



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ONDA CORTA COMO ALTERNATIVA  
DE COMUNICACIÓN DE LOS BOMBEROS DE GUATEMALA**

**Edgar Antonio Castañeda López**

Asesorado por el Ing. Helmut Federico Chicol Cabrera

Guatemala, agosto de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ONDA CORTA COMO ALTERNATIVA  
DE COMUNICACIÓN DE LOS BOMBEROS DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**EDGAR ANTONIO CASTAÑEDA LÓPEZ**

ASESORADO POR EL ING. HELMUNT FEDERICO CHICOL CABRERA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA**

GUATEMALA, AGOSTO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
EXAMINADOR	Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
EXAMINADOR	Ing. Helmut Federico Chicol Cabrera
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ONDA CORTA COMO ALTERNATIVA DE COMUNICACIÓN DE LOS BOMBEROS DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 22 de septiembre de 2014.



**Edgar Antonio Castañeda López**

Guatemala 15 de junio de 2015

Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar  
Coordinador de Área de Electrónica  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.

Ingeniero Guzmán:

Por este medio me permito dar aprobación al Trabajo de Graduación titulado: "PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ONDA CORTA COMO ALTERNATIVA DE COMUNICACIÓN DE LOS BOMBEROS DE GUATEMALA", desarrollado por el Estudiante Edgar Antonio Castañeda López con carné 200914962, ya que considero que cumple con los requisitos establecidos, por lo que el autor y mi persona somos responsables del contenido y conclusiones del mismo.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarlo.

Atentamente



Ing. Helmunt Federico Chicol Cabrera  
ASESOR  
Colegiado 7350

HELMUNT FEDERICO CHICOL CABRERA  
INGENIERO ELECTRONICO  
COLEGIADO No. 7350



Ref. EIME 33. 2015  
Guatemala, 03 de JUNIO 2013.

Señor Director  
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

**Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:  
PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ONDA CORTA COMO  
ALTERNATIVA DE COMUNICACIÓN DE LOS BOMBEROS DE  
GUATEMALA, del estudiante Edgar Antonio Castañeda López, que  
cumple con los requisitos establecidos para tal fin.**

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,  
ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar  
Coordinador Área Electrónica




SFO



REF. EIME 33. 2015.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; EDGAR ANTONIO CASTAÑEDA LÓPEZ titulado: PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ONDA CORTA COMO ALTERNATIVA DE COMUNICACIÓN DE LOS BOMBEROS DE GUATEMALA, procede a la autorización del mismo.

  
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero



GUATEMALA, 7 DE JULIO 2,015.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica al trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ONDA CORTA COMO ALTERNATIVA DE COMUNICACIÓN DE LOS BOMBEROS DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Edgar Antonio Castañeda López**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano



Guatemala, agosto de 2015





## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por darme la oportunidad de crecer y desarrollarme académicamente, además de darme lo esencial para mis estudios profesionales.
<b>Mis catedráticos</b>	Por brindarme las herramientas y bases necesarias para la formación de mi carrera estudiantil y profesional.
<b>Ingeniero Helmut Chicol</b>	Por asesorar el presente trabajo de graduación y transmitirme sus conocimientos, necesarios para realizar este tema.
<b>Mis primos</b>	Por ser parte importante del apoyo y crecimiento brindado durante mi carrera.
<b>Mis amigos</b>	Por el apoyo, además de compartir las alegrías y penas de esta carrera.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN .....	XVII
1. HISTORIA DE LOS BOMBEROS EN GUATEMALA.....	1
1.1. Infraestructura de la estación de los bomberos .....	2
1.2. Infraestructura móvil de los bomberos.....	3
1.3. Radiocomunicación .....	5
1.3.1. Historia .....	6
1.3.2. Ley de Coulomb.....	6
1.3.3. Ley de Gauss.....	8
1.3.4. Ley de Ampere .....	9
1.3.5. Ley de Faraday.....	11
1.3.6. Ecuaciones de Maxwell .....	12
1.3.7. Ondas electromagnéticas .....	13
1.3.7.1. Espectro electromagnético .....	14
1.4. Historia de los radiocomunicadores.....	16
1.4.1. Bandas de frecuencias .....	17
1.4.2. Radios de dos vías .....	19
2. FUNDAMENTOS DE ONDA CORTA.....	23
2.1. Definición de onda corta .....	23

2.2.	Propagación de onda corta .....	25
2.3.	Tipos de estaciones de onda corta .....	28
2.3.1.	Estaciones utilitarias.....	28
2.3.2.	Estaciones horarias.....	28
2.3.3.	Radioaficionados.....	29
2.3.4.	Estaciones internacionales.....	29
2.3.5.	Estaciones tropicales .....	29
2.3.6.	Estaciones religiosas.....	29
2.3.7.	Estaciones comerciales.....	30
2.4.	Modulaciones para onda corta .....	30
2.4.1.	¿Qué es la modulación?.....	30
2.4.1.1.	Frecuencia modulada.....	31
2.4.1.2.	Amplitud modulada.....	32
2.4.1.2.1.	Doble banda lateral .....	34
2.4.1.2.2.	Modulación de banda lateral única.....	35
2.4.1.3.	Modulación por fase .....	36
2.5.	Ventajas de la onda corta.....	37
2.6.	Desventajas de la onda corta.....	39
3.	DEFINICIONES BÁSICAS DE ANTENAS .....	41
3.1.	Antena.....	41
3.2.	Vector de Poynting.....	42
3.3.	Principio de radiación de antenas .....	46
3.3.1.	Línea de transmisión .....	47
3.3.1.1.	Características físicas de las líneas de transmisión .....	47
3.3.1.2.	Pérdidas en las líneas de transmisión .....	48

	3.3.1.2.1.	Pérdidas del conductor.....	48
	3.3.1.2.2.	Pérdidas por radiación..	49
	3.3.1.2.3.	Pérdidas por calentamiento del dieléctrico .....	49
	3.3.1.2.4.	Pérdidas por acoplamiento y descargas.....	49
	3.3.1.3.	Modos de líneas de transmisión .....	50
	3.3.1.3.1.	Líneas de transmisión en modo TEM.....	51
	3.3.1.3.2.	Líneas de transmisión de modo superior.....	51
	3.3.1.3.3.	Modo TEM ondas espaciales .....	52
3.4.		Ecuación de onda.....	52
3.5.		Patrones de radiación.....	55
	3.5.1.	Tipos de patrones de radiación.....	56
	3.5.1.1.	Isotrópicos .....	56
	3.5.1.2.	Direccional.....	57
	3.5.1.3.	Omnidireccionales .....	58
3.6.		Parámetros de antenas .....	59
	3.6.1.	Ganancia .....	59
	3.6.2.	Directividad.....	59
	3.6.3.	Eficiencia .....	59
	3.6.4.	Impedancia .....	59
	3.6.5.	Polarización .....	60
	3.6.6.	Apertura de haz .....	60

3.7.	Dipolo .....	60
3.7.1.	Tipos de dipolo .....	61
3.7.1.1.	Dipolo simple .....	61
3.7.1.2.	Dipolo en V invertida .....	62
3.8.	Antenas inteligentes .....	63
3.8.1.	Características .....	64
3.8.2.	Tipos de antenas inteligentes .....	65
3.8.2.1.	Haz conmutado .....	65
3.8.2.2.	Haz de seguimiento .....	65
3.8.2.3.	Haz adaptativo .....	66
3.8.2.4.	Antenas MIMO .....	66
4.	PROPUESTA DEL SISTEMA DE ONDA CORTA .....	69
4.1.	¿La onda de corta se puede considerar como fuera de moda? .....	69
4.2.	Elementos del sistema de onda corta .....	71
4.2.1.	Emisor .....	72
4.2.2.	Receptor .....	74
4.2.3.	Medio .....	76
4.3.	Consideraciones a tomar .....	77
4.4.	Elaboración de las antenas .....	79
4.4.1.	Altura de las antenas .....	82
4.4.2.	Antena de dipolo horizontal .....	83
4.4.3.	Antena en V invertida .....	86
4.5.	Patrones de radiación de las antenas .....	87
4.6.	Diagramas de radiación .....	88
4.7.	Beneficios de la onda corta para los bomberos de Guatemala .....	92

CONCLUSIONES ..... 97  
RECOMENDACIONES ..... 99  
BIBLIOGRAFÍA ..... 101





## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Cobertura nacional de los Bomberos Voluntarios .....	2
2.	Gráfica de la Ley de Coulomb.....	7
3.	Gráfica de la Ley de Gauss.....	9
4.	Gráfica de la Ley de Ampere.....	10
5.	Gráfica de la Ley de Faraday .....	12
6.	Cómo se transmite la onda corta .....	26
7.	Modulación en frecuencia (FM) .....	32
8.	Modulación en amplitud (AM).....	33
9.	Modulación por fase (PM) .....	37
10.	Transmisión de ondas electromagnéticas entre antenas .....	41
11.	Vector de Poynting.....	46
12.	Tipos de líneas de transmisión.....	51
13.	Patrones de radiación .....	56
14.	Patrón de radiación isotrópico.....	57
15.	Patrón de radiación de una antena direccional .....	58
16.	Patrón de radiación de una antena omnidireccional .....	58
17.	Antena dipolo simple .....	61
18.	Antena dipolo en V invertida .....	62
19.	Diagrama de un radiotransmisor .....	73
20.	Diagrama de un receptor de radio.....	75
21.	Predicción de la calidad de la señal en un enlace entre la ciudad de Guatemala y Petén, a 60 m de longitud de onda .....	80
22.	Centro para antena dipolo casero .....	84

23.	Centro para antena dipolo hecho por fábrica .....	84
24.	Diagrama de la elaboración de una antena dipolo horizontal .....	85
25.	Diagrama de la elaboración de una antena dipolo en V invertida .....	87
26.	Comparación en el patrón de radiación entre una antena dipolo horizontal y una antena dipolo en V invertida .....	88
27.	Diagrama de radiación para una antena dipolo a 5,1 MHz, ubicada en la ciudad de Guatemala .....	90
28.	Trayectorias de la transmisión de onda corta en la ionosfera o capa F2 .....	91
29.	Área de cobertura de una antena en uno de los puntos más altos de Guatemala, Los Cuchumatanes.....	92

## TABLAS

I.	Ecuaciones de Maxwell .....	13
II.	Lista de bandas de radio según ITU .....	18
III.	Clasificación de ondas de radio por rangos de frecuencia.....	19
IV.	Bandas de alta frecuencia (HF) .....	24
V.	Listado de todos los movimientos sísmicos en Guatemala.....	93
VI.	Listado de todos los huracanes devastadores en Guatemala .....	94

## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
$A_p$	Amplitud de la portadora
<b>A</b>	Área
<b>E</b>	Campo eléctrico
<b>B</b>	Campo magnético
<b>q</b>	Carga puntual
<b>k</b>	Constante de Coulomb
<b>D</b>	Densidad de flujo
<b>J</b>	Desplazamiento de corriente
<b>f</b>	Frecuencia
$f_0$	Frecuencia de portadora
<b>F</b>	Fuerza
<b>H</b>	Intensidad de campo magnético
<b>kHz</b>	Kilohertzio
<b>km</b>	Kilómetro
<b>l</b>	Longitud de antena
$\lambda$	Longitud de onda
<b>MHz</b>	Megahertzio
<b>m</b>	Metro
<b>mm</b>	Milímetro
<b>nm</b>	Nanómetro
$\epsilon_0$	Permeabilidad eléctrica en el vacío permitividad
$\mu_0$	Permitividad magnética en el vacío
<b>r</b>	Radio, distancia

$V(t)$	Señal modulada
<b>S</b>	Superficie, área
<b>t</b>	Tiempo
$\mathcal{P}$	Vector de Poynting
<b>c</b>	Velocidad de la luz

## GLOSARIO

<b>Atenuación</b>	Es la pérdida de potencia sufrida por una señal al transitar por cualquier medio de transmisión.
<b>Balun</b>	Es un dispositivo que convierte líneas de transmisión no balanceadas en líneas balanceadas y viceversa.
<b>Campo eléctrico</b>	Región del espacio donde se experimentan fuerzas eléctricas, originadas por la presencia de cargas eléctricas.
<b>Campo magnético</b>	Región del espacio donde se experimentan fuerzas magnéticas, originadas por la presencia de materiales magnéticos (imán) o debido a cargas eléctricas en movimiento (corriente eléctrica).
<b>CCIR</b>	Comité Consultivo Internacional de Radiocomunicaciones.
<b>Convolución</b>	Es un operador matemático que transforma dos funciones en una tercera, la cual representa la magnitud en la que se superponen una sobre otra.
<b>Carga puntual</b>	Es una carga eléctrica hipotética de magnitud finita, contenida en un punto geométrico carente de dimensión.

<b>Electromagnetismo</b>	Propiedad eléctrica y magnética de las cargas en movimiento.
<b>FEM</b>	Son las siglas de Fuerza Electromotriz, es toda causa capaz de mantener una diferencia de potencial entre dos puntos de un circuito abierto o de producir una corriente eléctrica en un circuito cerrado.
<b><i>Firepole</i></b>	Es un poste de metal fijo, instalado en un edificio de varios pisos o estación de bomberos, que permite a los ocupantes descender rápidamente las plantas.
<b>Impedancia</b>	Es la relación entre voltaje y corriente (impedancia característica de una línea de transmisión o de un circuito eléctrico) en el dominio de la frecuencia.
<b>Ondas de radio</b>	Son un tipo de radiación electromagnética, la cual posee una longitud de onda mayor a la luz visible y usadas principalmente para comunicaciones.
<b>Oscilador</b>	Es un circuito electrónico que produce una señal repetitiva, a menudo una onda sinusoidal o una onda cuadrada.
<b>PPT</b>	<i>Push to talk.</i>
<b>Transductor</b>	Elemento o dispositivo capaz de percibir o recibir información de eventos físicos y transformar estos eventos a otros con propiedades similares o distintas.

## RESUMEN

El presente trabajo de graduación trata acerca de cómo un sistema de onda corta, que se encuentra en la actualidad poco utilizado, puede ayudar a un equipo de recate, como los bomberos, con el fin de que ellos puedan mantener un sistema simple de comunicación en todo el territorio guatemalteco.

En el primer capítulo, se da a conocer un poco de la historia de los bomberos en el mundo y en Guatemala, se describe cómo se encuentra la estructura y equipamiento de cada unidad y en general. Luego, se da a conocer un poco de la teoría electromagnética, cómo son estos principios y cómo ayudan a describir las ondas electromagnéticas en general.

En el segundo capítulo se hace una descripción de la onda corta, cómo trabaja, los beneficios y desventajas de usar este método de sintonía. También se da una introducción a los tipos de estaciones que se utilizan en el mundo y la cobertura que tiene este tipo de radiocomunicación, es decir las distancias de propagación.

En tercer capítulo se da a conocer la teoría y definiciones básicas de antenas, parámetros y cómo es que estas logran realizar la transmisión de la señal y los tipos de antenas que existen.

El capítulo cuatro se da a conocer cómo se va a realizar una antena para onda corta, dónde se puede colocar, se brindan ejemplos de coberturas en lugares posibles, así como la frecuencia óptima de funcionamiento y cómo se va a lograr la cobertura en Guatemala.





## **OBJETIVOS**

### **General**

Proponer un sistema de onda corta como herramienta alternativa para el uso de comunicación de los bomberos en Guatemala.

### **Específicos**

1. Presentar la historia de los bomberos en Guatemala.
2. Presentar los fundamentos de onda corta, las ventajas y desventajas de su uso.
3. Presentar las definiciones básicas de las antenas.
4. Presentar la propuesta planteada del sistema de onda corta para los bomberos de Guatemala.



## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de graduación contempla el uso de un sistema de radiocomunicación para cuerpos de socorro, como los bomberos, quienes, en la actualidad, dependen de otra empresa o personas para mantener sus sistemas de comunicación activos. Este problema afecta en el momento de presentarse alguna emergencia en alguna parte del territorio de Guatemala, el cual, por su posición geográfica, se encuentra en un punto entre fallas de placas tectónicas y es parte del anillo volcánico; también es el punto de choque entre las corrientes de aire del norte y del sur, por lo cual se generan huracanes y fuertes tormentas tropicales.

Estos problemas provocan caídas de las telecomunicaciones o saturación de las mismas. Por lo tanto, es necesario que los bomberos tengan un sistema propio de comunicación, que ellos puedan operar y manejar sin la necesidad de depender de un tercero, lo cual generará un sistema de rescate efectivo y sin complicaciones. Este puede ser un sistema abierto al pueblo que permita una comunicación directa con los bomberos, para comunidades que no tengan acceso a la comunicación.

El desarrollo del sistema tiene varias zonas de impacto, siendo estas: la apertura de un nuevo sistema de comunicación para casos de emergencia nacional, tener cobertura en todos los puntos del territorio, ya sea por un caso de emergencia o para que las comunidades sin acceso puedan tener una línea de emergencia, y tener un sistema autónomo de los bomberos para el control de los casos de emergencia.



## **1. HISTORIA DE LOS BOMBEROS EN GUATEMALA**

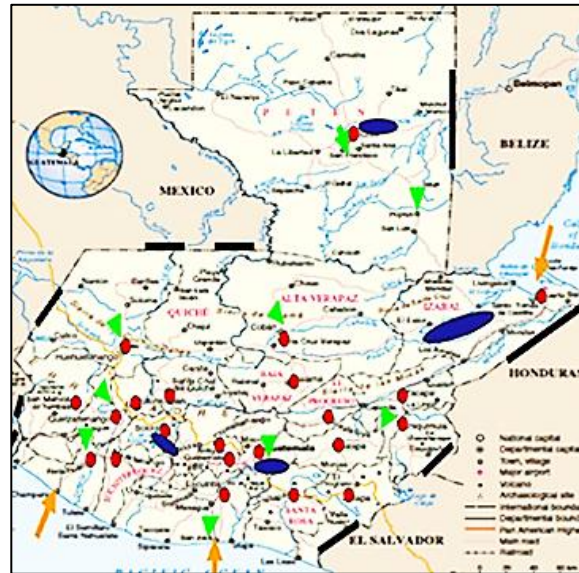
En abril de 1944, el Club Rotario de Guatemala, dentro de su labor de servicio social, obsequió a la ciudad de Guatemala lo que se podría calificar como la primera unidad para combatir incendios.

La unidad consistía de una plataforma sobre resortes y cuatro ruedas de hierro a la que se la adaptó un motor de vehículo Dodge, y una bomba estacionaria que tenía sus tubos de succión y sus respectivas mangueras, siendo halada por otro vehículo cualquiera.

A consecuencia de un incendio de gran magnitud producido el 11 de agosto de 1951 en la zona 1 de la ciudad de Guatemala, que no pudo ser contenido por la antigua Guarda Civil, el embajador de Chile en Guatemala, Rodrigo González Allende promovió la creación del Cuerpo Voluntario de Bomberos de Guatemala.

Oficialmente fue fundado el de abril de 1952. Su lema es “Disciplina, honor y abnegación”. Por decreto gubernamental, en dicha fecha se celebra el Día de los Bomberos Voluntarios.

Figura 1. Cobertura nacional de los Bomberos Voluntarios



Fuente: Google Maps. <https://www.google.com.gt/maps?source=tldsi&hl=es>. Consulta: 26 de febrero de 2014.

### 1.1. Infraestructura de la estación de los bomberos

Una estación de bomberos es una estructura o área diseñada para almacenamiento de los utensilios para apagar fuegos, por ejemplo mangueras y vehículos, el equipo de protección del personal, extintores de fuego y otro equipo de extinción.

Tiene dormitorios e instalaciones de trabajo, como salas de reunión o lavandería. Las zonas habitables están normalmente situadas por encima de los garajes donde el personal sin ningún deber específico en la estación tienen permitido dormir durante la noche, a excepción de que haya una emergencia. Para llegar rápido de las habitaciones a los vehículos, tienen entradas

especiales llamadas *firepole*, por las que se deslizan cuando se recibe una llamada de socorro.

Una estación tendrá normalmente un sistema de alarma para recibir y anunciar indicaciones de dónde y qué causó la emergencia. Sin embargo, a veces la única alarma es el teléfono de emergencia. En un departamento de bomberos voluntarios, estos pueden ser convocados por la sirena de la estación de bomberos o por radios.

