

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
FACULTAD DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD Y COMPUTACIÓN



**“MEDICIÓN, CARACTERIZACIÓN Y MODELAMIENTO DEL
RANGO DE FRECUENCIAS ASIGNADO A RADIODIFUSIÓN AM
(525-1705 KHz) DE LA BANDA MF DEL ESPECTRO
ELECTROMAGNÉTICO EN LA FIEC, CAMPUS PROSPERINA”**

TESINA DE SEMINARIO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

Presentado por:

JEFFERSON ANGELO BRAVO GÓMEZ.

CARLOS ALFREDO CELY LEÓN.

Guayaquil – Ecuador

Año 2015

AGRADECIMIENTO

Me permito agradecer, primero a Dios, que ha sido la razón de mi existir, el que ha guiado siempre mis pasos y que nunca me ha dejado vencer. A mis padres, que gracias a su esfuerzo, constancia y dedicación, me han permitido forjarme con carácter y entrega. A mis tíos, pilares fundamentales en mi vida, que siempre me han extendido la mano amiga, en los momentos más difíciles de mi existencia.

Quisiera agradecer también, a todos y cada uno de mis compañeros, de escuela, colegio y universidad, ya que por ellos aprendí que las buenas amistades están siempre contigo, y me ayudaron a crecer como ser humano y en conocimientos.

Carlos Alfredo Cely León.

Agradezco en primera instancia a Dios, quién me permitió llegar hasta este momento importante de mi formación profesional. A mi padre, que a pesar de la distancia física, siempre está conmigo, sé que este momento hubiese sido muy especial para él como lo es para mí. A mi madre por su apoyo incondicional y cariño. A mis hermanas por la muestra de afecto y paciencia ante todo conmigo.

Agradezco a mis compañeros y amigos de escuela, colegio y universidad quienes con sus aportes y consejos lograron de mí una mejor persona en lo profesional y personal.

Jefferson Angelo Bravo Gómez.

DEDICATORIA

Esta tesis va dedicada, a la persona más importante en mi vida, a ese ser incondicional de apoyo, amor y sabiduría, que me ha sabido criar y dar su entrega al máximo.

Son pocas las palabras para describirla, pero esta tesis es en honor a ella, mi Mamita Luchi.

Carlos Alfredo Cely León.

Este trabajo es dedicado de forma especial a mí padre que desde muy lejos me acompaña en cada paso de vida para mejorar. A mí madre que durante todo este tiempo me apoyó emocionalmente desde lejanas tierra.

Jefferson Angelo Bravo Gómez.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'W Medina', written over a horizontal line.

Ing. Washington Medina Moreira.

PROFESOR DEL SEMINARIO DE GRADUACIÓN

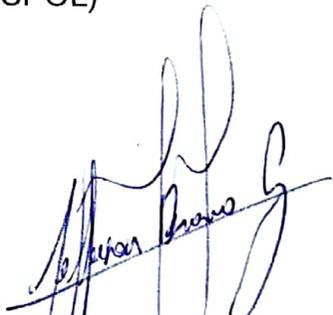
A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Sara Ríos', written over a horizontal line.

Ing. Sara Ríos Orellana.

PROFESOR DELEGADO POR EL DECANO DE LA FACULTAD

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este trabajo, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”. (Reglamento de exámenes y títulos profesionales de la ESPOL)



Jefferson Angelo Bravo Gómez.



Carlos Alfredo Cely León.

RESUMEN

Este trabajo consiste en el estudio del comportamiento espectral electromagnético de esta banda de frecuencias portadoras para la radiodifusión que utiliza modulación AM, con el fin de poder obtener datos estadísticos de la utilización de los canales de transmisión licenciados por el ente regulatorio nacional, Supertel.

De esta forma se obtendrá el porcentaje de eficiencia correspondiente a cada canal, el cual nos servirá para el desarrollo de un patrón o modelo probabilístico de la calidad de servicio brindado por las organizaciones de radiodifusión.

Y gracias a la gran cobertura de la radiodifusión AM con una buena recepción, incluir nuevas tecnologías en los espacios no utilizados de dicha banda, haciendo uso eficiente y eficaz del espectro radioeléctrico.

En el **primer capítulo**, se destaca los conceptos más relevantes acerca de la radiocomunicación, como son las ondas electromagnéticas, los sistemas usados y la distribución del espectro radioeléctrico.

En el **segundo capítulo**, se da a conocer los aspectos más destacados acerca de la radiodifusión AM, de qué manera está regulada, las estaciones que están concesionadas, así como también de los conceptos básicos de la modulación y demodulación en amplitud.

El **tercer capítulo**, se centra en el proceso de medición del espectro, en qué lugar se lo realizó, cuáles fueron los equipos necesarios para poder realizar dichas mediciones, la metodología usada para obtener los datos y por último el presupuesto de enlace.

En el **cuarto capítulo**, se presenta el análisis de las mediciones realizadas, centradas particularmente en el ciclo de trabajo de cada día, y a partir del análisis, el respectivo modelamiento que permite usar de manera eficiente el espectro.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	I
DEDICATORIA	III
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	IV
DECLARACIÓN EXPRESA.....	V
RESUMEN.....	VI
ÍNDICE GENERAL	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XVI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIX
ABREVIATURAS.....	XX
INTRODUCCIÓN.....	XXII

CAPÍTULO 1. LA RADIOCOMUNICACIÓN

1.1. Sistemas Radioeléctricos.....	2
1.1.1. Introducción.....	2
1.1.2. Ondas Electromagnéticas.....	6
1.1.2.1. Propagación de las Ondas Electromagnéticas.	8
1.1.2.2. Polarización de las Ondas Electromagnéticas.....	9
1.1.2.3. Energía de las Ondas Electromagnéticas.....	12
1.1.3. Sistema de Radiocomunicaciones.....	13
1.1.3.1. Antenas.....	14
1.1.3.2. Parámetros de las antenas.....	15
1.1.3.3. Tipos de Antenas.	18
1.1.3.3.1. Antenas de alambre.....	19

1.1.3.3.2. Antenas de apertura.	21
1.1.3.3.3. Antenas Planas.....	22
1.1.3.3.4. Antenas Parabólicas.	24
1.1.3.4. Canales Radioeléctricos.....	25
1.1.3.4.1. Tipos.....	26
1.2. El Espectro Radioeléctrico.	28
1.2.1. Introducción.....	28
1.2.2. El Espectro Electromagnético.....	28
1.2.3. El espectro Radioeléctrico.	32
1.2.4. La radiación radioeléctrica.....	34
1.3. Distribución del Espectro Radioeléctrico.	36

CAPÍTULO 2. RADIODIFUSIÓN AM

2.1. Marco Regulatorio para la Radiodifusión de estaciones AM.	38
2.1.1. Plan Nacional de Frecuencias.	40
2.1.2. Estaciones concesionadas de Radiodifusión AM.....	41
2.1.3. Marco Regulatorio para Radiodifusión.....	44
2.2. Modulación en Amplitud AM.	47
2.2.1. AM de doble banda lateral con portadora.	49
2.2.2. AM de doble banda lateral con portadora suprimida.....	56
2.2.3. AM de banda lateral única.	60
2.2.4. AM de banda lateral vestigial.....	67
2.3. Demodulación en Amplitud.	69
2.3.1. Demodulación Sincrónica.	69

2.3.2. Demodulación de Envolvente.....	71
--	----

CAPÍTULO 3. PROCESO DE MEDICIÓN DEL ESPECTRO

3.1. Descripción del escenario.....	74
-------------------------------------	----

3.2. Equipos utilizados.....	75
------------------------------	----

3.2.1. Antena receptora AM.....	76
---------------------------------	----

3.2.2. Analizador de Espectro.....	78
------------------------------------	----

3.2.3. Software de adquisición de datos INTUILINK.....	79
--	----

3.2.4. Software procesamiento de datos MATLAB.....	81
--	----

3.2.5. Software de acceso remoto TEAMVIEWER.....	82
--	----

3.2.6. Estructura final del proyecto.....	83
---	----

3.3. Método para la adquisición de datos.....	85
---	----

3.3.1 Configuración del Analizador de Espectro Agilent.	85
3.3.2 Configuración de Intuilink en la PC para la captura de datos.....	86
3.4. Presupuesto de enlace.	89
3.4.1 Pérdida de enlace.	89
3.4.2 Potencia Umbral de detección.....	90
3.4.3 Determinación de la ocupación en la banda MF.	92

CAPÍTULO 4. ANÁLISIS Y MODELAMIENTO DE LOS RESULTADOS

4.1 Análisis de los niveles de potencia en la banda MF.	94
4.1.1 Análisis de días ordinarios.....	95
4.1.2 Análisis en fin de semana.....	103
4.2 Ocupación de las estaciones concesionadas de radio AM.....	107

4.3 Modelo de Predicción de Ocupación del Espectro.	110
4.3.1 Proceso Estocástico.	110
4.3.2 Cadena de Markov.	112
4.3.4 Probabilidades de transición.	115
4.3.5 Matriz de transición.	116
CONCLUSIONES.	121
RECOMENDACIONES.	123
BIBLIOGRAFÍA.	125

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1: Esquema de Sistema de Radiodifusión.....	4
Figura 1. 2: Onda Electromagnética en el vacío.	7
Figura 1. 3: Tipos de polarización.	11
Figura 1. 4: Tipos de polarización lineal.....	11
Figura 1. 5: Esquema de un sistema de Radiocomunicación.....	13
Figura 1. 6: Tipos de antenas de alambre.....	20
Figura 1. 7: Antenas de Aperturas.	22
Figura 1. 8: Antenas Planas.....	23
Figura 1. 9: Tipos de antenas Parabólicas.....	25
Figura 1. 10: Tipos de guíaondas.	27
Figura 1. 11: División del Espectro Electromagnético.	32
Figura 1. 12: Exposición por Radiación Radioeléctrica.	35
Figura 1. 13: Distribución del Espectro Radioeléctrico.	37
Figura 1. 14: División del Espectro Radioeléctrico.	37
Figura 2. 1: Plan de frecuencias 300 – 3000 KHz.....	40
Figura 2. 2: Modulación en AM.	49
Figura 2. 3: Ejemplo de señal AM con portadora.	52
Figura 2. 4: Espectro de la modulación AM.	53
Figura 2. 5: Espectros de una señal AM para $f_c > B$ y $f_c < B$	56
Figura 2. 6: Señal modulada en DBL.	58
Figura 2. 7: Señal modulada en DBL.	59

Figura 2. 8: Envolvente de una modulación DBL con moduladora cuadrada.	62
Figura 2. 9: Comparativa de espectros de señales de AM, DBL, BLU (superior, inferior).....	63
Figura 2. 10: Filtros de banda lateral para generar BLU.	64
Figura 2. 11: Espectro de una señal BLU.	65
Figura 2. 12: Señal modulada en BLU.	66
Figura 2. 13: Ejemplo de señal modulada en BLV.	68
Figura 2. 14: Convertidor de frecuencia.	70
Figura 2. 15: Demodulador de envolvente.	72
Figura 2. 16: Señales en los puntos A y B del demodulador de envolvente. .	72
Figura 3. 1: Localización geográfica de la FIEC.....	75
Figura 3. 2: Estructura final del proyecto.....	84
Figura 3. 3: Implementación para el cálculo de Ni	93
Figura 4. 1: Potencia VS Frecuencia. Lunes.....	97
Figura 4. 2: Ciclo de Trabajo. Lunes	97
Figura 4. 3: Disponibilidad. Lunes.....	97
Figura 4. 4: Potencia VS Frecuencia. Martes.....	99
Figura 4. 5: Ciclo de Trabajo. Martes.....	99
Figura 4. 6: Disponibilidad. Martes.....	99
Figura 4. 7: Potencia VS Frecuencia. Miércoles	100
Figura 4. 8: Ciclo de Trabajo. Miércoles.....	100

Figura 4. 9: Disponibilidad. Miércoles	100
Figura 4. 10: Potencia VS Frecuencia. Jueves	101
Figura 4. 11: Ciclo de Trabajo. Jueves.....	101
Figura 4. 12: Disponibilidad. Jueves	101
Figura 4. 13: Potencia VS Frecuencia. Viernes.....	102
Figura 4. 14: Ciclo de Trabajo. Viernes.....	102
Figura 4. 15: Disponibilidad. Viernes	102
Figura 4. 16: Potencia VS Frecuencia. Sábado	105
Figura 4. 17: Ciclo de Trabajo. Sábado.....	105
Figura 4. 18: Disponibilidad. Sábado	105
Figura 4. 19: Potencia VS Frecuencia. Domingo	106
Figura 4. 20: Ciclo de Trabajo. Domingo.....	106
Figura 4. 21: Disponibilidad. Domingo	106
Figura 4. 22: Porcentaje de ocupación de días ordinarios.....	108
Figura 4. 23: Porcentaje de ocupación de fin de semana.	109
Figura 4. 24: Diagrama de transición de Markov.....	120

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1: Nomenclatura de las bandas de frecuencias establecida por la UIT-R.....	31
Tabla 2. 1: Concesiones de radiodifusión AM.....	43
Tabla 3. 1: Especificaciones técnicas de la Antena Receptora AM.	77

ABREVIATURAS

ADN	Ácido desoxirribonucleico
AM	Amplitud modulada
B	Ancho de banda
BLU	Banda lateral única
BLV	Banda lateral vestigial
DBL	Doble banda lateral
FFT	Transformada rápida de Fourier
FM	Frecuencia modulada
HF	Alta frecuencia
ICM	Industriales, científicas y médicas
ITU	Unión Internacional de Telecomunicaciones
MF	Frecuencia media
OEM	Ondas electromagnéticas

Pbl	Potencia bandas laterales
Pc	Potencia de portadora
ROE	Razón de onda estacionaria
SF	Span Frequency
St	Potencia media transmitida
TE	Transversal eléctrico
TEM	Transversal electromagnético
TM	Transversal magnético
TV	Televisión
UHF	Ultra alta frecuencia
UIT-R	Sector de Normalización de las Radiocomunicaciones
URSI	Unión Radiocientífica Internacional
VHF	Muy alta frecuencia

INTRODUCCIÓN

El uso de las transmisiones inalámbricas en los últimos tiempos ha tenido un auge en el Ecuador, y es de vital importancia, ya que nos encontramos en plena era del desarrollo y no podemos quedarnos relegados con la tecnología. Es por esto que se necesita una distribución eficiente de bandas del espectro electromagnético para el uso en aplicaciones específicas, sean estos en radiodifusión, televisión, telefonía fija y móvil, comunicaciones satelitales, etc., siempre y cuando el medio principal para la transmisión de información sea el aire.

Dentro de la división del espectro, la radiodifusión AM básicamente es el proceso en el que una señal portadora de alta frecuencia es modulada por una señal modulante de media frecuencia, permitiendo así la transmisión de información que se imprime en la portadora.

En la actualidad la banda denominada AM, posee una baja audiencia debido principalmente a la calidad de la señal receptada y así mismo por las

distintas interferencias de radiofrecuencia producidas ya sea por la electricidad estática, el ruido de los motores, los rayos de las tormentas que afectan de manera muy considerable a la señal en estas frecuencias, y los tipos de variaciones que alteran la amplitud de la señal modulada.

Adicional a esto existe la problemática del posible uso ineficiente de los canales asignados y al analizar usando un simple dispositivo receptor de AM, logramos percibir que no todos los canales trabajan en su totalidad, dejando espacios en blanco y reduciendo así su porcentaje de ocupación, donde se puede incluir nuevas tecnologías que trabajen eficientemente en esta banda.

CAPÍTULO 1.

1. LA RADIOCOMUNICACIÓN.

El objetivo de este capítulo se basa en explicar el funcionamiento generalizado de un sistema de radiocomunicación, haciendo uso de emisiones de energía electromagnética en forma de ondas, propagadas por medio de una estación transmisora y recibidas por estaciones fijas o móviles receptoras, utilizando elementos como antenas para la emisión y recepción de información en forma de ondas de energía, amplificadores de señal, codificadores de señal, moduladores de señal, decodificadores de señal que son componentes básicos en un sistema radioeléctrico.

1.1. Sistemas Radioeléctricos.

1.1.1. Introducción.

Dentro de la historia de la invención de la radio, existieron algunos personajes que aportaron con sus conocimientos e inventos para lograr desarrollar transmisiones de información usando emisiones de ondas de radio, en la actualidad muy usada para transmitir audio por radiodifusión. Dentro de estos personajes están, James Clerk Maxwell con su teoría dinámica del campo electromagnético, el alemán Heinrich Rudolf Hertz quien logró producir las primeras ondas electromagnéticas, el pionero de receptor de radio el francés Branly y el ingeniero ruso Alexander Stepánovich Popov quien creó el elemento necesario para la recepción de radio, la antena. De estas privilegiadas mentes nacen las transmisiones de radio, donde las primeras fueron usando código Morse por radiotelegrafía. Con el tiempo, se fue mejorando el concepto de sistemas radioeléctricos [1].

Un sistema radioeléctrico es aquel entorno que está constituido por equipos, instalaciones, metodologías para llevar a cabo una comunicación de forma inalámbrica, empleando comunicación por radio, haciendo uso de un medio no guiado, como lo es el aire, la atmósfera. Las ondas radioeléctricas son capaces de propagarse por el espacio, sin necesidad de un medio guiado, como lo define la Unión Internacional de Telecomunicaciones, ITU. La telecomunicación que hace el uso de ondas radioeléctricas se lo puede definir como radiocomunicación [2].

Para que se pueda llevar a cabo la radiodifusión, es necesario emplear y aplicar el concepto de modulación de una señal que contiene la información que se quiere transmitir o difundir hacia el medio. Esta difusión conocida también como broadcasting, es generada a una baja frecuencia, la cual modula una señal portadora de mayor frecuencia para que pueda ser propagada en el aire, rigiéndose a las regulaciones de distribución y control del espectro Radioeléctrico por un ente regulatorio, en el Ecuador, La Superintendencia de Telecomunicaciones, SUPERTEL. Esta señal modulada es enviada al medio y

receptada por estaciones fijas o móviles de radio en forma de ondas electromagnéticas a través de un dispositivo de acoplamiento llamado antena [3].

En la figura 1.1 se visualiza un sistema convencional de emisión y recepción de Radio, donde la señal parte de una estación emisora, esta información es trasladada hacia las antenas emisoras, en muchas ocasiones se hace el uso de estaciones repetidoras de Radio, las cuales solo vuelven amplificar la señal para propagarla a otros puntos y pueda ser mejor captado por equipos de recepción de Radio.

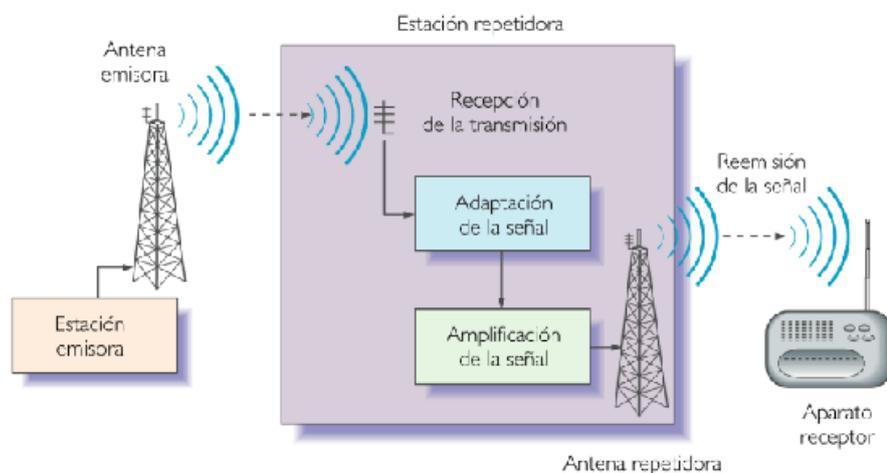


Figura 1. 1: Esquema de Sistema de Radiodifusión.
<http://produccionradio10.blogspot.com/>

De esta manera, al conjunto de todos los equipos que se usan para tratar la información y producir las emisiones radioeléctricas se lo llama estación transmisora o emisora, asimismo para el caso del conjunto de equipos como demoduladores, antenas, amplificadores, etc., se lo denomina estación receptora, que se usan para el tratamiento de las señales recibidas.

“En general una estación de radiodifusión genera su programación en su estudio, la cual a través de un enlace físico o radioeléctrico es enviada hacia el sistema de transmisión ubicado fuera del perímetro urbano de las ciudades, en donde se sube a la frecuencia del dial asignada (modulación) y se difunde para la recepción del público en general dentro del área de cobertura autorizada”
[4].

1.1.2. Ondas Electromagnéticas.

“Una onda es una propagación de una perturbación de alguna propiedad (fenómeno físico) en un medio determinado.” [5].

