para tener la respuesta máxima del lóbulo mayor.

Figura 4.28. Gráfica de radiación vertical para un dipolo de media onda: (a) En un plano a través de la antena; (b) En un plano perpendicular a la antena; (c) Dipolo horizontal a media longitud de onda sobre el suelo.



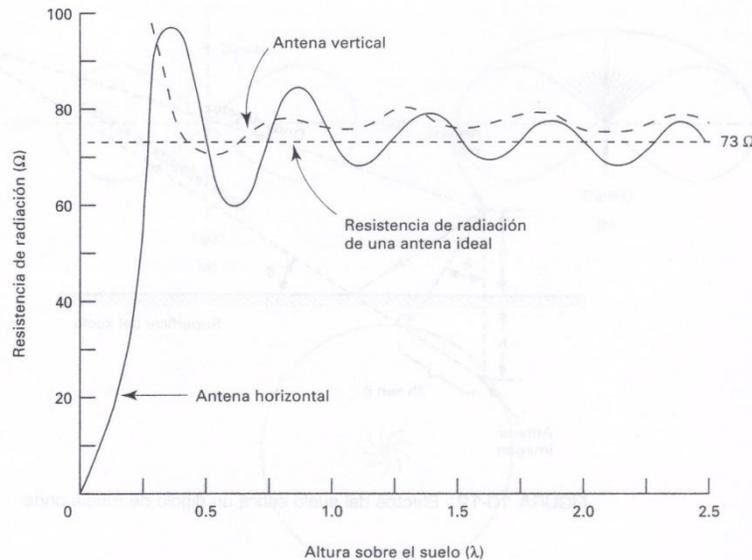
Fuente: TOMASI, Wayne. Sistemas de comunicaciones electrónicas.

La altura de una antena no aterrizada, sobre la superficie del suelo, también influye sobre la resistencia de radiación. Esto se debe a que las ondas reflejadas atraviesan o interceptan la antena, y alteran su corriente. Dependiendo de la fase de la onda reflejada en el suelo, la corriente de antena puede aumentar o

disminuir, causando un aumento o disminución respectivos en la impedancia de entrada.

La figura 4.29 muestra cómo varía la resistencia a la radiación de los dipolos de media onda, verticales y horizontales, en función de la distancia sobre la superficie del suelo. Se ve que una vez que la distancia es mayor que aproximadamente media longitud de onda sobre el piso, el efecto de las reflexiones se reduce mucho, y que la resistencia de radiación permanece relativamente constante.

Figura 4.29. Resistencia de radiación en función de la altura sobre el suelo.



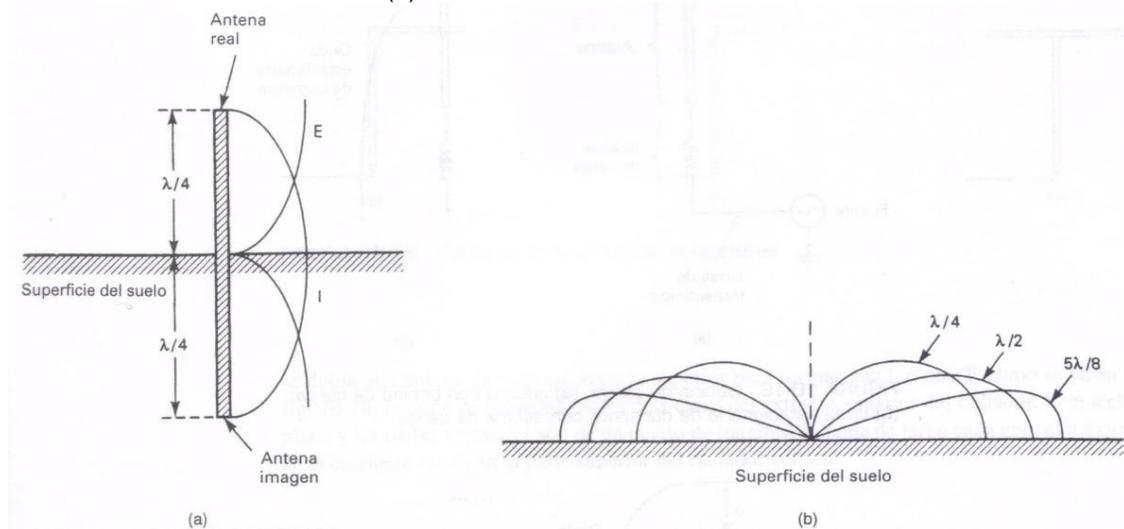
Fuente: TOMASI, Wayne. Sistemas de comunicaciones electrónicas.

4.5.4.3 Antena conectada a tierra. Una antena *monopolo* (un solo polo) de un cuarto de longitud de onda de largo, montada en dirección vertical con el extremo inferior conectado en forma directa al suelo, o aterrizada a través de la red de acoplamiento de la antena, se le llama *antena de Marconi*. Las características de esta antena se parecen a las de la antena de Hertz, a causa de las ondas reflejadas en el suelo. La figura 4.30(a) muestra las ondas estacionarias de corriente y voltaje para una antena de cuarto de onda aterrizada. Se ve que si se monta la antena de Marconi en forma directa sobre la superficie terrestre, se combinan la antena real y su *imagen* y producen exactamente las mismas distribuciones de ondas estacionarias que las de una antena de media onda no aterrizada (de Hertz). Los máximos de corriente se presentan en los extremos aterrizados, y eso hace que pase una gran corriente por el suelo. Para reducir las pérdidas, el terreno debe ser buen conductor, por ejemplo, como un suelo rico en arcilla. Si es mal conductor, como por ejemplo si es arenoso o rocoso, se podrá necesitar un sistema de *plano de tierra*, artificial, hecho con alambres gruesos de cobre repartidos radialmente debajo de la antena. Otra forma de mejorar la conductividad, en forma artificial, de la zona del suelo debajo de la antena, es con

un *contrapeso*, *contraantena* o *antena de contrapeso*. Un contrapeso es una estructura de alambres, instalada debajo de la antena y sobre el piso. El contrapeso debe aislarse de la tierra física. Es una forma de sistema capacitivo de tierra: se forma capacitancia entre el contrapeso y la superficie terrestre.

La figura 4.30(b) muestra la distribución de radiación para una antena de cuarto de onda aterrizada (de Marconi). La mitad inferior de cada lóbulo se anula por las ondas reflejadas en el suelo. Esto en general no tiene importancia, porque aumenta la radiación en dirección horizontal y se incrementa así la radiación a lo largo de la superficie terrestre (ondas terrestres) y se mejora el área abarcada. También se puede ver que al aumentar la longitud de la antena se mejora la radiación horizontal, a expensas de la propagación de ondas celestes. Esto también se ve en la figura 4.30(b). La radiación horizontal óptima se obtiene en una antena de más o menos cinco octavos de onda de longitud. Para una de un cuarto de onda, no hay propagación por ondas terrestres.

Figura 4.30. Antena aterrizada de cuarto de onda: (a) Ondas estacionarias de voltaje y de corriente; (b) Distribución de la radiación.



Fuente: TOMASI, Wayne. Sistemas de comunicaciones electrónicas.

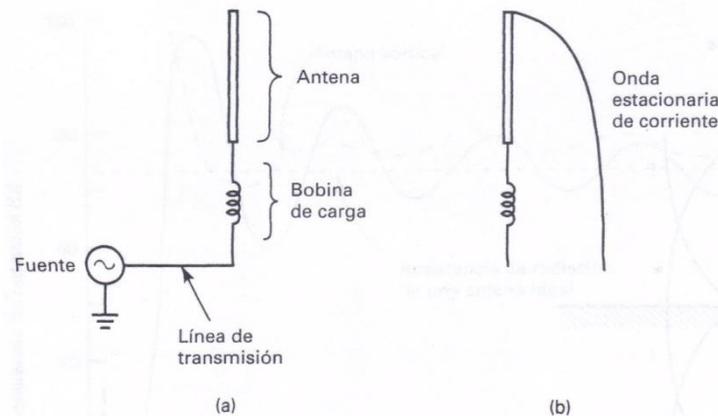
Una antena de Marconi tiene la ventaja obvia, sobre una de Hertz, de sólo tener la mitad de la longitud. La desventaja de una antena Marconi es que debe estar cerca del suelo.

4.5.5 Carga de la antena. Hasta ahora se ha considerado la longitud de una antena en función de longitudes de onda, más que de dimensiones físicas. Por cierto, ¿qué longitud tiene una antena de un cuarto de onda, o de un cuarto de longitud de onda? Para una frecuencia de transmisión de 1 GHz, un cuarto de longitud de onda es 7.5 cm (2.95 pulgadas). Sin embargo, cuando la frecuencia de transmisión es 1 MHz, un cuarto de onda es 75 m y a 100 KHz es 750 m. Es obvio que las dimensiones físicas para las antenas de baja frecuencia no son prácticas,

en especial para aplicaciones de radio móvil. Sin embargo, es posible aumentar la longitud eléctrica de una antena mediante una técnica llamada *carga*. Cuando se carga una antena, su longitud física permanece inalterada, aunque su longitud eléctrica efectiva aumenta. Para cargar las antenas se usan varios métodos.

4.5.5.1 Bobinas de carga. La figura 4.31(a) muestra cómo una bobina (inductor) conectada en serie con una antena de dipolo aumenta efectivamente la longitud eléctrica de una antena. Esa bobina tiene el adecuado nombre de *bobina de carga*. La bobina de carga anula y elimina bien el componente capacitivo de la impedancia de entrada de la antena. Así, la antena se ve como si fuera un circuito resonante, es resistiva y ya puede absorber el 100% de la potencia incidente. La figura 4.31(b) muestra las pautas de onda estacionarias de corrientes en una antena con una bobina de carga. La bobina de carga se suele poner en la parte inferior de la antena, para permitir que ésta se sintonice con facilidad con la resonancia. Una bobina de carga aumenta eficazmente la resistencia de radiación de la antena en unos 5Ω . También, obsérvese que la onda estacionaria de corriente tiene valor máximo en la bobina, aumentando las pérdidas de potencia, creando condiciones de posible corona y reduciendo en forma efectiva la eficiencia de radiación de la antena.

Figura 4.31. Bobina de carga: (a) Antena con bobina de carga; (b) Onda estacionaria de corriente con bobina de carga.

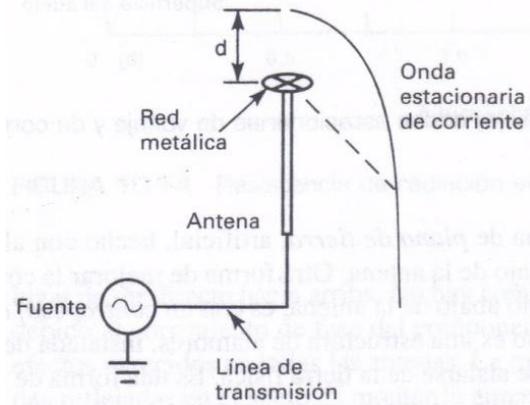


Fuente: TOMASI, Wayne. Sistemas de comunicaciones electrónicas.

4.5.5.2 Carga por el extremo superior. Las bobinas de carga tienen algunos inconvenientes que se pueden evitar con un método llamado *carga por el extremo superior* (o *por la terminal*) de la antena. En este caso se coloca un conjunto metálico que parece una rueda con rayos, en el extremo superior de la antena. La rueda aumenta la capacitancia en paralelo con el suelo y reduce la capacitancia general de la antena. En la figura 4.32 se muestra la carga superior de la antena. Obsérvese que la onda estacionaria de corriente sube a lo largo de la antena, como si su longitud hubiera aumentado la distancia d , poniendo el máximo de corriente en la base. La carga por el extremo superior da como resultado un

aumento considerable en la resistencia de radiación y la eficiencia de irradiación. También reduce el voltaje de la onda estacionaria en la base de la antenna. Sin embargo, este método es muy impráctico para aplicaciones móviles.