Las actividades de una estación de bomberos, incluye inspección regular y limpieza de los aparatos y equipo. Eventualmente se realizan simulacros en los cuales los bomberos practican sus habilidades. Algunas compañías tienen actividades públicas en la estación de bomberos para la prevención de incendios, las instalaciones pueden ser utilizadas para actos de recolección de fondos.

## **1.2. Infraestructura móvil de los bomberos**

Los bomberos tienen que contar con equipamiento para cada tipo de emergencias a las cuales se enfrentan, principalmente para la movilización hacia los lugares. A continuación se realiza una breve descripción del equipamiento con el que cuentan actualmente los bomberos en Guatemala.

- Equipos rodantes
  - Ambulancias: equipo para el transporte de una persona enferma o herida, hacia, desde o entre lugares de tratamiento. Pueden dar también ayuda prehospitalaria, según sea el caso de necesidad que el paciente requiera.

- Camión de comando y logística: camiones diseñados para la planeación lógica y centro de mandos, en casos de emergencias que ameriten la coordinación especial en un lugar de emergencia.
- Camiones autoescala con capacidad de extinción de incendios: camiones equipados con escalera de extensión automática y equipamiento de bombas de agua, para rescate de personas y extinción de incendios.
- Motobombas: camiones que contienen una bomba de agua que la expulsa a presión, desde un tanque del tamaño del vehículo.
- Motocicletas de respuesta inmediata: principalmente utilizadas para la atención rápida, por ser vehículos que acceden fácilmente a lugares de tráfico vehicular excesivo u horas pico.
- Picops doble cabina y doble tracción para rescates: utilizados en lugares de difícil acceso, para suministro de víveres o transporte de medicamentos.
- Hospital móvil equipado completamente para la atención de pacientes ambulantes, sala de operaciones y sala de recuperación.
- Bicicletas: utilizadas en lugares de concurrencias de personas, ayudan a la libre circulación y atención de primeros auxilios.
- Camión BRED: equipados completamente para la búsqueda y rescate en estructuras colapsadas.



- Centro de coordinación de emergencias
  - Estaciones para la recepción de llamadas telefónicas, cada una con computadoras y conectadas a la red: *call center* o centro de servicio técnicos de llamadas, quien toma la llamada de emergencia y realiza la coordinación de la estación más cercana para atención de la emergencia. En este centro de operaciones se necesita tener disponibilidad completa, por el tipo de emergencias que se reciben.
  - Estación de coordinación con capacidad de 4 operadores simultáneos: tiene la capacidad de atender 4 líneas simultáneas, es decir, atender 4 emergencias en el mismo instante. Se necesita tener una capacidad libre para la atención de las fallas y disponibilidad completa.
  - Sistema de comunicación por medio de radio VHF: los equipos de radio se basan principalmente en el tipo de frecuencia a utilizar, en el caso de los bomberos, utilizan frecuencias libres, porque no hay que pagar derechos de uso y por las distancias que se pueden alcanzar. Se amplía el tema en la siguiente sección.

### **1.3. Radiocomunicación**

A continuación se presenta una breve reseña de la historia de la radiocomunicación.

### **1.3.1. Historia**

Es una forma de comunicarse que se realiza a través de ondas de radio, las cuales se caracterizan por el movimiento de campos eléctricos y campos magnéticos. La comunicación vía radio se basa en las propiedades del espectro radioeléctrico, cuyas propiedades son diversas, dependiendo de la frecuencia utilizada.

Las bases teóricas de la propagación de ondas electromagnéticas fueron recopiladas por James Clerk Maxwell, quien juntó los postulados de Charles-Augustin de Coulomb, Carl Friedrich Gauss, André-Marie Ampere y Michael Faraday. Maxwell realizó esto para establecer el conjunto de 4 ecuaciones que describen por completo los fenómenos electromagnéticos, con esto se logra un solo concepto entre los campos eléctricos y magnéticos: campo electromagnético.

Es difícil atribuir la invención de la radiocomunicación a una única persona, en diferentes países se reconocen las claves de los experimentos y demostraciones realizadas por Aleksandr Stepánovich Popov (Rusia), Nikola Tesla (Estados Unidos) y Guillermo Marconi (Reino Unido).

En 1901 se realizó la primera emisión transatlántica radioeléctrica dirigida por Guillermo Marconi. Este experimento es conocido como el primer sistema práctico de comunicación mediante ondas de radio.

### **1.3.2. Ley de Coulomb**

Para el año de 1785, Coulomb realizó los primeros ensayos experimentales sobre la fuerza entre dos cargas eléctricas puntuales, fenómeno

que ya había sido descubierto por Priestley en 1766 y redescubierto por Cavendish años después.

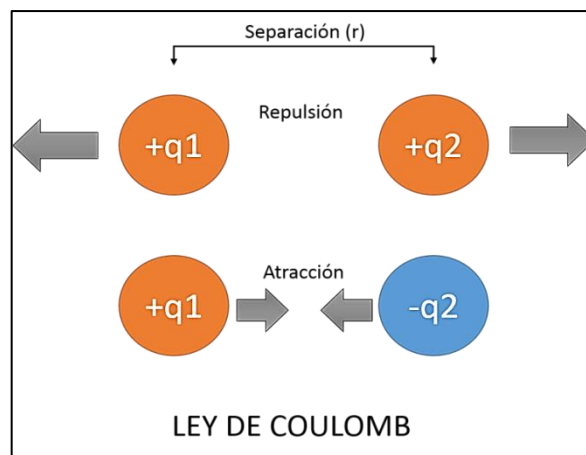
La ley de Coulomb establece que la magnitud de la fuerza eléctrica entre dos cargas puntuales es directamente proporcional al producto de las cargas, e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa. Este postulado se define matemáticamente como en la ecuación 1.

$$\vec{F} = k * \frac{|q_1| * |q_2|}{r^2} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde k es la constante de Coulomb, F es el vector fuerza que sufren las cargas eléctricas, las cuales pueden ser de repulsión o atracción (ver figura 2).

La expresión matemática de la Ley de Coulomb es aplicable únicamente a cargas puntuales estacionarias, para casos estáticos más complejos se necesita generalizar mediante ecuaciones matemáticas más complejas.

Figura 2. **Gráfica de la Ley de Coulomb**



Fuente: elaboración propia, con programa Adobe Illustrator.

### **1.3.3. Ley de Gauss**

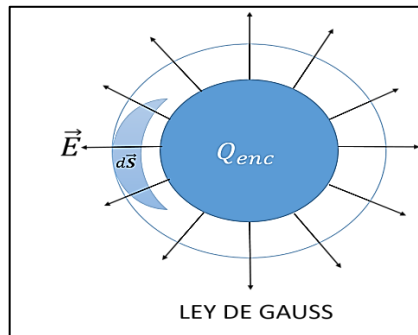
Es una ley general que se aplica a cualquier superficie cerrada. Esta es una herramienta importante porque permite realizar la evaluación de la cantidad de carga encerrada existente en una superficie. La ley de Gauss es una alternativa a la Ley de Coulomb, aunque equivale por completo a la ley de Coulomb, Gauss ofrece una forma distinta de expresar la relación entre la carga eléctrica y el campo eléctrico.

La ley de Gauss establece que el flujo total a través de cualquier superficie cerrada (una superficie que encierra un volumen definido) es proporcional a la carga eléctrica total dentro de la superficie.

El flujo eléctrico es una cantidad escalar que expresa una medida de campo eléctrico que atraviesa una determinada superficie. Expresado de otra forma, es la medida del número de líneas de campo eléctrico que atraviesan una superficie cerrada.

Un campo eléctrico se representa mediante un modelo que describe las interacciones existentes entre sistemas y cuerpos con propiedades eléctricas de naturaleza. Es un campo vectorial en el cual la carga eléctrica de una carga puntual sufre los efectos de una fuerza. Las líneas de campo eléctrico comienzan o terminan dentro de una región del espacio solo cuando en esa región existe carga, como se observa en la figura 3.

Figura 3. **Gráfica de la Ley de Gauss**



Fuente: elaboración propia, con programa Adobe Illustrator.

La superficie cerrada a la que se refiere la ley de Gauss es imaginaria, a menudo se hace referencia a esta superficie como una superficie gaussiana. Ahora, si se supone que se tienen varias cargas puntuales y están encerradas por una superficie gaussiana, el campo eléctrico en cualquier punto es la suma vectorial de todos los campos eléctricos individuales de cada carga puntual. Se puede escribir una ecuación para cada carga y su campo correspondiente, y sumar cada resultado, con esto se obtiene el enunciado general de la ley de Gauss, en la ecuación 2.

$$\Phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{ENC}}{\epsilon_0} \quad \text{Ecuación 2}$$

#### 1.3.4. **Ley de Ampere**

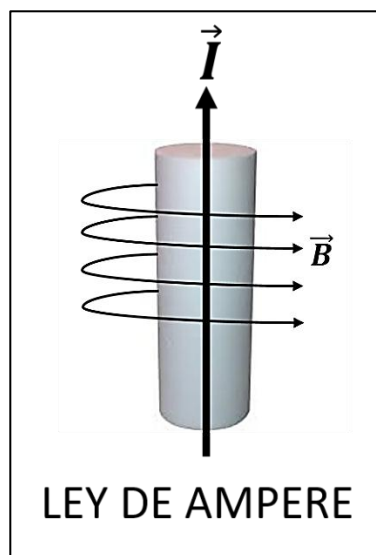
Relaciona un campo magnético estático con la causa que la produce, es decir por una corriente eléctrica estática. Esta ley fue corregida posteriormente por James Clerk Maxwell.

La ley de Ampere establece que la circulación de un campo magnético a lo largo de una línea cerrada es igual al producto de la permeabilidad magnética por la intensidad neta que atraviesa el área limitada por la trayectoria. La ley de Ampere es general, y para su aplicación hay que considerar el sentido de la circulación de la corriente. Este postulado se describe mejor matemáticamente en la ecuación 3.

$$\oint \vec{H} d\vec{l} = \iint_S \vec{J} d\vec{S} + \iint_S \vec{D} d\vec{S} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde el último término hace referencia a la corriente de desplazamiento, siempre y cuando la corriente sea constante y directamente proporcional al campo magnético, este término es introducido por James Carl Maxwell. La figura 4 muestra la ley de Ampere.

Figura 4. **Gráfica de la Ley de Ampere**



Fuente: elaboración propia, con programa Adobe Illustrator.

### 1.3.5. Ley de Faraday

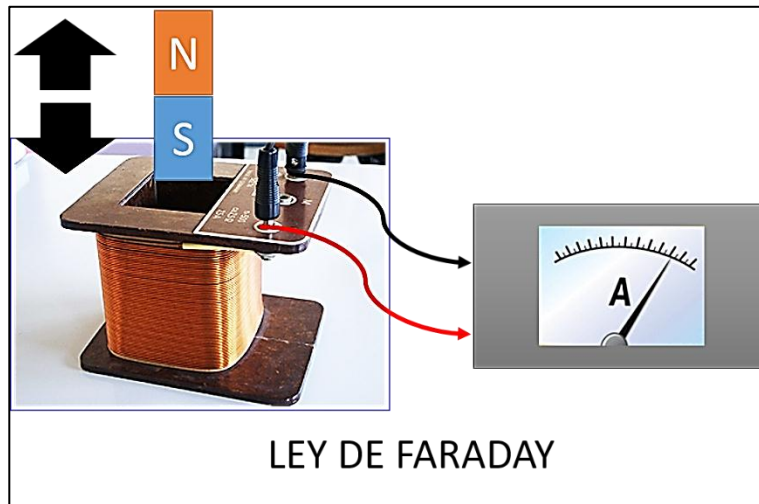
Ley de Faraday o ley de inducción electromagnética fue descubierta simultáneamente por Michael Faraday y Joseph Henry en 1830. La inducción electromagnética es el principio sobre el que se basa el funcionamiento del generador eléctrico, de un transformador, entre otros.

La ley de Faraday establece que la FEM inducida en una espira cerrada es igual al negativo de la tasa de cambio del flujo magnético a través de la espira con respecto al tiempo. En otras palabras, el voltaje inducido en un circuito cerrado es directamente proporcional a la rapidez con la que cambia en el tiempo el flujo magnético, se describe matemáticamente en la ecuación 4.

$$\oint \vec{E} d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \int_S \vec{B} d\vec{A} \quad \text{Ecuación 4}$$

El experimento que realizó Faraday fue la inducción entre dos bobinas una pequeña y la otra de mayor tamaño, la bobina pequeña con corriente eléctrica de una batería, la cual crea un campo magnético. Si las dos bobinas son estacionarias no existe ninguna inducción, cuando se realiza un movimiento de la bobina pequeña dentro de la grande, existe un cambio en el flujo magnético a través de la espira mayor, la cual induce una corriente. Esto se muestra en la figura 5.

Figura 5. **Gráfica de la Ley de Faraday**



Fuente: elaboración propia, con programa Adobe Illustrator.

### 1.3.6. **Ecuaciones de Maxwell**

Son el conjunto de cuatro ecuaciones (originalmente 20) que describen en su totalidad los fenómenos electromagnéticos. Maxwell reunió estas ecuaciones durante largos años de experimentaciones. Introdujo los conceptos de campo y corriente de desplazamiento, realizó la unificación de campos eléctricos y magnéticos en un solo concepto, denominado campo electromagnético.

Uno de los aspectos más importantes del trabajo de Maxwell es la introducción del término de corriente de desplazamiento en la ley de Ampere, con esto se logró demostrar la existencia de ondas electromagnéticas propagándose, dependiendo del material, la velocidad de la luz en el medio. De esta forma, Maxwell pudo identificar al fenómeno de la luz como una onda electromagnética. Las ecuaciones de Maxwell se definen en la tabla I.



Tabla I. Ecuaciones de Maxwell

Nombre	Forma puntual	Forma integral
Ley de Gauss	$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$	$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{q}{\epsilon_0}$
Ley de Gauss para campo magnético	$\nabla \cdot \vec{B} = 0$	$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$
Ley de Faraday	$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$	$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$
Ley de Ampere generalizada	$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$	$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \int_S \vec{j} \cdot d\vec{S} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d}{dt} \int_S \vec{E} \cdot d\vec{S}$

Fuente: elaboración propia.

### 1.3.7. Ondas electromagnéticas

Son aquellas que no necesitan de un medio material para propagarse, estas pueden ser luz visible, ondas de radio, ondas de televisión y ondas de telefonía, entre otras. Se propagan en el vacío a una velocidad constante pero muy alta, cercana a la velocidad de la luz, 300 000 km/s.

Para el año de 1887, Heinrich Hertz fue el encargado de llevar las ecuaciones de Maxwell a la práctica y, por primera vez, se logró generar ondas electromagnéticas artificialmente. Las cargas eléctricas al ser aceleradas originan campos eléctricos, los cuales a su vez originan campos magnéticos y viceversa. De esta forma, la onda se propaga a través del espacio con campos eléctricos y campos magnéticos generándose continuamente.

Los experimentos realizados por Hertz no fueron con longitudes de onda macroscópicas, esto lo logró con cargas oscilantes en circuitos LC; pero a Hertz

no se le ocurrió la comunicación a larga distancia, y esto lo logra Marconi con la primera radiotransmisión transatlántica en 1901.

La longitud de onda es la distancia existente entre dos crestas valles consecutivos, esto describe cuán larga es la onda. La distancia real recorrida por una onda no siempre coincide con la distancia del medio o de las partículas en las que se propaga la onda; la letra griega  $\lambda$  (lamda) en la que representa la longitud de onda en las ecuaciones.

La longitud de onda y la frecuencia son inversamente proporcionales, es decir a frecuencias altas longitudes de ondas pequeñas y viceversa, matemáticamente una longitud de onda se puede describir como en la ecuación 5.

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde c representa un valor constante de la velocidad de la luz y f representa la frecuencia.

### **1.3.7.1. Espectro electromagnético**

Es la distribución del conjunto de ondas electromagnéticas, dichos espectros se pueden observar por medio de espectroscopios, aparte de eso, permiten realizar las mediciones de longitud de onda, frecuencia e intensidad de radiación. El espectro electromagnético se extiende desde menor longitud de onda, como los rayos gama, rayos X, pasando por la luz ultravioleta, luz visible, rayos infrarrojos, hasta las de mayor longitud de onda, como las ondas de radio.

El espectro electromagnético se puede clasificar, por la longitud de onda, de la siguiente manera:

- Microondas: se clasifican entre las frecuencias de 1 GHz y los 300 GHz, abarcan parte de las UHF (Ultra High Frequency) y todo el rango de las SHF (Super High Frequency) y EHF (Extrematedly High Frequency). La función básica de estas ondas se encuentra en numerosos sistemas como dispositivos de transmisión de datos, radares y hornos microondas.
- Infrarrojo: estas ondas se encuentran en el rango de los 0,7 a 100 micrómetros, generalmente se asocian a cuerpos que generan calor, diodos emisores de luz infrarroja y rayos láser. Este tipo de ondas son utilizadas principalmente en sistemas espaciales de comunicación, en astronomía para la detección de cuerpos en movimiento en la oscuridad, control de mando a distancia para equipos electrónicos, entre otros.
- Espectro visible: este espectro se conoce como luz, el cual tiene una longitud de onda de 0,4 a 0,8 micrómetros, esta es una parte muy pequeña del espectro electromagnético que se puede apreciar. La luz se puede utilizar para diferentes tipos de comunicación, como a través de la fibra óptica, uno de los mejores sistemas de transmisión cableada.
- Ultravioleta: el uso principal para esta parte del espectro electromagnético es en el campo de la medicina, su longitud de onda va de 4 a 400 nanómetros. La principal fuente de esta onda es el sol, la cual puede causar cáncer en la piel si se expone directa a la fuente.

- Rayos X: esta denominación designa a una radiación electromagnética que es capaz de atravesar cuerpos opacos. La longitud de onda se encuentra entre los 10 y 0,01 nanómetros.
- Rayos gama: es una radiación electromagnética producida por elementos radioactivos o procesos subatómicos, también se produce por fenómenos astrofísico de gran violencia. Debido a la alta concentración de energía que poseen, constituyen una radiación ionizante capaz de penetrar la materia, esto puede causar grave daño al núcleo de las células, por lo cual es utilizado para la esterilización de equipo médico.

#### **1.4. Historia de los radiocomunicadores**

Los comunicadores portátiles, o transmisor-receptor portátiles, son pequeños dispositivos que permiten la comunicación entre dos personas distantes, esto lo realizan a través de la emisión y recepción de ondas de radio.

Los primeros radios fueron creados con fines militares en un canal semidúplex, es decir, solo una radio está en condiciones de transmitir pero el mensaje puede ser recibido por varias radios simultáneamente, y un interruptor PTT (presionar para hablar o *push-to-talk*), el cual permite que la radio transmita el mensaje y no sea interrumpido por otra radio o interferido por el ruido. Los primeros radios en el mercado se conocieron popularmente como Walkie-talkie, creado por la empresa Motorola en 1940.

La característica de PTT se encuentra incorporada en la actualidad en todos los equipos de radio, portátiles o móviles. En el PPT no se permite hablar y escuchar a la vez, la utilidad de esto es para conversaciones de grupo, nadie puede interrumpir la transmisión, únicamente el que tiene presionado el botón

puede hablar mientras el resto del grupo escucha. Este método elimina también el ruido que se genera en cada equipo de radio.

Los radiotransmisores se volvieron instrumentos de comunicación valiosa para la policía, servicios de emergencia, empleos comerciales e industriales y radioaficionados. Para controlar el medio y que no existan interferencias o que personas ajenas reciban información específica, se utilizan bandas específicas dependiendo del área de ubicación del transmisor o del tipo servicio para el cual se va a utilizar.

Los comunicadores portátiles son limitados a unos pocos vatios de salida y con una pequeña antena, lo que significa que se tiene un área de cobertura muy corta. En muchos casos no se puede exceder la distancia del horizonte visual en campo abierto y mucho menos en la ciudad, donde existen grandes construcciones, lo cual complica la comunicación entre dispositivos. La solución a este problema se encuentra en la utilización de repetidores ubicados en puntos estratégicos para cubrir el área en la que se desea cobertura.

#### **1.4.1. Bandas de frecuencias**

Son intervalos del espectro electromagnético a los que se asignan diferentes usos dentro de las radiocomunicaciones. Su utilización está regularizada por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU), pueden variar dependiendo del lugar.

Las bandas ITU de radio se establecieron en las *Regulaciones de radio*, artículo 2, provisión núm. 2.1, que determina que “el espectro radioeléctrico se divide en 9 bandas de frecuencias, identificadas con números enteros progresivos”, de acuerdo a la tabla II.