Una onda electromagnética es la emisión en el espacio y tiempo de los campos influyentes, campos magnéticos y eléctricos. Las ondas electromagnéticas son generadas a partir del proceso de radiación electromagnética, el cual es un fenómeno donde se traslada energía de un sitio a otro, dicha energía es producida por el movimiento de cargas eléctricas. A diferencia de otro tipo de ondas, las ondas electromagnéticas se pueden propagar sin uso de guías.

Las ondas electromagnéticas se caracterizan por varios parámetros, entre los cuales destacamos básicamente:

- I. La frecuencia (f), determina el número de ciclos que se generan en un segundo, unidad de medición, el Hertzio (Hz).
- II. Longitud de Onda (λ), se mide en metros (m), y es la distancia que separa dos crestas o picos sucesivos de una onda que se propaga, como se puede observar en la figura 1.2, y para calcular este valor es necesario conocer la velocidad de propagación por el medio (v), el cuál si es el aire, tiene un valor de aproximadamente $3 \times 10^8 \text{ m/s}$, y la frecuencia de oscilación en Hz (s^{-1}).

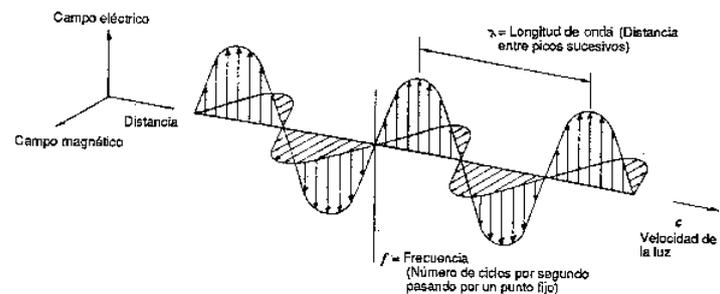


Figura 1. 2: Onda Electromagnética en el vacío.
<http://www.fao.org/docrep/003/T0355S/T0355S01.gif>

En la figura 1.2, se observa varios parámetros aparte de los descritos anteriormente, como lo son: la velocidad de la luz (c), dirección de propagación de onda, dirección de los campos

eléctricos y magnéticos que transporta una onda electromagnética.

1.1.2.1. Propagación de las Ondas Electromagnéticas.

Su clasificación está basada principalmente al trazo del campo electromagnético que se proyecta en un plano perpendicular a la dirección que se propaga el rayo incidente, conociéndose al perfil como “modo transversal de la onda electromagnética”, dependiendo de las condiciones fronterizas del medio de propagación.

- Modos TE (transversal Eléctrico), no hay componentes del campo eléctrico en la dirección de propagación.

- Modos TM (transversal magnético), no hay componentes del campo magnético en la dirección de propagación.
- Modos TEM (transversal electromagnético), no hay componente del campo magnético ni eléctrico en la dirección de propagación.
- Modos híbridos, sí existen componentes de ambos campos, eléctrico y magnético en la dirección de propagación.

1.1.2.2. Polarización de las Ondas Electromagnéticas.

Los campos eléctricos y magnéticos que componen a una onda electromagnética están descritos por un vector con magnitud y dirección. Toda polarización de la onda electromagnética se define por el vector del campo eléctrico. Básicamente hay tres formas generales de polarización:

- Lineal, las dos componentes del campo eléctrico se encuentran en fase, es decir tienen un ángulo de desfase igual a 0° , alcanzando sus máximos y mínimos al mismo tiempo. Y en contrafase, cuando el ángulo de desfase es igual a 180° , alcanzando el máximo de una componente, cuando la otra alcanza su mínimo y viceversa. Dentro de la polarización lineal están la polarización horizontal que es cuando el vector del campo eléctrico es paralelo a la superficie terrestre, y si es perpendicular se la denomina polarización vertical. Véase figuras 1.3 y 1.4.
- Circular, cuando las dos componentes ortogonales poseen la misma amplitud y se encuentran desfasadas 90° . Si el vector rota en sentido antihorario, la polarización es levógira, y si rota en sentido horario se denomina polarización dextrógira. Véase figura 1.3.
- Elíptica, comprende cualquier cambio diferente a las anteriores, es decir ángulos de desfases diferentes de 0° y 180° , amplitudes diferentes. La

polarización elíptica puede ser también levógira o dextrógira, por lo tanto, las polarizaciones circular y lineal son casos particulares de la elíptica. Véase figura 1.3.

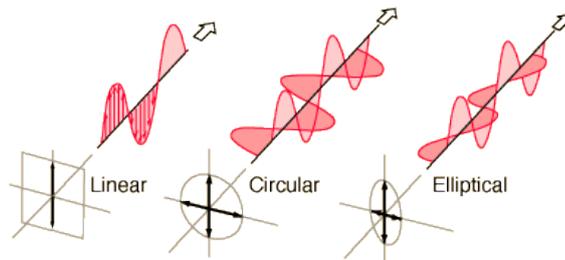


Figura 1. 3: Tipos de polarización.
<http://hyperphysics.phyatr.gsu.edu/hbasees/phyopt/mgpho/polcls.gif>

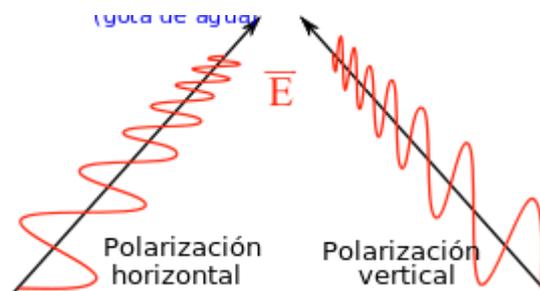


Figura 1. 4: Tipos de polarización lineal.
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/5/59/Radarpolarisation_es.svg/330px-Radarpolarisation_es.svg.png

1.1.2.3. Energía de las Ondas Electromagnéticas.

Las ondas electromagnéticas son transportadoras de energía más no de masa. A mayor frecuencia de la señal, trasladan más energía y viceversa. La radiación electromagnética para una señal de frecuencia f tiene asociada la energía de un fotón que se calcula con la siguiente ecuación:

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} \quad (1.1)$$

Siendo:

- E la energía de la onda medida en Joule (J),
- $h=6,626068 \times 10^{-34} [J \cdot \text{seg}^{-1}]$ la constante de Planck,
- λ longitud de onda,
- c velocidad de la luz en el vacío.

1.1.3. Sistema de Radiocomunicaciones.

Un sistema de radiocomunicación comprende todos los elementos que participan durante la transmisión de alguna información haciendo uso de ondas radioeléctricas. Por lo tanto, incluye los elementos que ocasionan la emisión, los que actúan cuando la señal es enviada por algún trayecto y los que contribuyen durante el proceso de recepción de la difusión de información. En la figura 1.5 se aprecia un diagrama de bloques de cómo está constituido un sistema básico de radiocomunicación.

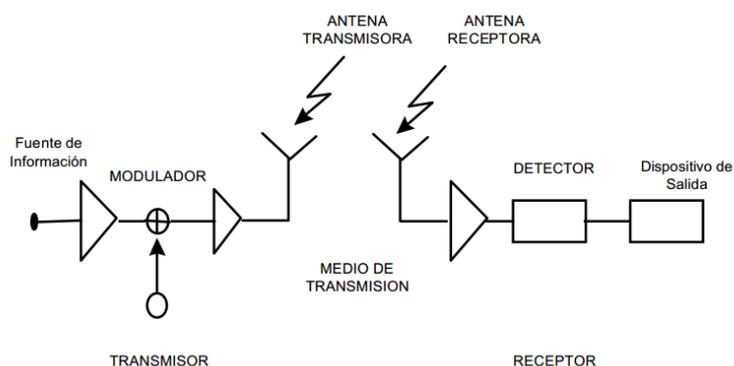


Figura 1. 5: Esquema de un sistema de Radiocomunicación.
<http://i4.minus.com/jOpFIJr0S4i8T.png>

En la figura 1.5 se observa lo siguiente:

- i. Fuente de información a transmitir
- ii. Bloque de modulación, dependiendo del servicio se usa modulación por amplitud AM, por frecuencia FM, entre otros.
- iii. Etapa de amplificación de la señal modulada.
- iv. Elementos de transmisión y recepción, Antenas
- v. Amplificación de la señal recibida
- vi. Demodulación
- vii. Señal Recibida

1.1.3.1. Antenas.

Una antena es un dispositivo esquematizado con el fin de emitir y/o recibir OEM desde o hacia el aire libre.

La función de una antena, en este caso de una transmisora, es la de convertir la corriente eléctrica que

fluye por una línea de transmisión en OEM y las antenas receptoras lo inverso.

Dentro de los sistemas de telecomunicaciones estos elementos son muy usados para realizar enlaces punto a punto, broadcasting de señales de radio y televisión, comunicaciones móviles de telefonía, en general, para todas las redes inalámbricas donde el canal de transmisión es el espacio libre.

1.1.3.2. Parámetros de las antenas

El comportamiento de las antenas es similar tanto en las etapas de emisión y recepción caracterizadas por algunos parámetros físicos y eléctricos.

Parámetros físicos:

- Dimensiones
- Peso
- Tipos de conectores
- Resistencia a cambios climáticos, etc.

Parámetros eléctricos:

- **Ancho de banda**, margen de frecuencias para cumplir determinadas características como ganancia, rango de impedancia, entre otros.
- **Ángulo de radiación**, Es aquél que va por encima de la horizontal indicando la radiación de la antena o donde la máxima intensidad del campo electromagnético es recibida.
- **Directividad**, es la relación de la densidad de potencia irradiada por la antena y una antena referencia indicando el punto de dirección de

radiación, esta referencia más usada es la antena isotrópica con ganancia unitaria.

- **Ganancia**, es la relación entre la densidad de potencia irradiada por la antena en un punto particular a su máximo y la potencia total entregada a la antena comparada con otra antena de referencia.
- **Eficiencia**, es la relación entre la ganancia y la directividad, también se define como la relación entre la potencia irradiada dividido para la potencia entregada a la antena.
- **Impedancia**, es el valor característico medido en ohmios para el acoplamiento de la antena en el receptor y emisor para que haya la máxima transferencia de potencia y la mínima pérdida.

1.1.3.3. Tipos de Antenas.

En el mercado se encuentra una gran variedad de antenas que son empleadas en varios servicios de comunicaciones. Hay casos de que las antenas deben expandir su radiación de potencia lo que implica que no deben ser directivas como estaciones emisoras de radio y radiobases de telefonía móvil, y en otras ocasiones deben estar regularizadas sus radiaciones de potencias para que no infieran en otros servicios.

La longitud de onda de una señal, está estrechamente relacionada con la longitud de la antena, ya que la longitud de la antena debe ser un múltiplo exacto de la longitud de onda. A mayor frecuencia de señal, menor será el tamaño de la antena.

Para la radiodifusión, sea en las bandas AM/FM, la principal característica a considerar de una antena es el patrón de radiación, debido a que tiene que ser una antena de emisión omnidireccional para lograr que haya mejor recepción en los dispositivos receptores.

Según las bandas de frecuencias y la aplicación en que se use antenas, éstas varían de forma ya que presentan características diferentes. Entre estas variaciones, los tipos de antenas más comunes son:

1.1.3.3.1. Antenas de alambre.

Estas antenas son formadas por alambres delgados conductores de electricidad, donde el diámetro del alambre es mucho menor que la longitud de onda de la OEM. Se los encuentran en forma de hilos rectos como en

dipolos y rombos, en espirales de forma circular, cuadrada y en hélices como se lo aprecia en la figura 1.6, la más común de este tipo son las antenas de dipolo debido a que son las más sencillas de todas. El dipolo de media onda consiste en un hilo conductor de media longitud de onda según la frecuencia de operación, en el centro se coloca un generador o una línea de transmisión. Este tipo de antenas pueden ser hechas de cobre o aluminio.

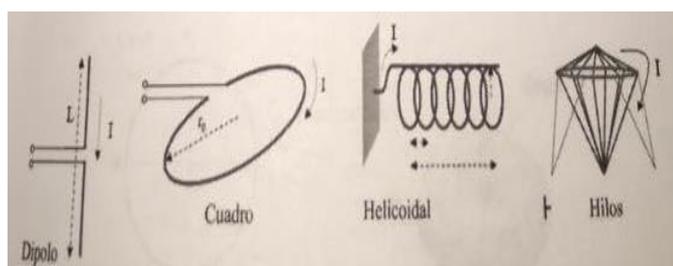


Figura 1. 6: Tipos de antenas de alambre.
[1]

En todo dipolo la impedancia nominal es de 75 ohmios. En la práctica el valor del dipolo varía considerablemente con respecto a una

distancia medida desde el suelo, para reducir su efecto se considera un valor de ROE (razón de onda estacionaria) máxima para la línea de transmisión. Este tipo de antenas son las que más se emplean en la radiodifusión debido a que su patrón de radiación es más uniforme y omnidireccional en comparación con las antenas de aperturas, parabólicas.

1.1.3.3.2. Antenas de apertura.

Este tipo de antenas tienen su forma muy similar a una bocina, las cuales son muy utilizadas para radiaciones de microondas debido al ancho de banda y su fácil diseño y construcción. Éstas pueden ser de dos formas: piramidales o cónicas tal como se muestra en la figura 1.7.

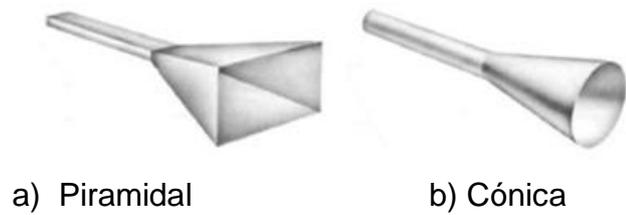


Figura 1. 7: Antenas de Aperturas.
<http://disenoantenas.blogspot.com/>

1.1.3.3.3. Antenas Planas.

Las antenas planas, también llamadas antenas microstrip, son aquellas que están formadas por parches conductores que son un agrupamiento plano de radiadores, sobre un substrato dieléctrico laminado en cobre debidamente aterrizado y un circuito que se encarga de distribuir la señal entre ellos como se esquematiza en la figura 1.8. Debido a su pequeño tamaño, la utilización y desarrollo de estas antenas han ido incrementando considerablemente.

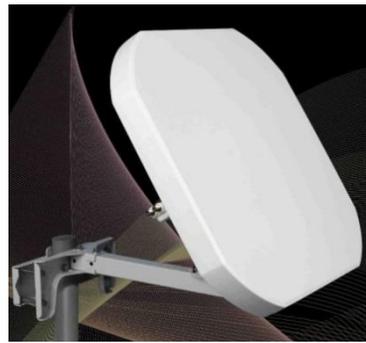
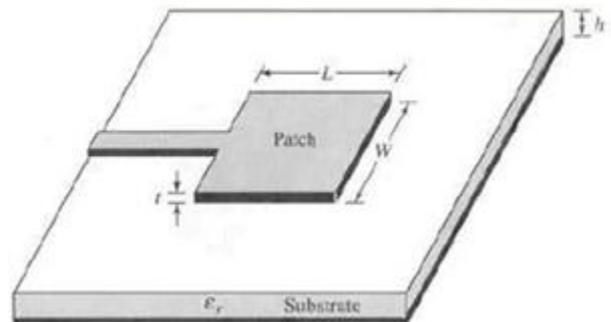


Figura 1. 8: Antenas Planas.
<http://disenoantenas.blogspot.com/>

La versatilidad es una de las características de estas antenas debido a su buen funcionamiento en diferentes frecuencias de resonancia, polarización, impedancia e incluso en los diferentes patrones de radiación, por lo que son muy usadas en satélites, teléfonos celulares, aeronaves, etc. [6].

1.1.3.3.4. Antenas Parabólicas.

Dentro de la radiodifusión no se hace el uso de antenas parabólicas, El principal funcionamiento de este tipo de antenas se basa en que las OEM se reflejan en un elemento pasivo llamado reflector paraboloides o sección de reflexión paraboloides. En una antena receptora, las ondas que inciden de forma paralela al eje principal se reflejan hacia el foco del paraboloides. En cambio en una antena de emisión, las ondas electromagnéticas salen del foco, aquí va ubicado un dispositivo emisor de energía en forma de ondas, se reflejan en el elemento de reflexión y los rayos incidentes en forma paralela al eje salen hacia el espacio.

Este tipo de antenas proporcionan una ganancia y directividad muy altas en comparación a otras antenas, se utilizan muy

frecuentemente en emisiones de microondas y enlaces satelitales.

Existen tres tipos de estas antenas que son: de foco primario, de offset y Cassegrain, como se esquematiza en la figura 1.9.

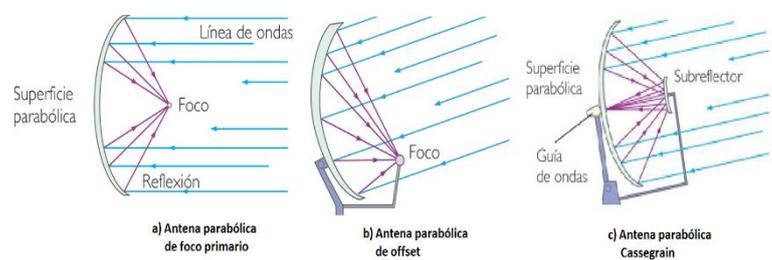


Figura 1. 9: Tipos de antenas Parabólicas. [1].

1.1.3.4. Canales Radioeléctricos.

Los canales de comunicaciones son aquellos medios físicos de transmisión por los cuales son propagadas las señales de información. En ocasiones dentro de un mismo canal físico se multiplexan varias transmisiones

simultaneas. Por lo tanto, un canal radioeléctrico es una canal de comunicación por el que se propagan las ondas radioeléctricas. El espacio libre es un canal de comunicación por el que se propagan OEM para transmitir alguna información de uno o varios orígenes hacia uno o varios destinatarios usando señales en el formato digital o analógico. Todo canal tiene una capacidad de transmisión y un rendimiento del canal que es medido por varios parámetros como el ancho de banda, por la tasa de transmisión, la eficiencia espectral, las relaciones de señal/ruido y señal/interferencia, latencias de propagación, tasas de error, o variabilidad de su retardo.

1.1.3.4.1. Tipos

Una manera de clasificarlos es según el entorno del medio físico de transmisión donde existen los medios guiados, la señal electromagnética fluye por un espacio físico concreto como cable de pares, cable coaxial,

guíaondas, fibra óptica, etc.; y los medios no guiados, como el aire, el espacio exterior. De esta forma para transmisiones de OEM de frecuencias bajas se emplean medios guiados y para OEM de frecuencias altas medios no guiados. En la figura 1.10 se muestran los diferentes tipos de guía de ondas que se encuentran comercialmente, tales también se diseñan y construyen para cumplir con las condiciones que se planteen al momento de fabricarlas.

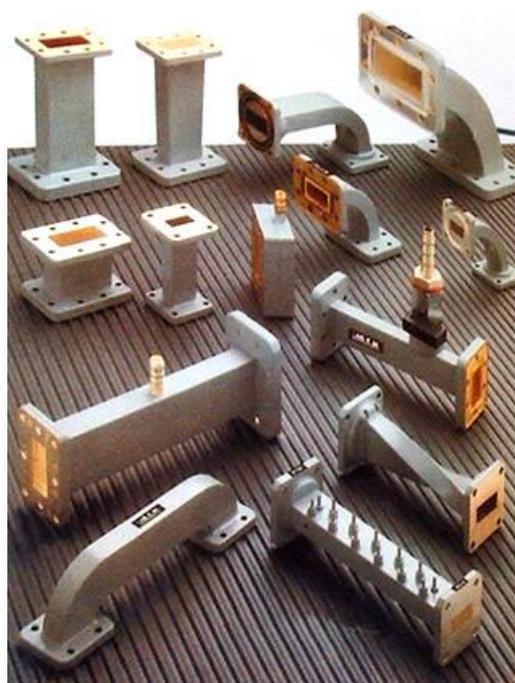


Figura 1. 10: Tipos de guíaondas.
<http://www.mccspain.com/guiaonda.htm>

1.2. El Espectro Radioeléctrico.

1.2.1. Introducción.

El espectro Radioeléctrico es un subconjunto de ondas electromagnéticas dentro del espectro electromagnético. Los equipos de recepción de radio, TV, telefonía móvil, entre otros, son sintonizadores de diferentes bandas de frecuencia, dichas bandas son divisiones del espectro radioeléctrico para brindar diferentes servicios de telecomunicaciones.