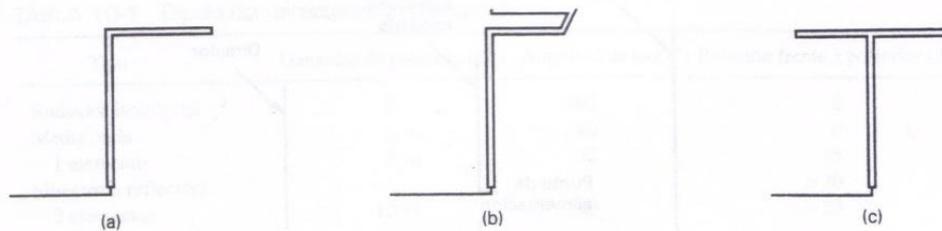
Figura 4.32. Antena cargada por la terminal.



Fuente: TOMASI, Wayne. Sistemas de comunicaciones electrónicas.

La onda estacionaria de corriente se puede subir todavía más, aumentando todavía más la eficiencia de irradiación, si a la antena se le agrega un *techo plano*, *hoja* o *hilos horizontales*. Si se dobla una antena vertical en su parte superior para formar una L o una T, como se ve en la figura 4.33, la onda de corriente estará más cerca del extremo superior del radiador. Si el techo plano y las partes verticales son de un cuarto de longitud de onda de largo cada uno, el máximo de la corriente estará en la parte superior del radiador vertical.

Figura 4.33. Carga de antena de hilos horizontales.



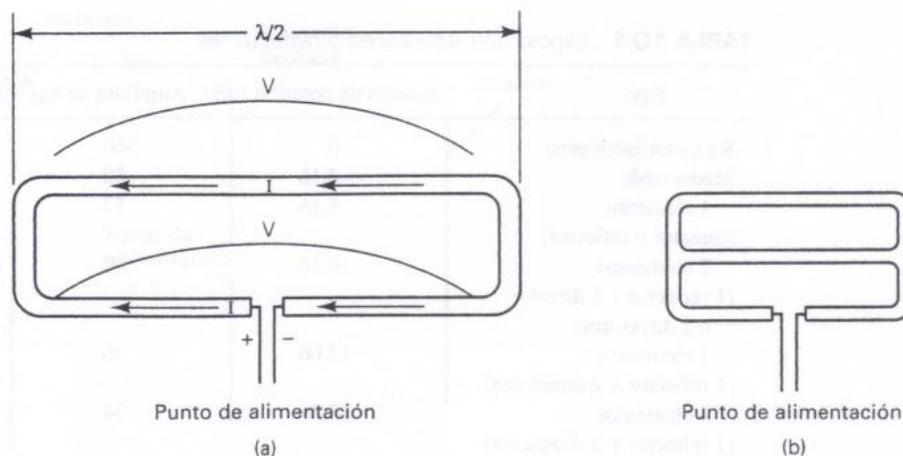
Fuente: TOMASI, Wayne. Sistemas de comunicaciones electrónicas.

4.5.6 Antenas de uso especial.

4.5.6.1 Dipolo doblado. Un *dipolo doblado* de dos alambres con su onda estacionaria de voltaje asociada, se muestra en la figura 4.34(a). El dipolo doblado es, en esencia, una antena única formada por dos elementos. Un elemento se alimenta en forma directa, mientras que el otro tiene acoplamiento inductivo en los extremos. Cada elemento tiene media longitud de onda de largo. Sin embargo, como puede pasar corriente por las esquinas, hay una longitud de onda completa de corriente en la antena. Así, para la misma potencia de entrada, la corriente de entrada es la mitad de la del dipolo básico de media onda, y la impedancia de

entrada es cuatro veces mayor ($4 \times 72 = 288$). La impedancia de entrada de un dipolo doblado es igual a la impedancia de media onda (72Ω) multiplicada por la cantidad de alambres doblados, elevada al cuadrado. Por ejemplo, si hay tres dipolos como se ve en la figura 4.34(b), la impedancia de entrada es $3^2 \times 72 = 648 \Omega$. Otra ventaja del dipolo doblado sobre un dipolo básico de media onda es el mayor ancho de banda. Se puede aumentar todavía más el ancho de banda haciendo de mayor diámetro los elementos del dipolo (esa antena se llama *dipolo grueso* o *dipolo gordo*). Sin embargo, los dipolos gruesos tienen distribuciones de corriente y características de impedancia de entrada ligeramente distintas que los delgados.

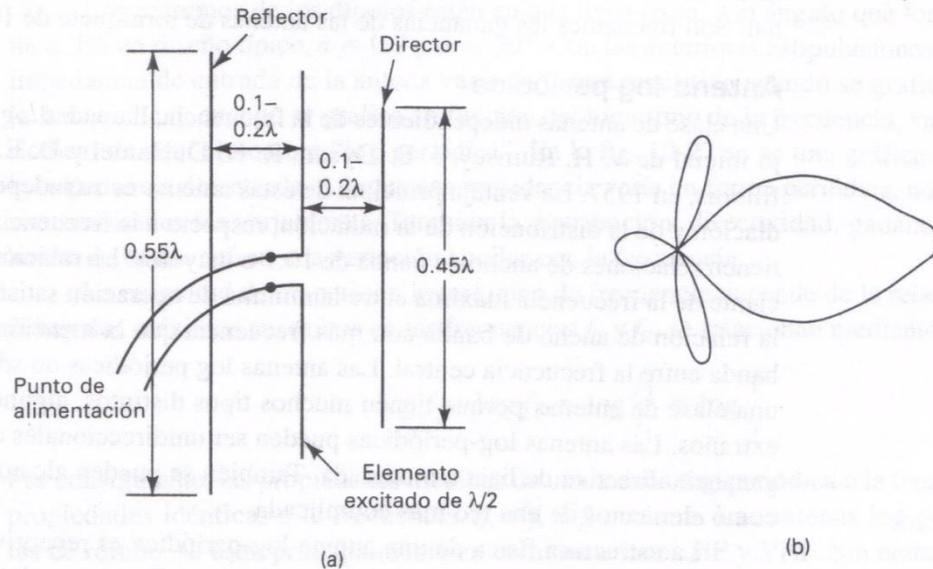
Figura 4.34. (a) Dipolo doblado; (b) Dipolo doblado de tres elementos.



Fuente: TOMASI, Wayne. Sistemas de comunicaciones electrónicas.

► **Antena de Yagi-Uda.** Una antena muy usada que usa con frecuencia un dipolo doblado como elemento excitado es la *antena Yagi-Uda*, en honor de los dos científicos japoneses que la inventaron y describieron su funcionamiento. Esta antena se suele llamar *de Yagi*, simplemente. Es un conjunto lineal formado por un dipolo y dos o más elementos parásitos: un reflector y una o más directores. En la figura 4.35(a) se ve una antena Yagi sencilla de tres elementos. El elemento excitado es un dipolo doblado de media onda. A este elemento se le llama elemento excitado, porque está conectado con la línea de transmisión; sin embargo, se suele usar sólo para recibir. El reflector es una barra recta de aluminio, 5% más larga que el dipolo, y el director se corta un 5% más corto que el elemento excitado. La distancia entre los elementos suele ser de 0.1 a 0.2 longitudes de onda. La figura 4.35(b) muestra la gráfica de radiación de una antena de Yagi. Si directividad es de 7 a 9 dB. Se puede aumentar el ancho de banda de una antena Yagi si se usa más de un dipolo doblado, cada uno cortado con longitud ligeramente distinta. En consecuencia, la antena de Yagi se suele usar para recibir TV VHF, por su gran ancho de banda: la banda de TV VHF está entre los 54 y los 216 MHz. La tabla 4.1 muestra las distancias entre los elementos para conjuntos de Yagi con dos a ocho elementos.

Figura 4.35. Antena de Yagi-Uda: (a) Yagi de tres elementos; (b) Gráfica de radiación.



Fuente: TOMASI, Wayne. Sistemas de comunicaciones electrónicas.

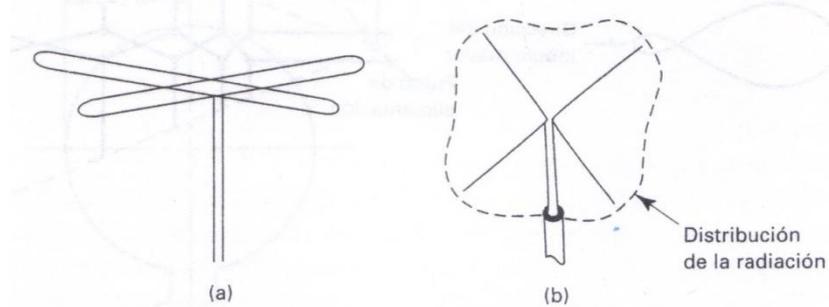
Tabla 4.1. Distancia entre elementos para redes de Yagi (todas las unidades están representadas en longitud de onda, λ).

Espacio entre elementos	Cantidad de elementos						
	2	3	4	5	6	7	8
Reflector a elemento excitado	0.19	0.19	0.19	0.18	0.18	0.18	0.18
Director 1 a elemento excitado	-	0.17	0.16	0.16	0.16	0.16	0.15
Director 2 a director 1	-	-	0.16	0.18	0.20	0.21	0.22
Director 3 a director 2	-	-	-	0.20	0.25	0.30	0.30
Director 4 a director 3	-	-	-	-	0.28	0.28	0.29
Director 5 a director 4	-	-	-	-	-	0.30	0.30
Director 6 a director 5	-	-	-	-	-	-	0.35
Director 7 a director 6	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: TOMASI, Wayne. Sistemas de comunicaciones electrónicas.

4.5.6.2 Antena de torniquete. Una antena de torniquete se forma colocando dos dipolos en ángulo recto entre sí, desfasados 90° , como se ve en la figura 4.36(a). La pauta de radiación que se ve en la figura 4.36(b) es la suma de las radiaciones de los dos dipolos, con lo cual se obtiene una distribución casi omnidireccional. Son frecuentes las ganancias de las antenas de torniquete de 10 o más dB.

Figura 4.36. (a) Antena de torniquete; (b) Distribución de la radiación.



Fuente: TOMASI, Wayne. Sistemas de comunicaciones electrónicas.