Tabla II. **Lista de bandas de radio según ITU**

Número de banda	Símbolo	Rango de frecuencias	Rango de longitud de onda
4	VLF	3 a 30 kHz	10 a 100 km
5	LF	30 a 300 kHz	1 a 10 km
6	MF	300 a 3 000 kHz	100 a 1000 m
7	HF	3 a 30 MHz	10 a 100 m
8	VHF	30 a 300 MHz	1 a 10 m
9	UHF	300 a 3 000 MHz	10 a 100 cm
10	SHF	3 a 30 GHz	1 a 10 cm
11	EHF	30 a 300 GHz	1 a 10 mm
12	THF	300 a 3 000 GHz	0,1 a 1 mm

Fuente: elaboración propia.

La tabla se desarrolló según la recomendación de la IV reunión de la CCIR, realizada en 1937 en Bucarest y fue aprobada en 1947 en la Conferencia Internacional de Radio llevada a cabo en Atlantic City, USA.

Cada una de las bandas tiene un plan de banda que determina como se utiliza y se comparte, para evitar interferencias entre canales, además se especifican los protocolos de comunicación que permitan la comunicación entre emisor y receptor.

La atmósfera tiene una gran absorción de la radiación electromagnética por encima de los 300 GHz, esto opaca la señal y la convierte en señal transparente, lo que significa que la señal queda cerca de la longitud de onda de infrarrojo y rangos de frecuencia visuales. En la tabla III se muestra la clasificación de las frecuencias para radios en rangos de frecuencia.

Tabla III. **Clasificación de ondas de radio por rangos de frecuencia**

Banda	Abreviatura	Frecuencia	Longitud de onda	Ejemplos de uso
Baja frecuencia	LF	30 – 300 kHz	10 – 1 km	Radio ayuda, señales de tiempo, radiodifusión en AM, RFID, radioafición.
Frecuencia media	MF	300 – 3000 kHz	1 km – 100 m	Radio difusión en AM, radioafición, balizamientos de aludes.
Alta frecuencia	HF	3 – 30 MHz	100 – 10 m	Onda corta, radioafición, comunicaciones de aviones, RFDI, radar, telefonía móvil.
Muy alta frecuencia	VHF	30 – 300 MHz	10 – 1 m	FM, televisión, comunicaciones de aviones, telefónica móvil, radioafición.
Ultra alta frecuencia	UHF	300 – 3000 MHz	1 m – 100 mm	Televisión, hornos microondas, redes inalámbricas, radares, comunicación con satélites, radioafición.
Súper alta frecuencia	SHF	3 – 30 GHz	100 – 10 mm	Radioastronomía, teledetección, radioafición, escáner de ondas milimétricas.

Fuente: elaboración propia.

### 1.4.2. Radios de dos vías

Pueden transmitir y recibir señales de radio. Su utilización principalmente es para la comunicación con otras personas dentro de una gama limitada. El canal de transmisión se apertura con un sistema PTT, anteriormente explicado.

Existen distintos tipos de radios de dos vías, por ejemplo, de aficionados, de aviación, terrestres comerciales, de gobierno, marina, entre otros. Estos tipos de radios ofrecen ciertas ventajas que los convierten en una solución alcanzable, flexible y altamente confiable.

Entre las ventajas de un sistema de radio de dos vías están:

- Bajo costo total de propiedad, el sistema de radios de dos vías necesita de una pequeña inversión inicial, sin contratos ni tarifas mensuales. Una

solución de este tipo se puede pagar en menos de 18 meses (kit completo), comparadas con tarifas celulares o móviles que requieren de gastos extras.

- El radio de dos vías fue desarrollado y ha continuado con la evolución de la necesidad de la comunicación orientada a grupos y ambientes de expedición, para realizar comunicaciones rápidas confiables entre las personas que no se encuentren físicamente en la misma porción geográfica.
- Implementación simple y de confiabilidad, estos equipos no necesitan ningún tipo de estructura; los usuarios simplemente encienden sus radios y empieza una conversación directa entre los que se encuentren conectados. Estos radios proveen la simpleza y confiabilidad que no se compara con la tecnología celular, VoWLAN, entre otras.
- Posibilidad de la aplicación de las capacidades digitales de voz, datos y control, porque al escoger los dispositivos que incorporen estándares y tecnologías apropiados, las organizaciones pueden obtener mayor capacidad y flexibilidad para el soporte.

Los componentes básicos de los radios de dos vías son altavoces, micrófono, codificador de señales y antena, los cuales vienen implementados en un solo equipo. Hay equipos más sofisticados que incluyen distintos tipos canales de recepción, salida para audífonos y micrófonos, pantallas para interacción con el equipo, entre otros.

Los altavoces son los encargados de la transformación de los pulsos eléctricos recibidos de ondas electromagnéticas (utilizadas estas últimas como



el medio de transmisión) y los convierten a ondas sonoras amplificadas, las cuales se interpretan como sonidos o comúnmente llamado mensaje.

El micrófono es un dispositivo contrario a los altavoces, estos recogen las ondas sonoras y las convierten a pulsos eléctricos, luego los transforman para la transmisión y recepción del otro equipo. El funcionamiento básico de estos componentes es la captura de la voz o sonidos que estén en el alcance de recepción, para convertirlos en una corriente eléctrica y así transmitirla.

La antena es otro dispositivo electrónico que se encarga de transmitir y recibir las ondas electromagnéticas que el equipo envía o recibe. Se extenderá este tema, con sus parámetros y consideraciones a tomar, en los siguientes capítulos.



## **2. FUNDAMENTOS DE ONDA CORTA**

### **2.1. Definición de onda corta**

La onda corta pertenece al espectro radioeléctrico de altas frecuencias o HF, anteriormente mencionado. Este espectro es el que registra mayor actividad porque es el más común y su forma particular de propagación en la ionosfera permite la recepción alrededor del mundo.

HF son las siglas en inglés de High Frequency o alta frecuencia en español, cuyo rango de frecuencia se muestra en la tabla II para las normas ITU y en la tabla III para los rangos de frecuencias. Los equipos de radios en HF tienen los mismos fines que un radio común, estos se diferencian principalmente por la banda de frecuencia en que operan y la distancia a la que pueden llegar.

Estas frecuencias, mejor conocidas como OEM (ondas electromagnéticas), rebotan a distintas alturas, a mayor frecuencia mayor es la altura de rebote, todo esto ocurre en la ionosfera la cual depende de las estaciones del año y la hora del día.

Existen las bandas diurnas o bandas altas que se distinguen por estar entre el rango de 14 y 30 MHz, cuya propagación aumenta en los días de verano. Las bandas nocturnas o bandas bajas se encuentran en el rango de los 3 y 14 MHz, las cuales se propagan mejor en el invierno.

La estación del año influye, no solo en la duración del día y de la noche, también en la llamada propagación de zona gris o zona intermedia, la cual

permite aprovechar una buena propagación durante algunos minutos entre las zonas diurnas y nocturnas que comparten la misma hora solar del amanecer o puesta de sol.

Para el uso de la onda corta se otorgan ciertas bandas de frecuencia a cada grupo de acción social, permitiendo el mejor aprovechamiento del espectro electromagnético, entre las cuales se encuentran uso comercial, militares, aeronáuticas, navales, radioaficionados, entre otros.

Las emisoras internaciones y radioaficionados transmiten entre 2 300 y 29 900 kHz para su programación mundial. La radio de onda corta es muy similar a la onda de onda media local de AM (la que se puede escuchar normalmente), su diferencia principal es la distancia que pueden abarcar. Normalmente se utiliza el modo en AM y SSB tanto superior como inferior.

Para la radiodifusión, la longitud de onda en las bandas tropicales es de 90, 75 y 60 metros; para bandas internacionales están 49, 41, 31, 25, 21, 19, 16, 13 y 11 metros. Se cuentan con las bandas de radioaficionados de 3, 7, 10, 14,18, 21, 24 y 28 MHz, correspondientes a las longitudes de onda de 80, 40, 30, 20, 17, 15, 12 y 10 metros respectivamente. Estas medidas de longitud de onda y frecuencia se encuentran en la tabla IV.

Tabla IV. **Bandas de alta frecuencia (HF)**

Banda	Longitud de onda (m)	Frecuencia (MHz)
Bandas tropicales	90	3,30
Bandas tropicales	75	4
Bandas tropicales	60	5
Bandas internacionales	49	6,10
Bandas internacionales	41	7,30
Bandas internacionales	31	9,60
Bandas internacionales	25	12
Bandas internacionales	21	14,20
Bandas internacionales	19	15,75
Bandas internacionales	16	18,70
Bandas internacionales	13	23
Bandas internacionales	11	27,20

Continuación de la tabla IV.

Bandas radioaficionados	80	3,75
Bandas radioaficionados	40	7,5
Bandas radioaficionados	30	10
Bandas radioaficionados	20	15
Bandas radioaficionados	17	17,60
Bandas radioaficionados	15	20
Bandas radioaficionados	12	25
Bandas radioaficionados	10	30

Fuente: elaboración propia.

## 2.2. Propagación de onda corta

La energía a alta frecuencia radiada por la antena transmisora, es reflejada por las capas más altas de la atmosfera, siendo esta la ionosfera o capa F2, situada a 250 kilómetros por encima de la biosfera. Cuando un haz es radiado en paralelo a la superficie de la biosfera, alcanzará la capa alta de la atmosfera a dos mil kilómetros a partir del transmisor, incidiendo en la biosfera nuevamente a unos cuatro mil kilómetros, esto se ilustra en la figura 28.

Los cuatro mil kilómetros es el salto más largo fiable, se pueden realizar saltos cortos, los cuales dependerán de las antenas. Si se desea realizar saltos mayores a los cuatro mil kilómetros, hay que utilizar la biosfera como espejo y se obtiene mejor resultado cuando se utiliza al mar como reflector de la señal.

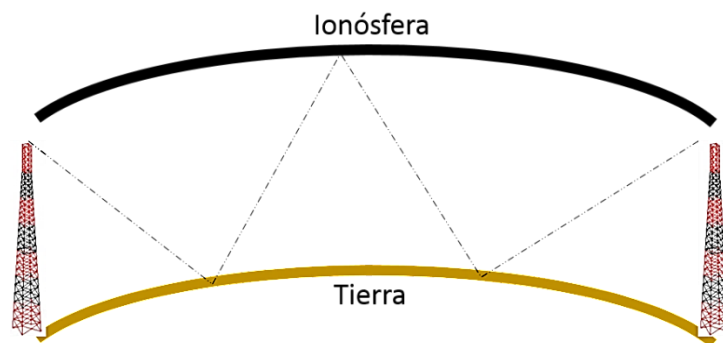
La ionosfera se utiliza como el medio de reflexión por las propiedades que adquiere de la ionización. La densidad del aire a la altura de la ionosfera es tan pequeña que la radiación solar o rayos ultravioleta son capaces de ionizar el aire, lo que produce desprendimiento de iones y electrones libres. La concentración de electrones libres determina las propiedades reflectoras que posee la capa. Cuando la concentración de electrones es grande, la ionosfera será capaz de reflejar las frecuencias altas; de lo contrario, cuando es baja la concentración de electrones, sus propiedades reflexivas son muy limitadas.

La concentración de electrones libres depende de la posición del sol y la radiación ultravioleta. La posición del sol sobre un punto donde se da la reflexión de los rayos incidentes depende de la hora del día o de la noche y la estación del año. La cantidad de radiación existente es observada y estudiada por los observatorios, donde también se realizan las predicciones de las mismas. La reflexión de la ionosfera siempre es estudiada y estos datos son utilizados por muchas emisoras internacionales de radiodifusión.

La señal transmitida experimenta una considerable atenuación en todo su camino. La absorción depende de la condición de la ionosfera y el número de reflexiones terrestres necesarias para alcanzar el objetivo. Por este motivo, el uso de las frecuencias de onda corta es susceptible a experimentar cambios periódicos.

En la figura 6 se muestra cómo una antena transmisora emite la señal y esta rebota entre la ionosfera y la biosfera, tal efecto se complica al momento de estar en un plano realista y se incluyan edificios, casas, construcciones, ruido producido por el ser humano (ruido eléctrico, ruido sonoro, ruido electromagnético, otras señales de radio, entre otros).

Figura 6. **Cómo se transmite la onda corta**



Fuente: elaboración propia, con programa Adobe Illustrator.

Un fenómeno típico en la propagación de la onda corta es la aparición de zona salto, que es un punto donde no es posible la recepción de la señal. Si se utilizara una señal de trabajo fija, los grandes cambios que ocurren en la ionosfera pueden crear zonas salto por la noche.

Por las características de la ionosfera, la propagación se realiza por diferentes caminos simultáneamente, esto genera diferentes números de saltos el cual puede ser perturbado por ciertas técnicas. Para frecuencias más bajas de onda corta la absorción de la energía puede ser grave, esto se debe a las colisiones de electrones de moléculas neutras, las cuales pueden absorber energía de la frecuencia y ser convertida en calor. Las predicciones de la propagación de la onda por la ionosfera dependen de:

- Distancia desde el transmisor hasta el receptor, la cual afecta por los distintos obstáculos en el camino o por cambios que existan en la ionósfera.
- Durante el día, las frecuencias superiores, aproximadamente a 12 MHz pueden viajar distancias más largas que las frecuencias más bajas. Por la noche, sucede lo contrario, a frecuencias más bajas pueden viajar distancias más largas que las frecuencias más altas.
- Por la temporada, durante los meses de invierno de los hemisferios norte y sur, la banda de radiodifusión AM es más favorable debido a las largas horas de la oscuridad.
- Durante los períodos de las llamaradas solares se produce un aumento extremo en la ionización del aire, durante estos períodos, que pueden durar minutos, la propagación de la onda corta en la ionización es inexistente.

### **2.3. Tipos de estaciones de onda corta**

Dentro de las frecuencias de onda corta existe una gama variada de estaciones que emiten por diferentes razones, objetivos y fines; encontrándose las radiodifusoras internacionales, radiodifusoras locales, de difusión de información muy específica. Más adelante se mencionarán las características de diversos géneros de estaciones de onda corta, para conocer las perspectivas de cada receptor.

#### **2.3.1. Estaciones utilitarias**

Estas estaciones se encargan de la difusión de información muy específica y comúnmente es de carácter privado. Se pueden escuchar emisoras militares, líneas aéreas civiles, estaciones meteorológicas para aviación, comunicaciones marítimas, o agencias de prensa. La mayoría de estas transmisiones se realizan por banda lateral única (BLU).

#### **2.3.2. Estaciones horarias**

Se encuentran en muchos países del mundo. Algunas de estas estaciones emiten en períodos de tiempo muy precisos y otras las 24 horas del día. Con estas estaciones se puede estar, con exactitud, en las citas de las emisiones radiadas por emisoras internacionales.

Algunos ejemplos de estas estaciones son la WWV en Colorado, que transmite la hora universal así como previsiones meteorológicas y datos de propagación de las ondas; la CHU en Ottawa, que anuncia las 24 horas del día la hora universal.



### **2.3.3. Radioaficionados**

Estos son apasionados por la onda corta que se comunican entre ellos por el placer de la experimentación. Pueden transmitir en clave morse o de manera vocal (fonía). Para la recepción de estas señales es necesaria la banda lateral única, procedimiento utilizado universalmente en la actualidad.

### **2.3.4. Estaciones internacionales**

Las estaciones internacionales de onda corta son la principal atracción del DXismo, porque tienen el mayor número de radioescuchas de onda corta. La mayoría de países difunde emisiones en onda corta en busca de oyentes extranjeros. El inglés, español y francés son las lenguas más utilizadas.

### **2.3.5. Estaciones tropicales**

Estas estaciones están agrupadas en frecuencias particulares y son utilizadas únicamente por países tropicales que difunden a su auditorio local. Estas estaciones son de baja potencia en onda corta, debido a que no se pueden hacer a onda media por la actividad solar muy fuerte en regiones tropicales.

### **2.3.6. Estaciones religiosas**

La primera estación religiosa fue Radio Vaticana, una realización de Marconi que comenzó en 1931. Estas estaciones tienen el fin de permitir la propagación de la fe alrededor del mundo a través de la radio.

### **2.3.7. Estaciones comerciales**

Las recién nacidas de la radio, porque su aparición es muy reciente. Se creían que estas emisiones no iban a tener mucho auditorio por el tipo de mensaje. La mayoría de las estaciones comerciales se apoyan en la onda media y la modulación de frecuencias existentes, y emiten su propagación local en onda corta.

## **2.4. Modulaciones para onda corta**

A continuación se presenta el significado de modulación.

### **2.4.1. ¿Qué es la modulación?**

Es una técnica que se usa para el transporte de información sobre una onda portadora, típicamente una onda sinusoidal. Estas técnicas permiten un aprovechamiento en el canal de comunicación posibilitando la transmisión de más información en forma simultánea y mejorando la resistencia ante posibles ruidos e interferencias.

Según la American National Standard for Telecommunications, o sus siglas en inglés ANST, “la modulación es el proceso, o el resultado del proceso, de variar una característica de una onda portadora de acuerdo con una señal que transporta información. El propósito de la modulación es sobreponer señales en las ondas portadoras.”

Principalmente, la modulación consiste en modificar un parámetro en la onda portadora para que este cambie de acuerdo a las variaciones de la señal moduladora, que es la información que se desea transmitir.

Existen dos técnicas básicas de modulación, siendo estas la modulación analógica y la modulación digital. La modulación analógica puede ser por amplitud, por frecuencia o por fase. La modulación digital puede ser por desplazamiento de amplitud, de fase o de frecuencia.

Estas técnicas de modulación se pueden dividir a su vez en 2 grupos, los sistemas de transmisión de audio (voz); los cuales pueden ser amplitud modulada, frecuencia modulada o banda lateral única. Para los sistemas de transmisión sin voz se encuentran CW (código morse), RRTY (radioteletipo), los cuales son para la transmisión de datos.

#### **2.4.1.1. Frecuencia modulada**

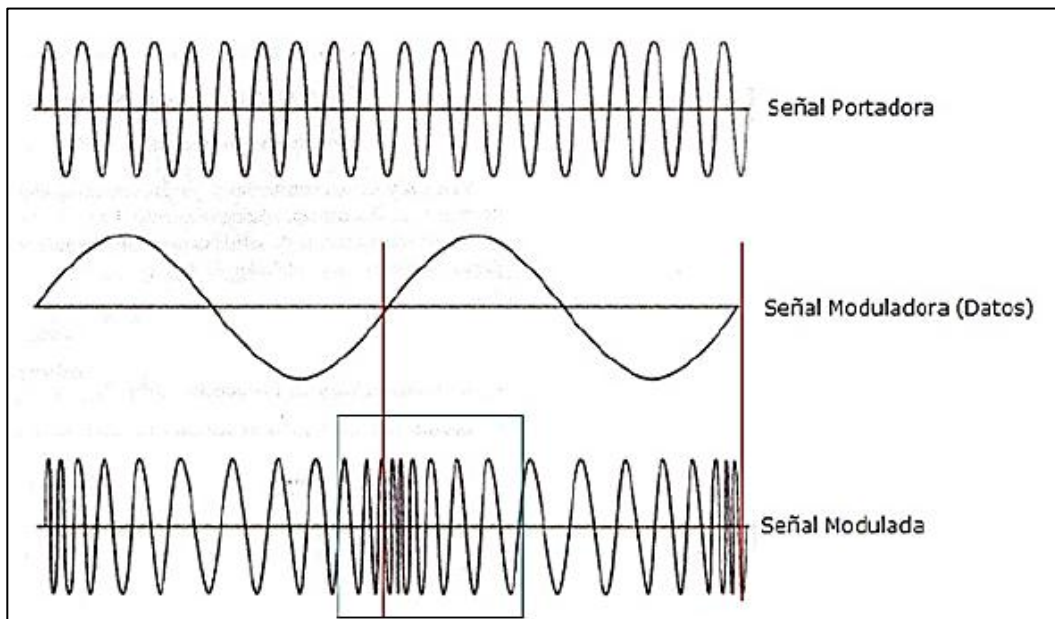
La frecuencia modulada, o comúnmente conocida por sus siglas FM, es un sistema de transmisión en el que la onda portadora se modula de forma que su frecuencia varíe según la señal de audio transmitida. La frecuencia modulada mantiene la amplitud y la fase de la señal constante y la frecuencia va variando (ver figura 7). El primer sistema operativo con esta técnica fue realizado por el mayor de la marina norteamericana Edwin H. Armstrong, en 1936.