1.2.2. El Espectro Electromagnético.

El espectro electromagnético no es más que el conjunto de frecuencias a las que se produce radiación electromagnética, es decir, todas las frecuencias posibles de las ondas electromagnéticas. Aunque la teoría indica que el límite inferior de este espectro es 0, debido a que no existen frecuencias de valor negativo, no es del todo cierto en la práctica real, con equipos técnicos actuales se ha logrado detectar frecuencias electromagnéticas inferiores a 30 Hz y el valor máximo el infinito, en la parte real, este valor supera en poca cantidad a

los $2.9 \times 10^{27} \text{ GHz}$; en la figura 1.11 se visualiza la división del espectro electromagnético junto a los servicios que se brindan dentro de cada rango de las bandas de frecuencias y longitudes de ondas.

La UIT-R en su recomendación UIT-R V.431-7 detalla completamente la nomenclatura de las bandas de frecuencias con sus respectivas longitudes de onda que son aplicadas en las telecomunicaciones y la división del espectro electromagnético, en la tabla 1 se aprecia la nomenclatura establecida por la Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT.

Las bandas -1, 0, 1, 2, fueron incluidas en la tabla 1.1, debido a la conformidad con la proposición de la Unión Radiocientífica Internacional (URSI) para que sean consideradas las frecuencias más bajas del espectro [7].

La naturaleza de las ondas electromagnéticas indican que todas son iguales, pero el efecto que produce el recibir una longitud de onda de 1000 km es muy diferente que recibir radiación de otra onda pero con longitud de onda de $0,001 \text{ nm}$ siendo la de menor longitud más severa y perjudicial en el ser humano, debido a que mientras más alta sea la frecuencia de la señal mayor será la energía que transporta, tal como se lo expresó en el subcapítulo de ondas electromagnéticas.

Tabla 1. 1: Nomenclatura de las bandas de frecuencias establecida por la UIT-R.

[1].

Banda	Símbolo	Rango de frecuencias	Longitud onda (λ)	Energía (E)	Nomenclatura	Abrev.
-1	ELF	0.03 - 0.3 Hz	1 Gm – 10 Gm	124 aeV – 1,24 feV	Gigamétricas	B.Gm
0		0.3 - 3 Hz	100 Mm – 1 Gm	1,24 feV – 12,4 feV	Hectomegamétricas	B.hMm
1		3 - 30 Hz	10 Mm – 100 Mm	12,4 feV – 124 feV	Décamométricas	B.daMm
2		30 - 300 Hz	1Mm – 10 Mm	124 feV – 1,24 peV	Megamétricas	B.Mm
3	ULF	300 - 3000 Hz	100 km – 1 Mm	1,24 peV – 12,4 peV	Hectokilométricas	B.hkm
4	VLF	3 - 30 kHz	10 km – 100 km	12,4 peV – 124 peV	Miriamétricas	B.Mam
5	LF	30 - 300 kHz	1 km – 10 km	124 peV – 1,24 neV	Kilométricas	B.km
6	MF	300 - 3000 kHz	100 m – 1 km	1,24 neV – 12,4 neV	Hectométricas	B.hm
7	HF	3 - 30 MHz	10 m – 100 m	12,4 neV – 124 neV	Decamétricas	B.dam
8	VHF	30 - 300 MHz	1 m – 10 m	124 neV – 1,24 ueV	Métricas	B.m
9	UHF	300 - 3000 MHz	100 mm – 1 m	1,24 ueV – 12,4 ueV	Decimétricas	B.dm
10	SHF	3 - 30 GHz	10 mm – 100 mm	12,4 ueV – 124 ueV	Centimétricas	B.cm
11	EHF	30 - 300 GHz	1 mm – 10 mm	124 ueV – 1,24 meV	Milimétricas	B.mm
12		300 - 3000 GHz	100um – 1mm	1,24 meV – 12,4 meV	Decimilimétricas	B.dmm
13		3 - 30 THz	10 um – 100 um	12,4 meV – 124 meV	Centimilimétricas	B.cmm
14		30 - 300 THz	1 um – 10 um	124 meV – 1,24 Ev	Micrométricas	B.μm
15		300 - 3000 THz	100 nm – 1 um	1,24 eV – 12,4 eV	Decimicrométricas	B.dμm

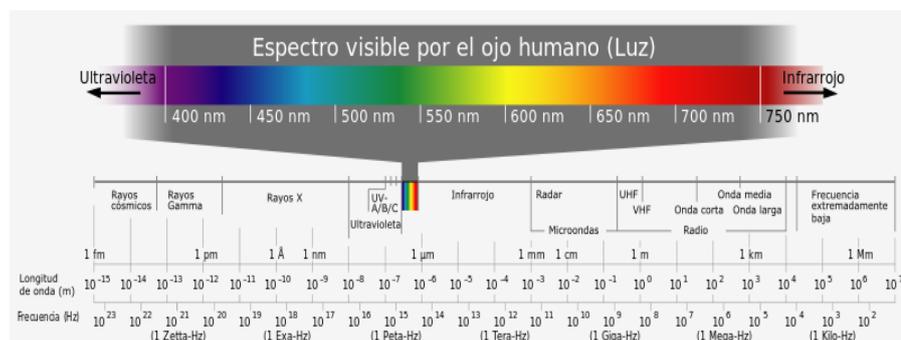


Figura 1. 11: División del Espectro Electromagnético.
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/b6/Electromagnetic_spectrum-es.svg/800px-Electromagnetic_spectrum-es.svg.png

1.2.3. El espectro Radioeléctrico.

El espectro radioeléctrico es un recurso limitado conformado por un conjunto de ondas electromagnéticas que se propagan a través de la atmósfera, por el espacio, las cuales en la actualidad son usadas en muchas aplicaciones para brindar varios servicios inalámbricos, por ejemplo: en las radiocomunicaciones, en la televisión y radiodifusión, para desarrollo de aplicaciones ICM (Industriales, científicas y médicas), en la aeronáutica, aviación, seguridad militar, entre otros, como se describió en subcapítulos anteriores, llegando a

un destino o receptor en forma de ondas de energía electromagnética.

De acuerdo con la Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada en el Ecuador, el espectro radioeléctrico se define como *“un recurso natural de propiedad exclusiva del Estado y como tal constituye un bien de dominio público, inalienable e imprescriptible, cuya gestión, administración y control corresponde al Estado”* [8].

Para gestionar el control del uso eficiente de este espectro, el cual es realizado por organizaciones de radiodifusión, televisión y comunicaciones inalámbricas, existe un ente regulatorio que es el encargado de realizar visualizaciones de señales en el aire, mediciones de frecuencias asignadas, niveles de las intensidades de campo para que estas emisiones no afecten al cuerpo humano, controlar el ancho de banda según un plan de frecuencias establecidos, realizar registros de ocupación del

espectro, corroborar que no existan interferencias y hacer que se cumpla la eliminación de lo mismo, controlar coberturas de estaciones autorizadas y así mismo eliminar estaciones clandestinas de radio o televisión sin autorización alguna.

1.2.4. La radiación radioeléctrica.

La radiación radioeléctrica es del tipo no ionizante ya que se encuentra por debajo de la radiación infrarroja dentro del espectro, debido a que no tienen la energía suficiente para causar ionización. La UIT-R estableció los 3000 *GHz* como límite superior de la radiación.

La ionización es un proceso donde se crean iones en el interior de células vivas, lo que puede provocar alteraciones en el ADN, u otros tejidos biológicos. Para que un tejido sienta daños por fuentes externas de radiación energética, esta radiación debe

estar por encima del valor mínimo de cantidad de energía que son los 10 eV (electrón-Voltio).

Los efectos de las radiaciones ionizantes y no ionizantes pueden causar graves daños en la salud del cuerpo humano. En el caso de las radiaciones ionizantes, tienen una energía fotónica capaz de romper enlaces a nivel molecular en las células; por otra parte las radiaciones no ionizantes poseen efectos biológicos, por ejemplo el inducir corrientes eléctricas en las células y causar un efecto de calentamiento, hecho que es presenciado al momento de hablar por celular durante un periodo excesivo, una esquematización de lo que sucede se lo observa en la figura 1.12.

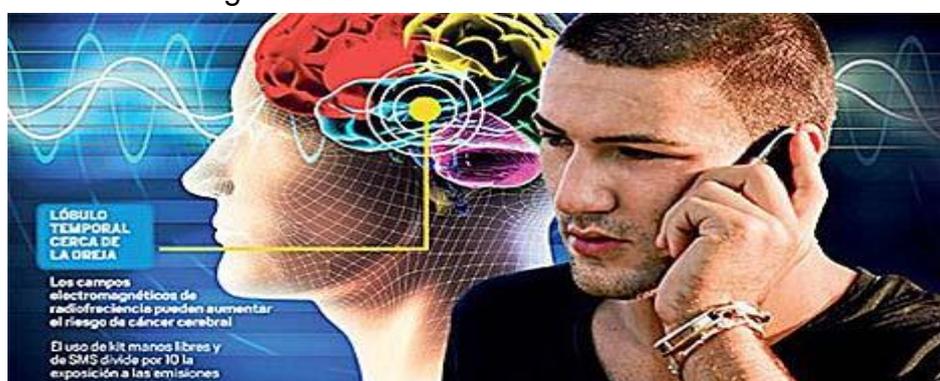


Figura 1. 12: Exposición por Radiación Radioeléctrica.
<http://blog.casapia.com/wp-content/uploads/2012/11/electrosensibilidad3.jpg>

1.3. Distribución del Espectro Radioeléctrico.

La UIT-R definió una distribución del espectro radioeléctrico según la clasificación de las frecuencias de la onda electromagnética difundida en el espacio como se detalla en la tabla 1. En la figura 1.13 se aprecian algunos de los servicios que se prestan y mayormente controlados dentro de esta porción del espectro Electromagnético.

En el Ecuador, este espectro es usado para emplear servicios de ondas de radio, como radiodifusión AM, FM y enlaces de satélites, en las bandas MF y HF. En el grupo de las altas y ultra altas frecuencias, VHF y UHF que van desde los 30 – 300 MHz y 300 – 3000 MHz respectivamente, opera la difusión de televisión, en la figura 1.14 se muestra gráficamente esta división y servicios prestado por bandas.

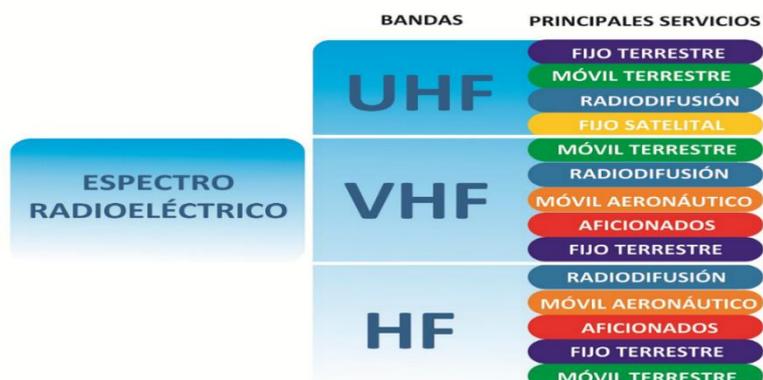


Figura 1. 13: Distribución del Espectro Radioeléctrico.
<http://controlenlinea.supertel.gob.ec/wps/portal/informacion/informaciontecnica/espectro/>

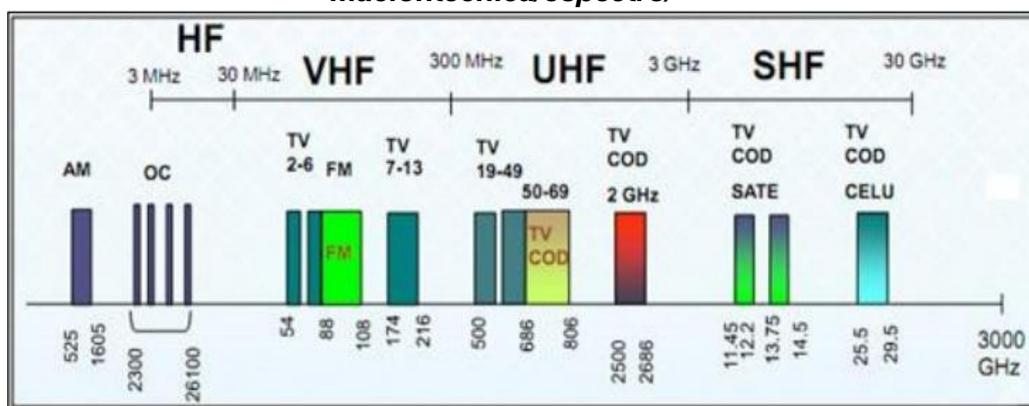


Figura 1. 14: División del Espectro Radioeléctrico.
http://www.supertel.gob.ec/images/power_point/SEMINARIO%20GUAYAQUIL.pdf

El principal objetivo de realizar una buena división del espectro eléctrico en bandas de frecuencias es evitar las interferencias por dos o más señales emitidas que estén operando de forma distinta, diferente sistema de modulación, diferente frecuencia.

CAPÍTULO 2.

2. RADIODIFUSIÓN AM.

2.1. Marco Regulatorio para la Radiodifusión de estaciones AM.

El empleo de la radio en nuestra república inició por el año 1929 en Riobamba. Luego el uso de radio fue incrementando de manera considerable hasta llegar al año 2005 donde para ese tiempo ya existían 875 estaciones de FM y 304 radioemisoras de AM [9].

“Radiodifusión sonora es el servicio de radiocomunicaciones cuyas emisiones sonoras se destinan a ser recibidas directamente por el público en general” [10].

El servicio de radiodifusión sonora en el Ecuador utiliza ciertas bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico, como se detalla en la tabla 2.

Tabla 2. 1: Bandas asignadas para radiodifusión. [10].

Bandas	Rangos de Frecuencias
Frecuencia Modulada (FM)	88 - 108 MHz
Amplitud Modulada (AM)	525 - 1705 KHz
Onda Corta Tropical (OC)	3000 - 5100 KHz (varios rangos)
Onda Corta Internacional (OC)	5100 - 2600 KHz (varios rangos)

longitudes de ondas de estas emisiones están dadas en metros, las cuales no se ven afectados por la refracción y reflexión de obstáculos, todo lo contrario, aquellos obstáculos logran hacer que haya algo de mejoría en la recepción de ondas con un equipo receptor.

Una de las más ventajosas observaciones que hay entre la radiodifusión AM y FM, es que AM tiene mayor cobertura a un costo más bajo que FM. En la actualidad, las emisoras de AM tienen baja audiencia debido a su calidad de audio, las interferencias de RF que son generadas por electricidad estática, ruido generado por motores, cuando existen tormentas perjudicando la señal de recepción de radio AM.

2.1.2. Estaciones concesionadas de Radiodifusión AM.

En Guayas hay un total de 37 estaciones de radio de amplitud Modulada, AM, concesionadas y operando a nivel provincial,

donde incluyen ciudades como Milagro, El Empalme, entre otras, y en la ciudad de Guayaquil hay concesionadas 29 estaciones que brindan servicios en el área local y algunas emisoras a sus alrededores como Radio Caravana, Super K800, etc., en la tabla 3 se detallan los concesionarios y frecuencia de transmisión asignada en Guayaquil [9].

**Tabla 2. 2: Concesiones de radiodifusión AM.
[9].**

No.	Nombre Estación	Frecuencia [KHz]
1	RADIO SANTIAGO	540
2	C.R.E.SATELITAL	560
3	UNO	580
4	RADIO CIUDADANA	600
5	MORENA AM	640
6	CARROUSEL	660
7	RADIO ATALAYA	680
8	RADIO SUCRE	700
9	CARAVANA AM	750
10	REVOLUCION	770
11	K 800	800
12	HUANCAVILCA	830
13	SAN FRANCISCO	850
14	CRISTAL	870
15	FUTBOL AM	910
16	AMIGA	1010
17	ECUANTENA	1030
18	AGUILA	1050
19	SISTEMA DOS	1080
20	FILADELFIA	1170
21	ESTUDIO UNIVERSIDAD CATOLICA	1190
22	RADIO EL MUNDO	1210
23	GALACTICA	1230
24	RADIO UNIVERSAL	1270
25	CENIT	1300
26	TELERADIO A.M.	1350
27	Z UNO	1400
28	DINAMICA	1490
29	INOCAR	1510

2.1.3. Marco Regulatorio para Radiodifusión.

En la actualidad, la radiodifusión en el Ecuador sigue usando sistemas analógicos para radio AM y FM pero se prevé migrar a radio digital en los próximos años.

La SUPERTEL es el ente Estatal que se encarga de regular, controlar, monitorear en los aspectos técnicos los servicios de telecomunicaciones, radiodifusión, televisión y el correcto uso del espectro radioeléctrico.

En el decreto Ejecutivo No. 8 que se publicó en el 2009, se fusiona el Consejo Nacional de Radio y Televisión, CONARTEL, con el Consejo Nacional de Telecomunicaciones, CONATEL.

La Secretaría Nacional de Telecomunicaciones, SENATEL, es quien administra recursos como el espectro de frecuencias, ejecutando normas establecidas por el CONATEL.

Las normativas y regulaciones que toda estación de radio debe considerar se encuentran en Reglamento a la Ley de Radiodifusión y Televisión publicado en el gobierno de Sixto Durán Ballén en el año 1996. En el capítulo 1 de este Reglamento se generalizan algunas disposiciones como:

El art. 2 del Capítulo 1 determina que el control técnico y administrativo de estaciones de radiodifusión están a cargo de la SUPERTEL que tiene por objeto ordenar el buen funcionamiento de las estaciones.

El art. 3 determina que el espectro radioeléctrico es patrimonio del Estado quien tiene derecho a la utilización de frecuencias no asignadas para la operación de estaciones sonoras de radiodifusión, el CONARTEL (Consejo Nacional de Radiodifusión y televisión) era el encargado de reservar y asignar al Estado bandas de frecuencias para brindar servicios públicos sin fines de lucro a nivel nacional, ahora lo maneja la SUPERTEL.

El Art. 5 clasifica las estaciones según sea el objetivo de las emisiones en estaciones públicas y comerciales privadas.

Con referencias a las concesiones de forma general, la SUPERTEL autorizará en funcionamiento y operación de estaciones de radio según la asignación de frecuencia operativa, cumpliendo con las normas técnicas, administrativas y convenios internacionales ratificados por el país.

El Art. 40 determina que el rango de potencia en el que puedan las estaciones de Radio es determinado por el CONATEL en base a estudios técnicos de interferencias y calidad de servicio dentro del área de cobertura por la estación [10].

2.2. Modulación en Amplitud AM.

En la modulación de amplitud, conocida también como AM, el objetivo principal es de variar la amplitud de la señal portadora, que cuenta con una frecuencia bastante elevada en comparación con el valor instantáneo de la señal mensaje, llamada señal modulante. Gracias a esta modulación de amplitud, la señal portadora es la que contiene la información en la forma de cambios de amplitud. Se usa básicamente en la radiodifusión de señales de audio y video puesto que este tipo de modulación es relativamente barata y con una baja calidad de transmisión [2].

La banda de frecuencias comerciales para la radiodifusión en onda media comprende desde los 525 kHz hasta los 1605 kHz en la región 2, esta incluye a nuestro país Ecuador. Además la modulación en amplitud es usada para la radiocomunicación móvil de dos sentidos, así como también para las comunicaciones de radio internacional y nacional de onda corta [9].

A un modulador de amplitud, se lo define como un circuito no lineal con dos señales entrantes, la primera es la señal portadora de frecuencia única y con amplitud constante, la segunda es la señal de información, la cual modula a la señal portadora y sus ondas pueden ser de frecuencia simple o de forma compleja compuesta por varias frecuencias originadas de una o más fuentes [2].

En la figura 2.2 se representa el proceso de modulación en amplitud.

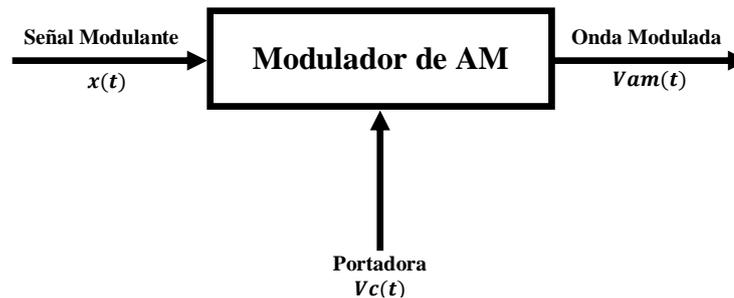


Figura 2. 2: Modulación en AM.
[1].

2.2.1. AM de doble banda lateral con portadora.

Se conoce por la historia, que el primer tipo de modulación en desarrollarse fue la conocida como AM convencional o simplemente AM, y así se la suele llamar a la modulación de amplitud de doble banda lateral con portadora (DSB-FC, por sus siglas en inglés) [11].