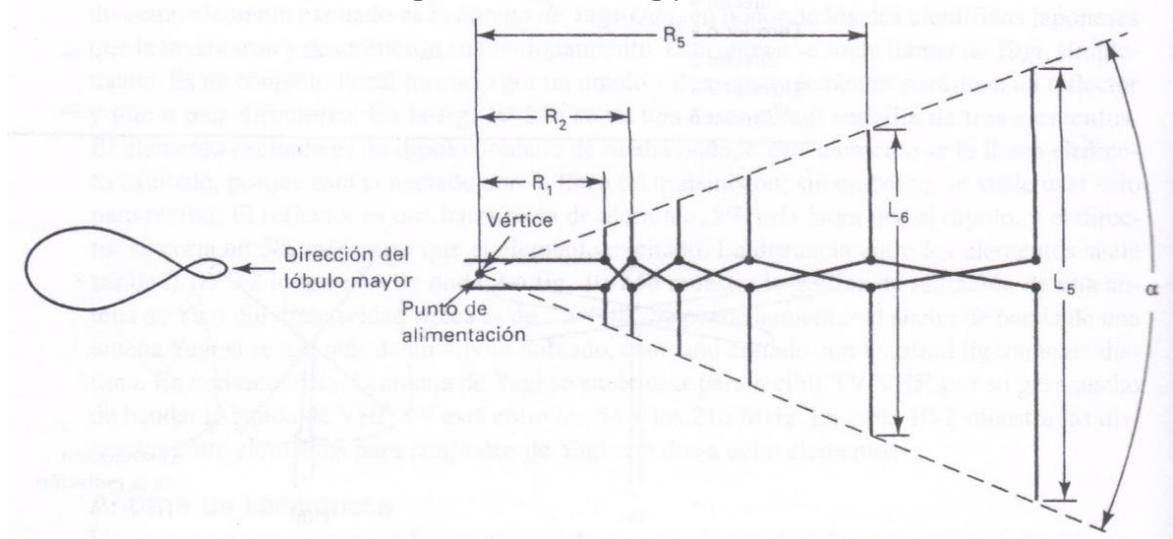
4.5.6.3 Antena log-periódica. Una clase de antenas independientes de la frecuencia, llamadas *log-periódicas*, surgió del trabajo inicial de V. H. Rumsey, J. D. Dyson, R. H. DuHamel y D. E. Isbell en la universidad de Illinois, en 1957. La ventaja principal de estas antenas es su independencia de resistencia de radiación y de la distribución de la radiación, respecto a la frecuencia. Las antenas log-periódicas tienen relaciones de ancho de banda de 10:1 o mayores. La relación de ancho de banda es el cociente de la frecuencia máxima entre la mínima de operación satisfactoria de una antena. Se usa la relación de ancho de banda con más frecuencia que la mención del porcentaje del ancho de banda entre la frecuencia central. Las antenas log-periódicas no solo son un tipo, sino más bien una clase de antenas porque tienen muchos tipos distintos, algunos de los cuales son bastante extraños. Las antenas log-periódicas pueden ser unidireccionales o bidireccionales, y tener una ganancia directiva de baja a moderada. También se pueden alcanzar altas ganancias usándolas como elementos de una red más complicada.

La estructura física de una antena log-periódica es repetitiva, y eso causa un comportamiento repetitivo de sus características eléctricas. En otras palabras, el diseño de una antena log-periódica consiste en una figura geométrica básica que se repite, pero con distintos tamaños. Un conjunto básico log-periódico de dipolos es quizá lo que más se acerca un periodo logarítmico a una antena convencional; se ve en la figura 4.37. Consiste en varios dipolos de distinta longitud y distancia, que se alimentan de una sola fuente en el extremo pequeño. La línea de transmisión está en zigzag entre los puntos de alimentación de pares adyacentes de dipolos. La distribución de la radiación para una antena log-periódica básica tiene la radiación máxima alejándose del extremo pequeño. Las longitudes de los dipolos y su distancia se relacionan en tan forma que los elementos adyacentes tienen una relación constante entre sí. Las longitudes y las distancias entre los dipolos se relacionan con la fórmula:

$$\frac{1}{\tau} = \frac{R_n}{R_{n-1}} = \frac{L_n}{L_{n-1}}$$

En donde: R = Distancia entre dipolos (pulgadas).
 L = Longitud del dipolo (pulgadas).
 τ = Relación de diseño (número menor que 1).

Figura 4.37. Antena log-periódica.



Fuente: TOMASI, Wayne. Sistemas de comunicaciones electrónicas.

Los extremos de los dipolos están en una línea recta, y el ángulo que forman se denomina α . En un diseño típico, $\tau = 0.7$ y $\alpha = 30^\circ$. Con las anteriores estipulaciones estructurales, la impedancia de entrada de la antena varía en forma repetitiva cuando se grafica en función de la frecuencia, varía en forma periódica; de aquí el nombre “log-periódica”. En la figura 4.38 se ve una gráfica característica de la impedancia de entrada. Aunque esa impedancia varía en forma periódica, no necesariamente son sinusoidales las variaciones. También la distribución, directividad, ganancia de potencia y ancho de banda sufren una variación similar con la frecuencia.

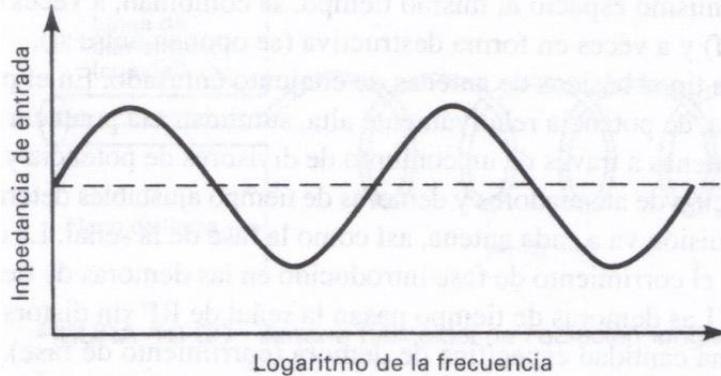
La magnitud de un periodo logarítmico de frecuencia depende de la relación de diseño y si hay dos máximos sucesivos en la frecuencia f_1 y f_2 , se relacionan mediante la fórmula:

$$\log f_2 - \log f_1 = \log \frac{f_2}{f_1} = \log \frac{1}{\tau}$$

Por consiguiente, las propiedades medidas de una antena log periódica a la frecuencia f tendrán propiedades idénticas a la frecuencia τf , $\tau^2 f$, $\tau^3 f$, etcétera. Las antenas log-periódicas, como las de rombo, se usan principalmente en comunicaciones HF y VHF. Sin embargo, las antenas log-periódicas no tienen un resistor de terminación y en consecuencia son más eficientes. Con mucha

frecuencia, las antenas de TV anunciadas como de “alta ganancia” o de “alto rendimiento” son log-periódicas.

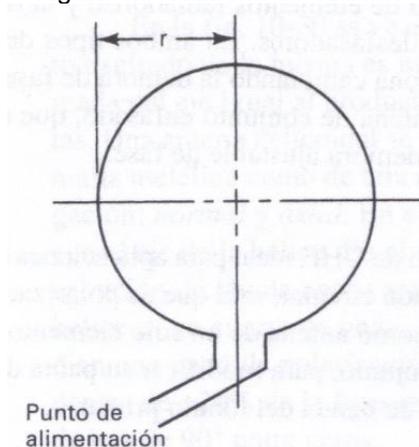
Figura 4.38. Impedancia de entrada log-periódica en función de la frecuencia.



Fuente: TOMASI, Wayne. Sistemas de comunicaciones electrónicas.

4.5.6.4 Antena de cuadro. La *antena de cuadro* más fundamental no es más que una bobina de una vuelta de alambre, mucho más corto que una longitud de onda, y conduce corriente de RF. Esa espira se ve en la figura 4.39. Si el radio r es pequeño en comparación con una longitud de onda, la corriente está esencialmente en fase por la espira. Se puede imaginar que una espira está formada por muchos dipolos elementales conectados entre sí. Los dipolos son rectos y, por consiguiente, la espira es en realidad un polígono, más que un círculo. Sin embargo, se puede tener un círculo aproximado si se supone que los dipolos son lo bastante cortos. La espira está rodeada por un campo magnético en ángulo recto con el alambre, y la pauta direccional es independiente de la forma exacta. En general, las espiras son circulares; sin embargo, sirve cualquier forma. La distribución de la radiación para una antena de cuadro es igual, en esencia, que la de un dipolo horizontal corto.

Figura 4.39. Antena de cuadro.



Fuente: TOMASI, Wayne. Sistemas de comunicaciones electrónicas.

La resistencia de radiación para una espira pequeña es:

$$R_r = \frac{31200A^2}{\lambda^4}$$

En la que A es el área de la espira. Para aplicaciones en muy baja frecuencia, las espiras se hacen a menudo con más de una vuelta de alambre. La resistencia de radiación de un cuadro de varias vueltas no es más que la de una sola vuelta multiplicada por la cantidad de vueltas elevada al cuadrado. La polarización de una antena de cuadro, como la de un dipolo elemental, es lineal. Sin embargo, una espira vertical está polarizada verticalmente y una horizontal, polarizada horizontalmente.

Los cuadros pequeños polarizados verticalmente se usan mucho como antenas goniométricas. La dirección de la señal recibida se puede determinar orientando la espira hasta encontrar un valor nulo o cero. Es la dirección de la señal recibida. Los cuadros tienen una ventaja sobre casi todos los demás tipos de antenas en goniometría, porque en general son mucho menores y en consecuencia se adaptan con más facilidad a aplicaciones de comunicaciones móviles.

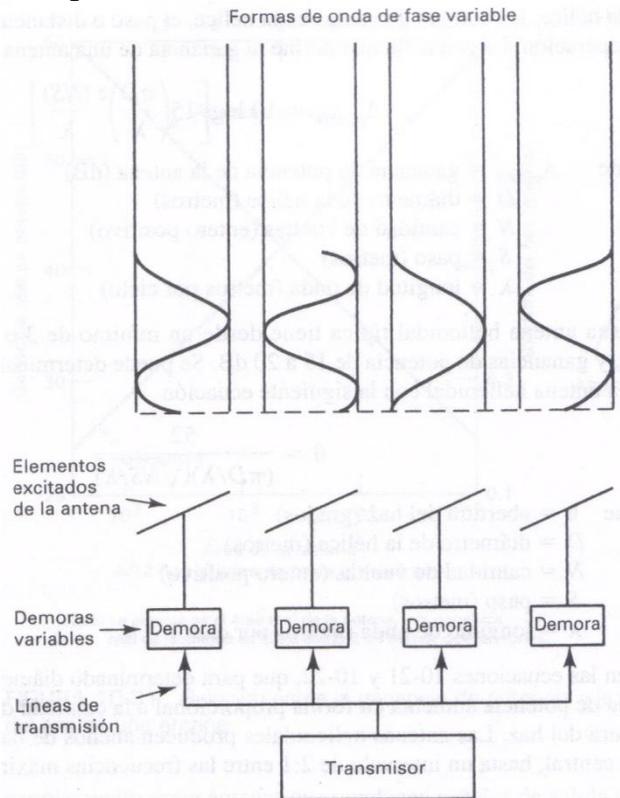
4.5.6.5 Antenas de conjunto enfasado. Una *antena de conjunto enfasado* es un arreglo de antenas, o un arreglo de redes de antenas que, cuando se conectan entre sí funcionan como una sola antena cuyo ancho de banda y dirección (es decir, su gráfica de radiación) se puede cambiar en forma electrónica, sin tener que mover físicamente alguna de las antenas individuales o de los elementos de antena dentro del conjunto. La ventaja principal de las antenas de conjunto enfasado es que eliminan la necesidad de elementos de antena giratorios. En esencia, un conjunto enfasado es una antena cuya pauta de radiación de radiación se puede ajustar o cambiar en forma electrónica. La aplicación principal de los conjuntos enfasados es para radar, cuando se debe poder cambiar con rapidez las pautas de radiación para seguir un objeto en movimiento. Sin embargo, las agencias gubernamentales que transmiten señales de potencia extremadamente grande, para lugares remotos seleccionados en todo el mundo, como la Voz de América, también usan antenas de conjunto enfasado ajustable para dirigir sus transmisiones.

El principio básico de los conjuntos enfasados se basa en la interferencia entre las ondas electromagnéticas en el espacio libre. Cuando las energías electromagnéticas de diversas fuentes ocupan el mismo espacio al mismo tiempo, se combinan, a veces en forma constructiva (se suman entre sí) y a veces en forma destructiva (se oponen entre sí).