La frecuencia modulada es la técnica utilizada para emisoras en VHF, canales de televisión y varios tipos de receptores portátiles como walkie-talkie, telefonía inalámbrica, entre otros. Las estaciones o emisoras comerciales de radio FM tienen las frecuencias entre 88 y 108 MHz. El alcance en estas bandas está limitado para que puedan haber otras emisoras de la misma frecuencia situadas a cientos de kilómetros sin que se interfieran entre ellas.

La modulación en frecuencia es comúnmente usada en las radiofrecuencias de muy alta frecuencia por la alta fidelidad de la radiodifusión

de la música y voz. Para realizar esta técnica, muy delicada, se necesitan dos características importantes: la estabilidad en la frecuencia y que la señal moduladora varíe con la frecuencia.

Figura 7. **Modulación en frecuencia (FM)**



Fuente: HERRERA, Sergio. *La modulación*. <https://s1tecnologia.wikispaces.com/La+Modulaci%C3%B3n>. Consulta: febrero de 2015.

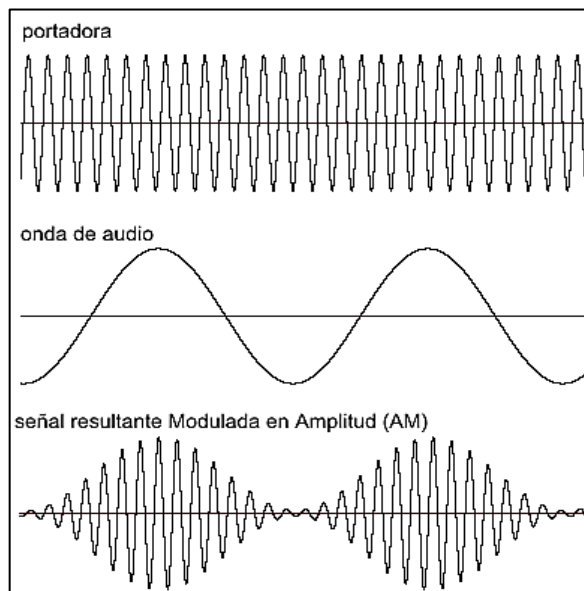
### 2.4.1.2. **Amplitud modulada**

Es el modo más antiguo de transmisión de voz y es estándar de las emisoras de radio en onda larga, onda media y onda corta. Como su nombre lo indica, esta técnica utiliza la amplitud de la onda para transportar el audio. Como se observa en la figura 8, la señal portadora se mezcla con la señal de audio que se desea emitir, haciendo una variación en la amplitud de la onda portadora mientras que la frecuencia se mantiene constante.

La modulación de amplitud es una de las formas, relativamente barata y de baja calidad, utilizada en la radiodifusión de señales de audio y video. La banda comercial de la amplitud modulada abarca de los 535 a 1 605 kHz. Existen varias formas o variaciones de la modulación en amplitud que son posibles de generar, matemáticamente no es la forma más sencilla de entender los métodos de modulación.

Como un medio de transmisión de información, la modulación en amplitud tiene muchas ventajas pero, también presenta muchas desventajas, las cuales limitan la utilidad y obligan a buscar otras formas de modulación. La desventaja principal es la afectación de diversos fenómenos atmosféricos; como la estática, señales electrónicas con frecuencias parecidas y las interferencias ocasionadas por aparatos eléctricos, como motores y generadores.

Figura 8. **Modulación en amplitud (AM)**



Fuente: HERRERA, Sergio. *La modulación*. [http:// arieldx.tripod.com/ manualdx/bandas/modulacion.htm](http://arieldx.tripod.com/manualdx/bandas/modulacion.htm). Consulta: febrero de 2015.

Existen varios métodos de modulación por amplitud, entre los que se encuentran la banda lateral única, banda lateral doble, banda lateral doble con portadora suprimida y banda lateral única con portadora suprimida, las cuales se mencionarán más adelante.

#### **2.4.1.2.1. Doble banda lateral**

La modulación en doble banda lateral, o por sus siglas DBL, es un tipo de modulación lineal que consiste en modificar la amplitud de la señal portadora en función a variaciones de la señal moduladora. La modulación en doble banda lateral equivale a una modulación en AM, pero sin reinserción de la portadora.

La portadora no transmite ninguna característica que define el mensaje y encima consume la mayoría de energía de la onda modulada. El ancho de banda necesario para la transmisión de la información es el doble de la frecuencia de la señal moduladora, causando una pérdida de ancho de banda en el espectro.

La principal ventaja de la modulación de doble banda lateral respecto a la modulación de AM, es que toda la potencia de la señal moduladora se emplea en la transmisión de la información de modo que la relación señal a ruido en recepción será mayor. El inconveniente mayor es que su demodulación es más complicada, porque el hecho de multiplicar directamente la señal portadora y la moduladora, implica que la envolvente es directamente  $x(t)$ , por lo que tomará valores positivos y negativos, no se podrá recuperar la información con un simple detector de envolvente.

$$V(t) = x(t) \cdot A_p \cdot \cos(2\pi f_o t) \quad \text{Ecuación 6}$$

Considerando la señal modulada en DBL en la ecuación 6, donde  $x(t)$  es la señal del mensaje,  $V(t)$  es la señal modulada en DBL,  $f_0$  es la frecuencia de la portadora y  $A_p$  es la amplitud de la portadora; se tiene que al multiplicar la señal moduladora y la señal portadora para obtener una señal cuya envolvente es directamente la señal de información multiplicada por la amplitud de la portadora.

En el espectro de la señal, esto equivale a convolucionar las dos señales, por lo tanto, desplazar el espectro de la señal moduladora centrándolo en la frecuencia de la portadora. Esto implica que el ancho de banda de la señal DBL es el doble del ancho de banda del mensaje.

#### **2.4.1.2.2. Modulación de banda lateral única**

La modulación de banda lateral única, o por sus siglas BLU, es una evolución de la modulación AM. Este tipo de modulación es muy importante para la rama de la electrónica básica, porque permite transmitir señales de radiofrecuencia que otras modulaciones no pueden transmitir.

En una transmisión de AM se gasta la mitad de la energía en transmitir la portadora y solo un cuarto en transmitir la señal moduladora. El otro cuarto se consume en transmitir exactamente la misma información. Es evidente que ambas bandas laterales son redundantes, bastaría con enviar una sola y la portadora tampoco es necesaria.

La superioridad de tecnología de la banda lateral única sobre la AM reside en la necesidad de gastar solo un cuarto de la energía para transmitir la misma información. Por otro lado, los circuitos de transmisores son más complejos y

más caros. Otra ventaja se encuentra en un ancho de banda más estrecho, permitiendo más transmisiones simultáneas en una banda dada.

La modalidad de mayor uso es la banda lateral superior (USB), por razones históricas, en el servicio de radioaficionados para frecuencias por debajo de los 10,7 MHz se transmite solo la banda inferior (LSB) y por encima a dicha frecuencia, se transmite la banda lateral superior.

### **2.4.1.3. Modulación por fase**

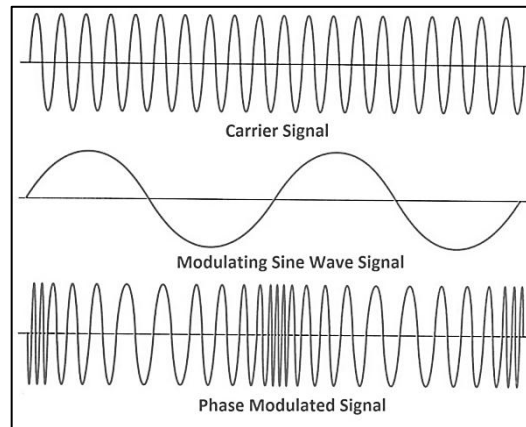
No es muy utilizada esta técnica, se requiere de equipos de recepción más complejos que la frecuencia modulada; puede presentar problemas de ambigüedad para la determinación de la fase en la señal.

Esta técnica es ampliamente utilizada para la transmisión de ondas de radio y es una parte integral de muchos sistemas de codificación en la transmisión de sintetizadores digitales en tecnologías como wi-fi, GSM y televisión satelital.

Esquemáticamente, la modulación por fase es muy similar a la frecuencia modulada, pero se tiene que saber distinguir en la forma en que se realiza cada modulación y cómo es que se aplica. Se tiene que tener en cuenta que matemáticamente cada modulación tiene su propia función. En la figura 9 se observa la modulación por fase.



Figura 9. **Modulación por fase (PM)**



Fuente: HERRERA, Sergio. *La modulación*. <http://www.textoscientificos.com/redes/modulacion/fase>. Consulta: febrero de 2015.

## 2.5. **Ventajas de la onda corta**

La onda corta posee ciertas ventajas con respecto a las nuevas tecnologías, tales como:

- La censura en la programación por parte de autoridades en países restrictivos: a diferencia de su relativa facilidad en el control, las autoridades se encuentran escuchando las estaciones. Un ejemplo claro fue el golpe de Estado contra el presidente Mikhail Gorbachev en la Unión Soviética, cuando el acceso a la comunicación era limitada, Gorbachev se encontraba informado a través del Servicio Mundial de la BBC en su transmisión por onda corta.
- Las radios de onda corta son de bajo costo y ampliamente disponibles en varios países, a excepción de los países más represivos del mundo.

- En muchos países la propiedad de los receptores de onda corta ha sido y sigue siendo una práctica generalizada.
- Muchos de los receptores de onda corta son portátiles y de baterías recargables, haciéndolo útiles en circunstancias donde se necesite movilidad.
- Los radios de onda corta son de gran utilidad en lugares donde no existe servicio de internet, acceso de señal móvil o el servicio de comunicaciones por satélite sea temporal.
- La onda corta viaja mucho más lejos que la radiodifusión en frecuencia modulada; la cual puede alcanzar varios miles de kilómetros o entre continentes.
- Especialmente en las regiones tropicales, la onda corta es menos propensa a la interferencia de tormentas electromagnéticas, a comparación de la onda media. En estas regiones se puede cubrir mayor área geográfica con una menor potencia, por tal motivo, en estas regiones es utilizada ampliamente por la radiodifusión nacional.
- Se requiere de muy poca infraestructura para las comunicaciones bidireccionales a larga distancia. Todo lo que se necesita es un par de transreceptores, una antena y una fuente de energía. Este tipo de infraestructura hace que la onda corta sea un de los medios más robustos de comunicaciones, las cuales pueden ser interrumpidas únicamente por la interferencia o malas condiciones en la ionosfera.

## **2.6. Desventajas de la onda corta**

Como se ha mencionado, la onda corta tiene ventajas ante las nuevas tecnologías pero, como todo medio de transmisión, tiene sus desventajas ante cualquier cambio, tales como:

- Las transmisiones de onda corta a menudo sufren de graves problemas de interferencia a causa de la sobrepoblación o saturación en las bandas de frecuencias, perturbaciones atmosféricas y problemas de interferencia eléctrica de aparatos de televisión, computadoras, teléfonos celulares, electrodomésticos, malos diseños e instalaciones eléctricas de baja calidad.
- Una transmisión de onda corta, en condiciones ideales de recepción, es de baja calidad en comparación a una de FM y en un sonido monofónico.
- A medida que más personas tienen acceso a la televisión y al internet, las tecnologías más antiguas, como la radio de onda corta, se encuentran con más dificultades para competir con la atención del oyente.
- En la mayoría de los países occidentales, las propiedades de la onda corta se limitan generalmente a los radioaficionados, porque la mayoría de los radios estándar no reciben la banda en onda corta.
- La dependencia de la onda corta de las condiciones atmosféricas significa que puede ser difícil de usar para los oyentes que no estén acostumbrados al sistema.

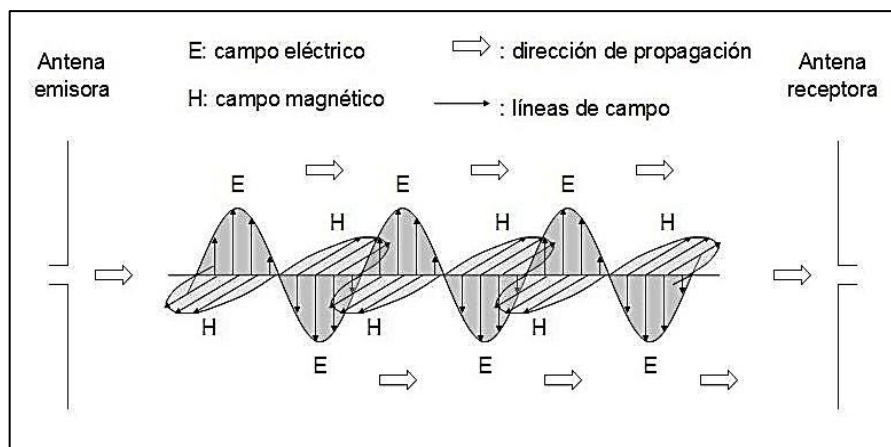


### 3. DEFINICIONES BÁSICAS DE ANTENAS

#### 3.1. Antena

Se define como un dispositivo de acople entre señales eléctricas, corrientes y voltajes, del equipo transmisor-receptor (en un sistema de comunicaciones), y señales electromagnéticas, campos eléctricos y magnéticos, del espacio (medio de propagación).

Figura 10. Transmisión de ondas electromagnéticas entre antenas



Fuente: HERRERA, Sergio. *La modulación*. <http://www.qsl.net/ea3du/2004/01/Antenas.html>.

Consulta: abril de 2015.

De otra forma, la antena es la estructura asociada con la región de transición entra una guía de ondas electromagnéticas y el espacio libre, como se muestra en la figura 10. La antena puede clasificarse como un dispositivo transductor entre corrientes de circuitos y campos electromagnéticos.

Una antena tiene la como función recibir y o transmitir radiación electromagnética proveniente o hacia el espacio que le rodea. La definición de la IEEE es “medio para radiar o recibir ondas de radio frecuencia (RF)”.

Las definiciones anteriores suponen a la antena como un elemento transmisor o receptor de radiación electromagnética comprendida en el espectro de frecuencias de 30 Hz a 3 000 GHz (espectro de radiofrecuencia) y como un dispositivo transconductor de campos electromagnéticos a voltajes y corrientes de circuitos.

Existen distintos tipos de antenas, pero todas cumplen la misma misión, servir de emisor y receptor de una señal de radio. Cuando la comunicación fluye en ambas direcciones, se denomina bidireccional o *full-duplex*. Si dicha comunicación se efectúa de forma alternada se denomina comunicación semidúplex.

### **3.2. Vector de Poynting**

El módulo del vector de Poynting representa la intensidad instantánea de energía electromagnética que fluye a través de una unidad de área perpendicular a la dirección de propagación de la onda electromagnética, y cuyo sentido es el de propagación. Matemáticamente, el vector de Poynting puede definirse como el producto vectorial del campo eléctrico y el campo magnético.

Con el propósito de encontrar la potencia de una onda plana uniforme, es de suma importancia desarrollar el teorema de la potencia para el campo electromagnético, conocido mejor con el nombre del teorema de Poynting. Este fue propuesto por el físico inglés John H. Poynting.

Si se toma como punto de partida la ecuación de Maxwell de la tabla II:

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \quad \text{Ecuación 7}$$

Realizando el producto punto con  $\mathbf{E}$  en cada lado de la ecuación 7:

$$\mathbf{E} \cdot \nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} \cdot \mathbf{E} + \mathbf{E} \cdot \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \quad \text{Ecuación 8}$$

Utilizando la identidad vectorial de la ecuación 9:

$$\nabla \cdot (\mathbf{E} \times \mathbf{H}) = -\mathbf{E} \cdot \nabla \times \mathbf{H} + \mathbf{H} \cdot \nabla \times \mathbf{E} \quad \text{Ecuación 9}$$

Ahora, despejando  $\mathbf{E} \cdot \nabla \times \mathbf{H}$  de la ecuación 9:

$$\mathbf{E} \cdot \nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{H} \cdot \nabla \times \mathbf{E} - \nabla \cdot (\mathbf{E} \times \mathbf{H}) \quad \text{Ecuación 10}$$

Sustituyendo  $\mathbf{E} \cdot \nabla \times \mathbf{H}$  en la ecuación 8 por el resultado de la ecuación 10:

$$\mathbf{H} \cdot \nabla \times \mathbf{E} - \nabla \cdot (\mathbf{E} \times \mathbf{H}) = \mathbf{J} \cdot \mathbf{E} + \mathbf{E} \cdot \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \quad \text{Ecuación 11}$$

Por la ley de Faraday, en la tabla II:

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad \text{Ecuación 12}$$

Sustituyendo la ecuación 12 en la ecuación 11:

$$\mathbf{H} \cdot \left( -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \right) - \nabla \cdot (\mathbf{E} \times \mathbf{H}) = \mathbf{J} \cdot \mathbf{E} + \mathbf{E} \cdot \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \quad \text{Ecuación 13}$$

Como se tiene que  $\mathbf{B} = \mu \mathbf{H}$  y  $\mathbf{D} = \varepsilon \mathbf{E}$ , sustituyéndolas en la ecuación 13 y despejando  $-\nabla \cdot (\mathbf{E} \times \mathbf{H})$ :

$$-\nabla \cdot (\mathbf{E} \times \mathbf{H}) = \mathbf{J} \cdot \mathbf{E} + \varepsilon \mathbf{E} \cdot \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + \mu \mathbf{H} \cdot \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} \quad \text{Ecuación 14}$$

Por propiedades de las derivadas se tiene que:

$$\varepsilon \mathbf{E} \cdot \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} = \frac{\varepsilon}{2} \frac{\partial \mathbf{E}^2}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{\varepsilon \mathbf{E}^2}{2} \right) \quad \text{Ecuación 15}$$

Y

$$\mu \mathbf{H} \cdot \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} = \frac{\mu}{2} \frac{\partial \mathbf{H}^2}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{\mu \mathbf{H}^2}{2} \right) \quad \text{Ecuación 16}$$

Sustituyendo la ecuación 15 y ecuación 16 en la ecuación 14, se tiene que:

$$-\nabla \cdot (\mathbf{E} \times \mathbf{H}) = \mathbf{J} \cdot \mathbf{E} + \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{\varepsilon \mathbf{E}^2}{2} + \frac{\mu \mathbf{H}^2}{2} \right) \quad \text{Ecuación 17}$$

Aplicando una integral de volumen a la ecuación 17, se tiene:

$$-\int_{vol} \nabla \cdot (\mathbf{E} \times \mathbf{H}) d\mathbf{v} = \int_{vol} \mathbf{J} \cdot \mathbf{E} d\mathbf{v} + \frac{\partial}{\partial t} \int_{vol} \left( \frac{\varepsilon \mathbf{E}^2}{2} + \frac{\mu \mathbf{H}^2}{2} \right) d\mathbf{v} \quad \text{Ecuación 18}$$

Si se aplica el teorema de la divergencia para el primer término se obtiene:



$$-\oint_S (\mathbf{E} \times \mathbf{H}) \cdot d\mathbf{S} = \int_{vol} \mathbf{J} \cdot \mathbf{E} d\mathbf{v} + \frac{\partial}{\partial t} \int_{vol} \left( \frac{\epsilon E^2}{2} + \frac{\mu H^2}{2} \right) d\mathbf{v} \quad \text{Ecuación 19}$$

Si se supone que no existen fuentes dentro del volumen, la primera integral a la derecha es la potencia óhmica total e instantánea disipada dentro del volumen. Si existiesen fuentes presentes dentro del volumen, entonces el resultado de integrar sobre el volumen de la fuente será positivo si la potencia está siendo suministrada a la fuente, pero será negativo si la potencia no es suministrada por la fuente.

La integral en el segundo término de la derecha es la energía total almacenada en los campos eléctrico y magnético, las derivadas parciales con respecto al tiempo provocan que este término sea la razón de cambio con respecto al tiempo de la energía almacenada dentro de este volumen, o sea, la potencia instantánea que hará que la energía almacenada dentro de este volumen aumente. La suma de las expresiones a la derecha debe ser, por lo tanto, la potencia total que fluye hacia el volumen, en consecuencia, la potencia total fluye del volumen es la ecuación 20.