Para analizar las ya mencionadas modulaciones, se asumirá a la señal $x(t)$, como señal moduladora que cumple con lo siguiente:

1. $|x(t)| \leq 1$ (módulo máximo que es menor o igual a uno).
2. $X(f) = 0 \quad |f| > B$ (señal limitada en banda).
3. $\langle x(t) \rangle = 0$ (señal de media nula).

Si no se cumple lo anterior, se puede hacer una normalización sin pérdida de generalidad:

- Si $|x(t)|_{max} \neq 1$ entonces $x(t) = x(t)/|x(t)|_{max}$
- Si $\langle x(t) \rangle \neq 0$ entonces $x(t) = x(t) - \langle x(t) \rangle$

La característica principal de la modulación AM es la similitud de la forma de onda, entre la envolvente de la señal modulada y la señal moduladora, es decir, el mensaje. Esto se da gracias a que se agrega el mensaje trasladado a la portadora no modulada. La señal modulada tiene una forma de onda que responde a la siguiente fórmula:

$$x_{AM}(t) = A_c[1 + mx(t)] \cos(2\pi f_c t) \quad (2.1)$$

Donde A_c es la amplitud de la portadora, m es el índice de modulación, $x(t)$ es la señal moduladora o mensaje y f_c es la frecuencia de portadora.

El índice de modulación m es una constante que nos marca la profundidad de la envolvente, está limitada entre 0 y 1. Cuando $m = 1$, se obtiene una modulación al cien por cien. Con $m > 1$ se tiene una sobremodulación que ocasiona distorsión de la envolvente. En la figura 2.3, se puede observar una modulación en amplitud con índice de modulación $m = 1/\sqrt{2}$, mediante una simulación numérica.

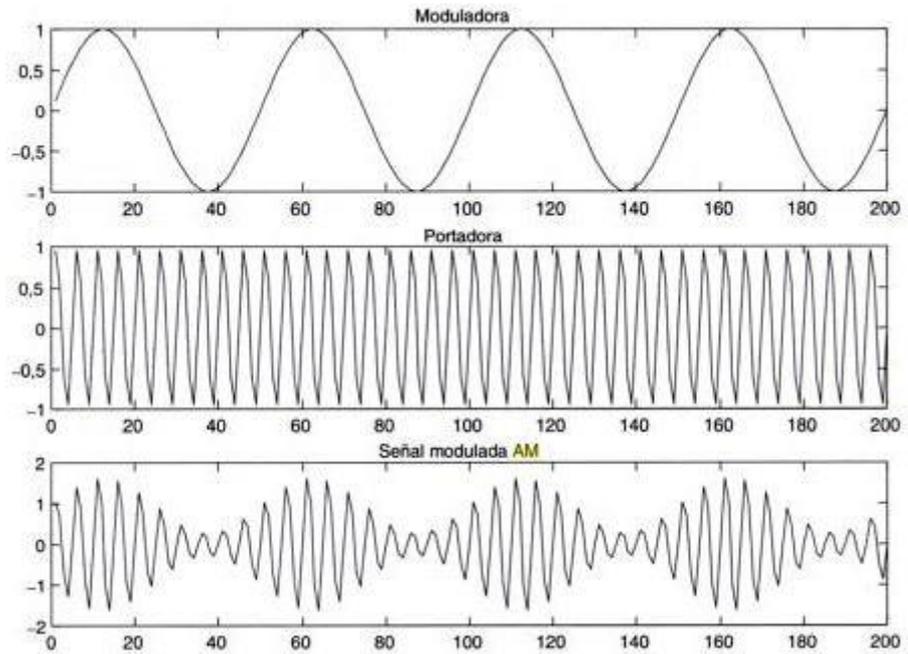


Figura 2. 3: Ejemplo de señal AM con portadora.
[11].

A la ecuación (2.1), se le aplica la transformada de Fourier, obteniendo el espectro de una señal modulada AM con portadora:

$$X_{AM}(f) = \frac{A_c}{2} [\delta(f - f_c) + \delta(f + f_c)] + \frac{mA_c}{2} [X(f - f_c) + X(f + f_c)]$$

(2.2)

La expresión (2.2) corresponde al espectro de la señal moduladora centrado en $\pm f_c$ y dos deltas causadas por la transmisión de la portadora, centradas así mismo en $\pm f_c$. En la figura 2.4 se observa el módulo del espectro en AM. Este espectro se lo obtuvo mediante la FFT y se realizó una normalización del eje de frecuencias discretas por un factor 2π .

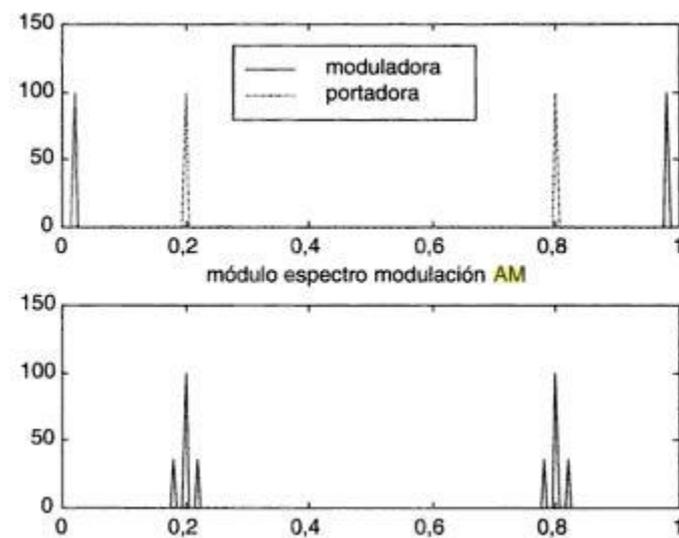


Figura 2. 4: Espectro de la modulación AM.
[11].

Un análisis de suma importancia es el de la potencia media transmitida al enviar una señal modulada en AM con portadora.

La potencia media transmitida se la define como:

$$S_T = E[x_{AM}^2(t)] = \langle x_{AM}^2(t) \rangle \quad (2.3)$$

Siendo $E[\]$ el operador media, y sustituyendo la ecuación (2.1) en la ecuación (2.3) se obtiene:

$$S_T = \frac{A_c^2}{2} [1 + m^2 \langle x^2(t) \rangle] \quad (2.4)$$

Donde $\langle x(t) \rangle = 0$ y la media del producto de las dos señales incorrelacionadas es el producto de las medias. A partir de la figura 1.18, S_T incluye a la potencia de componente de frecuencia de portadora más dos bandas simétricas laterales, esto es:

$$S_T = \frac{A_c^2}{2} + m^2 \langle x^2 \rangle \frac{A_c^2}{2} = P_c + 2P_{BL} \quad (2.5)$$

Donde la potencia de portadora es:

$$P_c = \frac{1}{2} A_c^2 \quad (2.6)$$

y la potencia de las bandas laterales es:

$$2P_{BL} = \frac{1}{2} A_c^2 m^2 \langle x^2 \rangle \quad (2.7)$$

El límite superior en P_{BL} se lo obtiene respetando la regla de

$$\text{restricción } \begin{cases} m \leq 1 \\ |x(t)|_{max} \leq 1 \end{cases}$$

Por lo tanto:

$$P_c = S_T - 2P_{BL} \geq \frac{1}{2} S_T \quad (2.8)$$

Esta ecuación nos da a entender que por lo menos el 50% de la potencia transmitida, es usada para enviar la portadora, además que la portadora no contiene ninguna información y es independiente del mensaje.

Las principales características de la modulación AM son las siguientes:

- **Ancho de banda igual a $2B$** , es decir que la señal modulada, tiene el doble del ancho de banda que el de la señal sin modular (mensaje en banda base).

- $f_c \gg B$. Esto indica que la portadora debe de ser mucho mayor que el ancho de banda de la señal moduladora, evitando así producir un solapamiento de las bandas, como se muestra en la figura 2.5.
- $m \leq 1$ para no producir una sobremodulación, que ocasionaría que no se pueda recuperar el mensaje original.

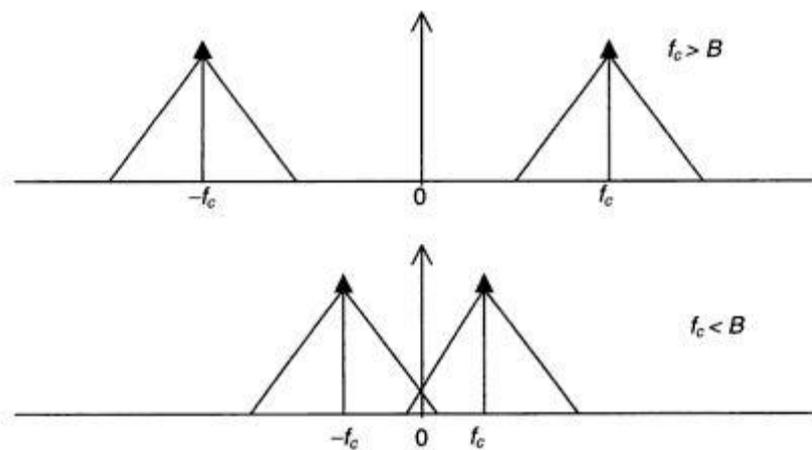


Figura 2. 5: Espectros de una señal AM para $f_c > B$ y $f_c < B$ [11].

2.2.2. AM de doble banda lateral con portadora suprimida.

En el caso anterior de la modulación AM convencional, se transmite la portadora independiente del mensaje. Si no se

enviara dicha portadora, se podría centrar a transmitir toda la potencia de la señal información. Esto trae como resultado una modulación de amplitud de doble banda lateral con portadora suprimida (DBL o también DSB-SC, por sus siglas en inglés), lo que provoca que el índice de modulación carezca de significado, por tanto la expresión que la describe es:

$$x_c(t) = x(t)A_c \cos(2\pi f_c t) \quad (2.9)$$

En DBL la señal modulada es producida por una onda senoidal que es la portadora, modulada directamente por el mensaje. En esta clase de modulación, la envolvente de la señal modulada corresponde al módulo del mensaje, más no con la forma del mismo. La figura 2.6 muestra la señal modulada en doble banda lateral con portadora suprimida.

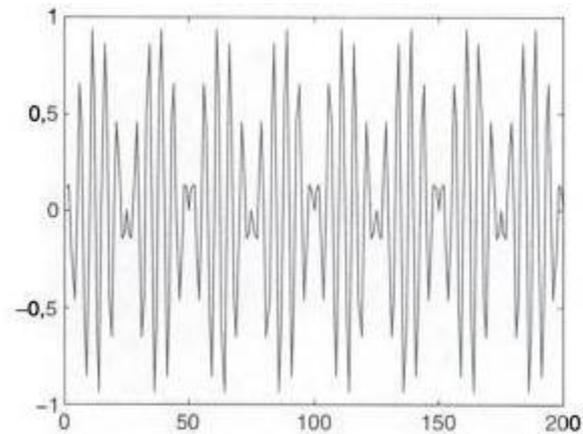


Figura 2. 6: Señal modulada en DBL.
[11].

Viéndola desde el lado de la frecuencia, la modulación DBL presenta un espectro formado por el la señal mensaje o moduladora centrado en $\pm f_c$ según la siguiente ecuación:

$$X_{DBL}(f) = \frac{A_c}{2} X(f) * [\delta(f - f_c) + \delta(f + f_c)] = \frac{A_c}{2} [X(f - f_c) + X(f + f_c)] \quad (2.10)$$

En la figura 2.7, se puede apreciar que la amplitud del espectro de la señal original queda dividida por dos.

La potencia media transmitida para la modulación DBL es la siguiente:

$$S_T = 2P_{BL} = \frac{1}{2} \langle x^2 \rangle A_c^2 \quad (2.11)$$

La expresión (2.11) indica que la potencia media total es la potencia necesaria para poder transmitir ambas bandas laterales, sin el gasto de la potencia al transmitir la portadora, aumentando la eficiencia en comparación a AM convencional.

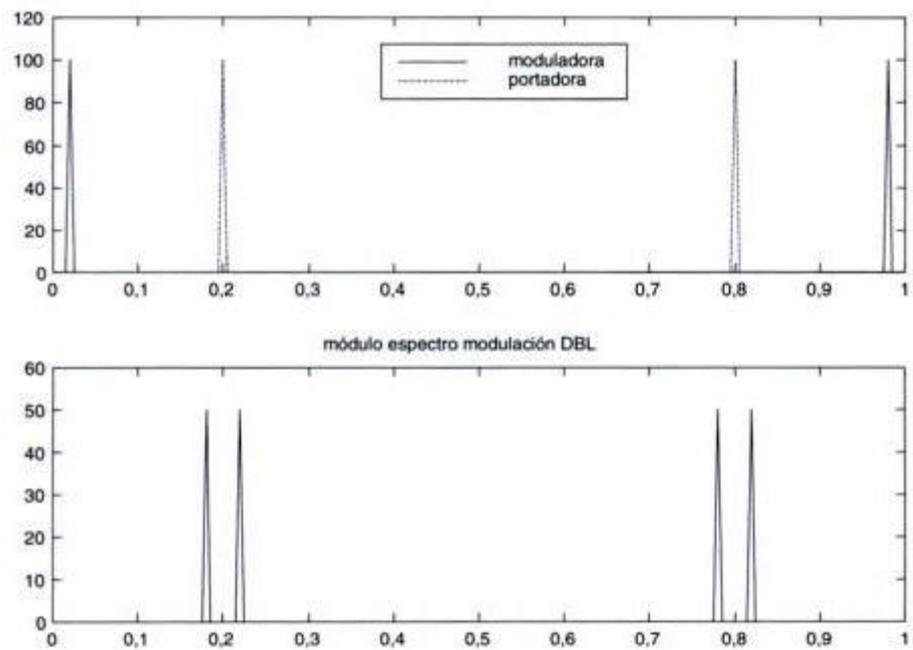


Figura 2. 7: Señal modulada en DBL.
[11].

La modulación en DBL tiene como ventaja que aprovecha toda la potencia, pero necesita de circuitos de detección más complejos, inverso a la demodulación AM, que requiere una potencia de transmisión más alta pero basta un detector de envolvente para recuperar la información de la señal modulada.

Las características de la modulación DBL son iguales a las de AM convencional:

- **Ancho de banda igual a $2B$** , siendo B el ancho de banda del mensaje en banda base.
- $f_c \gg B$. La frecuencia de portadora debe ser mucho mayor al ancho de banda de la señal en banda base.

2.2.3. AM de banda lateral única.

La modulación DBL permite una mejor eficiencia comparada con AM convencional, puesto que dedica toda la potencia a

transmitir la señal de información. Pero para señales reales, las dos bandas laterales son redundantes, ya que son simétricas. Se puede enviar la misma información, ocupando solo la mitad del ancho de banda. Para esto, se elimina una de las bandas laterales, dando lugar a la modulación en banda lateral única (BLU o SSB-SC, por sus siglas en inglés). Si se elimina la banda lateral inferior, se obtiene una modulación en banda lateral única superior (BLU_{sup}), de lo contrario si se elimina la banda lateral superior, se obtiene una modulación en banda lateral única inferior (BLU_{inf}).

La expresión de la modulación BLU es la siguiente:

$$x_{BLU}(t) = A_c[x(t) \cos(2\pi f_c t) \mp \tilde{x}(t) \sin(2\pi f_c t)] \quad (2.12)$$

Donde se toma el signo inferior para la banda lateral inferior y viceversa, y $\tilde{x}(t)$ representa a la transformada de Hilbert de la señal moduladora, y sus expresiones son:

$$\tilde{x}(t) = x(t) * \left(\frac{1}{\pi t}\right) \quad (2.13)$$

$$\tilde{X}(f) = X(f)(-j \operatorname{sign}(f)) \quad (2.14)$$

En el dominio del tiempo, la transformada de Hilbert se representa como un retardo de $\pi/2$ de la señal ésta es una onda senoidal, en cambio si la moduladora es un pulso rectangular de duración T , la envolvnete de la modulación se la muestra en la figura 2.8.

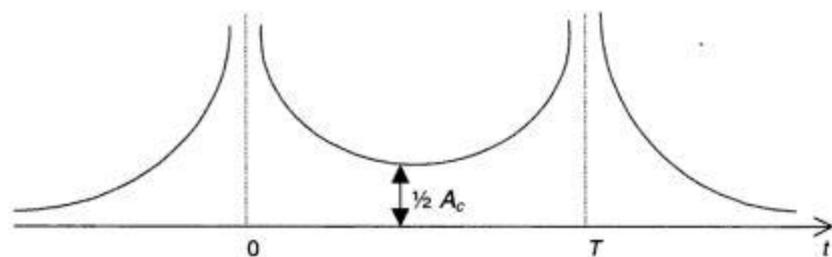


Figura 2. 8: Envolvente de una modulación DBL con moduladora cuadrada.

[11].

Partiendo del espectro de una señal DBL, se puede obtener una modulación BLU, usando un filtro adecuado de banda lateral, como se muestra en la figura 2.9. Los filtros convenientes para la obtención de banda lateral inferior, banda lateral superior y sus equivalentes de paso bajo son los mostrados en la figura 2.10.

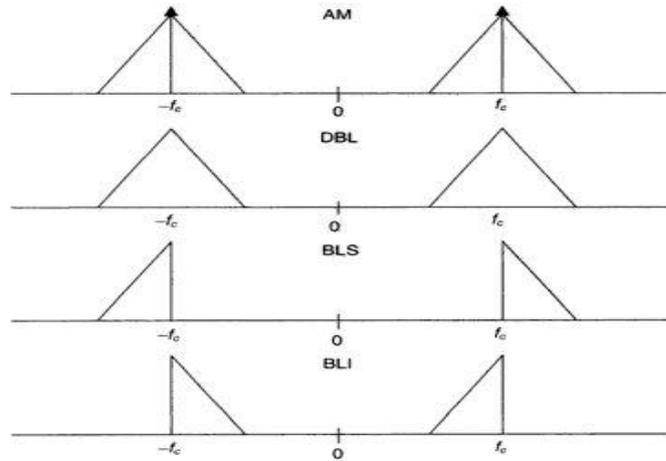


Figura 2. 9: Comparativa de espectros de señales de AM, DBL, BLU (superior, inferior).

[11].

Los filtros equivalentes de paso bajo se pueden escribir empleando la función escalón, mediante:

Filtro de banda lateral superior:

$$H_{LP}(f) = H_{BP}(f + f_c)U(f + f_c) = U(f) - U(f - B)$$

Filtro de banda lateral inferior:

$$H_{LP}(f) = H_{BP}(f + f_c)U(f + f_c) = U(f + B) - U(f)$$

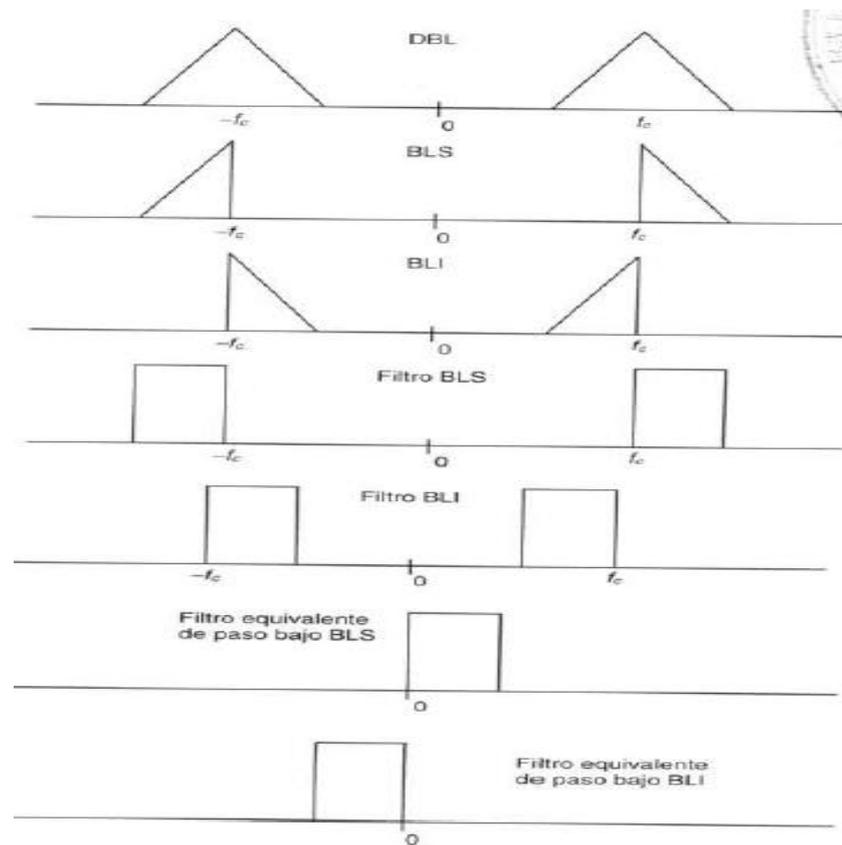


Figura 2. 10: Filtros de banda lateral para generar BLU.
[11].