Hay dos tipos básicos de antenas de conjunto enfasado. En el primer tipo, un solo dispositivo de salida, de potencia relativamente alta, suministra la potencia de

transmisión a una gran cantidad de antenas a través de un conjunto de divisores de potencia y desfasadores. Una intrincada combinación de atenuadores y demoras de tiempo ajustables determina cuánta de la potencia total de transmisión va a cada antena, así como la fase de la señal. La cantidad de pérdida en los atenuadores y el corrimiento de fase introducido en las demoras de tiempo se controlan con una computadora. Las demoras de tiempo pasan la señal de RF sin distorsionarla más que para proporcionales una cantidad específica de demora (corrimiento de fase). El segundo tipo de antenas de conjunto enfasado usa más o menos la misma cantidad de dispositivos de salida variables, de baja potencia, que la cantidad de elementos radiadores, y la relación entre las fases de las señales de salida se controla con desfasadores. En ambos tipos de conjuntos enfasados, la distribución de la radiación se selecciona cambiando la demora de fase que introduce cada desfasador. La figura 4.40 muestra una antena de conjunto enfasado, que emplea varios elementos idénticos de antena, cada uno con su demora ajustable de fase.

Figura 4.40. Antena de elementos enfasados.

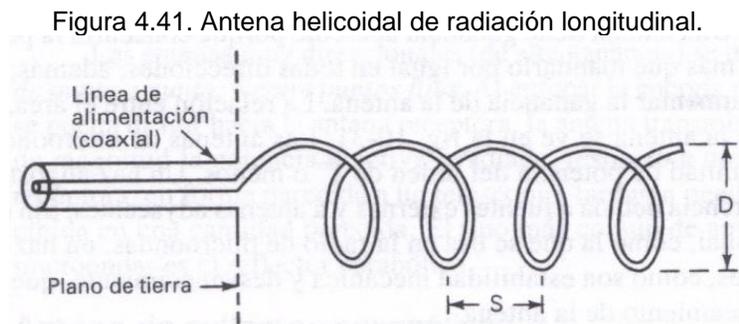


Fuente: TOMASI, Wayne. Sistemas de comunicaciones electrónicas.

4.5.6.6 Antena helicoidal. Una *antena helicoidal* es una de VHF o de UHF, ideal para aplicaciones donde se requiere irradiar ondas electromagnéticas de polarización circular, más que de polarización horizontal o vertical. Una antena helicoidal se puede usar como antena de un solo elemento, o se puede apilar en

dirección horizontal o vertical en un conjunto, para modificar su pauta de radiación, aumentando la ganancia y disminuyendo el ancho de banda del lóbulo primario.

En la figura 4.41 se ve una antena helicoidal básica de radiación longitudinal. El elemento excitado de la misma es una hélice rígida, con espiras espaciadas y con longitud aproximada del eje igual al producto de la cantidad de vueltas por la distancia (paso) entre las vueltas. Una antena helicoidal se monta en un plano de tierra formado por metal macizo, o por una malla metálica como de tela de gallinero. Con una antena helicoidal hay dos modos de propagación: *normal* y *axial*. En el modo normal, la radiación electromagnética es en ángulo recto con el eje de la hélice. En el modo axial, la radiación va en dirección axial y produce una distribución de banda ancha y relativamente direccional. Si la circunferencia aproximada de la hélice es un cuarto de onda, las ondas viajeras se propagan por las espiras de la hélice e irradian una onda de polarización circular. Con las dimensiones de la figura 4.41, las frecuencias dentro de $\pm 20\%$ de la frecuencia central producen una directividad casi de 25, y una abertura de haz de 90° entre ceros.



Fuente: TOMASI, Wayne. Sistemas de comunicaciones electrónicas.

La ganancia de una antena helicoidal depende de varios factores, que incluyen el diámetro de la hélice, la cantidad de vueltas en la hélice, el paso o distancia entre vueltas, y la frecuencia de operación. La ecuación que define la ganancia de una antena helicoidal es:

$$A_p(dB) = 10 \log \left[15 \left(\frac{\pi D}{\lambda} \right)^2 \frac{NS}{\lambda} \right]$$

En donde: $A_p(dB)$ = Ganancia de potencia de la antena (dB)

D = Diámetro de la hélice (metros).

N = Cantidad de vueltas (entero positivo).

S = Paso (metros).

λ = Longitud de onda (metros por ciclo).

Una antena helicoidal típica tiene desde un mínimo de 3 o 4 hasta un máximo de 20 vueltas, y ganancias de potencia de 15 a 20 dB. Se puede determinar la abertura de haz de 3 dB para una antena helicoidal con la siguiente ecuación.

$$\theta = \frac{52}{(\pi D/\lambda) (\sqrt{NS/\lambda})}$$

En la que: θ = Abertura del haz (grados).
 D = Diámetro de la hélice (metros).
 N = Cantidad de vueltas (entero positivo).
 S = Paso (metros).
 λ = Longitud de onda (metros por ciclo).

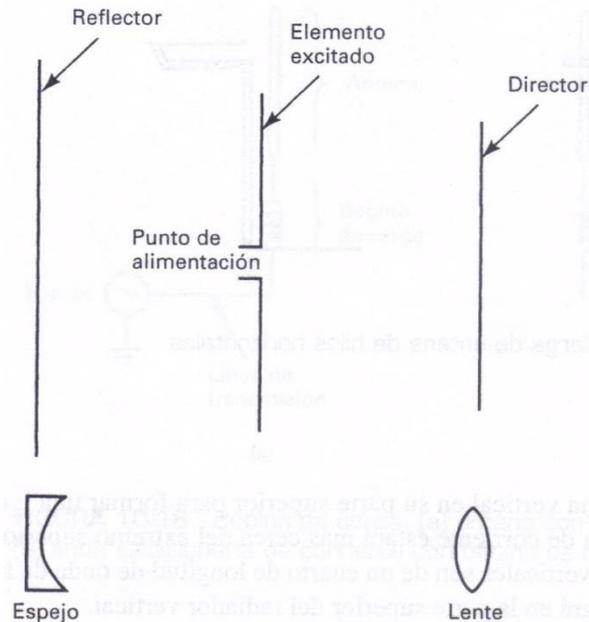
Se ve, en las anteriores ecuaciones, que para determinado diámetro y paso de una hélice, la ganancia de potencia aumenta en forma proporcional a la cantidad de vueltas, y que disminuye la abertura del haz. Las antenas helicoidales producen anchos de banda desde $\pm 20\%$ de la frecuencia central, hasta un intervalo de 2:1 entre las frecuencias máxima y mínima de operación.

4.5.7 Conjuntos de antenas. Un *conjunto de antenas*, o *red de antenas*, se forma cuando se combinan dos o más elementos de una antena para formar una sola antena. Un elemento de antena es un radiador individual, como por ejemplo, un dipolo de media onda o de un cuarto de onda. Los elementos se colocan físicamente en forma tal que sus campos de radiación interactúan y producen una distribución total de radiación que es la suma vectorial de los campos individuales. El objetivo de una red de antenas es aumentar la directividad de un sistema de antena y concentrar la potencia irradiada dentro de un área geográfica menor.

En esencia hay dos tipos de elementos de antena: los *excitados* y los *parásitos* (no excitados). Los elementos excitados se conectan en forma directa con la línea de transmisión y reciben la potencia de, o están excitados por, la fuente. Los elementos parásitos no se conectan a la línea de transmisión; sólo reciben energía mediante inducción mutua con un elemento excitado u otro elemento parásito. Un elemento parásito más largo que el elemento excitado del que recibe la energía se llama *reflector*. Un reflector reduce la intensidad de la señal en su dirección, y la aumenta en dirección contraria. En consecuencia, funciona como si fuera un espejo cóncavo. Esto se debe a que la onda que pasa por el elemento parásito induce un voltaje invertido 180° respecto a la onda que lo indujo. El voltaje inducido produce una corriente en fase, y el elemento la irradia (en realidad, reirradia la energía que acaba de recibir). La energía reirradiada establece un campo que se anula en una dirección y se refuerza en la otra. Un elemento parásito que es más corto que su elemento excitado asociado se llama *director*. Un director aumenta la intensidad de campo en su dirección, y la reduce en la

dirección opuesta. En consecuencia, funciona como si fuera una lente convergente. Esto se ve en la figura 4.42.

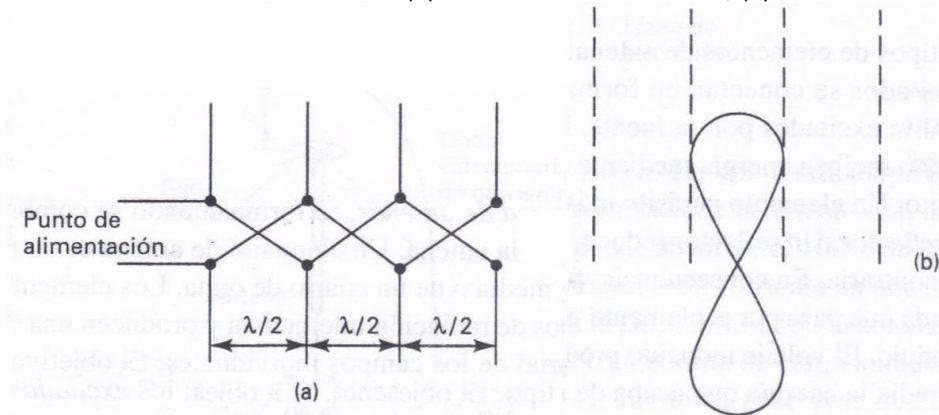
Figura 4.42. Red de antenas.



Fuente: TOMASI, Wayne. Sistemas de comunicaciones electrónicas.

4.5.7.1 Red de radiación lateral. Una *red de radiación lateral* o *transversal* es uno de los tipos más sencillos de redes de antenas. Se forma tan sólo con poner varios dipolos resonantes de igual tamaño, tanto en longitud como en diámetro, en paralelo entre sí, y en línea recta (colineales). Todos los elementos se alimentan en fase desde la misma fuente. Como indica el nombre, una red de radiación lateral irradia en ángulo recto respecto al plano del conjunto, e irradia muy poco en dirección del plano. La figura 4.43(a) muestra una red de radiación lateral formada por cuatro elementos excitados de media onda, separados por media onda. EN consecuencia, la señal que irradia el elemento 2 ha recorrido media longitud de onda más lejos que la señal irradiada del elemento 1, es decir, las señales se irradian desfasadas 180° . Si se pone la línea de transmisión en zigzag se produce un corrimiento adicional de fase de 180° . Por lo anterior, las corrientes en todos los elementos están en fase y las señales irradiadas están en fase en forma aditiva en un plano que forma ángulo recto con el plano de la red. Aunque de por sí la distribución horizontal de la radiación para cada elemento es omnidireccional, al combinarse, los campos producen una distribución bidireccional muy dirigida (4.43(b)). Se puede aumentar todavía más la directividad si se aumenta la longitud del conjunto, agregando más elementos.

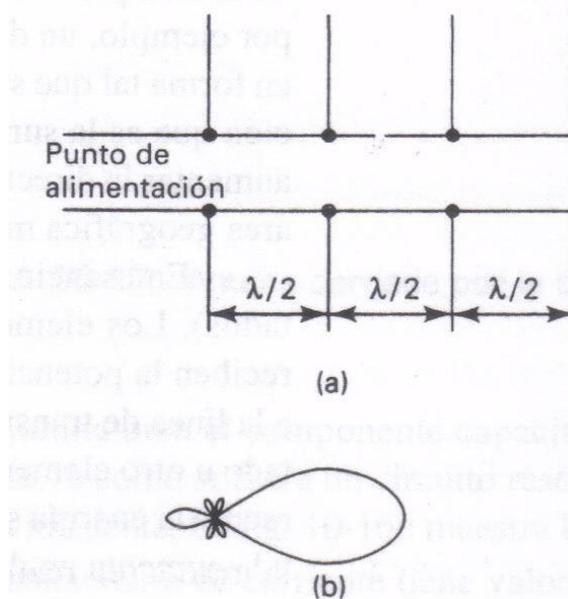
Figura 4.43. Antena de radiación lateral: (a) Red de radiación lateral; (b) Gráfica de radiación.