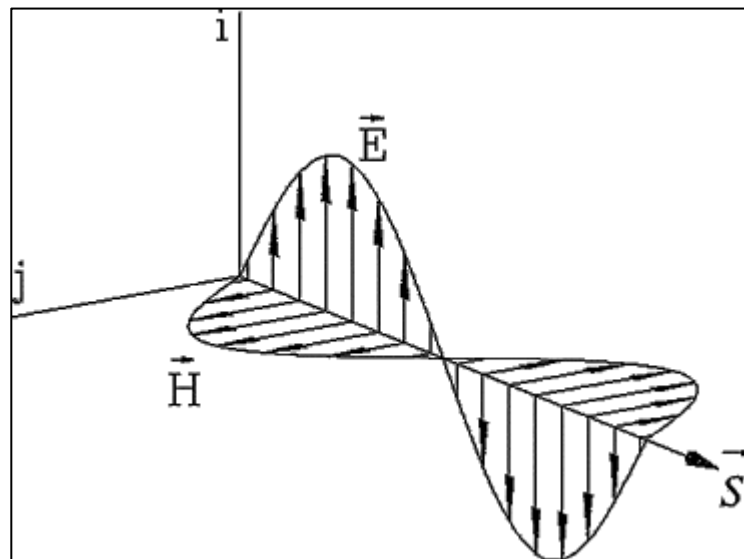
$$\oint_S (\mathbf{E} \times \mathbf{H}) \cdot d\mathbf{S} \quad \text{Ecuación 20}$$

Donde la integral es sobre la superficie cerrada que rodea el volumen. El producto cruz  $\mathbf{E} \times \mathbf{H}$  es conocido como el vector de Poyting  $\wp$ .

$$\wp = \mathbf{E} \times \mathbf{H} \quad \text{Ecuación 21}$$

En la figura 11 se muestra cómo viajan el campo eléctrico y magnético en una dirección, cuya potencia va en la dirección de propagación, la cual es el módulo del vector de Poynting.

Figura 11. **Vector de Poynting**



Fuente: BEDNAR, Ray. *Vector poynting*.

<http://www.ub.edu/javaoptics/teoria/castella/node7.html>. Consulta: abril de 2015.

### 3.3. Principio de radiación de antenas

El campo eléctrico y magnético producido por una red de antenas es la suma vectorial de los campos producidos por cada una de las antenas. Además de la dirección y de la amplitud de los campos, cuando se calcula la suma, hay que tener en cuenta la fase de cada uno de los campos. Esa fase depende de la fase de la corriente en cada una de las antenas y de la distancia al punto donde se hace la suma, que suele ser diferente para cada uno de los elementos y que añade o disminuye el desfase.

### **3.3.1. Línea de transmisión**

En una línea de transmisión se va a analizar cómo se propaga una corriente y una tensión, en forma de onda. Como en toda onda, esta se puede propagar e impactar contra elementos que compongan el circuito y reflejarse total o parcialmente.

Se debe resaltar que es muy importante la longitud de la línea de transmisión con respecto a la longitud de onda, de modo que si se tiene una línea muy corta no se puede utilizar como una línea de transmisión, porque la onda no podrá circular a través de ella.

Se tiene que resaltar el concepto de una línea de transmisión, la cual es un dispositivo que sirve para transmitir señales electromagnéticas en forma de onda, de una fuente hacia una carga. Su funcionamiento se basa en el tiempo que una señal, u onda electromagnética tarda en propagarse por el interior de la línea de transmisión.

#### **3.3.1.1. Características físicas de las líneas de transmisión**

La definición física de una línea de transmisión se basa en un sistema de dos o más conductores separados por un dieléctrico y con las siguientes características:

- Los conductores se tiene que encontrar de forma paralela
- Los conductores se encuentran inmersos en un medio dieléctrico
- La sección transversal del sistema no cambia a lo largo de su recorrido

Una línea de transmisión está formada por dos conductores al menos, como ejemplo se puede decir que un cable coaxial de televisión, con un conductor dentro y otro fuera, es una línea de transmisión. Los conductores están en un medio dieléctrico, es decir un aislante, si se sigue con el ejemplo del cable coaxial, se tiene dos conductores separados por plástico y colocados paralelamente.

La disposición de los conductores siempre es igual. Si se toma una línea de transmisión del cable de una antena, se puede cortar el cable en cualquier punto y se observa que la sección transversal es exactamente la misma en cualquier punto. La sección transversal permite clasificar las líneas de transmisión.

### **3.3.1.2. Pérdidas en las líneas de transmisión**

Las líneas de transmisión, como cualquier material, siempre van a presentar problemas de pérdida de algún tipo, las cuales provocan pérdidas en la línea y por consecuencia en la señal.

#### **3.3.1.2.1. Pérdidas del conductor**

Toda resistencia por la que circula una corriente provoca una pérdida de potencia. Estas pérdidas son en función de la longitud de línea y de la amplitud del conductor.

Por lo tanto, para reducir las pérdidas de un conductor, solo se debe emplear una línea más corta o un conductor más amplio. Hay que tener en cuenta que parte de esta pérdida de potencia es causada por el efecto pelicular, que es en función de la frecuencia de la señal que circula por la línea.

El efecto pelicular se produce en un conductor debido a la circulación de una corriente en su interior, se crean líneas de campo magnético más intensas en el interior del conductor que en su superficie. Estas líneas de campo magnético provocan una disminución del flujo de corriente y aumentan el flujo en una zona próxima a la superficie del conductor.

#### **3.3.1.2.2. Pérdidas por radiación**

Estas pérdidas se deben al hecho de que los campos electromagnéticos provocan que el conductor se comporte como una antena e irradie energía hacia el exterior. La cantidad de energía radiada dependerá del material utilizado como dieléctrico, la distancia que exista entre los conductores y la longitud de la línea.

#### **3.3.1.2.3. Pérdidas por calentamiento del dieléctrico**

Cuando se tiene una diferencia de potencia entre dos conductores, se produce un efecto capacitivo el cual provoca el calentamiento del dieléctrico. Este calentamiento se propaga a lo largo de la línea de transmisión. En algunos casos, el dieléctrico es el aire, por lo que este efecto será inferior a otros tipos de pérdidas que pueda tener la línea de transmisión.

#### **3.3.1.2.4. Pérdidas por acoplamiento y descargas**

Estas pérdidas se presentan cuando se produce una conexión entre dos líneas de transmisión. Estas uniones se realizan de muchas maneras, pero son estas mismas conexiones mecánicas las que pueden provocar las pérdidas por acoplamiento.

Las pérdidas por descarga (o efecto corona) se producen cuando la diferencia de potencias entre los dos conductores logra superar la tensión de ruptura del material y se genera una descarga entre los conductores.

### **3.3.1.3. Modos de líneas de transmisión**

Las líneas de transmisión están clasificadas por modos de transmisión y pueden ser:

- Líneas de transmisión de modo TEM
- Líneas de transmisión de modo superior
- Modo TEM ondas espaciales

Para el transporte de radiofrecuencias se utiliza el término línea de transmisión, exclusivamente para aquellos medios con soporte físico, susceptibles a guiar ondas electromagnéticas en modo TEM.

Para que exista una propagación en modo TEM, es necesaria la existencia de dos conductores eléctricos y un medio dieléctrico entre ambos conductores, por ejemplo el cable bifilar abierto, cable coaxial, y líneas planas como la *stripline* y *microstrip*. En la figura 12 se presentan las líneas de transmisión.

Figura 12. **Tipos de líneas de transmisión**



Fuente: HERRERA, Juan Pablo. *Guía práctica para el diseño y proyecto de líneas de transmisión*. <http://www.ea3btz.com/texto%20cable%20coaxial.htm>. Consulta: abril de 2015.

### **3.3.1.3.1. Líneas de transmisión en modo TEM**

En el modo TEM, los campos eléctricos y magnéticos son perpendiculares a la dirección de propagación de la energía. Todos los tipos de transmisión bifilares, incluyendo las líneas coaxiales, son del modo TEM, en estas, la potencia fluye a lo largo de los conductores y entre ellos.

Las líneas de modo TEM son utilizadas en las bajas frecuencias (VLF y LF), y en frecuencias medias y altas (MF, HF, VHF y UHF) (ver tabla II y tabla III).

### **3.3.1.3.2. Líneas de transmisión de modo superior**

En el modo superior, el campo eléctrico, campo magnético o ambos tienen una componente en dirección de propagación de la energía. A estas líneas de transmisión se les denominan guías de onda y son utilizadas en las muy altas frecuencias. Un ejemplo de una guía de ondas rectangulares, es la utilizada en los alimentadores de antenas en enlace por microonda (GHz) (ver tabla II y tabla III).

### 3.3.1.3.3. Modo TEM ondas espaciales

En este modo, el medio de transmisión es el espacio y los campos electromagnéticos se comportan igual que en el modo TEM en las líneas de transmisión. La diferencia, además del medio, es que los campos electromagnéticos no dependen de la frecuencia de la señal que es transportada.

Un ejemplo de ondas espaciales son la radiación de una antena de dipolo omnidireccional en la banda UHF o la radiación de una antena parabólica en un enlace punto a punto de microondas en la banda GHz.

## 3.4. Ecuación de onda

Como se ha mencionado anteriormente, los campos electromagnéticos se propagan por el espacio en forma de ondas que pueden viajar a través de un medio como el vacío. Las ecuaciones de onda electromagnéticas son necesarias para describir cómo es la propagación de estas ondas; tanto en presencia de materia como en el vacío.

Deducción de la ecuación de onda para el campo eléctrico  $\mathbf{E}$  y el campo magnético  $\mathbf{B}$ .

Se parte de las ecuaciones de Maxwell en la tabla I.

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\delta \mathbf{B}}{\delta t} \quad \text{Ecuación 22}$$



Y

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \left( \mathbf{J} + \varepsilon_0 \frac{\delta \mathbf{E}}{\delta t} \right) \quad \text{Ecuación 23}$$

Sacando el rotacional a cada lado de la ecuación 22, se tiene:

$$\nabla \times (\nabla \times \mathbf{E}) = -\frac{\delta}{\delta t} (\nabla \times \mathbf{B}) \quad \text{Ecuación 24}$$

Sustituyendo la ecuación 22 en la ecuación 24 se tiene que:

$$\nabla \times (\nabla \times \mathbf{E}) = -\mu_0 \frac{\delta}{\delta t} \left( \mathbf{J} + \varepsilon_0 \frac{\delta \mathbf{E}}{\delta t} \right) \quad \text{Ecuación 25}$$

Aplicando las operaciones matemáticas para el rotacional de  $\nabla \times (\nabla \times \mathbf{E})$  en la ecuación 25:

$$\nabla \times (\nabla \times \mathbf{E}) = \nabla(\nabla \cdot \mathbf{E}) - \nabla^2 \mathbf{E} \quad \text{Ecuación 26}$$

Sustituyendo la ecuación 26 en la ecuación 25:

$$\nabla(\nabla \cdot \mathbf{E}) - \nabla^2 \mathbf{E} = \mu_0 \frac{\delta}{\delta t} \left( \mathbf{J} + \varepsilon_0 \frac{\delta \mathbf{E}}{\delta t} \right) \quad \text{Ecuación 27}$$

Por el cálculo vectorial se tiene que  $\nabla(\nabla \cdot \mathbf{E}) = 0$  y la corriente de desplazamiento ( $\mathbf{J}$ ) no existe en el vacío; por lo tanto la ecuación 27 queda como la ecuación 28

$$-\nabla^2 \mathbf{E} = \mu_0 \varepsilon_0 \left( \frac{\delta^2 \mathbf{E}}{\delta t^2} \right) \quad \text{Ecuación 28}$$

Igualando a cero y como se sabe que  $\mu_0 \varepsilon_0 = 1/c^2$ , donde c es la velocidad de la luz; se obtiene la ecuación 29, la cual es la ecuación de onda para el campo eléctrico.

$$\nabla^2 \mathbf{E} - \frac{1}{c^2} \left( \frac{\delta^2 \mathbf{E}}{\delta t^2} \right) = 0 \quad \text{Ecuación 29}$$

Para encontrar la ecuación de onda para el campo magnético se parte de la ecuación 23 y se procede a sacar el rotacional.

$$\nabla \times (\nabla \times \mathbf{B}) = \nabla \times \left( \mu_0 \left( \mathbf{J} + \varepsilon_0 \frac{\delta \mathbf{E}}{\delta t} \right) \right) \quad \text{Ecuación 30}$$

Realizando el rotacional se obtiene la ecuación 31

$$\nabla(\nabla \cdot \mathbf{B}) - \nabla^2 \mathbf{B} = \nabla \times \mu_0 \mathbf{J} + \varepsilon_0 \mu_0 \frac{\delta}{\delta t} (\nabla \times \mathbf{E}) \quad \text{Ecuación 31}$$

Sustituyendo la ecuación 22 en la ecuación 31:

$$\nabla(\nabla \cdot \mathbf{B}) - \nabla^2 \mathbf{B} = \nabla \times \mu_0 \mathbf{J} - \varepsilon_0 \mu_0 \frac{\delta}{\delta t} \left( \frac{\delta \mathbf{B}}{\delta t} \right) \quad \text{Ecuación 32}$$

Por las mismas condiciones mencionadas anteriormente con respecto a las propiedades vectoriales y con el desplazamiento de la corriente aplicadas a la ecuación 32, se obtiene la ecuación de onda para el campo magnético.

$$\nabla^2 \mathbf{B} = \frac{1}{c^2} \frac{\delta^2 \mathbf{B}}{\delta t^2} \quad \text{Ecuación 33}$$

### 3.5. Patrones de radiación

Es una representación gráfica de las propiedades de radiación de la antena en función de las coordenadas espaciales. En la mayoría de los casos, el patrón de radiación es determinado para la región de campo lejano, porque en esta zona la forma gráfica no varía respecto a la distancia. Las propiedades de radiación incluyen: intensidad de radiación o directividad, fuerza del campo, fase y polarización.

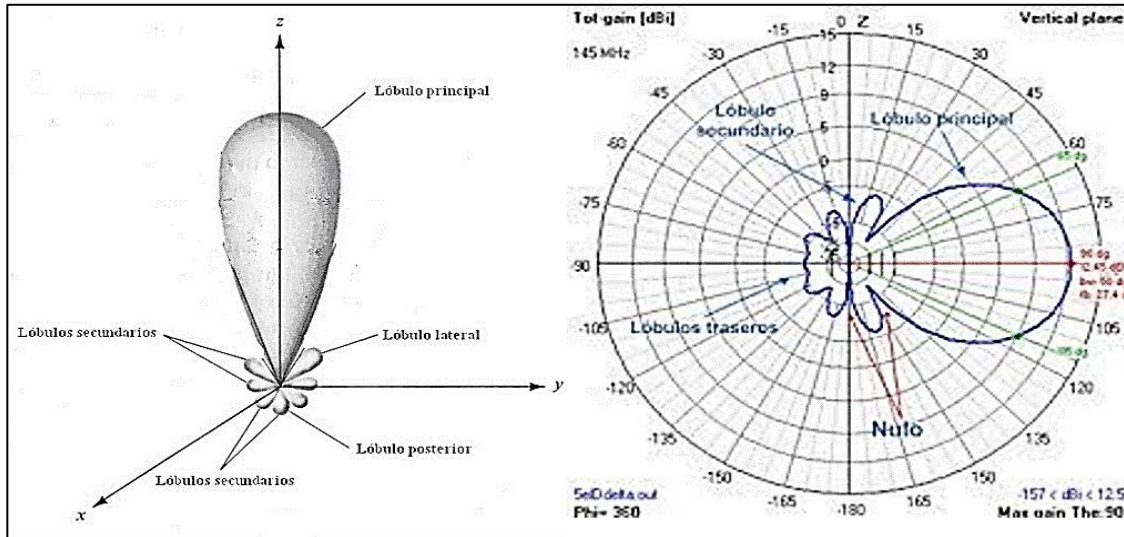
La propiedad de radiación que más interesa es la distribución tridimensional de la energía radiada, como función de la posición de un observador a lo largo de un radio constante.

El patrón de radiación se divide en lóbulos, los cuales se clasifican como:

- **Lóbulo principal:** región del espacio que contiene la dirección de máxima radiación.
- **Lóbulo secundario:** cualquier lóbulo excepto el lóbulo principal.
- **Lóbulo lateral:** lóbulo adyacente al lóbulo principal.
- **Lóbulo posterior:** lóbulo cuya dirección de mayor radiación está  $180^\circ$  desfasado respecto al lóbulo principal. Generalmente, es un lóbulo menor.

La representación gráfica del patrón de radiación puede hacerse en tres dimensiones como un sólido de revolución, en un plano cuya normal sea perpendicular al eje de revolución (este plano representa un corte de la sección transversal del sólido y da la gráfica de la curva generadora del mismo) y en un plano de coordenadas polares. En la figura 13 se observa el patrón de radiación como un sólido de revolución (izquierda) y como una figura plana (derecha).

Figura 13. **Patrones de radiación**



Fuente: elaboración propia, con programa Adobe Illustrator.

### 3.5.1. Tipos de patrones de radiación

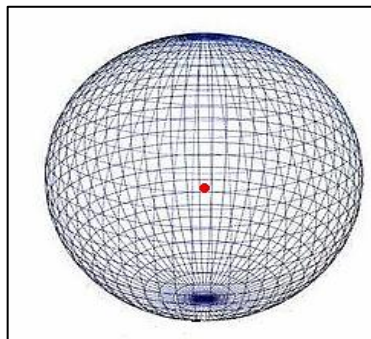
De acuerdo a las características de radiación, los patrones se pueden dividir en isotrópicos, direccionales u omnidireccionales.

#### 3.5.1.1. Isotrópicos

Son patrones de radiación emitidos por antenas isotrópicas. Una antena isotrópica se define como un punto emisor de ondas electromagnéticas que radia uniformemente en todas direcciones, de manera que la energía se distribuye uniformemente en forma esférica en el espacio, tal como se muestra en la figura 14.

Una antena isotrópica no es un radiador ideal, es decir, no existe en la práctica, pero su concepto es de gran utilidad en el análisis de comportamiento de antenas reales, cuyas características suelen expresarse en relación a la antena isotrópica como antena patrón.

Figura 14. **Patrón de radiación isotrópico**



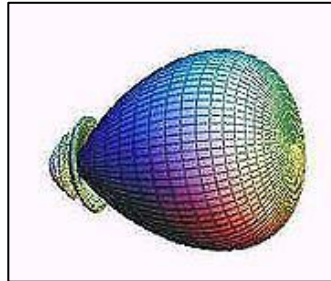
Fuente: ZUÑIGA, Paola. *Antena isotrópica*. <http://dcerrgdd.com/2015/01/radiation-pattern-of-isotropic-antennas/>. Consulta: abril 2015.

### **3.5.1.2. Direccional**

Patrones cuya eficiencia en transmitir o recibir la radiación es mayor en ciertas direcciones que en otras. A este tipo de radiación se asocian las antenas direccionales.

Una antena direccional se define como la antena capaz de concentrar la mayor parte de la radiación en un área específica; con el fin de aumentar la potencia emitida hacia el receptor, evitando interferencias no deseadas. Este patrón de radiación se puede observar en la figura 15.

Figura 15. **Patrón de radiación de una antena direccional**

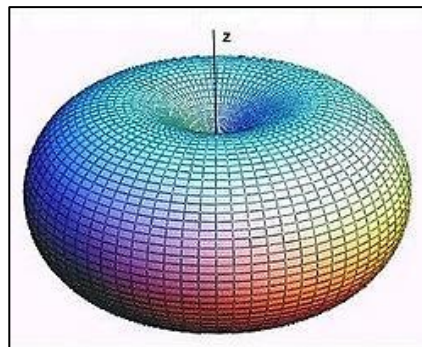


Fuente: ZUÑIGA, Paola. *Antena isotrópica*. <https://maam891.wordpress.com/category/tipos-de-antenas/>. Consulta: abril de 2015.

### 3.5.1.3. **Omnidireccionales**

Son un caso especial de los patrones direccionales, se caracterizan por no poseer direccionalidad en un plano o poseer direccionalidad en cualquier otro plano perpendicular a este, un ejemplo es el de la figura 16.

Figura 16. **Patrón de radiación de una antena omnidireccional**



Fuente: ZUÑIGA, Paola. *Antena isotrópica*. <http://bandaancha.eu/articulos/windsurfer-mejora-tu-cobertura-wi-fi-8009>. Consulta: abril de 2015.

### **3.6. Parámetros de antenas**

Es la representación gráfica de las características de radiación de una antena, en función de la dirección.