A diferencia de AM convencional y la DBL, la componente en cuadratura de la BLU no es cero, sino que es:

$$Envolvente_{BLU}(t) = \frac{1}{2} A_c \sqrt{x^2(t) + \tilde{x}^2(t)} \quad (2.15)$$

Mientras que $\phi_{BLU} = \arctg\left(\frac{\tilde{x}(t)}{x(t)}\right)$

Como la modulación BLU es de banda lateral única, las dos bandas DBL deben ser tales que sus bandas laterales se eliminen en un lado de f_c pero sumadas en el otro lado, permitiendo un método alternativo de generar ondas BLU.

En la figura 2.11 se muestra el espectro de la modulación BLU inferior, donde sólo aparece una banda lateral centrada en $f_c - f_m$.

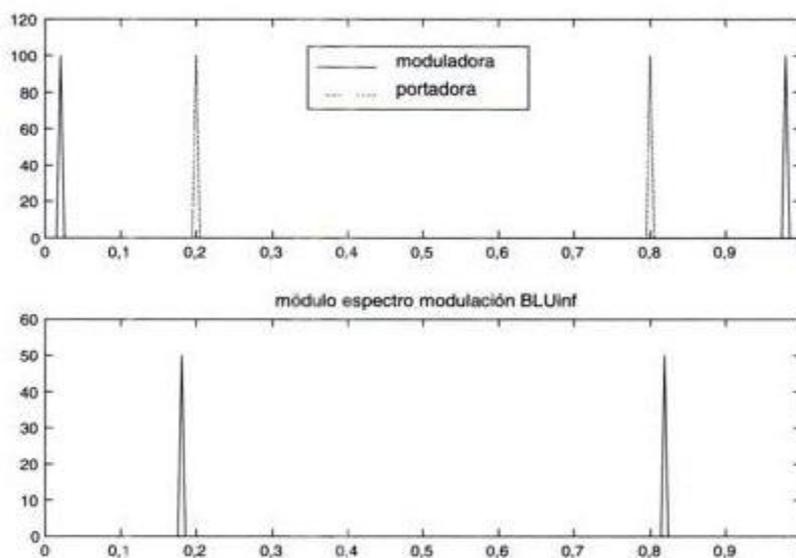


Figura 2. 11: Espectro de una señal BLU.
[11].

En la figura 2.12 se muestra en el dominio del tiempo donde la señal modulada no posee la forma de la señal moduladora, de hecho, en el caso de BLU inferior y la moduladora senoidal, la expresión (2.12) se convierte en una señal senoidal de frecuencia $f_c - f_m$.

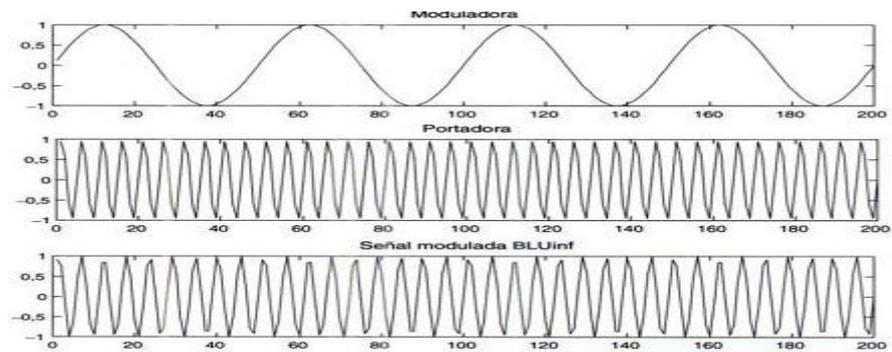


Figura 2. 12: Señal modulada en BLU.
[11].

Debido a que se transmite únicamente una banda lateral, la potencia media es la mitad que en la modulación DBL.

$$S_T = P_{BL} = \frac{A_c^2}{4} \langle x^2(t) \rangle \quad (2.16)$$

Las características de la modulación BLU son:

- Ancho de banda igual a B . Ocupa similar ancho de banda que la señal moduladora en banda base.

- $f_c \gg B$.

2.2.4. AM de banda lateral vestigial.

Este tipo de modulación es un caso intermedio entre la modulación en doble banda lateral y la modulación en banda lateral única, ya que se elimina sólo una parte de las bandas laterales, dejando un vestigio de una de las bandas. Tiene como finalidad mejorar las prestaciones en bajas frecuencias del mensaje con respecto a la BLU.

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

$$v_{BLV}(t) = \frac{A_c}{2} [x(t) \cos \omega_o t - (\tilde{x}(t) - f(t)) \sin \omega_o t] \quad (2.17)$$

Desde una señal moduladora con un espectro en banda base como el expuesto en la figura 2.13 en su parte superior, se desea obtener el espectro BLV, mostrado en la parte inferior de dicha figura.

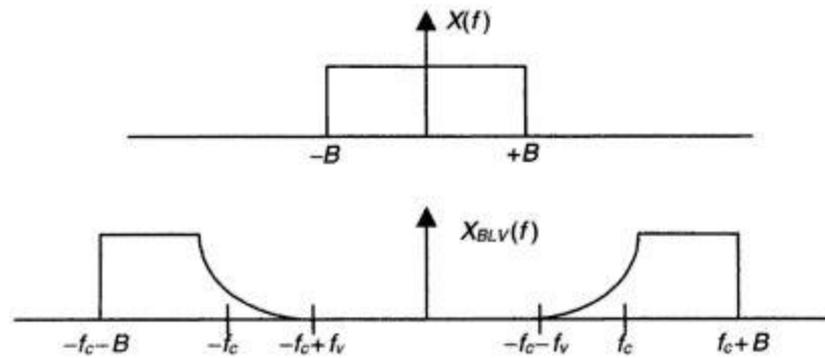


Figura 2. 13: Ejemplo de señal modulada en BLV.
[11].

Las principales características de la modulación BLV son:

- $BW = B + f_v$. Su ancho de banda es igual al de la señal moduladora en banda base más la porción ocupada por el vestigio.
- $f_c \gg B$.
- La potencia se encuentra en el intervalo de:

$$\frac{1}{4}A_c^2 \langle x^2 \rangle \leq S_T \leq \frac{1}{2}A_c^2 \langle x^2 \rangle \quad (\text{Según el vestigio}) \quad (2.18)$$

2.3. Demodulación en Amplitud.

Al proceso inverso de la modulación, se lo llama demodulación, y básicamente es convertir la onda de amplitud modulada a su estado original de información. Dependiendo del tipo de modulación de amplitud usado, el método de demodulación variará, se describe de manera breve los métodos más empleados a continuación.

2.3.1. Demodulación Sincrónica.

La demodulación consiste en una nueva traslación de frecuencias con el objetivo de desplazar a frecuencias más bajas la señal de entrada. Al multiplicar la señal de entrada por una onda senoidal, se consigue la conversión de frecuencia, en DBL por ejemplo se obtiene lo siguiente:

$$x(t) \cos \omega_1 t \cos \omega_2 t = \frac{1}{2} x(t) \cos(\omega_1 - \omega_2)t + \frac{1}{2} x(t) \cos(\omega_1 + \omega_2)t \quad (2.19)$$

Los dispositivos que pueden reducir o aumentar la frecuencia central de la señal con un filtrado apropiado se los conoce como mezcladores o convertidores de frecuencia. En la figura 2.14 se observa su diseño.

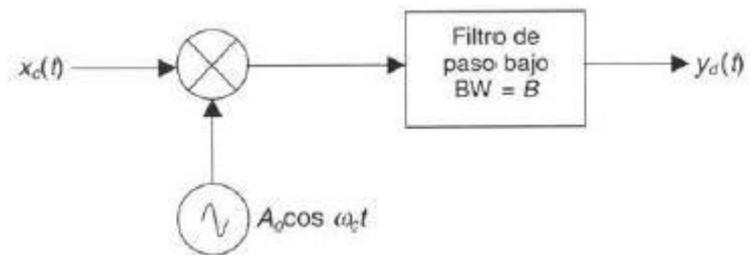


Figura 2. 14: Convertidor de frecuencia.
[11].

Con el demodulador de producto observado en la figura 2.14, se puede detectar todos los tipos de modulación lineal, siempre y cuando se cumpla que el ancho de banda base del mensaje sea igual al ancho de banda del filtro, y además $f_c = f_2$.

2.3.2. Demodulación de Envolvente.

Gracias a la similitud de la forma de onda entre la envolvente AM y el mensaje, se puede realizar la demodulación al extraer la envolvente sin tomar en cuenta la sincronización necesaria en la demodulación sincrónica.

El diseño del detector de envolvente simplificado se lo puede observar en la figura 2.15. Su forma de operar empieza con la señal en el punto A , que corresponde al voltaje de entrada v_{in} . La resistencia R_1 y el capacitor C_1 forman en conjunto el filtro de paso bajo, que responde a las variaciones en los picos del voltaje de entrada v_{in} . Se necesita una constante de tiempo considerablemente grande con respecto a $1/f_c$ para el correcto funcionamiento del circuito. Así mismo se requiere que la frecuencia de portadora sea mucho mayor que el ancho de banda del mensaje, esto es $f_c \gg B$. La señal en el punto A es relativamente igual a la envolvente de la señal v_{in} y el capacitor C_1 se descarga sólo entre picos de la portadora,

de forma ligera. Ya como paso final, los componentes R_2 y C_2 excluyen la componente continua de la señal.

En la figura 2.16 se puede visualizar las señales obtenidas en los puntos A y B del circuito demodulador presentado en la figura 2.15.

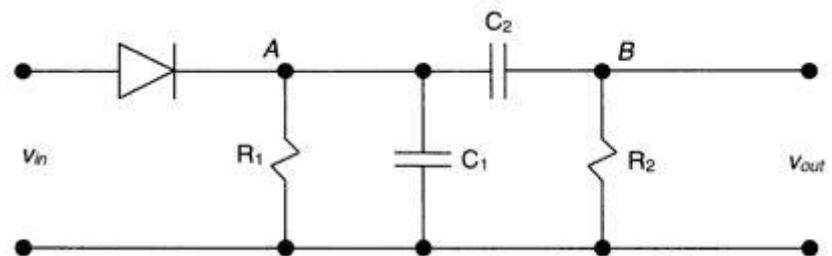


Figura 2. 15: Demodulador de envolvente.
[11].

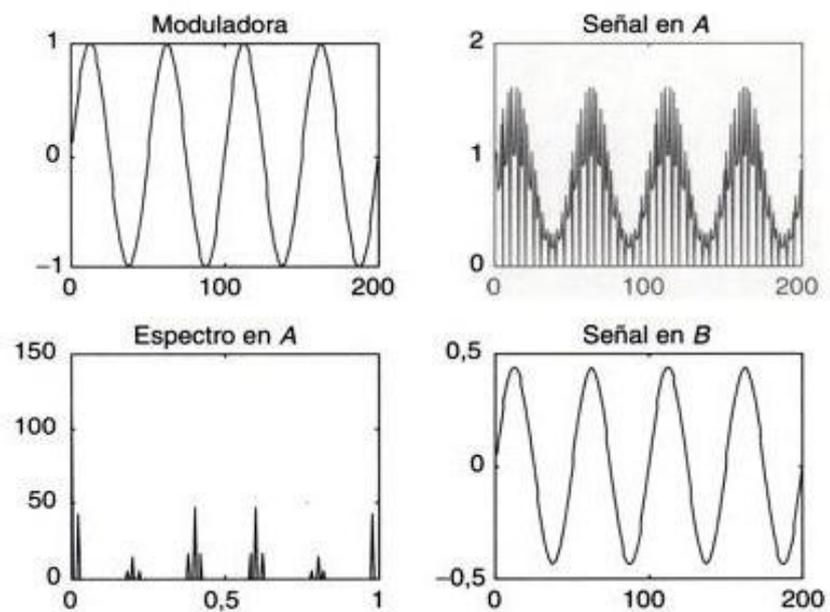


Figura 2. 16: Señales en los puntos A y B del demodulador de envolvente.

[11].

Para la utilización de este tipo de demodulación, se requiere que la señal entrante al demodulador contenga la portadora, por lo tanto, se puede demodular modulaciones lineales sin portadora, si preliminarmente se le suma la portadora en el receptor

CAPÍTULO 3.

3. PROCESO DE MEDICIÓN DEL ESPECTRO.

3.1. Descripción del escenario.

El escenario de estudio para este trabajo, se lo llevó a cabo en el sector de la Prosperina, puntualmente en la Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación (FIEC), que está ubicado geográficamente (Latitud 2° 8' 40.4874"S y Longitud 79° 58' 3.453"W), tal como se lo muestra en la figura 3.1.



Figura 3. 1: Localización geográfica de la FIEC.
<https://www.google.com.ec/maps/@-2.1474427,-79.9673843,405a,20y,41.62t/data=!3m1!1e3?hl=es>

3.2. Equipos utilizados.

Para el desarrollo de este proyecto, se requiere de dos partes fundamentales como son la adquisición de datos obtenidos de la antena receptora AM, por medio del analizador de espectros AGILENT E4404B y recopilados gracias al software INTUILINK; por otra parte está el análisis de las muestras recopiladas y el respectivo modelamiento mediante el uso del programa MATLAB.

3.2.1. Antena receptora AM.

El dispositivo que tiene como misión recoger y difundir ondas radioeléctricas, se lo denomina antena. Y son las antenas las que convierten las ondas electromagnéticas en señales eléctricas y viceversa. En la actualidad existen varios tipos de antenas pero en general todas ellas cumplen la misma función que es de servir receptor-emisor de una señal de radio [12].

Se requiere, para la adquisición de datos, una antena que opere dentro del rango de frecuencia asignado, en este caso la banda AM. Ésta será ubicada en la parte superior del edificio de la FIEC, por el sector del laboratorio de telecomunicaciones.

La antena usada, fue una MIDLAND 18-244 M con base magnética, también denominada Antena magnética CB Móvil. Tiene una longitud de 66 cm y una ganancia de 1.5 dB.

Fabricada con acero inoxidable para una conservación exterior perfecta [13]. Más especificaciones a continuación:

Tabla 3. 1: Especificaciones técnicas de la Antena Receptora AM.
[13].

Ganancia	1,5 dB
Longitud	66 cm
Impedancia	50 ohm
Peso	500 gr
Diámetro de la base magnética	9 cm
Longitud del cable RG58	2.75 m

Para su instalación fue necesario colocar una platina de forma cuadrada, de 12 cm por lado, asegurada por medio de tornillos de un cuarto de pulgada. La antena por su base magnética queda adherida a la platina y lista para su uso.

3.2.2. Analizador de Espectro.

Un analizador de espectros se lo puede describir como un equipo que realiza mediciones de forma electrónica, permitiéndonos visualizar en su pantalla el espectro de frecuencias de las señales conectadas a la entrada; éstas pueden ser de cualquier tipo de ondas acústicas, ópticas o eléctricas.

Su sistema de coordenadas suele representarse con una escala logarítmica en el eje de las ordenadas al nivel dBm del contenido espectral de la señal, y en el eje de abscisas, se representa la frecuencia, número de frecuencias tomadas y otras opciones dependiendo del tipo de analizador usado [14].

Para la elaboración de este proyecto se usará el analizador de espectros de la marca AGILENT modelo E4404B, que abarca un ancho de banda desde los 9kHz hasta los 6.7GHz, que es

compatible con el software INTUILINK, mediante comunicación usb [15].

Se procede a configurar el analizador de espectros, en el rango de frecuencias asignado a la radiodifusión AM, que abarca desde los 525KHz hasta los 1705KHz.

Para todas las mediciones, se necesita calcular un umbral de decisión, el cual nos va a permitir determinar la utilización de cada canal, que depende del ruido térmico y del ancho de banda establecido.

3.2.3. Software de adquisición de datos INTUILINK.

Son muchos los obstáculos entre los instrumentos usados y los computadores, pero gracias al software INTUILINK, esta barrera

se ve mermada, pues nos permite acceder al instante, con facilidad, cuando y donde sea a los datos de medición, para poder analizar fácilmente la información, mejorar la toma de decisiones y diseñar mejores productos [16].

Actúa básicamente como el puente entre los instrumentos y la aplicación para las computadoras, y su uso es bastante sencillo, se lo encuentra en el apartado complementos dentro de EXCEL, en forma de una barra de herramientas, donde se puede manipular la imagen, guardar datos, etc.

La configuración de los parámetros a ser medidos, se centran en la cantidad de muestras que se desea obtener, y está directamente relacionado con la probabilidad de error que se quiera manejar. En nuestro caso, tomamos las respectivas muestras en el intervalo de 2 minutos con 30 segundos, actualizando las mediciones cada 12 horas de forma remota.

3.2.4. Software procesamiento de datos MATLAB.

Para poder efectuar el procesamiento de los datos obtenidos, así como también el respectivo análisis y un posible modelamiento, es necesario utilizar un programa que cumpla a cabalidad con todos los requerimientos necesarios, es por esto, que el software elegido es MATLAB.

MATLAB es un programa que nos sirve para analizar datos, desarrollar algoritmos y así también poder crear modelos y aplicaciones. Las herramientas, las funciones matemáticas, y el lenguaje incorporado permiten explorar distintas perspectivas, llegando así a una solución mucho más rápida que con las ya conocidas hojas de cálculo o también de los ya tradicionales lenguajes de programación como lo son Java o C/C++ [17].

MATLAB se puede utilizar en una extensa variedad aplicativa como por ejemplo los sistemas de control, medidas y pruebas,

procesamiento de imagen, audio y video, finanzas computacionales y biología, pero en lo que puntualmente se lo usará en este proyecto es en el procesamiento de señales y comunicaciones con su análisis concerniente.

3.2.5. Software de acceso remoto TEAMVIEWER.

Para llevar un control adecuado de las muestras, se necesita estar monitoreando cada cierto lapso, cómo está el comportamiento de la señal, puesto que se realiza una configuración de tiempo y número de muestras, y este, requiere ser actualizado para poder tomar mediciones durante los siete días.

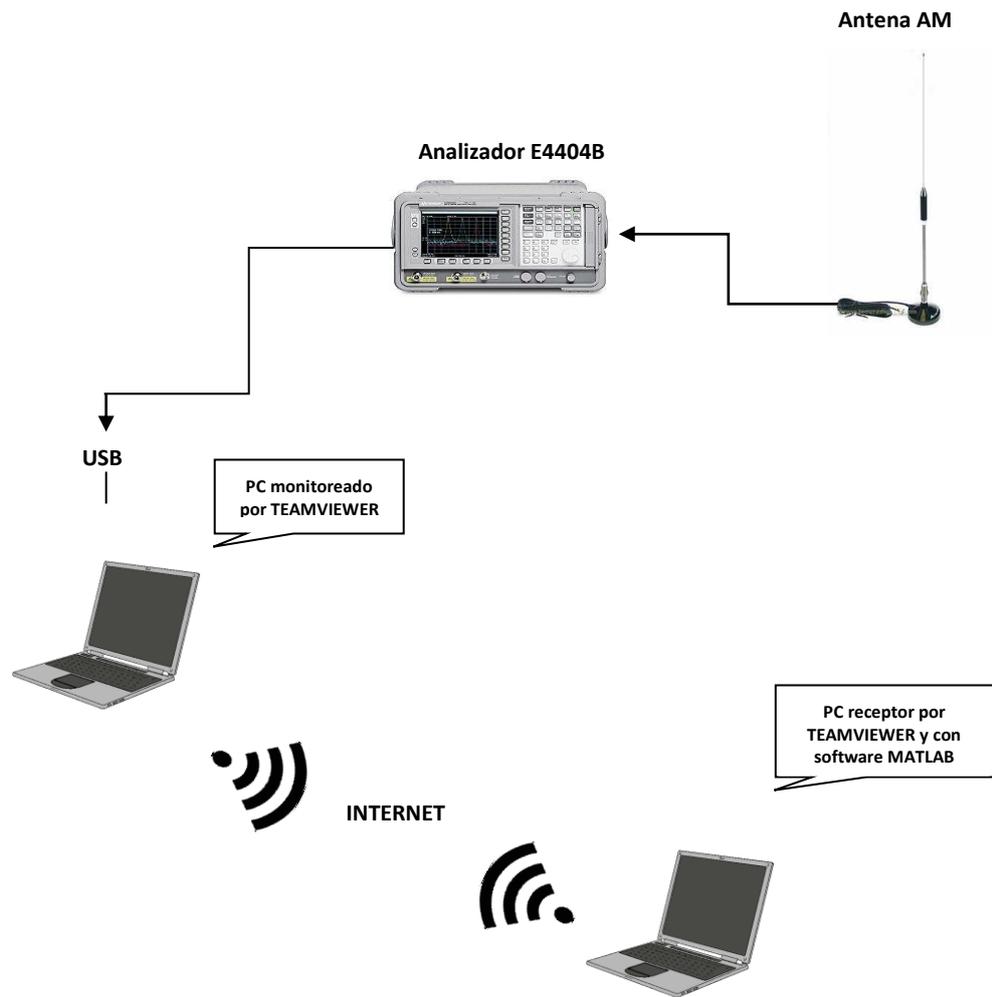
Sin embargo, no se puede estar presente en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación a toda hora para monitorear y actualizar las mediciones, y para

solución a este inconveniente, se hace uso del software TEAMVIEWER.