Fuente: TOMASI, Wayne. Sistemas de comunicaciones electrónicas.

4.5.7.2 Red de radiación longitudinal. Una *red de radiación longitudinal* tiene en esencia la misma configuración de elementos que la red de radiación lateral, pero la línea de transmisión no se conecta en zigzag entre los elementos. En consecuencia, los campos son aditivos y alineados con el plano del conjunto. La figura 4.44 muestra una red de radiación longitudinal, y su gráfica resultante de radiación.

Figura 4.44. Antena de radiación longitudinal: (a) Red de radiación longitudinal; (b) Gráfica de radiación.



Fuente: TOMASI, Wayne. Sistemas de comunicaciones electrónicas.

La tabla 4.2 presenta los efectos de agregar directores y reflectores sobre la ganancia, ancho de haz y relación frente a posterior para un dipolo de media onda.

Tabla 4.2. Dipolo con directores y reflectores.

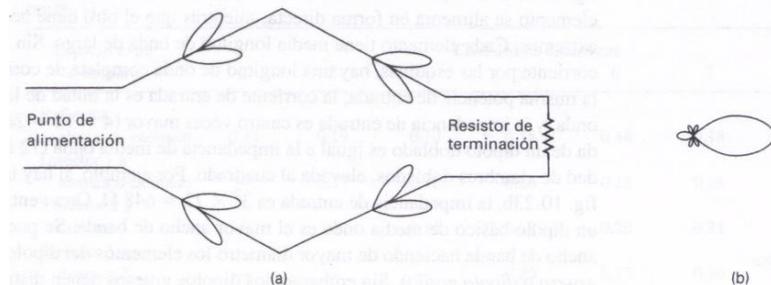
Tipo	Ganancia de potencia (dB)	Amplitud de haz (°)	Relación frente a posterior (dB)
Radiador isotrópico	0	360	0
Media onda	2.16	80	0
1 elemento (director o reflector)	7.16	52	15 ó 20
2 elementos (1 reflector + 1 director o 2 directores)	10.16	40	23
3 elementos (1 reflector + 2 directores)	12.06	36	24
4 elementos (1 reflector + 3 directores)	13.26	34	25
6 elementos (1 reflector + 5 directores)	14.56	30	27
10 elementos (1 reflector + 9 directores)	15.66	24	29.5

0.1λ = Espaciamiento de director.
 0.15 λ = Espaciamiento de reflector.
 0.05 λ = Cambio de longitud por elemento.

Fuente: TOMASI, Wayne. Sistemas de comunicaciones electrónicas.

4.5.7.3 Conjunto no resonante: la antena rómbica. La *antena rómbica* es una antena no resonante capaz de funcionar en forma satisfactoria con un ancho de banda relativamente grande, por lo que es ideal para transmisión de HF (de 3 a 30 MHz). Está formada por cuatro elementos no resonantes, cada uno de varias longitudes de onda de largo. Todo el conjunto termina en un resistor si se desea tener operación unidireccional. El arreglo que más se usa para la antena rómbica se asemeja a una línea de transmisión que se ha estrangulado en su parte media; se ve en la figura 4.45 La antena se monta horizontalmente y se coloca a media longitud de onda, o más, sobre el piso. La altura exacta depende de la gráfica precisa de radiación que se desee. Cada conjunto de elementos funciona como línea de transmisión terminada en su impedancia característica; así, las ondas sólo se irradian hacia adelante. El resistor terminador absorbe más o menos la tercera parte de la potencia total de entrada a la antena. Entonces, una antena rómbica tiene aproximadamente 67% de eficiencia máxima. Se han alcanzado ganancias mayores que 40 (16 dB) con las antenas rómbicas.

Figura 4.45. Antena de rombo: (a) Red rómbica; (b) Gráfica de radiación.



Fuente: TOMASI, Wayne. Sistemas de comunicaciones electrónicas.

5. DESARROLLO DEL PLAN DE TRABAJO

5.1 RECONOCIMIENTO DEL EQUIPO UTILIZADO EN LA EMISORA

De igual forma que se planteó como primer objetivo del plan de trabajo propuesto para dar inicio a la práctica, la identificación y reconocimiento de todo el equipo, elemento e instrumento utilizado en la emisora, esta fue la primera tarea realizada, logrando así un conocimiento general de las herramientas con las que cuenta la emisora para el desempeño de su labor diaria, al mismo tiempo que el hecho de haber conocido donde se encuentra cada equipo y su función, permitió tener una especie de esquema general de tal forma que se pudiera llegar a encontrar inconvenientes ocurridos de una forma rápida.

A continuación se describirán los elementos e instrumentos con los que cuenta la emisora para el desempeño de su labor. Cabe resaltar que para la descripción de los elementos, es necesario dividirlos por el lugar en donde se encuentran instalados, con el fin de lograr una mayor claridad en la explicación de las tareas realizadas por estos.

5.1.1 Equipos ubicados en el edificio donde funciona la emisora. El edificio donde funciona la emisora, desde donde se crean, editan y transmiten los programas producidos, se encuentra dividida en cuartos desde los cuales se realizan diferentes tareas referentes al desarrollo de la labor diaria de la emisora; estos cuartos, de acuerdo a la labor realizada en ellos, son denominados producción, grabación, transmisión, entre otros. A modo de hacer referencia solo al equipo de interés para el ámbito de las telecomunicaciones y la electrónica, solo se describirán los equipos encontrados en estos tres cuartos anteriormente nombrados.

5.1.1.1 Cuarto de producción. Justo como su nombre lo indica, en este cuarto se realizan las tareas de producción, esto quiere decir que en este cuarto es donde se lleva el control o se producen las grabaciones realizadas para programas pregrabados, al igual que de las propagandas y cuñas que se pasan al aire y que se realizan en la emisora (hay algunos programas, propagandas y cuñas cuya producción ya se encuentra completamente realizada en otro lugar y son traídas para ser integradas a la programación de la emisora en base a algún acuerdo previo con el departamento de mercadeo o el gerente de la emisora). Adicional a esto, en el cuarto de producción también se encuentra el computador servidor que mantiene la página web y la señal de la emisora en línea en internet, por lo que aquí es donde se realiza el control del funcionamiento de la página web y es donde se carga la programación nocturna de la emisora en internet, ya que a pesar que la emisora no funciona después de las diez de la noche, la página web se encuentra transmitiendo las veinticuatro horas del día programas y en el caso

de la noche que la emisora está fuera del aire, se transmiten programas pregrabados que son programados por el productor cada día y que son cargados cada noche al momento que el último DJ termina su turno.

En el cuarto de producción se encuentra una serie de equipos necesarios para la reproducción de diferentes formatos de música, además de varias consolas para el control de sonido y grabación y, adicional a esto, en este cuarto es donde se encuentran los equipos para transmisión y recepción de señales (este concepto se explicará mejor al momento de describir estos equipos) y como se describió antes el computador servidor de la página web.

► **Tocadiscos.** El tocadiscos es un equipo usado para la reproducción de discos de vinilo. A pesar del poco uso que se les da actualmente a los discos de vinilo, ya que han sido reemplazados mayormente por formatos digitales, en el cuarto de producción se mantiene esta consola con el fin de evitar inconvenientes en el caso que sea necesario extraer sonido de un disco de estos. Ver figura 5.1.

Figura 5.1. Vista frontal del tocadiscos ubicado en el cuarto de producción.



Fuente: Autor.

► **Reproductor de casetes.** Consola usada para la reproducción y grabación de casetes (cinta de grabación magnética), que al igual que el tocadiscos, a pesar de ser un formato poco usado actualmente, se mantiene en el cuarto de producción en caso de ser requerida la reproducción de cualquier material que se encuentre contenido en casetes. Ver figura 5.2.

Figura 5.2. Vista frontal del reproductor de casetes ubicado en el cuarto de producción.



Fuente: Autor.

► **Reproductor de CD's.** Consola usada para la reproducción CD's (siglas en inglés de *Compact Disc*, discos compactos) de audio digital. Esta consola prácticamente llegó a ser reemplazada por el computador, ya que este posee una unidad reproductora de CD's incorporada, por lo que al igual que el tocadiscos y el reproductor de casetes, se mantiene en el cuarto de producción en caso de requerirse su uso a causa de algún inconveniente con el reproductor del computador o alguna situación especial que requiera su uso. La figura 5.3 ilustra el reproductor de CD's ubicado en el cuarto de producción.

Figura 5.3. Vista frontal del reproductor de CD's ubicado en el cuarto de producción.



Fuente: Autor.

► **Reproductor de Minidisc.** Esta consola tiene como función la grabación y reproducción de Minidisc's. Los Minidisc's son utilizados en la emisora para la grabación de algunos programas recibidos vía satélite para ser transmitidos posteriormente (por ejemplo, hay algunos programas de EWTN que son grabados en minidisc's para ser posteriormente transmitidos en diferentes horarios). La figura 5.4 muestra el reproductor de Minidisc usado en el cuarto de producción.

Figura 5.4. Vista frontal del reproductor de Minidisc ubicado en el cuarto de transmisión.



Fuente: Autor.

► **Amplificador de sonido de producción.** El amplificador de sonido es utilizado para controlar el sonido interno del cuarto o cabina de grabación (la función de este cuarto se explicara más adelante), controlando con este el nivel de volumen de los parlantes que se encuentran dentro de este cuarto y cuya utilidad es permitir a la persona que se encuentre grabando, escuchar las indicaciones del productor que se encuentra a cargo en el cuarto del producción, o escuchar cualquier fuente de sonido que el productor desee dar a conocer a la persona que se encuentra en el cuarto de grabación. La figura 5.5 muestra la consola amplificadora de sonido usada en el cuarto de producción.

Figura 5.5. Vista frontal del amplificador de sonido ubicado en el cuarto de transmisión.



Fuente: Autor.

► **Consola mezcladora de sonido.** Consola usada para el control de los niveles de sonido de cada micrófono del cuarto de grabación, además de cada consola anteriormente mencionada y algunas otras fuentes de sonido. Cabe resaltar que estos cambios en los niveles de sonido de cada fuente, solo aplica a al sonido que graba en el computador de producción, en otras palabras, el sonido mezclado producido por esta consola, es el sonido que es grabado por el computador de producción (entrada de audio del computador). La figura 5.6 ilustra la consola mezcladora utilizada para la tarea de producción.

Figura 5.6. Consola mezcladora de sonido ubicada en el cuarto de producción.



Fuente: Autor.

► **Computador de producción.** El computador de producción, es el equipo utilizado para la realización de la tarea de producción, siendo con este que el productor realiza la edición de los programas pregrabados y, organiza dichos programas en carpetas para que puedan ser fácilmente encontrados por los DJ's encargados de transmitirlos en programas posteriores. Cabe resaltar que este computador posee un programa especializado para la edición de audio.

► **Computador servidor de la página web.** Este computador, como su nombre lo indica, esta destinado como soporte o servidor del sitio web de la emisora, siendo desde este donde se encuentra montada la página web y el programa encargado de digitalizar y reproducir en internet la señal de sonido producida en la

emisora o, como sucede en cada noche que la emisora sale del aire, de la programación nocturna cargada por el último DJ encargado.