#### **3.6.1. Ganancia**

Se define como la ganancia de potencia en la dirección de máxima radiación. Esto es producido por el efecto de directividad al concentrarse la potencia en el lóbulo principal del diagrama de radiación. Si una antena no tiene pérdidas óhmicas, la directividad y la ganancia son iguales.

#### **3.6.2. Directividad**

Se define como la relación entre la intensidad de radiación de una antena en la dirección del máximo y la intensidad de radiación de una antena isotrópica que radia con la misma potencia.

#### **3.6.3. Eficiencia**

Es la relación existente entre la potencia radiada y la potencia entregada en la antena, también puede ser definida como la relación entre ganancia y directividad. Sus valores van a estar siempre entre 0 y 1.

#### **3.6.4. Impedancia**

Es la relación que existe entre la tensión y la corriente de entrada a la antena, es decir en sus terminales. La impedancia es un número complejo, la

parte real se denomina resistencia de la antena y la parte imaginaria es la reactancia.

### **3.6.5. Polarización**

Se define en una determinada dirección, como la figura geométrica que traza el extremo del vector campo eléctrico a una cierta distancia de la antena al variar el tiempo. Hay tres tipos de polarización, lineal, circular y elíptica.

### **3.6.6. Apertura de haz**

Es un parámetro que se encuentra ligado al diagrama de radiación, el cual se define como el ancho de haz a -3 dB, el cual es el intervalo angular en el que la densidad de potencia radiada es igual a la mitad de la potencia máxima.

## **3.7. Dipolo**

Es una antena con alimentación central empelada para transmitir o recibir ondas de radiofrecuencia. Es un elemento de longitud, recorrido por una corriente uniforme, cuyas dimensiones son pequeñas comparadas con la longitud de onda. Como se ha mencionado anteriormente en la ecuación 5, se puede obtener dicha longitud y realizar la antena con el tamaño apropiado.

La longitud del dipolo es la mitad de la longitud de onda de la frecuencia de resonancia que va a circular sobre el dipolo. A causa del efecto de bordes, la longitud real será algo inferior, aproximadamente el 95 % de la longitud calculada.



### 3.7.1. Tipos de dipolo

A continuación se presentan los diferentes tipos de dipolo, detallando su función.

#### 3.7.1.1. Dipolo simple

Consiste en dos elementos conductores rectilíneos de igual longitud, alimentados en el centro y de radio mucho menor que el largo. La longitud del dipolo es la mitad de la longitud de la onda. En el espacio ideal y a una distancia de tierra mayor a varias longitudes de onda, la impedancia del dipolo simple es de 75 Ohm.

Figura 17. Antena dipolo simple



Fuente: VALERO, Alejandro. *Impedancia mutua entre dipolos en paralelo.*

<https://antena2013.wordpress.com/2013/11/19/trabajo-de-antena-yagi/>. Consulta: abril de 2015.

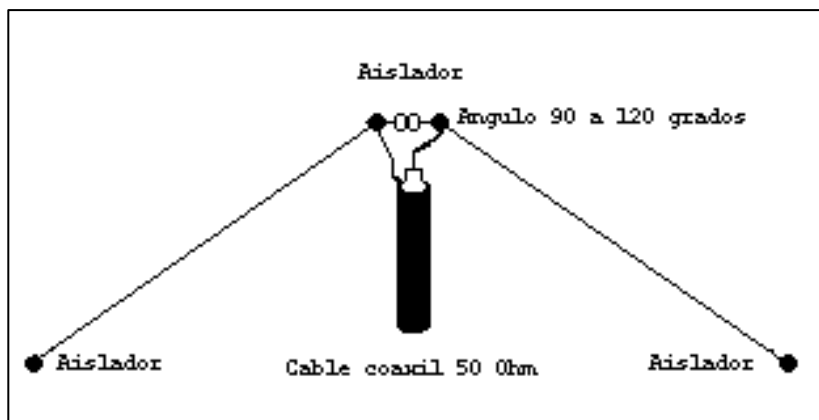
### 3.7.1.2. Dipolo en V invertida

Es un dipolo cuyos brazos han sido doblados simétricos y tiene la forma de una V invertida. Algunos autores, como Brault y Piat, hacen la recomendación de que el ángulo de la antena no sea inferior a los 120° y que los extremos estén lo más alejados del suelo, porque esto genera inducciones que alteran la frecuencia de resonancia.

Este tipo de antena es muy utilizado por radioaficionados que transmiten en expediciones, porque su construcción utiliza un simple mástil, un poco de cable y cuerda de nailon, lo cual hace a la antena transportable, poco voluminosa y liviana.

En la figura 18 se muestra la forma para construir dicha antena, con unos aisladores, cable coaxial no mayor a 50 ohm de impedancia y una base concreto para sostener la estructura o alguna otra base sólida.

Figura 18. Antena dipolo en V invertida



Fuente: *Esa antena no es tan difícil*. <http://lu6etj.host-argentina.com.ar/lu6etj/tecnicos/handbook/antenas/antenas.htm>. Consulta: abril de 2015.

### **3.8. Antenas inteligentes**

Las últimas tendencias en las comunicaciones móviles necesitan la utilización de un nuevo tipo de antenas para mejorar la capacidad y la calidad de los servicios en telecomunicaciones, así como para ofrecer un mayor número de servicios inalámbricos.

Las antenas inteligentes, o en inglés *smart antennas systems* (SAS), consiguen aumentar la capacidad de conexión a múltiples usuarios simultáneamente junto a una serie de ventajas que se explicarán posteriormente. Básicamente, estas antenas funcionan de tal forma que cuando se desplaza el usuario o la señal interferente, se modifica la dirección del lóbulo principal para que se mueva con él y se minimice la interferencia.

En el caso común de una estación que atiende a varios usuarios simultáneamente, los sistemas permiten transmitir el haz desglosado en varios lóbulos directivos, con esto se reduce la interferencia considerablemente y se puede incrementar la capacidad en varios sentidos.

La demanda de antenas para equipos de estaciones bases para redes celulares ha evolucionado progresivamente a las necesidades de la industria. Los factores claves son las limitaciones de las frecuencias y la incorporación de nuevas bandas con la integración de nuevas funciones para ofrecer mayor capacidad y funcionalidad a las redes móviles. Así, se ha pasado por antenas omnidireccionales, sectorizadas, logaritmo-periódicas, multibanda, multihaz, entre otras.

Un sistema SAS es un arreglo de antenas junto a un procesamiento digital de señal (DSP), lo cual optimiza los diagramas de transmisión y recepción

dinámicamente, ante la respuesta a una señal de interés en el entorno. En sentido estricto de la palabra inteligencia, la antena no es inteligente sino es el sistema completo, dado que este puede interactuar con el medio y la inteligencia radica en la posibilidad de variar el patrón de radiación.

### **3.8.1. Características**

Hay dos tipos comunes de antenas inteligentes. Las de haz conmutado, las cuales tiene un número finito de patrones predefinidos o estrategias de combinación (antenas sectoriales). Las de arreglos adaptativos o configuración de haz, son las más avanzadas, estas cuentan con un número infinito de patrones (depende del escenario) y ajustan su diagrama radiante y los nulos en tiempo real.

En cualquier caso, se emplea un arreglo de fase o un arreglo adaptativo respectivamente, capaz de generar haces muy estrechos, con lo que la ganancia de la antena se hace notablemente superior a la de las convencionales, con lo que transmitiendo a la misma potencia, se puede recibir a mayor distancia. En el caso de un sistema de telefonía móvil, esto puede reducir el número de estaciones base para cubrir la misma zona.

La conmutación entre los diferentes haces o la variación del patrón de radiación se efectúa a medida que el móvil se desplaza. Para ello el SAS monitoriza la calidad de la señal, determinando cuando un cierto haz debe ser seleccionado o modificado.

Las ventajas que presentan los sistemas SAS son el aumento de la capacidad de conexión a múltiples usuarios simultáneamente, existe un incremento de la capacidad y la confiabilidad, reducción de la propagación

multitrayecto, reducción en la potencia de transmisión, disminución del nivel de interferencia e incremento del nivel de seguridad.

En cuanto a la seguridad, esta se incrementa porque la transmisión entre la estación y el equipo móvil es direccional, por lo que es muy difícil que otro equipo intercepte la comunicación, excepto si este se encuentra en la misma dirección a la que apunta el haz.

### **3.8.2. Tipos de antenas inteligentes**

A continuación se presentan los tipos de antenas inteligentes, detallando su función.

#### **3.8.2.1. Haz conmutado**

Este sistema genera varios haces a ángulos prefijados que se van conmutando secuencialmente, dando como resultado un barrido discreto de la zona de cobertura en posiciones angulares fijas.

En cada posición, el haz se activa en un sistema de recepción para determinar la posible existencia de señales. Si se recibe una señal, el sistema guarda la información correspondiente a la posición del haz y se logra establecer la comunicación con el usuario en un intervalo de tiempo.

#### **3.8.2.2. Haz de seguimiento**

Este es un sistema más complejo en comparación al haz conmutado, está formado por un arreglo de antenas con una red de excitación que permite controlar electrónicamente las fases de las corrientes de excitación que llegan a

los elementos del mismo, para modificar la dirección del haz convenientemente y establecer la comunicación con el usuario respectivo.

La principal diferencia entre las antenas de haz conmutado y de haz de seguimiento, es que las de haz conmutado tienen posiciones angulares fijas y las de seguimiento no, ofreciendo con esto mayor resolución angular para identificar la dirección de llegada de las señales de los usuarios.

### **3.8.2.3. Haz adaptativo**

En este sistema, las salidas de cada elemento se ponderan con un valor de peso asignado dinámicamente, para conformar un diagrama de radiación que presente el haz principal hacia la ubicación del usuario y los lóbulos secundarios hacia las direcciones de las componentes del multitrayecto de la señal deseada, y los nulos de la radiación en las direcciones de las fuentes de interferencia.

La selectividad espacial que proporciona este sistema, permite discernir las señales interferentes provenientes de otros usuarios, haciendo insensible a la antena receptora hacia estas direcciones y evitar que esas señales sean procesadas, esto ayuda a reducir la potencia de transmisión en esas direcciones y a bajar el la tasa de error por bit, aumentando la calidad de la transmisión.

### **3.8.2.4. Antenas MIMO**

Un caso especial son las antenas de múltiples entradas y múltiples salidas, o en inglés *multiple-input multiple-output* (MIMO), es un arreglo de antenas adaptativas empleadas en redes inalámbricas, como femtoceldas y

WiMAX, que aprovecha el fenómeno de multipropagación y radiocomunicaciones para conseguir una mayor velocidad y un mejor alcance del que se consigue con antenas tradicionales. Estas antenas trabajan principalmente por medio del rebote de las señales.





## **4. PROPUESTA DEL SISTEMA DE ONDA CORTA**

Tomando las palabras de John Tusa, exdirector del Servicio Mundial de la BBC: “si la onda corta hubiera sido descubierta hoy en vez de ocho décadas atrás, sería aclamada como una nueva tecnología asombrosa con un gran potencial para el mundo en que vivimos hoy en día.” Esto indica que los nuevos medios de comunicación multiplataforma han creado desafíos y oportunidades para la onda corta.

Se puede mencionar una serie de servicios de radiodifusión para onda corta que se han visto reducidos o cancelados de manera drástica, pero este medio en particular sigue siendo importante para el público interesado en una programación que se centra en asuntos regionales e internacionales, transmitiendo una perspectiva de diferentes comunidades alrededor del mundo.

### **4.1. ¿La onda de corta se puede considerar como fuera de moda?**

La onda corta puede llegar a un público tanto local como mundial, esto se debe a sus propiedades de propagación a largas distancias.

La onda corta puede proporcionar un servicio donde otras plataformas, como la transmisión por satélite, FM o por internet, no se encuentran disponibles, ya sea por costos, limitación de la información, ubicación geográfica, incluso por desastres naturales o provocados por el hombre. Los receptores para esta tecnología son de bajo costo y no es necesario pagar derechos de acceso. El aumento de la afluencia en muchas regiones del mundo crea una oportunidad para esta plataforma de información.

La radio de onda corta es una herramienta poderosa de comunicaciones para las situaciones de emergencia. Durante los desastres, las redes de comunicación pueden sufrir problemas de sobrecarga o de colapso, lo cual provoca un bloqueo informativo. Si se tiene un flujo de información deficiente, causa frustración y enojo para las personas afectadas, por lo tanto, una radio de onda corta a menudo es la única fuente de información para los afectados.

Las personas radioaficionadas utilizan las comunicaciones por onda corta para compartir información en situaciones de emergencia, especialmente cuando fallan otros sistemas de comunicación. Esta es una buena práctica, la cual es reconocida y apreciada por el público en general. Por otro lado, los servicios profesionales de radiodifusión, cuyos transmisores son de 10 a 100 veces más potentes, que rara vez se utilizan para situaciones de emergencia.

Si se disminuye el interés y los planes de financiamiento para la transmisión por onda corta y, aparte de todo esto, se desmantela la infraestructura, en un futuro será difícil e incluso imposible de utilizarla durante los desastres humanitarios.

En la actualidad, la Conferencia de Coordinación de Alta Frecuencia (HFCC), ha estado trabajando en estrecha colaboración con sus socios de Asia-Pacific Broadcasting Union (ABU) y con Arab States Broadcasting Union (ASBU), para crear un sistema integral necesario para la comunidad mundial en radiodifusión de onda corta.

Por el cambio que existe en los medios de transmisión de los medios de comunicación, en gran parte por el desarrollo de tecnologías, se están desaprovechando las oportunidades para las emisoras de onda corta y con esto se pierden a millones de oyentes. La desaparición de la onda corta en países

desarrollados se debe a la aparición de nuevas tecnologías de la comunicación, por lo tanto, la radiodifusión mundial está desapareciendo a toda velocidad en muchos países.

Como la onda corta está cada vez en más desuso, y Guatemala no es la excepción de este cambio, se está buscando la forma de realizar la implementación de la radiodifusión, en este caso para un uso específico y de gran ayuda a una entidad que se encarga de la salud de las comunidades y del país. Por tal motivo, se explica cómo utilizar la onda corta durante desastres naturales en el territorio guatemalteco.

#### **4.2. Elementos del sistema de onda corta**

El sistema de onda corta se compone, como cualquier otro método de comunicación, de un emisor, el medio y un receptor, y cada elemento se divide en componentes y fases por las que tiene que pasar la señal. Por lo tanto, se va a describir cada elemento que lo conforma.

Se tiene que tomar en cuenta el tipo de estación que se va a utilizar, las cuales pueden ser estación fija, móvil o portátil. Una estación fija, como su nombre lo indica, es aquella que se instala en un lugar determinado. Una estación móvil, es aquella que opera en movimiento, esta puede ser terrestre, aérea, marítima o fluvial. Por último, una estación portátil es la que puede ser transportada por personas para que opere desde cualquier lugar.

Para los sistemas de comunicación de onda corta, la potencia de transmisión es un factor muy importante a tomar en cuenta, porque a grandes distancias, especialmente en la propagación de ondas espaciales y de ondas terrestres, cada kilómetro de distancia atenúa la señal. En la mayoría de

sistemas, al duplicarse la distancia, la señal se atenúa en un 25 %; por tal motivo, la potencia de transmisión es el factor de limitación de alcance de la señal a su destino.

La radiación para la onda corta transmitida desde antenas en la tierra va a seguir dos trayectorias: la onda terrestre que sigue a la superficie de la Tierra y la onda aérea, la cual rebota ida y vuelta entre las superficies de la Tierra y la ionosfera. Con la onda terrestre se puede alcanzar cerca de 400 millas (640 km), por otro lado, se encuentra la onda aérea que puede alcanzar hasta las 4 000 millas (6 400 km) con una confiabilidad en la trayectoria del 90 %.

#### **4.2.1. Emisor**

El emisor o comúnmente conocido como radiotransmisor, se compone de un oscilador, preamplificador de audiofrecuencia, amplificador modulador, amplificador de radiofrecuencia, amplificador de potencia de RF y una fuente de alimentación.

Básicamente, un oscilador es el que se encarga de generar las frecuencias, típicamente es utilizado un oscilador de cristal, el cual va a garantizar su exactitud y pureza en la frecuencia generada. El preamplificador de frecuencia consiste en un amplificador de audio de baja potencia para elevar la señal de muy bajo nivel, dígase una señal proveniente de un micrófono.

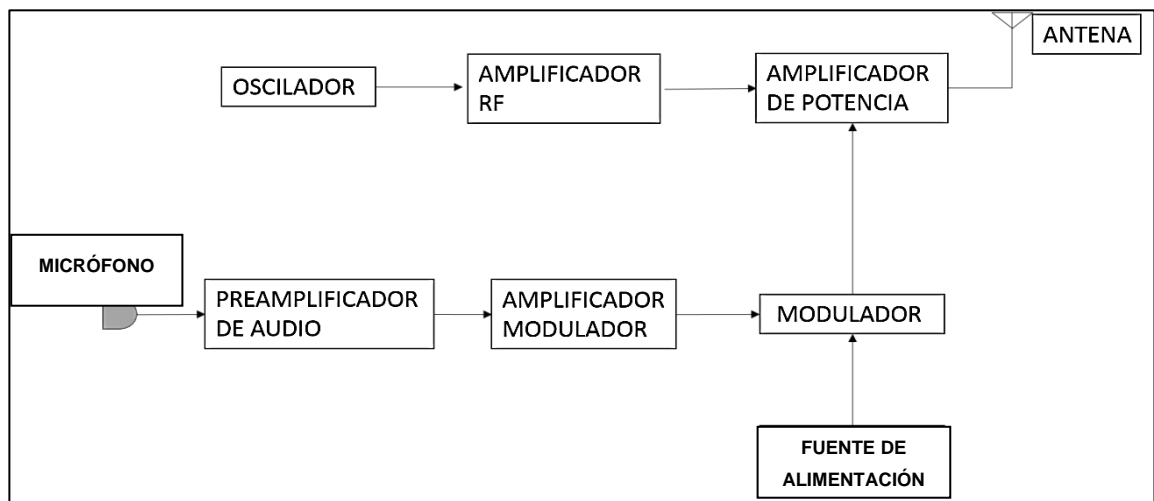
Un amplificador de modulador genera una señal que modulará a la onda portadora, la cual hará un cambio en la amplitud de la señal portadora de acuerdo a las variaciones de nivel de la señal moduladora, que se va a convertir en la información a transmitir. Por otra parte, el amplificador de radiofrecuencia cumple dos funciones, la primera eleva el nivel de la portadora generada por el

oscilador y la segunda sirve como un amplificador separador, el cual asegura que el oscilador no sea afectado por variaciones de tensión o impedancia en las etapas de potencia.

El amplificador de potencia de RF eleva la potencia de la señal a niveles requeridos por el diseño, para poder ser aplicados a la antena; esta etapa se realiza para obtener la señal modulada que se va a transmitir por la antena. Por último, la fuente de alimentación se encarga de generar las diferentes tensiones que se aplican a cada etapa del transmisor.

En la figura 19 se muestra un diagrama de las partes de un radiotransmisor.

Figura 19. **Diagrama de un radiotransmisor**



Fuente: elaboración propia.

#### **4.2.2. Receptor**

La función básica de un receptor es de recibir las ondas electromagnéticas de radio y convertirlas en una corriente eléctrica. Un receptor es la función inversa de un radiotransmisor y se compone básicamente de un amplificador de frecuencia, un mezclador, amplificador de la frecuencia intermedia, demodulador y un amplificador de audio.

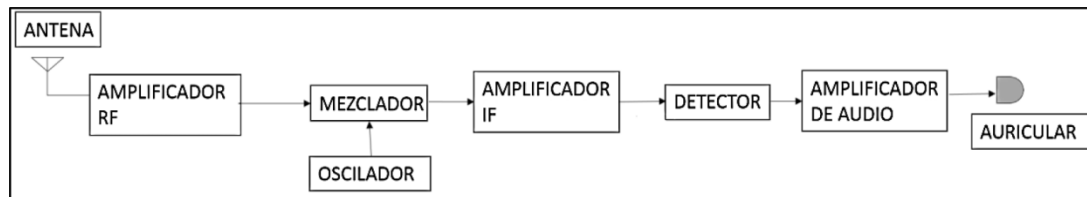
El amplificador de radiofrecuencia se encarga de únicamente de la parte proveniente de la antena, por lo general incorpora circuitos sintonizados, es decir, que puedan sintonizarse o conmutarse y estos otorgan la selectividad (preselección de las bandas). El mezclador se encarga de hacer la combinación de frecuencias del oscilador local con la señal que se va recibir, con el fin de producir un nuevo espectro y de facilitar el procesamiento de la señal a su forma original.