TEAMVIEWER nos proporciona una solución todo en uno para una gran variedad de escenarios en un solo paquete de software; sirve para realizar presentaciones, reuniones en línea, mantenimiento remoto, reuniones en línea, pero la principal función por lo cual se lo usó en este proyecto, es para poder acceder remotamente al ordenador portátil donde se almacena los datos obtenidos del analizador de espectros [18].

3.2.6. Estructura final del proyecto.

Se espera tener, como estructura final del proyecto, un sistema completo como el mostrado en la siguiente figura 3.1, que permita adquirir los datos necesarios para el análisis y un modelamiento respectivo del mismo.



**Figura 3. 2: Estructura final del proyecto.
Realizado por los autores.**

3.3. Método para la adquisición de datos.

Se detalla a continuación, la forma en que se configuran los equipos, que nos va a permitir realizar de manera correcta la medición de los datos, tomando en cuenta todas las consideraciones de la banda de Amplitud Modulada.

3.3.1 Configuración del Analizador de Espectro Agilent.

La metodología para obtener las mediciones de los niveles de potencia PR para la banda de frecuencia de estudio, banda MF de AM, consiste primero en configurar los parámetros iniciales en el Analizador de Espectro, estos parámetros son:

- I. frecuencia inicial (f_i) y frecuencia final (f_f) respecto al ancho del espectro a analizar, desde los 525kHz a los 1705kHz.
- II. Verificar que el ancho de banda BW visualizado sea $BW = f_f - f_i$ (Hz), en nuestro caso de 1180kHz.

- III. Considerar un nivel de atenuación de la señal que se aplicará a la etapa de entrada del analizador, Configurado en 5dB para no amplificar los niveles del ruido.
- IV. Configurar el nivel de referencia, nivel máximo para visualizar en la pantalla del equipo de adquisición. Configurado en -50dB por ser un valor próximo a un pico de señal visualizada.

3.3.2 Configuración de Intuilink en la PC para la captura de datos.

El analizador de espectro puede tomar hasta 401 puntos dentro del ancho de banda configurado como Span Frequency (SF), para el caso estudiado es de 1180kHz. De este modo se puede determinar que cada punto de lectura, el analizador lo realiza cada 2,95kHz.

El software que realiza la transferencia de datos desde el equipo de adquisición hasta una hoja de Excel, puede realizar 500 tomas de 401 puntos cada uno. El tamaño de la toma de datos

por día se calcula a partir de una fórmula estadística para el cálculo del tamaño de una muestra, ver expresión 3.1

$$m = \frac{N}{(N-1) \cdot i^2 + 1} \quad (3.1)$$

Donde:

m : Tamaño de la muestra

N : # Población

i : % error de precisión

Para obtener un error menor al 5%, se fija el valor de m en 574 muestras por día, debido a que el análisis se lo realiza de forma diaria y N corresponde al ancho de banda de estudio en Hz, 1180 kHz, despejando i de la ecuación 3.1, se obtiene:

$$i = \sqrt{\frac{\frac{N}{m} - 1}{N - 1}} \quad (3.2)$$

$$i = 0,0417 = 4,17\%$$

De esta forma el error porcentual de precisión de datos obtenidos es del 4.17%, por debajo del 5% estipulado.

Debido a la capacidad de procesamiento del equipo que es solo 500 muestras de datos, se divide la adquisición cada 12 horas, obteniendo 287 muestras por mediodía. La captura de datos, potencia en dB, fecha y hora, dentro del rango de frecuencia configurada, se lo automatiza cada 0:02:31 min, este tiempo es determinado al dividir 720 min/mediodía para 287 muestras para que el error de precisión de análisis de estudio no sea alterado.

Como resultado de este procedimiento se obtiene un archivo de Excel, libro de cálculo, con matrices que contienen información de niveles de Potencia medido para una frecuencia específica dentro del SF, cantidad de puntos obtenidos y leídos dentro del SF, hora y fecha de la adquisición de la toma de muestra, obteniendo cada 12 horas un archivo con 287 muestras de 401 puntos cada uno.

3.4. Presupuesto de enlace.

3.4.1 Pérdida de enlace.

Para el cálculo de pérdida de niveles de recepción de potencias se considera el tipo de cable usado, para el estudio, cable coaxial RG58, donde todo fabricante indica en las especificaciones técnicas la pérdida de dB por metro, pérdida en los conectores.

$$L_t = L_c + L_{cc}$$

L_c : Pérdida en dB por longitud del cable

L_{cc} : Pérdida por conectores

L_t : Pérdida Total de Potencia

La pérdida por conectores es mínima por lo que se desprecia, obteniendo que:

$$L_T = L_C = P_{WL} \left[\frac{dB}{m} \right] \cdot L[m] \quad [dB]$$

La pérdida de señal en dB por metro P_{WL} es de 1,056 dB/m, la longitud del cable L usado es de 12,75m, multiplicando ambos factores se obtiene un L_c de 13,464 dB.

3.4.2 Potencia Umbral de detección.

La potencia de umbral equivale a un nivel de referencia por el que se valida si un dato obtenido de nivel de Potencia para una frecuencia específica se encuentra por encima o por debajo de este valor, determinando si ese canal se encuentra transmitiendo o está desocupado.

El cálculo de la potencia umbral para el procesamiento de datos y análisis parte de considerar pérdidas totales por líneas de transmisión de la antena al analizador, ganancia que brinda la antena de recepción, un margen de interferencia M , y la potencia generada por ruido que es igual a la potencia del ruido

térmico. En la ecuación 3.3 se expresa como se determina la potencia en dB generada por el ruido P_N .

$$P_N = -174 + 10\log(BW[\text{Hz}]) \quad [\text{dBm}] \quad (3.3)$$

Reemplazando el valor de BW, 1180kHz, en la ecuación 3.3 se obtiene un P_N de -113,28 dBm.

Para determinar cuánto equivale nuestra potencia umbral, compensando valores por ganancias de antena y pérdidas por cables y estimando un margen de interferencia recomendado por la IEEE de 10 dB (M), se obtiene la siguiente expresión:

$$P_{TH} = P_N + L_T + M - G_{Ant} \quad (3.4)$$

Reemplazando valores de P_N , L_T , M y G_{Ant} (1,5 dB), el valor umbral queda en:

$$P_{TH} = -91.316 \text{ dB}$$

Siendo el valor métrico para referenciar y determinar si un canal dentro del espectro de radio o frecuencia se encuentra siendo usada si la potencia recibida es mayor al umbral en el transcurso del día, caso contrario se encontraría libre.

3.4.3 Determinación de la ocupación en la banda MF.

Para determinar el porcentaje de uso diario de una frecuencia i de nuestro rango del espectro de estudio, el ciclo de trabajo promedio por día, se utiliza el siguiente algoritmo de análisis que implica el uso de la P_{TH} comparándolo con la P_R de cada punto de frecuencia obtenido en un instante de tiempo j durante las 24 horas.

Por cada punto de frecuencia hay un valor finito de cantidad de datos (N_f) con un valor de P_R , se contabiliza cuantos valores de P_R están por encima del umbral P_{TH} por día, denominando a esta cantidad como N_i , como lo se lo interpreta en la figura 3.3:

Para una frecuencia f_i :

1. For $j = 1:1:N_f$; j incrementa en uno hasta N_f muestras.
2. Si $P_{Rj} > P_{TH}$ entonces $N_i = N_i + 1$; contabiliza los niveles de Potencias por encima del umbral para f_i .

Figura 3. 3: Implementación para el cálculo de N_i

Una vez contabilizado cuantas muestras de una frecuencia i superan el umbral, se determina el Duty Cycle (DC) que indica el porcentaje de ocupación de alguna frecuencia dentro del espectro en el transcurso del día, expresando esta determinación en la ecuación 3.5.

$$DC_i = \frac{N_i}{N_f} \cdot 100\% \quad (3.5)$$

CAPÍTULO 4.

4. ANÁLISIS Y MODELAMIENTO DE LOS RESULTADOS.

4.1 Análisis de los niveles de potencia en la banda MF.

El análisis realizado en este trabajo, tiene como objetivo principal determinar el uso del espectro en la banda MF, y a partir de este análisis, aprovechar de manera eficiente los espacios en blanco donde se puedan implementar nuevas tecnologías.

4.1.1 Análisis de días ordinarios.

Para todos los días, se realizaron 3 gráficas, en las cuales se representa, el nivel de potencia, el ciclo de trabajo y el porcentaje de ocupación, y la disponibilidad de un rango de frecuencia por hora del día.

Para el día lunes, se puede notar, en la figura 4.1 correspondiente a la potencia, que en ciertos rangos de frecuencia, no existen picos de potencia por encima del umbral ya calculado anteriormente, esto nos da a entender, que no todas las frecuencias dentro de la banda MF son utilizadas para la radiodifusión. En la figura 4.2 correspondiente al ciclo de trabajo, podemos notar lo mencionado, por ejemplo que en el rango de frecuencia que va desde los 950 KHz hasta los 1010 KHz y desde los 1530 KHz hasta los 1705 KHz, no existe transmisión alguna durante el día. En la figura 4.3 correspondiente a la ocupación de la frecuencia por la hora del día, se observa que existen espacios en blanco en ciertas frecuencias, por ejemplo que la frecuencia de 1170 KHz, a partir

de las 19:00 del día lunes, hasta las 04:00 del día siguiente no transmite, quedando ese espacio para ser utilizado de manera adecuada.

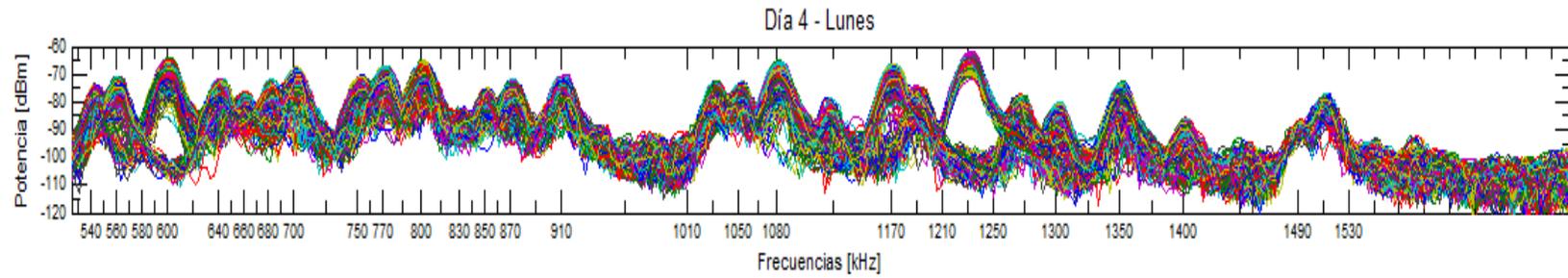


Figura 4. 1: Potencia VS Frecuencia. Lunes

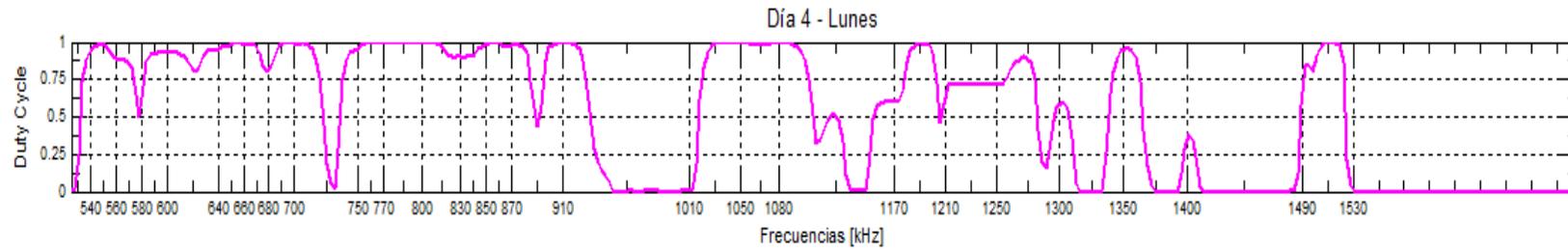


Figura 4. 2: Ciclo de Trabajo. Lunes

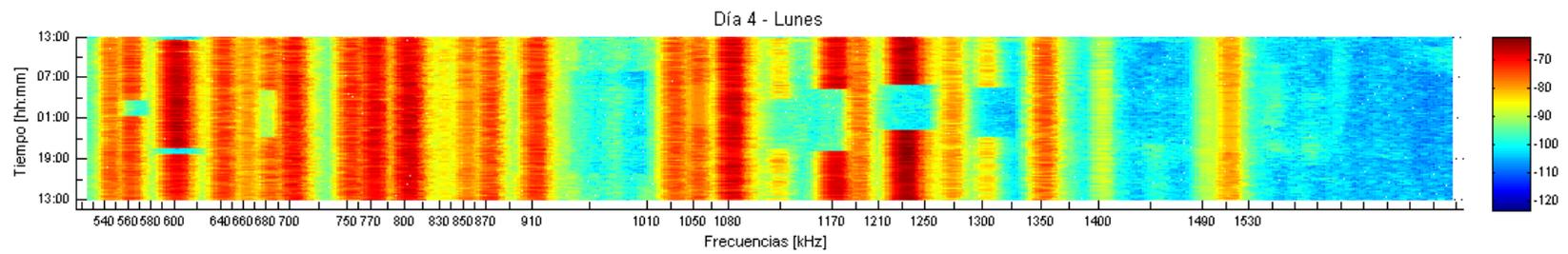


Figura 4. 3: Disponibilidad. Lunes

El proceso es similar para los días posteriores, es decir, desde el día martes hasta el día viernes. Los figuras 4.4, 4.7, 4.10 y 4.13 corresponden al figura de potencia vs frecuencia. Los figuras 4.5, 4.8, 4.11 y 4.14 corresponden al ciclo de trabajo de cada día. Los figuras 4.6, 4.9, 4.12 y 4.15 representan la disponibilidad de la frecuencia por la hora de los diferentes días.

Cabe recalcar que el comportamiento de las distintas gráficas es muy similar, no hay una variación considerable, puesto que las estaciones de radiodifusión tienen un horario definido de transmisión durante los días laborables, posteriormente notaremos que si existe variación en los fines de semana. Todo lo descrito de manera previa se puede visualizar en las gráficas correspondientes.