► **Amplificador de sonido de retorno.** Este amplificador cumple la función de brindar sonido a los tres parlantes que se encuentran distribuidos en la salas de espera de la emisora, brindando un retorno fiel para que a través de este se pueda realizar control de calidad del sonido producido en el cuarto de transmisión, o simplemente, para dar a conocer a los visitantes e interesados, la programación que se está enviando al aire en el momento. Ver figura 5.7.

Figura 5.7. Vista frontal del amplificador de sonido que alimenta los parlantes de retorno.



Fuente: Autor.

► **Consolas receptoras de satélites.** Al hablar de las consolas receptoras de señales de satélites, se hace referencia a las consolas encargadas de decodificar la señal recibida a través de antenas satelitales ubicadas en la azotea del edificio donde funciona la emisora. En el caso de la emisora, se refiere a las consolas encargadas de decodificar la señal de EWTN (Radio católica mundial) y Direct TV, fuentes utilizadas para la adquisición de algunos programas y estar enterados de las noticias relevantes de la actualidad. La figura 5.8 muestra la consola decodificadora de EWTN en la parte superior y de Direct TV en la parte inferior de la misma.

Figura 5.8. Consolas receptoras de señales satelitales.



Fuente: Autor.

► **Consola receptora del equipo móvil.** En el cuarto de producción se encuentra también el receptor del equipo móvil, consola encargada de recibir la señal transmitida por el equipo móvil (este equipo será descrito posteriormente) y demodularla para después ser recibida y controlado el nivel de audio de la señal a

través de la consola mezcladora del cuarto de transmisión, de igual forma que se maneja su introducción a la programación, ya que usualmente este equipo es usado para transmisiones en vivo ocurridos desde diferentes lugares del área metropolitana de Bucaramanga. Este equipo, funciona en conjunto con una antena dipolo ubicada en la azotea de la emisora, la cual funciona como receptora para esta consola

► **Enlace transmisor de FM.** El enlace transmisor de estudio (STL por sus siglas en inglés *Studio Transmitter Link*), o simplemente enlace FM, tiene como función modular en FM y enviar la señal producida en la emisora a *Santa Bárbara*, que es donde se demodula, se vuelve a modular en AM y finalmente se retransmite para ser recibida en cualquier radio casero. Cabe resaltar que la frecuencia de FM usada por el enlace, es asignada por el ministerio de comunicaciones y esta fuera de los límites de frecuencia de la FM comercial. La figura 5.9 ilustra el enlace FM usado en la emisora. Cabe resaltar que en la azotea de la emisora se encuentra una antena direccional de rejilla que funciona como antena transmisora para este enlace.

Figura 5.9. Vista frontal del enlace FM usado en la emisora.



Fuente: Autor.

5.1.1.2 Cuarto de grabación. El cuarto de grabación, es donde entran las personas que van a realizar grabaciones, ya sea de programas, cuñas o propagandas, estando simplemente compuesto por una mesa de trabajo en la que se encuentran una serie de micrófonos soportados por bases que permiten el fácil acceso a ellos y la posibilidad de trabajar con los micrófonos a la vez que se mantienen las manos libres para el uso de cualquier material de apoyo que se requiera para la grabación (textos, documentos, etc.), además de una serie de parlantes instalados en el techo que permiten la recepción de instrucciones por parte del productor y una especie de regleta instalada en la mitad de la mesa, que posee varias salidas de retorno de sonido (Ver figura 5.10 y 5.11). La mesa de trabajo, es donde los periodistas o personas que vayan a realizar la grabación, se acomodan para trabajar en conjunto con el productor que está en el cuarto de al lado, separados simplemente por un vidrio, de tal forma que tanto la persona como

el productor posean una comunicación tanto visual como auditiva entre sí, para así lograr la mejor calidad posible en el contenido del material que se esté grabando.

Básicamente, el cuarto de grabación es una especie de sala donde se integran las personas involucradas en la grabación, siendo un cuarto casi completamente aislado de cualquier ruido, y adicional a esto, bajo la supervisión constante del productor, garantizando con esto obtener material grabado con muy pocos errores y gran calidad.

Figura 5.10. Mesa de trabajo con micrófonos ubicada en el cuarto de grabación.



Fuente: Autor.

Figura 5.11. Regleta de retorno instalada en la mitad de la mesa de trabajo.



Fuente: Autor.

5.1.1.3 Cuarto de transmisión. El cuarto de transmisión, es el cuarto donde se transmite la señal enviada al aire, siendo desde aquí donde se produce la programación estipulada, ya sea a través de grabaciones o programas en vivo, además de manejarse la inclusión de propagandas y cuñas entre programas. En el cuarto de transmisión, básicamente se usan equipos enfocados al control de volumen y reproducción de diferentes formatos de sonido, aunque la mayoría de ellos hayan sido reemplazados por el uso del computador.

► **Reproductor de casetes.** Consola usada para la reproducción y grabación de casetes. Este reproductor, a pesar de reproducir casetes de cintas magnéticas que son un formato poco usado actualmente, se mantiene en el cuarto de transmisión en caso de ser requerida la reproducción de cualquier material que se encuentre contenido en casetes. La figura 5.12 ilustra el reproductor de casetes usado en el cuarto de transmisión.

Figura 5.12. Vista frontal del reproductor de casetes ubicado en el cuarto de transmisión.



Fuente: Autor.

► **Reproductor de CD's.** Consola usada para la reproducción CD's de audio digital. Esta consola prácticamente llegó a ser reemplazada por el computador del cuarto de transmisión, ya que este último posee una unidad reproductora de CD's incorporada, por lo que al igual que el reproductor de casetes, se mantiene en el cuarto de transmisión en caso de requerirse su uso a causa de algún inconveniente con el reproductor del computador o alguna situación especial que requiera su uso. La figura 5.13 ilustra el reproductor de CD's ubicado en el cuarto de transmisión.

Figura 5.13. Vista frontal del reproductor de CD's ubicado en el cuarto de transmisión.



Fuente: Autor.

► **Consola de retorno.** Básicamente, esta consola está compuesta de varios canales de salidas de audio tipo plug, en las cuales se pueden conectar audífonos con el fin de poseer un retorno del audio que se está transmitiendo en el momento. Se podría pensar que no es necesaria esta consola, debido a que todo lo que se envía al aire pareciera que pudiera ser verificado directamente escuchando lo que hablan los periodistas e invitados en vivo, o el sonido introducido desde el computador de transmisión, pero el sonido de retorno escuchado a través de audífonos conectados a esta consola se encuentra libre del ruido del ambiente, por lo que es más claro verificar el sonido enviado al aire de esta forma, pudiendo así, corregir pequeños errores de audio (como bajo volumen o saturaciones en el audio) que serían difíciles de identificar con el ruido de las mismas personas o equipos que se encuentran alrededor. La figura 5.14 muestra la consola de retorno.

Figura 5.14. Vista frontal de la consola de retorno ubicada en el cuarto de transmisión.



Fuente: Autor.

► **Reproductor de Minidisc.** Esta consola tiene como función la grabación y reproducción de Minidisc's. El reproductor de Minidisc ubicado en el cuarto de transmisión, es utilizado principalmente para la reproducción de programas grabados de EWTN, ya que a pesar de ser un formato poco reconocido, posee una considerablemente buena calidad de sonido y su uso, una vez poseído el reproductor de Minidisc, es notablemente sencillo. La figura 5.15 muestra el reproductor de Minidisc usado en el cuarto de transmisión.

Figura 5.15. Vista frontal del reproductor de Minidisc ubicado en el cuarto de transmisión.



Fuente: Autor.

► **Híbrido telefónico.** El híbrido telefónico, es una consola usada para la interconexión de las líneas telefónicas con la consola mezcladora de sonido del cuarto de transmisión, para de esta forma poder escuchar las llamadas telefónicas realizadas en programas de participación popular en la señal transmitida al aire. La figura 5.16 muestra el híbrido telefónico usado en el cuarto de transmisión. El uso general de esta consola es permitir dejar llamadas en espera hasta el momento oportuno en que pueda atenderse dentro del programa que se esté transmitiendo al aire.

Figura 5.16. Vista frontal del Híbrido telefónico usado en el cuarto de transmisión.



Fuente: Autor.

► **Preamplificador de micrófonos.** Como su nombre lo indica, el preamplificador de micrófonos se encarga de hacer una preamplificación de las señales de sonidos generadas por cada micrófono, con el fin de que además de mejorar el nivel de sonido de las señales, nivela la tensión eléctrica que le llega de las distintas fuentes de audio (cada micrófono). La figura 5.17 ilustra el preamplificador de audio usado en el cuarto de transmisión.

Figura 5.17. Vista frontal del preamplificador de micrófonos.



Fuente: Autor.

► **Consola mezcladora de sonido.** Esta consola mezcladora cumple prácticamente las mismas funciones de la consola del cuarto de producción, aunque como se puede ver en la figura 5.18, esta consola posee controles mucho más limitados que la del cuarto de producción, permitiendo solamente manejar niveles de audio sin poder variar los niveles de bajos, agudos y otros factores del sonido que permite la otra consola.

Figura 5.18. Consola mezcladora de sonido ubicada en el cuarto de producción.



Fuente: Autor.

► **Computador de transmisión.** Este computador, es un equipo de ayuda en la tarea de transmisión, ya que permite la reproducción de cualquier formato digital, además de la programación de listas de audio pregrabados que se reproducen automáticamente, lo que facilita un poco la tarea del DJ encargado. Cabe resaltar que este computador también permite a los DJ's estar enterados de nuevas noticias y eventos importantes que puedan ser de interés para el desempeño de la emisora.

► **Mesa de trabajo.** La mesa de trabajo ubicada en el cuarto de transmisión, puede ser igualmente comparable con la del cuarto de grabación, ya que en general se encuentra diseñada de la misma forma: una mesa de gran tamaño con una serie de micrófonos apoyados en unas bases que permiten su fácil manipulación y una regleta instalada en el centro de la mesa que permite recibir retorno de la señal de audio transmitida.

5.1.2 Equipos usados para transmisiones fuera del edificio donde funciona la emisora. Estos equipos, son prácticamente dos consolas que se clasifican en maletas independientes para su fácil transporte, y las cuales poseen una serie de accesorios que complementan las consolas para la realización de las transmisiones fuera del edificio donde funciona la emisora. Los accesorios son, en general, los mismos para cada consola (micrófonos, extensiones de luz y de sonido, retornos, conectores y conversores), excluyendo aquellos que tienen una función especial sobre alguna de estas, como la antena para el móvil o los cables de línea telefónica para la consola híbrida telefónica.

5.1.2.1 Equipo Móvil. El equipo móvil, consiste en una maleta que contiene un pequeño ecualizador y un radio-transmisor; funcionando inalámbricamente, el equipo móvil tiene como accesorio especial una antena de doble dipolo (tipo cañón) y una extensión de cable coaxial que permite acomodar la antena en el lugar más apropiado sin necesidad de tener que mover con ella la consola completa. En la figura 5.19 y 5.20, se ilustra respectivamente el equipo móvil usado en la emisora y su antena de doble dipolo.

Figura 5.19. Equipo móvil utilizado para transmisiones inalámbricas.



Fuente: Autor.

Figura 5.20. Antena de doble dipolo (accesorio del equipo móvil).



Fuente: Autor.