La frecuencia intermedia es aquella que se encuentra entre las frecuencias de la señal y las audiodfrecuencias, es en este punto donde la tarea más importante se realiza que es la de seleccionar la señal que se desea y se va a separar de las señales vecinas. Esta parte es la que le brinda al receptor sus características importantes.

El demodulador se encarga de que la señal de radiofrecuencia intermedia se convierta de nuevo en una señal similar a la que fue transmitida por el transmisor, la señal original es la que lleva la información (voz) del mensaje. Después de la demodulación, pasa por un amplificador de audio convencional, para que al auricular le llegue suficiente potencia para ser excitado.

En la figura 20 se muestra un diagrama de las partes de un receptor.

Figura 20. Diagrama de un receptor de radio



Fuente: elaboración propia.

Para realizar la recepción de la señal, existen varios tipos de demoduladores los cuales permiten obtener la señal del mensaje, a continuación se hace una breve descripción de cada tipo de demodulador. En la figura 20, se hace mención del mezclador, el cual es un tipo de demodulador con ciertas características explicadas más adelante.

Uno de los diseños más simples a utilizar es un receptor de radio regenerativo, creado por el ingeniero Edwin Armstong. Este receptor utiliza básicamente un oscilador, llamado oscilador de batido, cuya señal una vez mezclada a la señal por la antena permite la demodulación del mensaje.

Otro diseño posible a utilizar es un receptor superheterodino, el cual desplaza la estación deseada a una frecuencia más baja a través de un mezclador. A la frecuencia del desplazamiento se llama frecuencia intermedia (FI), cuando se tenga sintonizada la estación deseada se procede con la demodulación de la señal, para el caso de una señal AM se utiliza un detector de envolvente como demodulador.

El diseño para recepción de banda lateral única (BLU) fue inventado por John Carson, es muy similar al procedimiento de la frecuencia intermedia, pero este sistema traslada la señal al espectro de la señal de audio. Esto se logra

cuando se mezcla la banda de la frecuencia intermedia con un oscilador de frecuencia de batido. Este proceso se puede hacer con un receptor de detector de envolvente para que realice la detección de la banda lateral única BLU.

#### **4.2.3. Medio**

Con anterioridad se hizo mención de la capa F2 o la ionosfera. Esta región recibe este nombre porque hay un proceso de ionización, en el cual los átomos de los gases presentes pierden uno o más electrones, convirtiéndose en iones.

Ahora, ¿cómo un ion puede dañar o ayudar en una transmisión de onda corta? Para empezar, un ion es un átomo incompleto, generado por la pérdida o la ganancia de electrones, en un proceso por el cual queda cargado positivamente o negativamente, dependiendo cual sea el caso. A estas variaciones experimentadas de ionización en un período de 24 horas se le llama variaciones diurnas y depende de las posiciones terrestres, la hora del día o de la noche, la temporada y la altitud del sol a mediodía.

Cabe mencionar que la capa E, que se encuentra a una altitud de más de 100 kilómetros, es donde se encuentra una alta concentración de electrones, pero estos van a depender de la incidencia de luz solar, porque en este punto no desaparece en su totalidad durante la noche. Esta capa es de mucha importancia cuando se requiere transmitir en onda corta en distancias menores de 1 000 kilómetros y especialmente durante el día.

Cuando en la capa E no existe la suficiente ionización del medio, esta desempeña el papel de absorber la señal de alta frecuencia, esto quiere decir que va a existir pérdida parcial o total en la transmisión. Esto sucede



especialmente en la noche, por lo cual en esta capa se pierden rápidamente las propiedades correctas para la transmisión de la señal.

La capa F2 es la región principal para las comunicaciones de alta frecuencia de largas distancias. Su alto gradiente de ionización hace posible la transmisión de ondas. Como en la capa E, esta depende también de la hora del día, la estación del año y la latitud terrestre, esto se debe a la radiación ultravioleta de sol. Por las propiedades de la densidad baja de la atmósfera, impide que la recombinación de iones libres, puede ser capaz de almacenar energía durante muchas horas, lo cual hace que sus propiedades reflectoras durante el día o la noche no presenten diferencia extrema.

Si se quiere realizar una comunicación de larga distancia, se tiene que dirigir la antena paralelamente al suelo, con esto se va a lograr la cobertura de la mayor distancia con una sola reflexión. La curvatura de la Tierra hace posible que cuando la onda incida en la capa F2, esta lo refleje a 4 000 kilómetros del emisor.

Hay que tomar en cuenta los movimientos de la Tierra con respecto al Sol, porque la radiación solar va a determinar las posibilidades de las comunicaciones para la onda corta. Como se ha mencionado, el grado de ionización va a depender de la posición del sol, la estación del año o de hora del día.

#### **4.3. Consideraciones a tomar**

Para el montaje del sistema de onda corta, se tienen que tomar varios aspectos:

- La temperatura es muy importante para mantener la estabilidad del sistema, si los transistores se llegan a calentar más de su temperatura de trabajo, la frecuencia de la salida puede ser muy inestable.
- El cristal que se utiliza para el oscilador debe ser elegido de acuerdo a la frecuencia de transmisión a la que se desea transmitir.
- Para la construcción del circuito impreso, debe estar armado de poliepóxido. Si se utiliza el fenólico, se corre el riesgo de que la humedad se condense en el interior y produzca un efecto de capacitancia, el cual alteraría el funcionamiento correcto del transmisor.
- La fuente de alimentación debe ser lo más estable posible, con el fin de evitar corrimientos de frecuencia.
- Los inductores deben ser lo más precisos posible, porque los cálculos tienen que ser precisos para el funcionamiento óptimo.
- Si la fuente de alimentación se encuentra físicamente alejada del transmisor, es aconsejable colocar capacitores de 100 nF en los extremos del cableado para evitar que el ruido eléctrico se apodere de las transmisiones.

Un vatio puede sonar escaso para transmisión de señales de radio, pero para la onda corta esto puede ser algo especial. Si se toma como ejemplo la Radio Pirata Internacional (RPI), la cual transmite desde la Cordillera de los Andes con un transmisor de 100 vatios sobre una antena tipo J-Pole, y con esta potencia logra llegar a Rusia e incluso a China, se saca la conclusión de que con 1 vatio de potencia se puede cubrir una ciudad o un poblado.

Hay que tener en cuenta, sin importar la potencia irradiada, que si la antena que se está utilizando es deficiente no se va a poder transmitir ni a una cuadra de distancia. Por lo tanto, es importante el tipo y formato de la antena que se va a colocar. Se va a abarcar más adelante el tipo de antena y construcción que se utilizará.

Para el medio, se tiene que tomar una frecuencia para que funcione tanto en invierno como en verano, los problemas principalmente son los de interferencia o mala transmisión por el medio. Esto se puede solucionar al momento de utilizar dos frecuencias distintas, cada una para las dos épocas del año.

#### **4.4. Elaboración de las antenas**

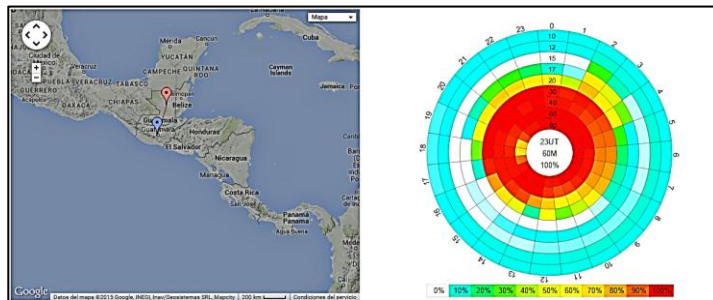
Para el tipo de antena que se va a utilizar, se va a realizar la comparación de dos antenas, las cuales tienen distintas propiedades y de igual forma son funcionales. Se va a efectuar un análisis para su construcción y lo que se debe realizar para la misma. Las dos tipos de antenas que van a ser comparadas son la antena dipolo horizontal y la antena dipolo en V invertida.

Para el cálculo práctico de la antena, se necesita tener la frecuencia a la que se va a operar, como se ha mencionado anteriormente, se tienen dos rangos, las diurnas y las nocturnas, las cuales, por sus características, van a ayudar en la propagación dependiendo de la hora del día y la época del año.

Se puede realizar una predicción de cómo son los sistemas climáticos para cada mes, y esto generará una predicción de la calidad de información que se va a tener. Por ejemplo, una predicción para un enlace entre el departamento de Petén y la ciudad de Guatemala, se tiene que en su mayoría

se obtendrá el 100 % de la calidad en la señal y, en el peor de los casos, se va a tener un 96 % de calidad en la señal.

Figura 21. **Predicción de la calidad de la señal en un enlace entre la ciudad de Guatemala y Petén, a 60 m de longitud de onda**



Fuente: VOACAP. [www.voacap.com/prediction.html](http://www.voacap.com/prediction.html). Consulta: 24 de mayo de 2014.

La frecuencia a utilizar va a ser de 5,1 MHz. Se va utilizar esta frecuencia por el hecho que en Guatemala tiene únicamente dos estaciones marcadas, el verano que es de noviembre a abril y el invierno que corresponde de mayo a octubre. Esto indica que cada época tiene una duración de 6 meses cada una. Tener una frecuencia baja, ayudará en el hecho de que no se quieren hacer transmisiones muy largas, sino que todo se va a concentrar en el mismo país.

Para realizar los cálculos del tamaño de la antena, se utiliza la ecuación 34.

$$L = \frac{142,5}{f} \quad \text{Ecuación 34}$$

Donde L es la longitud de los brazos de la antena y f es la frecuencia que se va a utilizar.

Como se definió anteriormente, la frecuencia (5,1 MHz), se sustituye, obteniendo 27,94 m de longitud de la antena.

$$L = \frac{142,5}{5,1} = 27,94 \text{ m} \quad \text{Ecuación 35}$$

En la ecuación 35, se tiene la longitud total del elemento radiante, hay que tener en cuenta que este elemento se alimenta en el centro, por lo tanto es necesario partirlo en dos partes.

$$l = \frac{27,94}{2} = 13,97 \text{ m} \quad \text{Ecuación 36}$$

Por lo tanto, cada rama del elemento radiante tendrá una longitud aproximada de 13,97 metros. Como la altura y los obstáculos influyen en la longitud, es conveniente hacerle un recorte a cada lado de la antena e irlos ajustando gradualmente. Es de mucha importancia saber que si es un dipolo de V invertida se tiene que reducir un poco más la longitud de cada brazo por igual.

La pregunta clave es ¿cuánto hay que reducir la longitud? La respuesta depende del tipo de dipolo.

Para una antena de dipolo horizontal, la reducción que se tiene que hacer es por los acopladores de impedancias o el balun, por tensores de cable de la antena, los cuales afectan en su longitud total, la reducción a realizarse no debe ser mayor al 10 % de la longitud total. Para el caso de una antena en V invertida, se tiene que tomar en cuenta el ángulo de los brazos, este recorte se hace por la misma razón de la cercanía de cada brazo hacia el suelo, el cual va a generar un aumento en la resistencia de la antena, así como mayor interferencia en la misma.

Un balun es un dispositivo conductor que convierte líneas de transmisión no balanceadas en líneas balanceadas, haciendo una transmisión de información por dos cables al mismo tiempo pero con polaridades opuestas. También puede tener un efecto de adaptación de impedancias. En general, un balun no va a generar potencia, pero sí tiene pérdidas, a estas pérdidas se les conoce como pérdidas de inserción a la atenuación sufrida por la señal a la salida del dispositivo.

#### **4.4.1. Altura de las antenas**

La altura de la antena, se calcula en función de la longitud de onda. El principio general es que las antenas irradian con polarización horizontal, y tienen un rendimiento muy pobre cuando se encuentran a baja altura.

Por el contrario, una polarización vertical tiene mejor desempeño cuando la altura es baja. Por consiguiente, un dipolo a mayor altura, va a tener mayor despeje de elementos circundantes y una menor alteración en los lóbulos de irradiación del dipolo.

El ARRL Handbook 2009, señala que el efecto de la altura en la resistencia a la radiación de una antena de media onda horizontal, es decir un dipolo típico, no es tan drástica si la altura de la antena es de al menos  $\frac{1}{4} \lambda$  (25 % de la longitud de onda). Si no se cumple esta condición, la resistencia aumenta porque el campo de inducción de la antena a baja altura es absorbido fuertemente por la tierra.

La altura del dipolo es crítica en su desempeño, porque elevar innecesariamente la antena tiene un alto costo. Por una parte, se debe comprar más cable coaxial y, lo peor del caso, es la pérdida que este presenta en grandes tramos.

#### **4.4.2. Antena de dipolo horizontal**

Los materiales a utilizar para la construcción de la antena son cable de cobre para los brazos, cable coaxial de 75 Ohm para la bajada, cuerda de nylon para sujetar los brazos, aisladores de porcelana o plástico, un bloque central de PVC sólido o madera impermeabilizada, dos pesos de plomo de albañil, dos poleas, postes de madera, cable de acero para arriostrar los postes y una abrazadera de media caña.

Para realizar la antena se deben armar todos los componentes, tomando en cuenta ciertas indicaciones, como:

Los centros del dipolo tienen que quedar de tal forma que puedan sostener 4 puntos, dos para cada brazo del dipolo, otro para el cable coaxial y su separación para cada brazo, y otro para tener un tensor y sostenerlo, estos pueden ser fabricados caseramente o comprados, de cualquier forma no cambia su función. En las figuras 22 y 23 se presentan los centros, uno de fabricación casera y el otro comprado.

Figura 22. **Centro para antenna dipolo casero**



Fuente: VALERO, Alejandro. *Impedancia mutua entre dipolos en paralelo*.  
[http://www.sergiozuniga.cl/02/ex\\_dipolo/como\\_hacer\\_un\\_dipolo.htm](http://www.sergiozuniga.cl/02/ex_dipolo/como_hacer_un_dipolo.htm). Consulta: abril de 2015.

Figura 23. **Centro para antenna dipolo hecho por fábrica**



Fuente: VALERO, Alejandro. *Impedancia mutua entre dipolos en paralelo*.  
[http://www.sergiozuniga.cl/02/ex\\_dipolo/como\\_hacer\\_un\\_dipolo.htm](http://www.sergiozuniga.cl/02/ex_dipolo/como_hacer_un_dipolo.htm). Consulta: abril de 2015.

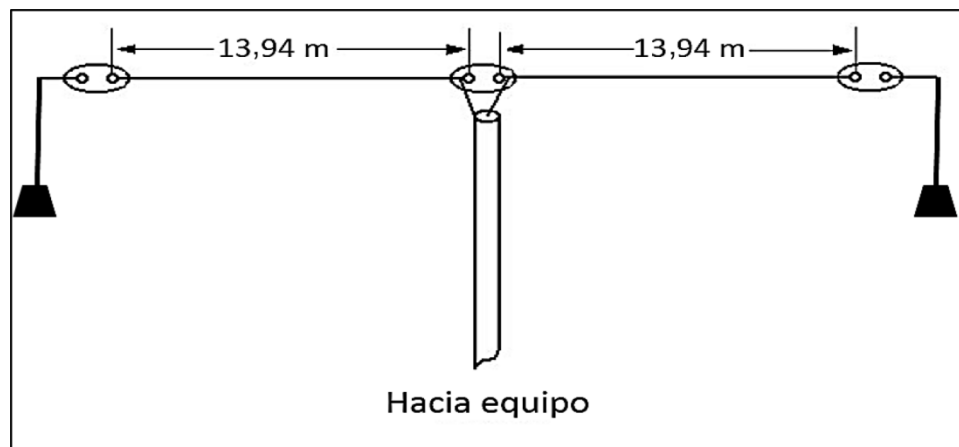


Si se realiza un centro casero, es importante tener en cuenta que va a estar en la intemperie, por lo cual tiene que tener sellados los conectores, lo mejor es no usar silicona porque esta es totalmente permeable al vapor de agua, oxidando todo lo que se encuentre en la bajada. Lo mejor es utilizar un sellado de poliuretano o de butilo.

Estos centros se pueden utilizar de la misma forma para los laterales, los cuales se van a encargar principalmente de que los brazos de la antena se mantengan firmes y no sufran deformación o movimiento con el aire.

El diámetro del cable empleado no es crítico, solo va a afectar el ancho de banda, y para las bandas bajas su efecto es inapreciable. Lo más importante es la tracción mecánica que tendrá que soportar, es decir, si va a ser una instalación fija o móvil. Para una instalación de tipo fija, el diámetro adecuado está entre los 1,5 y 2 mm, para las instalaciones de tipo móvil lo ideal es utilizar un cable de 1,2 mm o menor.

Figura 24. **Diagrama de la elaboración de una antena dipolo horizontal**



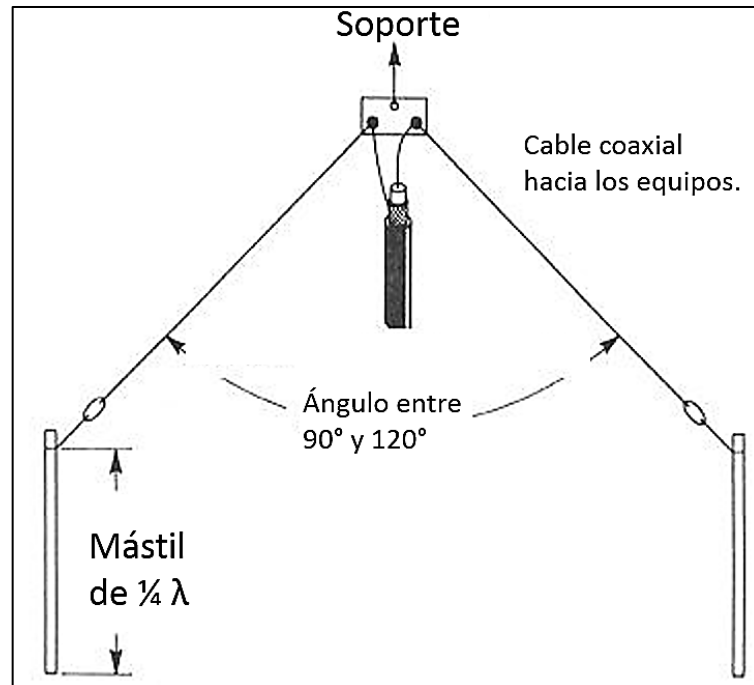
Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Visio.

#### **4.4.3. Antena en V invertida**

Para este tipo de antenas se debe tomar en cuenta el espacio para su construcción. Esto es porque las puntas de un dipolo en V invertida deben estar lejos del suelo y de cualquier objeto que no sea buen aislante, ya que en las puntas de la antena hay alta tensión y la cercanía con cualquier objeto produce inducciones electromagnéticas y pérdida de potencia.

Para estas antenas, los brazos se pueden colocar en un ángulo de 120 a 90 grados, con esto se ahorra espacio de instalación. En condiciones ideales se sabe que una antena tiene que tener una impedancia de 50 ohm en su punto de alimentación, si el ángulo que forman los brazos del dipolo se aproxima a los 90 grados, la impedancia tendría que ser de 50 ohm. Si los brazos se encuentran extendidos, como es el caso de la antena dipolo horizontal, la impedancia es de 75 ohm.

Figura 25. **Diagrama de la elaboración de una antena dipolo en V invertida**



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Visio.

Para la construcción de esta antena, son los mismos materiales y el mismo procedimiento que para una antena dipolo horizontal, la única diferencia que existe en ambas van a ser los ángulos que forman los brazos en forma de una V invertida.

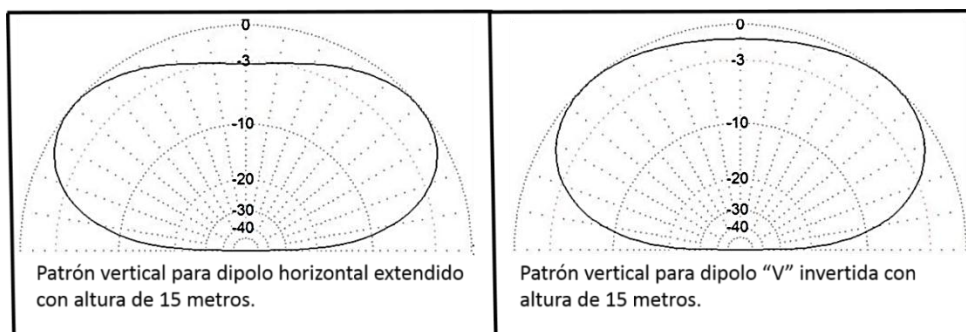
#### 4.5. **Patrones de radiación de las antenas**

En la figura 26 se realiza la comparación entre los patrones de radiación de una antena dipolo horizontal y una antena en V invertida, ya que la forma del lóbulo de irradiación varía fuertemente dependiendo de la altura a la que se encuentre ubicada. La figura 26 muestra los patrones verticales de ambas

antenas a una altura de 15 metros, concluyéndose que a esta altura el dipolo horizontal tiene un desempeño superior a la V invertida, porque tiene un lóbulo mejor conformado y un menor ángulo de irradiación, lo cual es de gran beneficio para realizar comunicaciones a larga distancia.