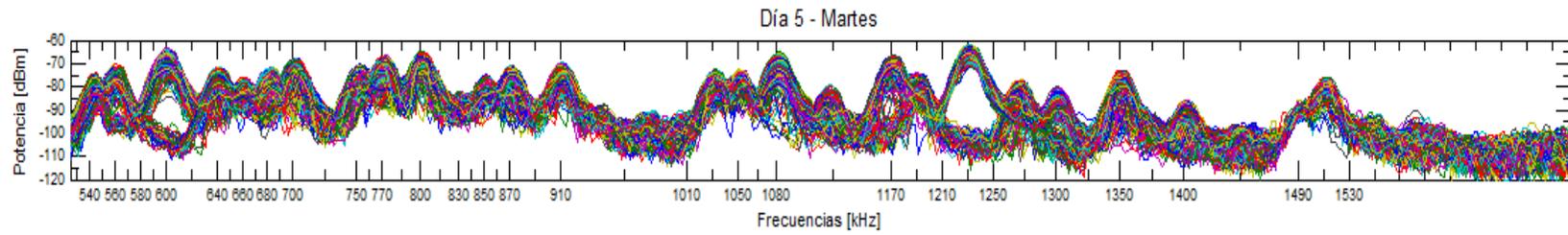


Figura 4. 4: Potencia VS Frecuencia. Martes

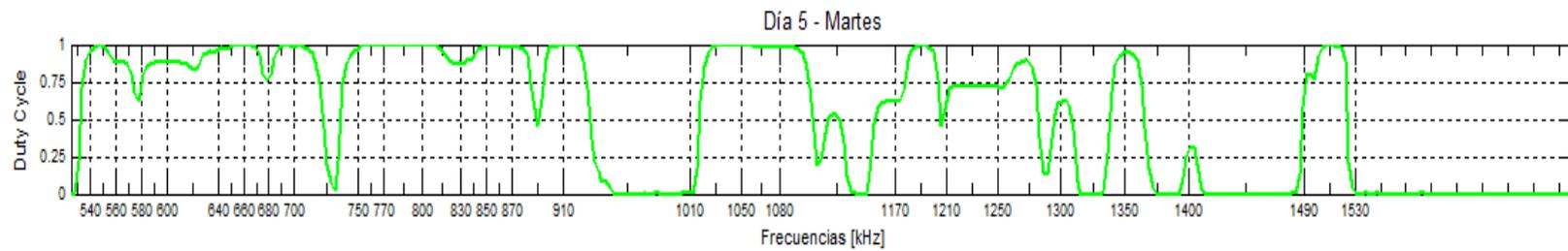


Figura 4. 5: Ciclo de Trabajo. Martes

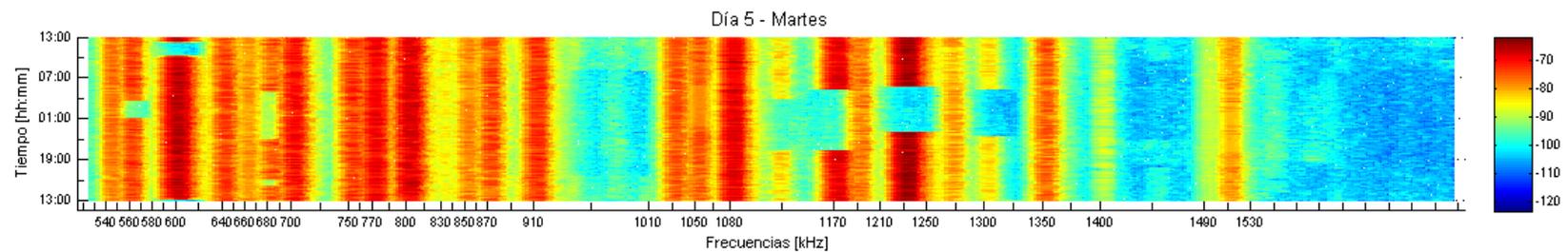


Figura 4. 6: Disponibilidad. Martes

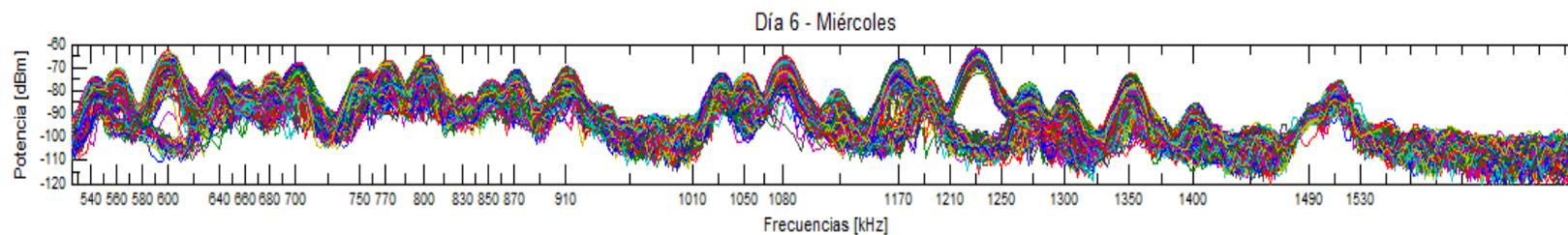


Figura 4. 7: Potencia VS Frecuencia. Miércoles

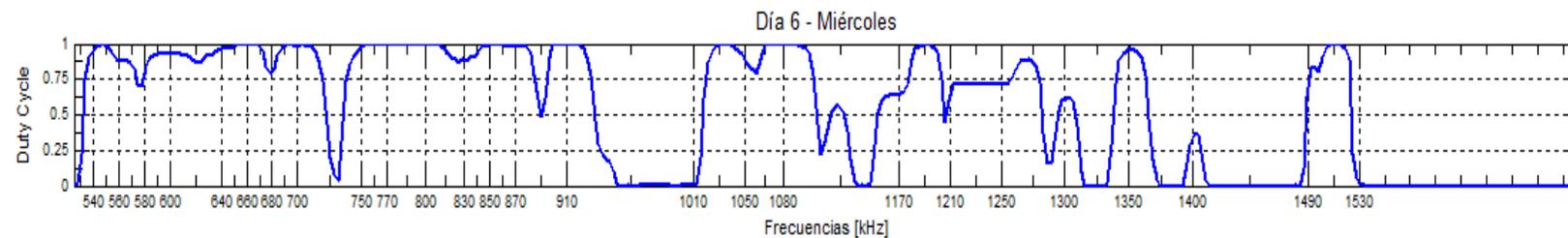


Figura 4. 8: Ciclo de Trabajo. Miércoles

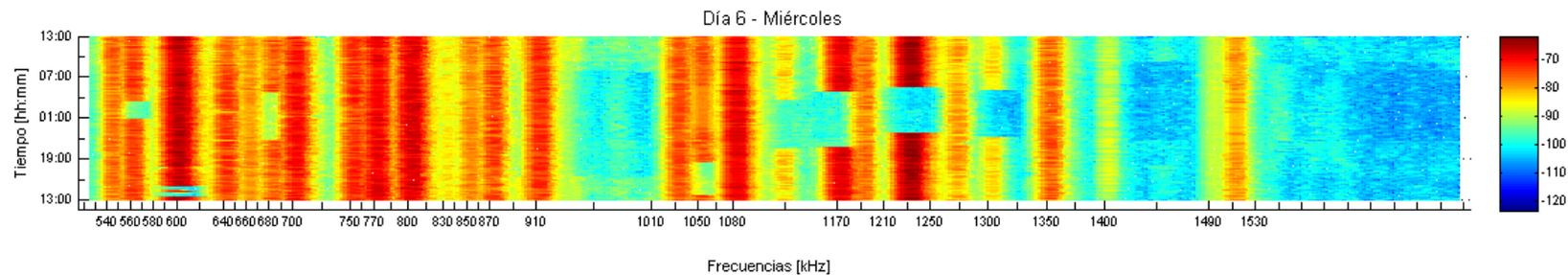


Figura 4. 9: Disponibilidad. Miércoles

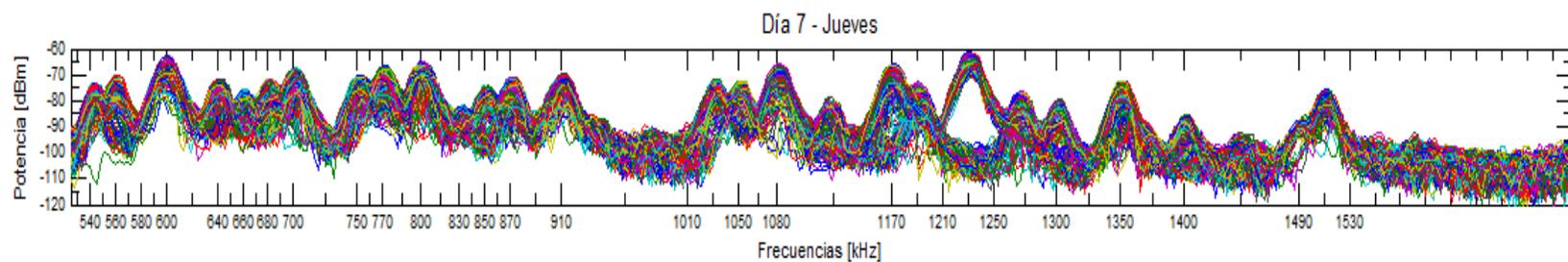


Figura 4. 10: Potencia VS Frecuencia. Jueves

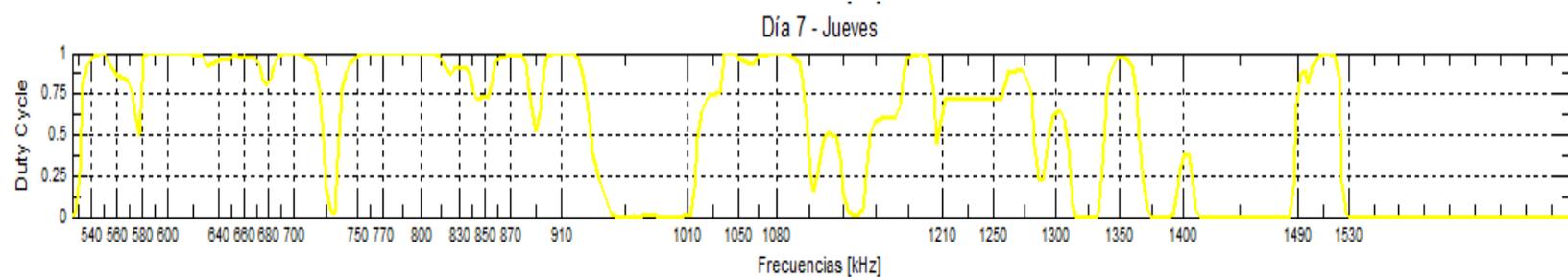


Figura 4. 11: Ciclo de Trabajo. Jueves

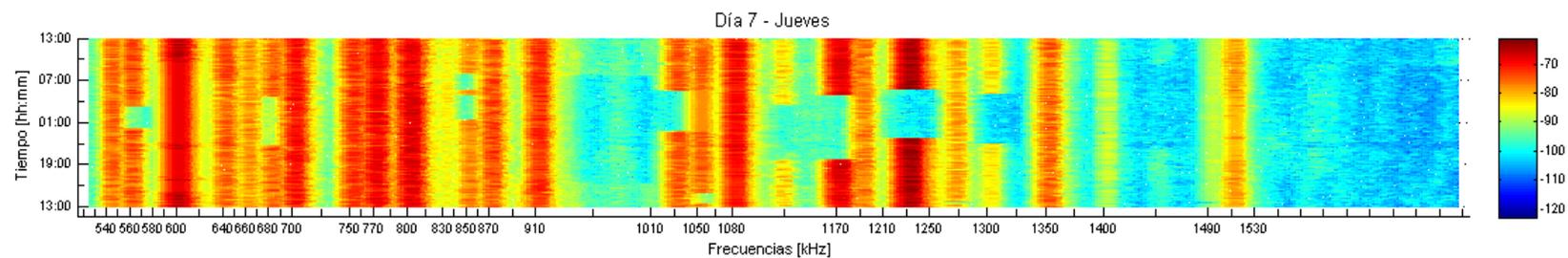


Figura 4. 12: Disponibilidad. Jueves

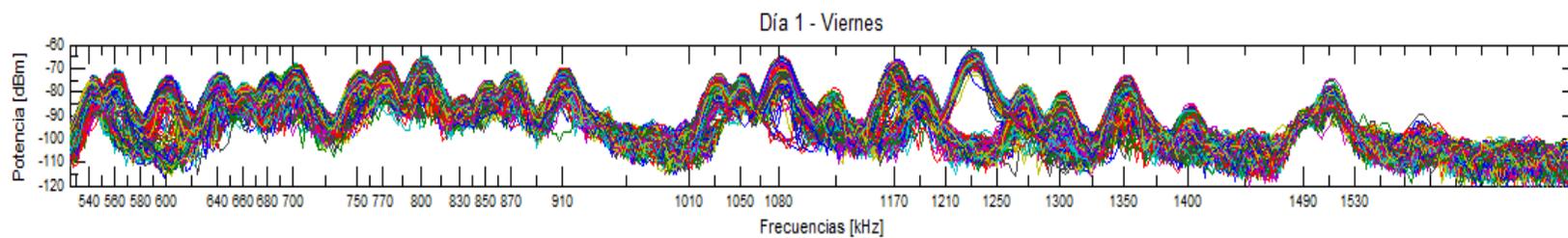


Figura 4. 13: Potencia VS Frecuencia. Viernes

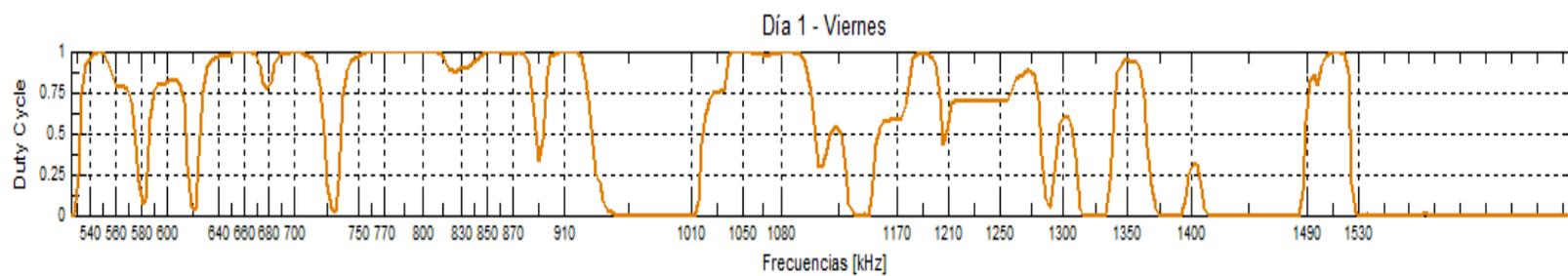


Figura 4. 14: Ciclo de Trabajo. Viernes

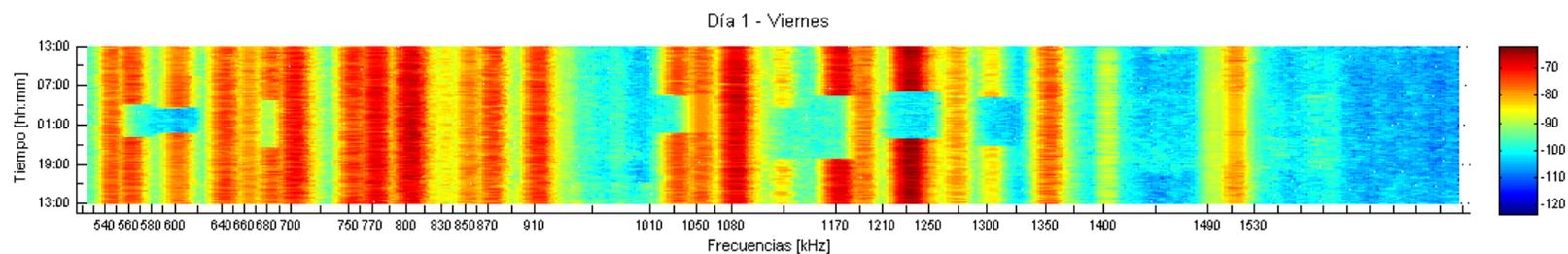


Figura 4. 15: Disponibilidad. Viernes

4.1.2 Análisis en fin de semana.

Se sigue el mismo proceso que los días ordinarios, pero cabe destacar que en estos días, como son sábado y domingo, se hace evidente los distintos cambios ocurridos con el comportamiento de la señal.

Nos centraremos como ejemplo en dos frecuencias en particular, como son la de 600 KHz y la de 1230 KHz. En la figura 4.8 que corresponde al día miércoles, podemos observar que el porcentaje de ocupación para la frecuencia de 600 KHz es casi el 90% y para la de 1230 KHz cerca del 75%. En contra parte, en la figura 4.17 correspondiente al día sábado, este porcentaje de ocupación decae notoriamente, en el caso de los 600 KHz a un 60% y en el caso de los 1230 KHz por debajo del 50%.

Las figuras 4.16 y 4.19 corresponden a los de potencia vs frecuencia de sábado y domingo respectivamente, de igual forma

los figuras 4.17 y 4.20 describen el ciclo de trabajo de dichos días. Por último los figuras 4.18 y 4.21 describen la disponibilidad de la frecuencia por la hora de los días sábado y domingo.

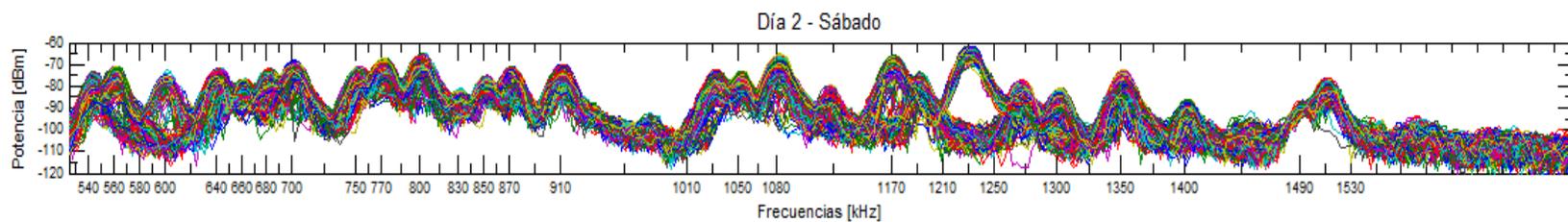


Figura 4. 16: Potencia VS Frecuencia. Sábado

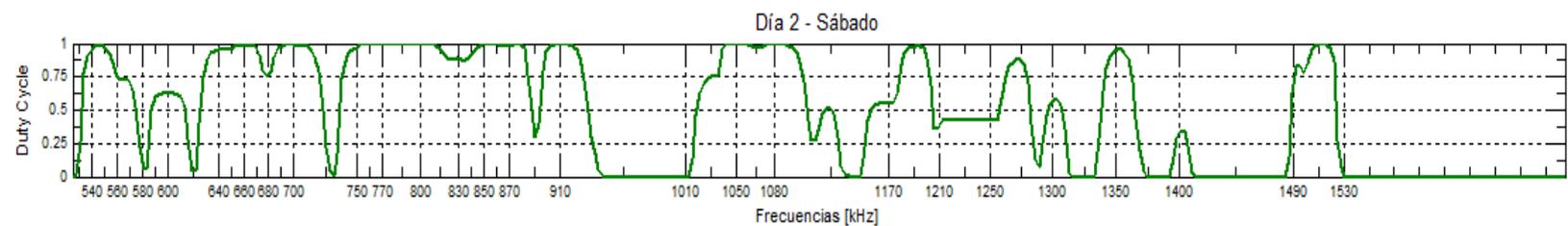


Figura 4. 17: Ciclo de Trabajo. Sábado

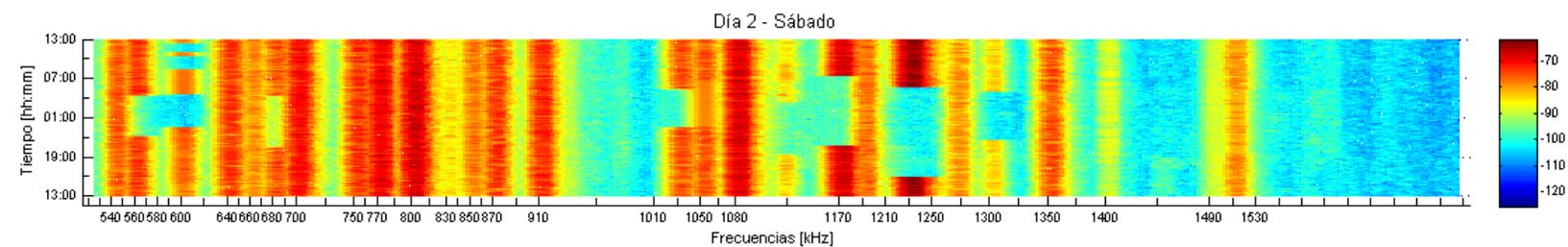


Figura 4. 18: Disponibilidad. Sábado

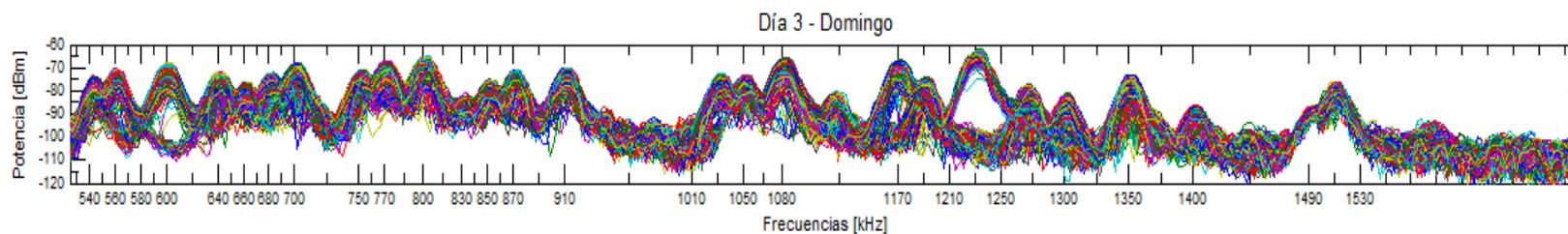


Figura 4. 19: Potencia VS Frecuencia. Domingo

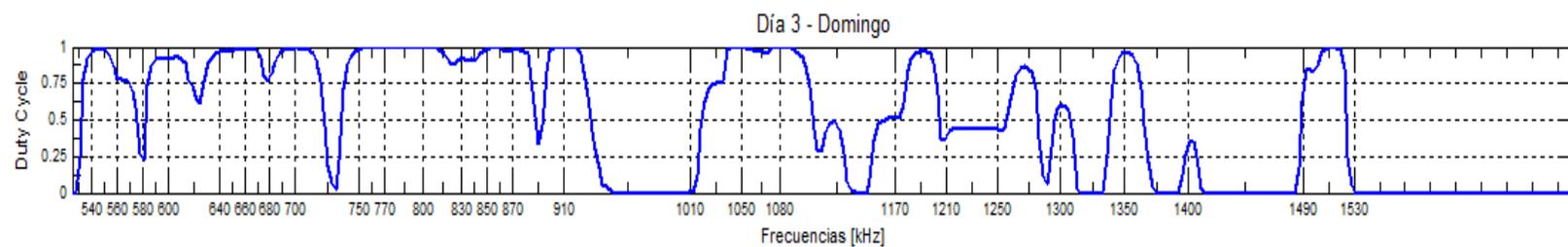


Figura 4. 20: Ciclo de Trabajo. Domingo

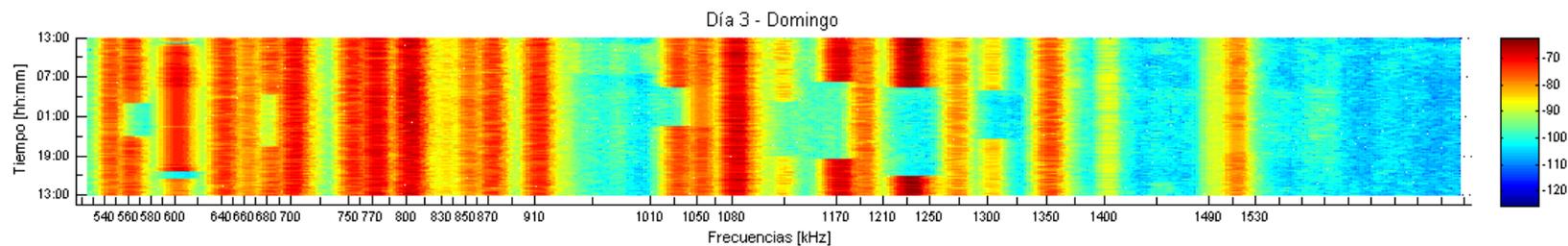


Figura 4. 21: Disponibilidad. Domingo

4.2 Ocupación de las estaciones concesionadas de radio AM.

A partir de la tabla 2.1 del capítulo *II* y con el ciclo de trabajo calculado en el capítulo *III*, se determinó el porcentaje de ocupación de las radiodifusoras concesionadas para AM.

En la figura 4.22 se observa el porcentaje de ocupación de los días ordinarios. La mayoría de las estaciones concesionadas transmiten permanentemente, muy por encima del 50% de ocupación, salvo el caso de radio AMIGA que en el sector de estudio, apenas llegaba al 1.22%.