5.1.2.2 Consola híbrido telefónico. El híbrido telefónico, es una consola que permite la conexión directa con una línea telefónica, transmitiendo la señal de audio procesada a través de la red de línea telefónica pública. Esta consola puede resultar altamente útil, en lugares en que no se puede usar el equipo móvil debido a que la señal de este no alcanza a llegar al edificio donde funciona la emisora a causa de excesivos obstáculos, aunque tiene el inconveniente de ocupar una línea telefónica para su funcionamiento. El híbrido telefónico, tiene como accesorio especial algunos carretes de cable dúplex que funcionan como extensión de línea telefónica, junto con conectores de RJ-11 usados para interconectar cables. La figura 5.21 ilustra la consola híbrido telefónico utilizado en la emisora.

Figura 5.21. Consola híbrido telefónico utilizado para transmisiones vía línea telefónica.

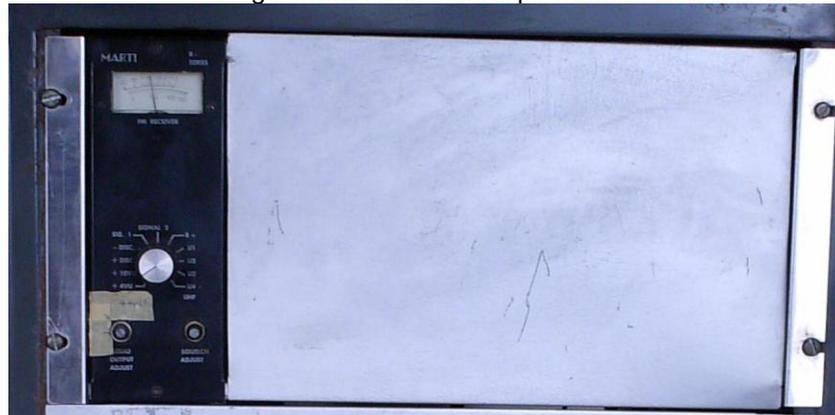


Fuente: Autor.

5.1.3 Equipos ubicados en Santa Bárbara (Transmisores). En Santa Bárbara, es donde se encuentran los equipos usados para la recepción, demodulación y mejoramiento de la señal enviada por el enlace FM ubicado en el edificio donde funciona la emisora, además de los equipos empleados para la modulación y transmisión en AM.

5.1.3.1 Enlace receptor FM. El receptor de FM, se encarga de recibir y demodular la señal de audio transmitida desde la emisora, para posteriormente ser procesada y retransmitida en AM. La figura 5.22 ilustra el enlace receptor utilizado para tal fin. Este receptor, trabaja en conjunto con una antena directiva de rejilla, justo como la utilizada por el enlace transmisor usado en la emisora, para la realización de la tarea de recepción de la señal (Ver figura 5.23).

Figura 5.22. Enlace receptor FM.



Fuente: Autor.

Figura 5.23. Modelo de antena direccional de rejilla usada para los enlaces transmisor y receptor.



Fuente: Autor.

5.1.3.2 Compresor limitador. El compresor limitador, actúa de forma que atenúa la señal eléctrica en una determinada cantidad y a partir de un determinado nivel de entrada. El objetivo del compresor, es conseguir que el ruido resultante de la señal de sonido a la salida de este, sea inferior al de la señal original recibida por el receptor, protegiendo de esta forma ciertos equipos frente a los posibles picos de señal o si se trata de un sonido saturado intentar disimular el error. La figura 5.24 muestra el compresor utilizado en Santa Bárbara.

Figura 5.24. Compresor limitador.

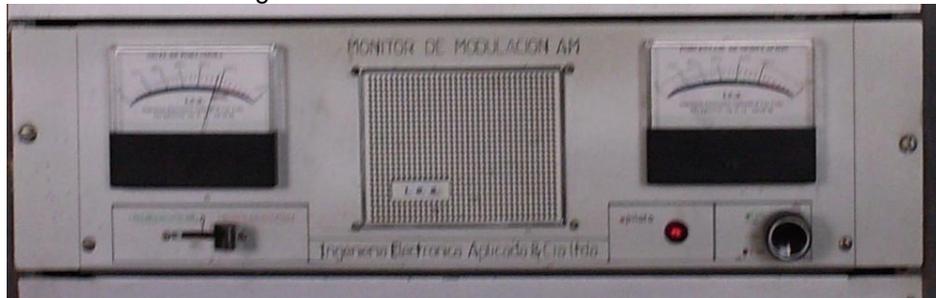


Fuente: Autor.

5.1.3.3 Monitor de modulación AM. La función de esta consola, es mostrar el nivel de portadora y de modulación medidas en porcentaje de la señal transmitida

en AM, lo que quiere decir que esta consola no tiene ninguna conexión física con la señal, sino que la toma del aire tal y como hace un radio de AM. El hecho que el monitor de modulación permita la medición de estos dos parámetros, hace posible verificar que el nivel de portadora sea óptimo y, que la señal transmitida al aire no se esté sobremodulando, evitando pérdidas debidas a este efecto. La figura 5.25 muestra el monitor de modulación AM utilizado en Santa Bárbara.

Figura 5.25. Monitor de modulación AM.



Fuente: Autor.

5.1.3.4 Transmisor AM de 5 KW. Transmisor AM de tubos al vacío de 5 KW de potencia usado para la modulación y transmisión de la señal de audio producida en la emisora. La figura 5.26 ilustra el transmisor de 5 KW ubicado en Santa Bárbara.

Figura 5.26. Transmisor AM de tubos al vacío de 5 KW.



Fuente: Autor.

5.1.3.5 Transmisor AM de emergencia de 1.5 KW. El transmisor de emergencia, cumple la misma función de transmisor de 5 KW, con la diferencia que su potencia de transmisión es menor y es usado exclusivamente cuando el transmisor de 5 KW se encuentra fuera de servicio, ya sea por algún inconveniente técnico, o por necesidad de realizar mantenimiento preventivo a este. La figura 5.27 ilustra el transmisor de 5 KW ubicado en Santa Bárbara.

Figura 5.27. Transmisor AM de tubos al vacío de 1.5 KW.



Fuente: Autor.

5.1.3.6 Caja de sintonía. La caja de sintonía, prácticamente podría denominarse como un acoplador del transmisor AM con la antena, ya que su función principal, es acoplar la impedancia de la antena con la de la línea de transmisión que viene desde el transmisor (cable coaxial), evitando así pérdidas por ondas reflejadas, las cuales pueden llegar a ser altamente significativas para la calidad de audio y potencia de la señal transmitida. La figura 5.28 muestra el interior de la caja de sintonía usada en la emisora.

Figura 5.28. Interior de la caja de sintonía utilizada para el acoplamiento transmisor-antena.



Fuente: Autor.

5.1.3.7 Antena de transmisión AM. La antena de transmisión, es una antena de Marconi de $\lambda/4$, cuya aplicación (como toda antena) es irradiar la señal de audio, en este caso modulada por el transmisor AM. La figura 5.29 ilustra la antena de AM ubicada en Santa Bárbara y usada por la emisora.

Figura 5.29. Antena AM ubicada en Santa Bárbara.



Fuente: Autor.

5.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y TÉCNICO

La labor de mantenimiento técnico fue la tarea que ocupó más tiempo de la práctica, debido más que todo a que los equipos de la emisora se encuentran en constante uso, haciendo que su deterioro sea más acelerado que en cualquier otro equipo cuyo uso sea ocasional, además, hay que estar revisando constantemente que los equipos reservados para transmisiones se encuentren en buen estado y no posean averías que puedan afectar la calidad de la señal de sonido lograda con ellos.

5.2.1 Reparación de cables de sonido y conectores. Siendo uno de los inconvenientes más presentados, los cables en general son un factor a tener en cuenta constantemente, ya que los cables de conexión para micrófonos y de sonido en general, son la mayoría de los casos, una de principales fuentes de ruido, fallas y razones que causan baja calidad en el audio producido. Al ser los conectores una de las principales fuentes de daño (rupturas de soldaduras o simplemente deterioro natural de los mismos), durante el transcurso de la práctica fue necesario realizar múltiples cambios y reparaciones en conectores (principalmente tipo plug y canon), además de reemplazos de cables en mal estado.

5.2.2 Reparación de accesorios y consolas. La reparación de consolas y elementos varios de la emisora, consiste inicialmente en identificar el equipo que presenta problemas (en caso que el problema no sea obvio o ya haya sido detectado por alguna otra persona) haciendo el debido seguimiento y descartando posibilidades, para posteriormente encontrar la(s) falla(s) que estén ocasionando dicha falla o mal funcionamiento.

Entre los arreglos de consolas destacados que se realizaron, se encuentran la reparación del amplificador de sonido que alimenta los parlantes de retorno ubicados en las salas de espera del edificio donde funciona la emisora; habiéndose detectado que en los parlantes de retorno se escuchaba “Hum” o ruido, se decidió revisar este amplificador, donde se encontró que dos capacitores habían estallado, siendo necesario simplemente reemplazarlos por unos nuevos. Además del amplificador de sonido, también se destacó la reparación del enlace transmisor FM, en donde la emisora tuvo que salir del aire durante un poco más de veinticuatro horas, debido a que dos transistores de la etapa de amplificación de potencia fallaron y, al ser escasos en la ciudad (de hecho, en el país) este tipo de transistores cuya aplicación exige que resistan alta potencia y manejen altas frecuencias de trabajo, su reemplazo llegó a prolongarse hasta que pudo ser posible la adquisición de un reemplazo para ellos.

En cuanto a la reparación de accesorios se refiere, el más resaltante por su frecuente ocurrencia llegó a ser la reparación de audífonos, ya que a causa del mal uso que dan en general los invitados del estudio y algunas veces las mismas personas que laboran allí, ocasionan constantes daños en los cables y en los conectores de estos. Aunque no es específicamente un accesorio, es necesario nombrar el reemplazo en varias ocasiones de algunas perillas para el control de volumen de la consola mezcladora de sonido del cuarto de transmisión; este reemplazo se debió en todas las ocasiones, a que estas, a causa del deterioro natural al que no se puede exceptuar ningún dispositivo, ocasionaban ruido al girarlas, problema que se notaba directamente reflejado (como ruido o “crispeteo”) en la señal de sonido recibida por los oyentes.

5.2.3 Corrección de posición de una antena receptora satelital. El problema consistió en que debido la exposición constante de la antena receptora satelital de EWTN a la intemperie, al pasar el tiempo, ésta se desenfoca levemente con respecto al satélite a causa del viento y otros factores climáticos. Este arreglo consistió básicamente en subir a la azotea del edificio y realizar pequeñas correcciones de azimut y elevación desde la base de la antena, mientras otra persona se encontraba verificando en un televisor ubicado en el cuarto de producción, la potencia de la señal recibida (esta se puede ver a través de un medidor que se activa con el decodificador de EWTN y que se visualiza en el televisor).

5.2.4 Rectificación de la caja de sintonía en transistores. Una de las tareas de mantenimiento técnico más resaltantes realizadas, tiene que ver con la colaboración en la rectificación de la caja de sintonía, ya que se pudo conocer claramente su utilidad y funcionamiento, pudiendo reconocer así la alta importancia de este dispositivo para el correcto funcionamiento tanto del transmisor como de la antena AM.

Refiriéndose a la rectificación, debido a que se habían estado detectando algunos problemas con el sonido, siendo aparentemente falta de potencia de la señal emitida por la emisora, se decidió realizar una rectificación de la caja de sintonía ubicada en la base de la antena transmisora AM, a razón de disminuir al mínimo las pérdidas a causa de ondas reflejadas. Este ajuste se realizó midiendo la relación entre señal transmitida y reflejada (con ayuda de un medidor especial), y en base a esta medición, se realizaron leves variaciones sobre el condensador variable ubicado en el interior de la caja de sintonía (ver figura 5.28, el condensador variable es el cilindro azul ubicado en la mitad de la figura).