En la figura 26, el punto óptimo es a los -3 decibles, lo cual indica que a este punto se tiene una reducción de la mitad de la potencia de salida de la señal. Por tal motivo, si se tiene 1 watt de potencia de salida de la antena dipolo en - 3 db, se tiene una reducción de la potencia a 0,5 watt, lo que significa que menor a los -3 db se va a tener menor potencia y por tal motivo menor recepción de la señal.

Figura 26. **Comparación en el patrón de radiación entre una antena dipolo horizontal y una antena dipolo en V invertida**



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Visio.

#### 4.6. Diagramas de radiación

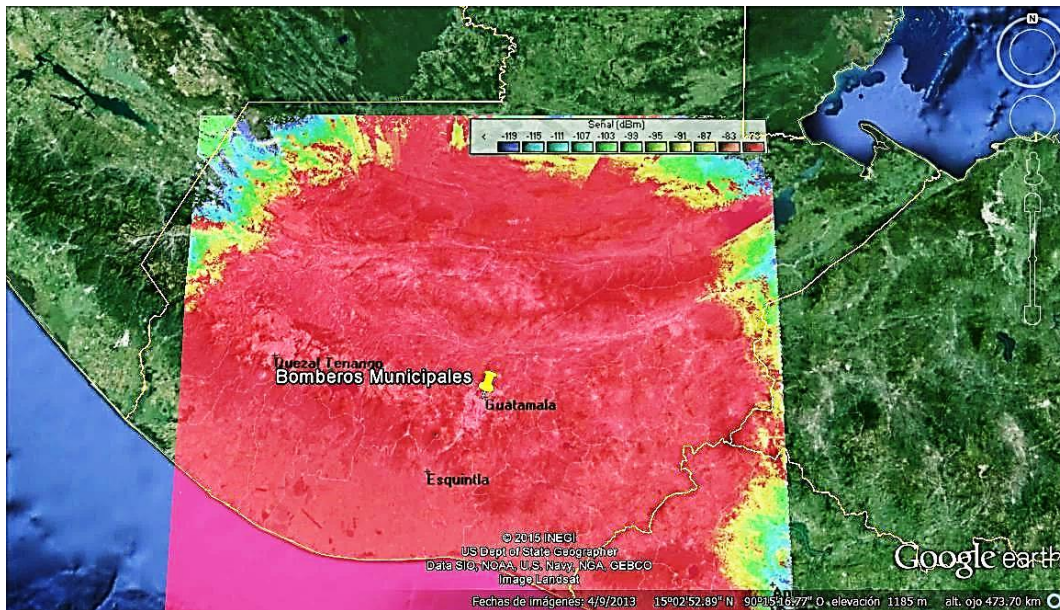
Como se explicó en el capítulo anterior, el diagrama de radiación es la representación gráfica de la magnitud en que una antena va a radiar su energía y en qué dirección lo hace, esto proyectado sobre el plano vertical y horizontal.

Una onda de radio en general tiene dificultades para atravesar obstáculos. Existen antenas de alta ganancia con un patrón de radiación estrecho, por lo que una antena de mayor tamaño únicamente aumentaría el alcance pero no servirá de mucho si se tienen estructuras muy grandes. Hay antenas de alto poder para enviar señales a largas distancias a través de puntos muy específicos y enfocados. A medida que aumenta la ganancia, el patrón de la señal se estrecha.

Para el patrón de radiación en la actualidad, se va a necesitar de programas que hagan dichas predicciones, las cuales van a ser teóricas y cercanas, porque en la práctica se toman otros factores como el clima, lluvia, obstáculos, entre otros.

En la figura 27 se muestra un patrón de radiación para una antena ubicada en la ciudad capital, en una estación de bomberos voluntarios. Por la misma limitación del programa no se puede tener una cobertura mayor, pero, con lo que se logra cubrir, se tiene la idea de cómo es la cobertura en general.

Figura 27. **Diagrama de radiación para una antena dipolo a 5,1 MHz, ubicada en la ciudad de Guatemala**

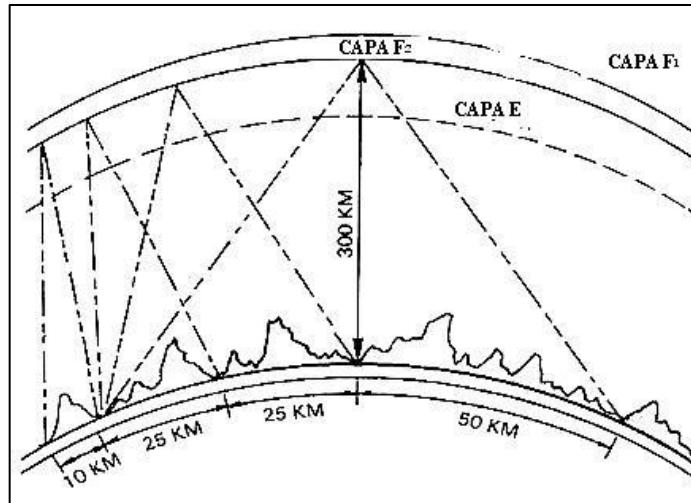


Fuente: Google Earth. <https://www.google.es/intl/es/earth/index.html>. Consulta: 15 de junio de 2014.

En el lugar donde se ubique la antena, esta debe tener los cuidados y mantenimientos necesarios, y para el fin que se desea, no puede ser controlada por el mismo equipo de personas, es decir, unificar de todos los medios de socorro para que en una emergencia utilicen el mismo sistema sin problemas y sin rivalidades de atención.

Hay que recordar que para la onda corta no es prescindible si la antena se coloca en un lugar de mucha altura, porque la propagación de las ondas se realizan en la ionosfera y, por lo tanto, dependiendo del ángulo al que se coloque la antena, así será el ángulo de incidencia y este va a determinar la distancia, como en la figura 28.

Figura 28. **Trayectorias de la transmisión de onda corta en la ionosfera o capa F2**



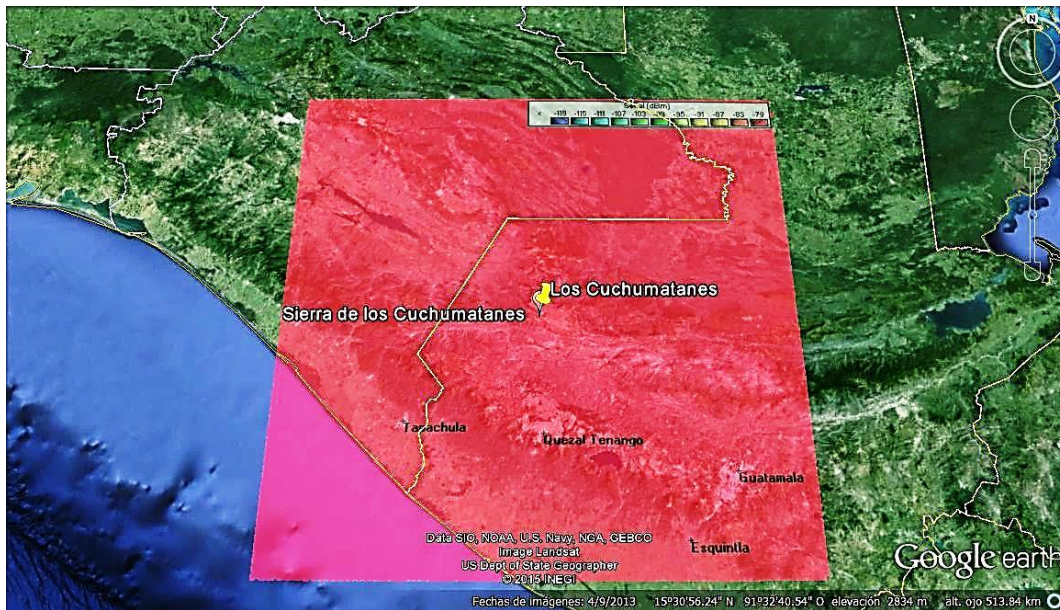
Fuente: *Horn Antenna-In Stock*.

<http://www.dxzone.com/catalog/Antennas/NVIS/>. Consulta: abril de 2015.

En la figura 28 se observa que el ángulo de incidencia de la onda en la ionosfera va a estar afectado hacia donde tiene que propagar la señal, el transmisor se puede encontrar entre montañas y transmitir la señal fuera de ellas por el ángulo de propagación de la onda. De tal forma que el sistema de onda corta se utiliza tanto para largas distancias como cortas y, mejor aún, puede hacer llegar la señal a los lugares remotos donde los sistemas de comunicación actuales no llegan.

La colocación de la antena en un punto de mayor altura va a tener la ventaja del ángulo de incidencia, porque se sabe que a esta altura no se tiene un obstáculo de mayor tamaño, por lo tanto la señal es más fácil que llegue a puntos de menor altura. En la figura 29 se muestra cómo a una mayor altura se tiene una mejor transmisión.

Figura 29. **Área de cobertura de una antena en uno de los puntos más altos de Guatemala, Los Cuchumatanes**



Fuente: Google Earth. [https://www.google.es/intl/es\\_es/earth/explore/showcase/](https://www.google.es/intl/es_es/earth/explore/showcase/). Consulta: 18 de abril de 2014.

#### **4.7. Beneficios de la onda corta para los bomberos de Guatemala**

Guatemala es un territorio que por su ubicación geográfica se encuentra en una zona de fallas que forma el límite tectónico entre la placa del Caribe y la placa norteamericana. Esta región se conforma principalmente por la falla del Motagua y la falla del Chixoy-Polochic, además, en la costa suroccidental de la República de Guatemala, la placa de Cocos empuja contra la placa del Caribe, formando una zona de subducción marcada por la fosa mesoamericana. La zona de subducción condujo a la formación del Arco Volcánico Centroamericano, lo cual es una fuente de actividad sísmica en alta mar y en la franja costera de Guatemala.



Un número de sismos con magnitudes relativamente bajas causaron daños mayores en áreas localizadas muy cerca de sus hipocentros poco profundos, un ejemplo claro fue el terremoto de 1985 en Uspantán, el cual, con una magnitud de 5 en escala de Richter y un hipocentro a 5 km, resultó una destrucción del 80 % de los edificios en el lugar, pero no causó daños notables fuera del municipio.

En la tabla V, se enumeran todos los sismos que han afectado al territorio guatemalteco y que han dejado daños de destrucción notable.

**Tabla V. Listado de todos los movimientos sísmicos en Guatemala**

Nombre	Fecha	Epicentro
Terremoto de Guatemala de 1717	29-09-1717	Antigua Guatemala
Terremoto de Guatemala de 1765	24-10-1765	Ostuncalco (Quetzaltenango)
Terremoto de Guatemala de 1773	29-07-1773	Antigua Guatemala
Terremoto de Guatemala de 1816	22-07-1816	Alta Verapaz, Falla de Chixoy-Polochic
Terremoto de Guatemala de 1902	18-04-1902 08:55 horas	Quetzaltenango
Terremoto de Guatemala de 1913	08-03-1913 20:23 horas	Falla de Jalpatagua
Terremoto de Guatemala de 1917	22-12-1917 05:21 horas	Ciudad de Guatemala
Terremoto de Guatemala de 1918	04-01-1918 04:30 y 04:32 horas	Cercanías de la ciudad de Guatemala
Terremoto de Guatemala de 1942	06-08-1942 23:36 horas	Occidente de Guatemala
Terremoto de Guatemala de 1959	20-02-1959 18:16 horas	Ixcán
Terremoto de Guatemala de 1976	04-02-1976 03:01 horas	Falla de Motagua
Terremoto de Guatemala de 1985	11-10-1985 03:39 horas	Uspantán
Terremoto de Guatemala de 1988	03-11-1988 14:14 horas	San Vicente Pacaya
Terremoto de Guatemala de 1991	11-09-1991 03:48 horas	Pochuta
Terremoto de Chiapas de 1993	10-09-1993 19:12 horas	Alta Mar, Chipas y San Marcos.
Terremoto de Guatemala de 1995	19-12-1995 14:56 horas	Tucurú
Terremoto de Guatemala de 1998	10-01-1998 02:20 horas	Santo Domingo Suchitepéquez
Terremoto de Guatemala de 1998 (marzo)	02-03-1998 20:24 horas	Alta mar Océano Pacífico
Terremoto de Guatemala de 2007	13-06-2007 02:29 horas	A 115 km al sureste de la ciudad de Guatemala en alta mar

Continuación de la tabla V.

Terremoto de Guatemala de 2008	27-05-2008 11:28 horas	120 km de la ciudad de Guatemala en alta mar
Terremoto de Guatemala de 2009	03-05-2009	55 km al sureste de Quetzaltenango
Terremoto de Guatemala de 2010	23-02-2010 15:16 horas	20 km al norte de San Mateo Ixtatán
Terremoto de Guatemala de 2011	19-09-2011 18:34 horas	53 km al sureste de la ciudad de Guatemala
Terremoto de Guatemala de 2012	07-11-2012 16:35 horas	35 km al sur de Champerico

Fuente: elaboración propia.

Otro fenómeno natural que afecta al territorio de Guatemala son las tormentas tropicales y huracanes, los cuales son sistemas de baja presión y producen fuertes vientos y abundante lluvia. En sí, un sistema de baja presión puede producir vientos, olas grandes, tornados, lluvias torrenciales, las cuales producen inundaciones, corrimientos de tierra y marejadas ciclónicas en áreas costeras.

Guatemala es un país de mucha incidencia de huracanes, por la ubicación y el tipo de clima. En la tabla VI se enumera una serie de eventos que han afectado al territorio de Guatemala y otros países de la región.

Tabla VI. **Listado de todos los huracanes devastadores en Guatemala**

Nombre	Fecha
Huracán Hattie	21-10-1961 al 1-11-1961
Huracán Fifi-Orlen	14-09-1974 al 24-09-1974
Huracán Joan-Miriam	10-10-1988 al 2-11-1988
Huracán Mitch	22-10-1998 al 5-11-1998
Huracán Gordon	14-09-2000 al 21-09-2000
Huracán Bárbara	28-05-2003 al 30-05-2003
Huracán Adrián	17-05-2005 al 20-05-2005
Huracán Stan	01-10-2005 al 05-10-2005
Huracán Agatha	29-05-2010 al 30-05-2010

Fuente: elaboración propia.

En estos casos presentados por emergencias, siempre se tenía el inconveniente en las comunicaciones, porque depender de una tercera persona en casos de emergencia, no garantiza que las redes no se saturen, no tengan problemas de estabilidad, no presenten afectación o tengan caídas parciales o totales.

Por lo tanto, que los bomberos o medios de emergencias posean un solo sistema de comunicación, manejado y administrado por la entidad, va a mejorar la calidad y tiempos de respuesta para emergencias.

Es verdad que estos sistemas pueden tener inconvenientes, pero tener a las personas capacitadas en los mismos centros de apoyo y que se ayude a solventar los problemas, es asegurar que cuando el sistema vea afectado será reparado de la forma más rápida, volviendo a tener efectividad en la comunicación.

El sistema de onda corta va a tener su principal beneficio en la comunicación en cualquier parte del territorio guatemalteco, cubrirá una emergencia nacional, local o de cualquier tipo, haciendo una respuesta al llamado con más efectividad.

Si se tiene una emergencia en una comunidad alejada, donde el acceso a los medios es limitado, con este sistema se puede solicitar apoyo a otra comunidad cercana o cabecera municipal, la cual puede enviar unidades de emergencia y así tener una respuesta inmediata de las autoridades correspondientes para el caso.

Durante estos desastres naturales, son los bomberos de Guatemala los que van al rescate de personas, por lo cual necesitan estar informados de los

acontecimientos y solicitud de apoyo. El sistema de onda corta ayudaría en el caso de pérdidas de las comunicaciones por terceros o caídas en los servicios contratados.

La onda corta puede ser un sistema administrado y financiado por los bomberos, siendo este un sistema de bajo costo de implementación de los equipos, mantenimiento y de uso en todo el territorio de Guatemala.

## CONCLUSIONES

1. La infraestructura de los bomberos en Guatemala ha sido cambiante durante los años, haciendo que estos hayan podido mantenerse actualizados con la tecnología.
2. La presentación de las definiciones básicas de antenas ayudan en el desarrollo de técnicas y nuevos métodos de optimización de los sistemas de radiocomunicaciones de onda corta.
3. El método del análisis de las definiciones de las antenas facilita la comprensión de la radiación y difusión de la señal por un medio físico como el aire.
4. La propuesta del sistema de onda corta se basa principalmente para la comunicación con cualquier estación de bomberos en todo el territorio de Guatemala, haciendo que este método sea de bajo costo.



## RECOMENDACIONES

1. A los bomberos de Guatemala, que consideren sobre proyectos de comunicación alternos, para la administración un sistema de telecomunicaciones propio de la institución.
2. Que la Escuela de Mecánica Eléctrica tome en cuenta la solicitud de la implementación de un laboratorio para el curso de Radiocomunicaciones Terrestres, para realizar transmisiones de audio, voz y datos.
3. Considerar que los alumnos de ingeniería electrónica de la Escuela Mecánica Eléctrica se les pueda impartir más experiencias prácticas y teóricas en implementaciones de antenas, pudiendo utilizar las instalaciones la Facultad para los radioenlaces.
4. Es importante que el cuerpo de bomberos de Guatemala, pueda considerar la propuesta de un sistema alternativo de comunicación, para que en casos de emergencia no tengan inconvenientes con las telefonías.





## BIBLIOGRAFÍA

1. *Algunos aspectos técnicos de las comunicaciones de socorro en situaciones de catástrofe.* [en línea]. <[http://www.ex4u.org/Aspectos\\_Tecnicos.php](http://www.ex4u.org/Aspectos_Tecnicos.php)>. [Consulta 11 de abril de 2015].
2. BRICEÑO, José. *Principios de las comunicaciones.* Venezuela: Universidad de los Andes, 2011. 603 p.
3. CASTILLO CASTAÑEDA, Marwin Oswaldo. *Simulación por computadora del patrón de radiación de antenas lineales y arreglos lineales.* Trabajo de graduación Ing. Electrónica. Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería, 2000. 136 p.
4. CIP, Oldrich. *La radiodifusión de onda corta – desafíos y oportunidades.* [en línea]. <<http://www.unesco.org/new/es/unesco/events/prizes-and-celebrations/celebrations/international-days/world-radio-day-2013/shortwave-radio/shortwave-article/>>. [Consulta: 15 de febrero de 2015].
5. COLLING, Robert. *Antennas and radiowave propagation.* Ronald, Bracewell (ed.). Singapore: McGraw Hill, 1985. 505 p. ISBN 0-07-Y66156-1.

6. *Introducción a la onda corta.* [en línea]. <<http://www.qsl.net/ea1rx/ondacorta/ondacorta.htm>>. ISSN: 0710-3506. [Consulta 28 de mayo de 2015].
7. *REMER (Red radio de emergencia).* [en línea]. <<http://www.proteccioncivil.org/catalogo/carpeta02/carpeta24/vademecum12/vdm018.htm#00>>. [Consulta 25 de marzo de 2015].
8. YOUNG, Hugh. *Física Universitaria con física moderna, volumen 2.* Enríquez, Javier (trad.). 12a. ed. México: Pearson Educación, 2009. 1 551 p. ISBN: 978-607-442-304-4.
9. ZUÑIGA, Sergio. *Como hacer una antena dipolo v invertida de media onda.* [en línea]. <[http://www.sergiozuniga.cl/02/ex\\_dipolo/como\\_hacer\\_un\\_dipolo.htm](http://www.sergiozuniga.cl/02/ex_dipolo/como_hacer_un_dipolo.htm)>. [Consulta: 15 de abril de 2015].