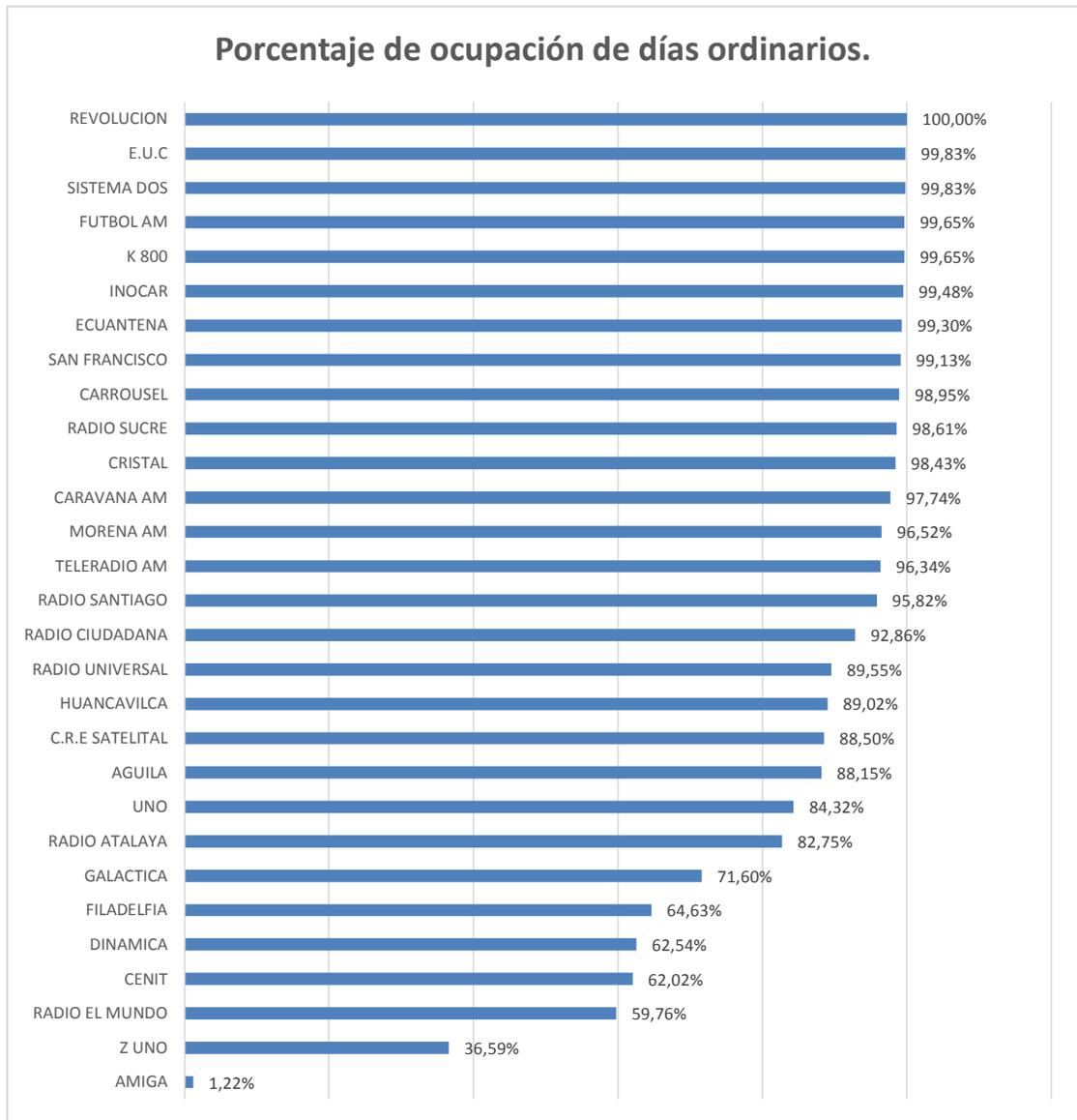


Figura 4. 22: Porcentaje de ocupación de días ordinarios.

En la figura 4.23 se puede observar el porcentaje de ocupación en el fin de semana, y con respecto a los días ordinarios, es notable el cambio de algunas estaciones en su ocupación, por ejemplo radio

UNO de un 84.32% decae de forma precipitosa a un 6.27%, GALACTICA de un 71.60% decae a un 42.16% y por último radio AMIGA deja de emitir señal alguna durante el fin de semana.

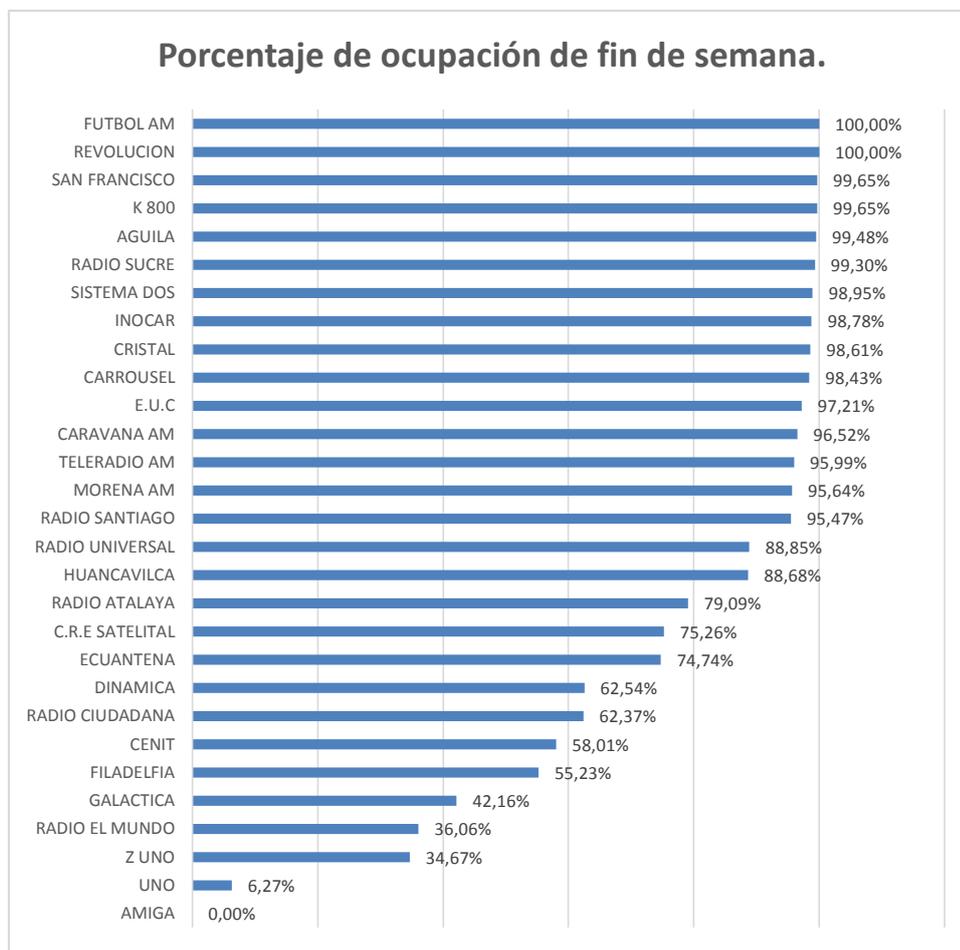


Figura 4. 23: Porcentaje de ocupación de fin de semana.

4.3 Modelo de Predicción de Ocupación del Espectro.

El objetivo del modelamiento del comportamiento de la ocupación del ancho del espectro analizado es determinar en qué porcentaje puedo predecir que la banda de estudio de MF se encuentre ocupada o desocupada, o cual es la probabilidad de transición de ambos cambios de estados.

4.3.1 Proceso Estocástico.

La sucesión de datos u observaciones de niveles de PR durante intervalos iguales de tiempos, se lo plantea como un proceso estocástico, donde los valores de dichas observaciones no son predecibles de una forma exacta pero se lo puede determinar en forma de probabilidades para cualquier valor distinto posible que se encuentre por encima o debajo del PTH en algún instante de tiempo.

De esta forma estas expresiones textuales se las pueden determinar en forma de variables algebraicas de la siguiente manera:

Donde:

X_1 : Es una variable aleatoria que define el estado inicial del proceso.

X_t : Es una variable aleatoria que define el estado del proceso en el instante de tiempo t .

Siendo así para cada valor posible del estado inicial S_1 y para cada uno de los sucesivos valores de S_t de los estados X_t , $t = 2, 3, \dots$, se especifica que:

$$\begin{aligned} P(X_{t+1} = S_{t+1} | X_1 = S_1, X_2 = S_2, \dots, X_t = S_t) \\ = P(X_{t+1} = S_{t+1} | X_t = S_t) \end{aligned} \quad (4.1)$$

Traduciendo la expresión implica que la probabilidad de que ocurra un estado próximo conociendo los sucesos de los estados anteriores es igual a la probabilidad de que se efectúe un estado próximo conociendo el estado actual.

4.3.2 Cadena de Markov.

Uno de los modelos que más se aproxima al comportamiento y patrón obtenido a partir de la adquisición y procesamiento de datos explicado en el capítulo anterior, es el método de cadenas de Markov, el cual es un proceso estocástico.

El modelo de Markov indica que si el estado actual X_t y los estados previos X_1, \dots, X_{t-1} son conocidos, entonces la probabilidad del próximo estado X_{t+1} no depende de los estados anteriores X_1, \dots, X_{t-1} , y solo depende del estado actual X_t , lo que implica que:

Para $t = 1, 2, 3, \dots$ y para cualquier sucesión de estados S_1, \dots, S_{t+1} .

La razón de probabilidad satisface lo denotado en la expresión 4.1.

4.3.3 Cadena de Markov finita.

Es aquella cadena para la que existe sólo un número finito k de estados posibles S_1, \dots, S_k , y que en cualquier instante de tiempo la cadena está en uno de estos k estados.

Comparando lo descrito anteriormente con el comportamiento de nuestro patrón de señales que es un proceso estocástico de parámetros discretos si se aproxima a una cadena de Markov ya que se conoce la probabilidad de que el rango de frecuencias del espectro analizado esté ocupado o no durante el día.

Para ello debemos definir el espacio paramétrico y el espacio de estados de nuestro proceso estocástico. El espacio paramétrico es el conjunto de todos los posibles valores que puede tomar el tiempo, y el espacio de estados es el conjunto de todos los posibles valores que puede tomar nuestro proceso, se define al espacio paramétrico como T y al espacio de estado como S [19].

Para el modelo solo existe dos posibles estados, si una frecuencia del ancho de banda del espectro está ocupado se lo define como 1, y desocupado como 0. Por lo tanto el espacio de estado S será:

$$S = \{0, 1\}$$

Y el espacio paramétrico T sería:

$$T = \{0, 1, 2, 3, \dots\}$$

Por las variaciones en el tiempo.

4.3.4 Probabilidades de transición.

La probabilidad de transición es aquel valor probabilístico que me determina si un estado próximo j es posible ocurrir después un tiempo t conociendo el estado actual i [19].

Para la determinación de las probabilidades de cambio de estados, se considera todas las muestras tomadas durante los 7 días. Las probabilidades obtenidas para el modelamiento son:

La probabilidad de que se encuentre desocupado en un tiempo $t+1$, si el estado actual es desocupado es del 90,85% por lo tanto la probabilidad de que se encuentre ocupado en un tiempo $t+1$ si el estado actual es desocupado es de 9,15%.

La probabilidad de que se encuentre desocupado en un tiempo $t+1$, si el estado actual es ocupado es de 8,47% por lo tanto la

probabilidad de que se encuentre ocupado en un tiempo $t+1$ si el estado actual es ocupado es de 91,53%.

4.3.5 Matriz de transición.

Es una matriz cuadrada definida por la cantidad de estados k posibles S_1, \dots, S_k , siendo el tamaño de la matriz de transición $k \times k$, y sus elementos, probabilidades de transición, no pueden ser negativos tal que la suma de las probabilidades de cada fila debe ser igual a 1, como se lo expresa de la siguiente manera:

$$\text{Si } p_{ij} = P(X_{t+1} = S_j | X_t = S_i) \implies P = \begin{pmatrix} p_{11} & \cdots & p_{1k} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{k1} & \cdots & p_{kk} \end{pmatrix} \quad (4.2)$$

Por lo que se define que toda matriz de transición P de cualquier cadena de Markov finita con probabilidades de transición estacionarias es una matriz estocástica [19].

Con respecto al modelo presentado con los datos obtenidos de nuestro análisis podemos definir que nuestra matriz de transición es de 2×2 por solo existir dos posibles estados a ocurrir.

Con lo denotado en probabilidades de transición definimos los elementos de la matriz P para nuestro modelo, siendo así:

$$P_{00} = 0,9085$$

$$P_{01} = 0,0915$$

$$P_{10} = 0,0847$$

$$P_{11} = 0,9153$$

Quedando la matriz P de transición de la siguiente manera:

$$P = \begin{pmatrix} P_{00} & P_{01} \\ P_{10} & P_{11} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,9085 & 0,0915 \\ 0,0847 & 0,9153 \end{pmatrix}$$

Se determina que las probabilidades iniciales de que este ocupado es 0,5185 y desocupado de 0,4815. Se define el vector de probabilidades iniciales como se expresa de la siguiente manera:

$$v = (v_1, v_2, \dots, v_k)$$

Obteniendo para el caso:

$$v = (0,4815 \quad 0,5185)$$

Entonces el vector de probabilidades iniciales y la matriz de transición determinan la probabilidad para el estado en un segundo instante de tiempo t_{n+1} , que viene dado por el nuevo vector vP .

Si se quiere determinar la probabilidad para un instante de tiempo $t=n+2, n+3, \dots, n+m$ se usa la expresión siguiente:

$$w = vP^m$$

Cabe decir que los instantes de tiempos son discretos, y dichos intervalos son de 0:02:31 min, como se denotó en el capítulo anterior.

Entonces la probabilidad de que se encuentre ocupado después de transcurrido 0:02:31 min al estado actual se las determina de la siguiente manera:

$$w = vP = (0,4815 \quad 0,5185) \begin{pmatrix} 0,9085 & 0,0915 \\ 0,0847 & 0,9153 \end{pmatrix}$$

$$w = (0,48136 \quad 0,51864)$$

A partir del vector w se dice que la probabilidad de que esté ocupado después un instante de tiempo de 0:02:31 min es del 51,864% y de que esté desocupado es de 48,136%.

Por último definimos nuestro diagrama de flujo de transición que se puede observar en la gráfica 4.24:

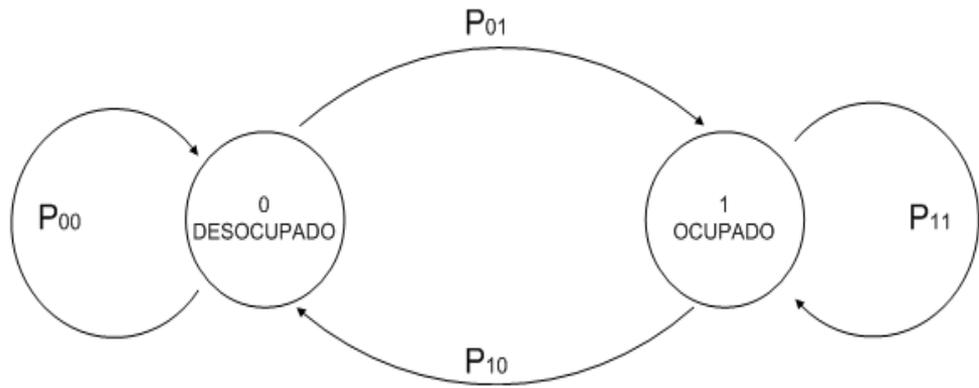


Figura 4. 24: Diagrama de transición de Markov.

CONCLUSIONES

1. Con el análisis realizado en el capítulo anterior, se puede observar que el comportamiento de la señal dentro de los días ordinarios es similar, pero al momento de ser fin de semana, sufre un evidente cambio, decayendo su porcentaje de ocupación de manera abrupta en ciertas frecuencias.
2. La mayoría de frecuencias concesionadas transmiten algún tipo de señal, pero existen rangos de frecuencia como por ejemplo desde los 950 KHz hasta los 1010 KHz, desde los 1410 KHz hasta los 1485 KHz y desde los 1530 KHz hasta los 1705 KHz, que no emitieron señal alguna durante todo el proceso de medición, dando a entender que son espacios vacíos y desocupados, donde se puede implementar el uso de nuevas tecnologías sin problema alguno.

3. Los resultados del análisis del estudio de este rango de frecuencias portadoras de la banda MF nos determina una media ocupacional del espectro del 51.85%, obteniendo un 48.15% de espectro libre para implementar nuevas tendencias de innovación tecnológicas usando emisiones de información por radiofrecuencia RF como se expresa en el párrafo anterior, logrando aumentar la eficiencia y ocupación a la vez de esta banda del espectro.

4. Al analizar la desviación estándar con respecto a la media ocupacional global, el resultado es de 0.0255, obteniendo así una varianza de 6.5×10^{-4} . A partir de esto, se evidencia que los cambios de porcentaje ocupacional entre días es mínima.

5. A partir del modelo implementado para predicción de ocupación de la banda MF en tiempos futuros se logra determinar que la variación porcentual predicha sea de ocupación o desocupación es mínima, donde puede variar un $\pm 5\%$.

RECOMENDACIONES.

1. La distribución de las frecuencias portadoras para ser concesionadas no se encuentran en un reparto equitativo de forma que se pueda usar de manera eficiente para no desperdiciar bandas de frecuencias, por lo que se recomienda implementar un plan de acción con labores prospectivas para regular el ancho de banda de frecuencias concesionadas, según las normas internacionales de la ITU y IEEE se recomienda un BW de 9 o 10 kHz, dicho BW puede generar en AM una baja calidad de sonido, lo recomendable para cada concesión debe ser de un BW 20 kHz y no de 30 a 50 kHz como se encuentran en separaciones de canales encontrados en el estudio técnico, mejorando así la calidad de la información transmitida y recibida.
2. Una de las formas que se puede usar las frecuencias donde no hay recepción de señal en el área de estudio, es implementando un sistema de radiodifusión local con modulación AM que solo brinde cobertura a la zona de ESPOL sin crear interferencia alguna a

emisiones fuera del área mencionada que operen en la frecuencia que se use para la transmisión, considerando que este riesgo puede aumentar por las noches.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Huidobro, Juan Manuel y Luque Ordoñez, Javier, “**Comunicaciones por Radio**”, **Tecnologías, Redes y Servicios de Radiocomunicaciones. El Espectro Electromagnético**, Ra-Ma Editorial, España 2013.
- [2] Tomasi, Wayne, “**Electronic Communications Systems: Fundamentals Through Advanced**” versión Español, 2003 México.
- [3] Guamán, <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/189/2/Capitulo%201.pdf>, fecha de consulta noviembre 2014
- [4] SUPERTEL, <http://controlenlinea.supertel.gob.ec/wps/portal/informacion/informaciontecnica/radiodifusion/>, fecha de consulta noviembre 2014
- [5] Huidobro, Juan Manuel y Luque Ordoñez, Javier, “**Comunicaciones por Radio**”, **Tecnologías, Redes y Servicios de Radiocomunicaciones. El Espectro Electromagnético**, Ra-Ma Editorial, España 2013. 70
- [6] Rojas María, <http://disenoantenas.blogspot.com/>, fecha de consulta noviembre 2014

- [7] UIT, https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/v/R-REC-V.431-7-200005-!!!PDF-S.pdf, fecha de consulta noviembre 2014
- [8] SUPERTEL, <http://controlenlinea.supertel.gob.ec/wps/portal/informacion/informaciontecnica/espectro/>, fecha de consulta noviembre 2014
- [9] SUPERTEL, <http://controlenlinea.supertel.gob.ec/wps/portal/informacion/informaciontecnica/radiodifusion/>, fecha de consulta noviembre 2014
- [10] Ministerio de Telecomunicaciones y Sociedad de la Información, <http://www.telecomunicaciones.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2012/11/Reglamento-de-Ley-de-Radiodifusion-y-Television.pdf>, fecha de consulta noviembre 2014
- [11] **Faúndez Zanuy, Marcos “Sistemas de Comunicaciones”**. Ed. MARCOMBO S.A. Barcelona, España. 2001.
- [12] Innova Technologies, <http://www.radiocomunicaciones.net/teoria-antenas.html>, fecha de consulta noviembre 2014
- [13] Locura Digital S.A, http://www.locuradigital.com/emisoras_c_b_27_mhz/midland/midalnd_alan_48_bs_antena_27.html, fecha consulta noviembre 2014
- [14] Mora, Juan, <http://www.slideshare.net/jjmorave/analizador-de-espectros-5518987>, fecha consulta noviembre 2014

[15] KEYSIGHT TECHNOLOGIES,

<http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5989-9815EN.pdf>, fecha de consulta noviembre 2014

[16] Agilent Technologies,

<http://hibp.ecse.rpi.edu/~connor/education/Elspecs/intuilink.pdf>, fecha de consulta noviembre 2014

[17] Mathworks,[http://es.mathworks.com/products/matlab/index.html?s_tid](http://es.mathworks.com/products/matlab/index.html?s_tid=gn_loc_drop)

[=gn_loc_drop](http://es.mathworks.com/products/matlab/index.html?s_tid=gn_loc_drop), fecha de consulta noviembre 2014

[18] TeamViewer,[http://www.teamviewer.com/es/products/remotecontrol.a](http://www.teamviewer.com/es/products/remotecontrol.aspx)

[spx](http://www.teamviewer.com/es/products/remotecontrol.aspx), fecha de consulta noviembre 2014

[19] Martínez, Alfredo, http://www.ugr.es/~bioestad/_private/cpfund10.pdf,

fecha de consulta febrero 2015