5.2.5. Asistencia técnica en la reparación del transmisor AM de 5 KW. En cuanto al mantenimiento técnico se refiere, este sin lugar a dudas, fue la labor más sobresaliente. En general, se colaboró en dos ocasiones en la reparación del transmisor AM de 5 KW. Inicialmente, fue necesario reemplazar uno de los tubos al vacío del transmisor, tiempo durante el cual fue necesario hacer que la emisora funcionara sólo con el transmisor auxiliar, ya que los tubos al vacío tienen que ser pedidos desde Bogotá.

Tiempo después, fue necesario volver a realizar un arreglo al transmisor, debido a que desde hacía ya un tiempo había venido presentando inconvenientes en su funcionamiento, presentando mucho ruido en la señal transmitida y bajo volumen. Después de una ardua revisión, se pudo encontrar que el problema radicaba en el daño de la bobina de choque de modulación que se encontraba en corto y que a su vez, llegó a deteriorar el transformador de modulación. Con el fin que el transmisor continuara funcionando, fue necesario colocar el transformador de choque del transmisor auxiliar mientras el original era enviado a Bogotá a ser rebobinado. Gracias a la asistencia técnica realizada en la reparación de este transformador, se pudieron conocer muchos aspectos técnicos, referentes al funcionamiento y reparación de este tipo de transmisores.

Adicional a esto, también se colaboró en la instalación de la bobina de choque al momento que fue recibida de vuelta de Bogotá. Una característica importante a tener en cuenta, es que se pudo conocer el cuidado necesario para la manipulación de este transformador, ya que a pesar de poseer un gran peso (para su manipulación son necesarias al menos dos personas), es necesario manejarlo con gran cuidado para no llegar a deteriorar las espiras y el material aislante que las protegen.

5.3 PRESENTACIÓN DE PROYECTO PARA EL MEJORAMIENTO DEL EQUIPO MÓVIL

Debido a que no pudo ser cumplido uno de los objetivos propuestos en el tiempo estipulado, por la razón que no se cuenta con los recursos necesarios para su realización y además la complejidad no contemplada al momento de su planteamiento, se decidió, después de una reunión junto con el gerente de la emisora y con el ingeniero encargado, dejar una propuesta para el mejoramiento del equipo móvil a manera de proyecto, a fin de desarrollarlo en alguna otra circunstancia que se cuente con los recursos necesarios para el desarrollo de éste.

El proyecto incluye soluciones para el mejoramiento del equipo móvil actual, proponiendo arreglos de considerablemente bajos costos y que llegarán a realizar cambios notables en la calidad de audio y transmisión de esta consola; además, en este proyecto también se plantea como solución alterna el reemplazo total del equipo móvil, que aunque llegue a ser una solución mucho más exigente económicamente, es también la más indicada para la obtención de mejores resultados en la calidad de la señal transmitida por este y recibida por su respectivo receptor.

6. APORTES AL CONOCIMIENTO

Entre los principales aportes, se encuentra el de haber podido adquirir valiosa experiencia en la identificación, ubicación y reparación de daños e inconvenientes en general, además que se han podido conocer los principales problemas que presentan usualmente los equipos de manejo y control de sonido, con lo que se observó que en la mayoría de casos suelen ser inconvenientes menores que solo requieren de arreglos mínimos y cambios de algunos elementos. Cabe resaltar en este punto, que se aprendió a realizar correcciones en antenas receptoras de señal satelital, destacando como principal característica que para realizar dichas correcciones no es necesario realizar grandes cambios en la dirección de la antena, sino que al contrario, usualmente con pequeñas variaciones se logran grandes cambios en la recepción de la señal.

Adicional a lo anteriormente descrito, se conocieron los equipos con los que cuenta la empresa, pudiendo así conseguir una idea de los elementos que en general debe poseer una emisora normalmente para poder llevar a cabo su tarea diaria, además que habiendo conocido de esa forma los equipos, se puede llegar a identificar de una manera fácil y rápida cualquier inconveniente que pueda surgir de improviso, asegurando un mejoramiento en el funcionamiento general de la emisora.

Al haber colaborado en el arreglo del enlace FM (transmisor FM), se conoció de una forma práctica cada una de las etapas que conforma este tipo de transmisor, además que se aprendió a reconocer a través de ciertas pruebas en cuál etapa es en la que se encuentra el fallo. Igualmente, se conocieron las típicas limitaciones que pueden llegar a retrasar la reparación de equipos como este, entre la que destaca la usual escasez de los elementos que manejan alta potencia y frecuencia como los transistores usados para la etapa amplificadora.

Se pudo conocer la estructura y funcionamiento de la caja de sintonía mientras se realizaba la tarea de rectificación (ajustarla). Siendo un componente diseñado fundamentalmente para la tarea de acoplamiento entre transmisor y antena, es importante conocer su uso y aplicación, ya que inicialmente cuando se comenzó la realización de la práctica, se ignoraba la existencia de este tipo de equipos dentro del funcionamiento general del transmisor.

Como aporte principal, resalta el conocimiento a fondo del transmisor AM de 5 KW, ya que al colaborar en la realización de las reparaciones de este, se tuvo la oportunidad de conocer claramente algunos de sus componentes, junto con los cuidados que acarrea su manipulación y a la vez, de qué forma reconocer su mal funcionamiento y falla. Así mismo, se pudo aprender que es necesario poseer los planos de este tipo de dispositivos, o al menos, poseer un conocimiento claro y

completo del funcionamiento de este equipo, ya que algunos tipos de problemas, son sólo detectables conociendo datos nominales de algunos dispositivos internos. Como ejemplo se tiene el transformador de choque, cuyo daño, aunque había sido supuesto previamente por ciertos factores, sólo fue claramente expuesto hasta después de haber medido su inductancia.

Refiriéndose finalmente a la propuesta que se está realizando, ésta deja como ejemplo que algunas veces no se logran cumplir los objetivos en los tiempos estipulados, mas éstos pueden dejarse planteados en forma de propuestas para ser desarrolladas posteriormente cuando se cuente con las condiciones y recursos necesarios para su realización y al mismo tiempo, dejan una base sólida que servirá de guía para un rápido desarrollo del proyecto en un futuro, ya que evita una gran cantidad de estudios, investigación y pruebas del área.

7. RECOMENDACIONES A LA EMPRESA

Por lo general, la mayoría de problemas e inconvenientes técnicos suelen suceder a causa del desgaste natural de los elementos usados para el desempeño diario de la emisora, pero igualmente, sería conveniente tener en cuenta por parte de los operadores técnicos que si notan un incorrecto uso de los elementos de la emisora (principalmente micrófonos y audífonos) mostrar el correcto uso de estos para así prolongar su correcto funcionamiento.

Valdría la pena tener en cuenta la posibilidad de reemplazar los cables para micrófono de la mesa de trabajo del cuarto de transmisión; ya que, a pesar que los cables se encuentran usualmente trabajando de forma correcta, no debería haber empalmes en el transcurso de estos cables desde la consola mezcladora hasta el micrófono. Se cree que es solo cuestión de tiempo para que todos los cables continúen presentando problemas constantes de rupturas.

Otra recomendación conveniente, sería considerar el poseer equipos adicionales cuya aplicación sea única y exclusivamente para suplir equipos que puedan presentar alguna falla, para de esta forma evitar así tener que salir del aire por un tiempo prolongado, o en su defecto, poseer alternativas que puedan llenar estos espacios fuera del aire, como poseer grabaciones y colocarlas directamente desde el equipo transmisor ubicado en Santa Bárbara.

8. CONCLUSIONES

Se logró conocer los equipos con los que cuenta la emisora para su desempeño diario, pudiendo conseguir así una idea de los principales dispositivos necesarios para el funcionamiento de una emisora radial. Así mismo, gracias a la adquisición de este conocimiento, se obtuvo un ligero concepto del funcionamiento de cada dispositivo, que en términos generales llegó a facilitar próximos mantenimientos y reparaciones, conceptos que llegaron a profundizarse durante el transcurso de la práctica gracias a las numerosas situaciones en que fue necesario realizar desde pequeños arreglos, hasta grandes reparaciones, que sin lugar a dudas en cada oportunidad otorgaban algo de experiencia y conocimiento tanto en el funcionamiento, manejo y reparación de los mismos.

Se llevaron a cabo mantenimientos preventivos y reparaciones pertinentes necesarias para el correcto funcionamiento de la emisora, guiándose principalmente con las anotaciones realizadas por los operadores técnicos (DJ's, productores y periodistas) acerca de los inconvenientes o problemas detectados por ellos, o en general por comentarios o problemas detectados personalmente, llegando a ser esto experiencia y conocimiento fundamental e invaluable para desempeñarse en el ámbito de la radiodifusión, debido a que se conocen los principales problemas técnicos que suelen ocurrir o en algunos casos hasta conocer los no tan habituales que llegan a influir directamente en el funcionamiento de la emisora, como sucedió en el caso del enlace FM o del transmisor de 5 KW. Cabe resaltar, que el área de la radiodifusión actualmente se encuentra un tanto restringida a causa de la alta cantidad de ingenieros que no cuentan con la experiencia suficiente para desempeñarse en este campo, siendo esta práctica una gran oportunidad para adquirir algo de esta.

Se tuvo la oportunidad de realizar una propuesta para el mejoramiento del equipo móvil, logrando en su elaboración, la comprensión de la complejidad de lograr un equilibrio entre calidad, costo y versatilidad. En la realización de este proyecto, se pudo concluir que la relación más difícil de lograr resulta ser la de costo y calidad, ya que al ser los equipos usados en radiodifusión altamente valorados y difíciles de adquirir debido a los pocos proveedores nacionales (y de hecho latinoamericanos), llega a ser complicado lograr una solución económica sin comprometer la calidad de la señal de audio lograda.

Se aprendió a manejar algunos de los equipos de la emisora, entre los que resaltan los utilizados para la realización de transmisiones en vivo y realizadas en espacios exteriores al edificio donde funciona la emisora, además, a pesar que no se han llegado a operar personalmente, se ha aprendido a manejar algunos otros equipos y dispositivos utilizados en producción y transmisión como consolas ecualizadoras de sonido, software, entre otros.

BIBLIOGRAFÍA

TOMASI, Wayne. Sistemas de comunicaciones electrónicas. 4 ed. México : Pearson Education, 2003. 948 p.

CARLSON, A. Bruce; CRILLY, Paul B. and RUTLEDGE, Janet C. Communication Systems. 4 ed. New York, United States : McGraw-Hill, 2002. 850 p.

ARÁNGUIZ, Mario. Historia de la radio [en línea]. Temuco (Chile). 19 de Marzo de 2003 [citado 20 de Febrero de 2009]. Disponible en internet: <<http://www.ce6ne.cl/historia.htm>>.

RCN Radio. La radio : Principales aspectos de la radio [en línea]. 2003 [citado 20 de Febrero de 2009]. Disponible en internet: <<http://noticias.rcn.com.co/noticia.php3?nt=195>>.

Amplitud modulada [en línea]. 24 de Marzo de 2004, actualizado el 5 de Febrero de 2009 [citado 20 de Febrero de 2009]. Disponible en internet: <http://es.wikipedia.org/wiki/Amplitud_Modulada>.

Radio a Galena [en línea]. 8 de Mayo de 2005, actualizado el 12 de Diciembre de 2008 [citado 20 de Febrero de 2009]. Disponible en internet: <http://es.wikipedia.org/wiki/Radio_a_galena>.

Compresor (sonido) [en línea]. 14 de Noviembre de 2005, actualizado el 24 de Agosto de 2008 [citado 20 de Febrero de 2009]. Disponible en internet: <[http://es.wikipedia.org/wiki/Compresor_\(sonido\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Compresor_(sonido))>.