



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD Y COMPUTACIÓN

“MEDICIÓN, CARACTERIZACIÓN Y MODELAMIENTO DEL RANGO DE
FRECUENCIAS ASIGNADO A RADIODIFUSIÓN FM (88 – 108 MHZ) DE LA
BANDA VHF DEL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO EN LA FIEC CAMPUS
PROSPERINA”

TESINA DE SEMINARIO

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
INGENIERO EN ELECTRICIDAD. ELECTRÓNICA**

Presentado por:

**José David Contreras Valdivieso
Dennis Becker Carvajal Martínez**

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO 2015

AGRADECIMIENTO

Doy las gracias a mi familia, mis padres principalmente por apoyarme todos estos años para poder estudiar y poder llegar a donde estoy el día de hoy.

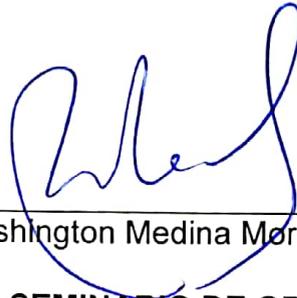
Le agradezco a mi familia y a Dios por sobre todas las cosas; por haberme dado la oportunidad de encontrarme el día de hoy aquí en su presencia y todos estos años de vida.

DEDICATORIA

Les dedico este trabajo a mis padres y hermanos por apoyarme siempre y darme ánimos para seguir adelante día a día.

He dedicado este trabajo a mi hermosa familia que se encuentra siempre a mi lado y me han dado una gran ayuda para culminar.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



Mg. Washington Medina Moreira

PROFESOR DEL SEMINARIO DE GRADUACIÓN



Mg. Luis Vásquez Vera

PROFESOR DELEGADO POR LA UNIDAD ACADÉMICA

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta tesina; nos corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de exámenes y títulos profesionales de la ESPOL)

José Contreras Valdivieso

Dennis Carvajal Martínez

RESUMEN

En el presente trabajo se redacta el análisis para determinar si en el área de la ESPOL campus PROSPERINA se le está dando el uso eficiente al espectro asignado a la radiodifusión FM; para esto se realizan varias mediciones en el laboratorio de Telecomunicaciones ubicado en el edificio de la FIEC, con una antena apropiada para la obtención de los niveles de potencia de las señales portadoras en el rango de 88 MHz a 108 MHz. La adquisición de datos se realiza con un ordenador y un analizador de espectro, el cual se configura para la medición de 2.000 puntos en cada barrido, realizando 500 muestras cada 36 horas, con lo que se obtiene una matriz de datos en un periodo de 7 días y medio.

Con los conocimientos previos investigados de interferencias, niveles de potencia, y de las normativas dedicadas a la radiodifusión FM, se procede a analizar los datos obtenidos de manera que se aprecia un comportamiento similar en el tiempo de los niveles de potencia, así como también señales interferentes provenientes de emisoras cercanas a la ciudad de Guayaquil.

Se define un valor de umbral, el cual sirve como referencia para indicar si una señal se considera ruido al encontrarse por debajo de dicho valor; con esta comparación se procede a crear una nueva matriz de datos de dos

posibles estados (0,1) para cada punto de frecuencia analizado en base a la cadena de Markov.

En vista de que todas las estaciones, concesionadas e interferentes para la zona de Campus Prosperina ESPOL, se encuentran cumpliendo con la regulación de la Ley Especial de Telecomunicaciones, de transmitir programación las 24 horas del día, y con los resultados obtenidos del modelamiento de Markov, se aprecia una ocupación muy alta de los canales de radio que conforman el espectro asignado a la radiodifusión FM .

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	VI
ÍNDICE GENERAL.....	VIII
ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍA.....	XIV
GLOSARIO	XV
ÍNDICE DE FIGURAS	XVII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XX
INTRODUCCIÓN	XXI
CAPÍTULO 1.....	1
1. Descripción general del proyecto.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Identificación del problema.....	2
1.3. Justificación.....	3
1.4. Objetivos.....	4
1.4.1. Objetivo General.....	4

1.4.2. Objetivos Específicos.....	4
1.5. Metodología del desarrollo del proyecto.....	5
1.6. Limitaciones presentes.....	6
Capítulo 2.....	8
2. Fundamentos teóricos de la radiodifusión.....	8
2.1. El espectro electromagnético.....	8
2.1.1. Espectro Electromagnético según su frecuencia.....	10
2.1.3. Radiación electromagnética.....	11
2.1.4. Ondas electromagnéticas.....	11
2.1.5. Frecuencia y longitud de onda en el espectro.....	12
2.1.6. Unidades de medición de frecuencia.....	13
2.1.7. Longitud de onda.....	14
2.2. Espectro Radioeléctrico.....	15
2.2.1. Propagación de ondas en el espectro radioeléctrico.....	16
2.2.2. Espectro radioeléctrico según su frecuencia.....	17

2.2.3. Espectro radioeléctrico y división de bandas para radio.....	18
2.2.4. Distribución del espectro radioeléctrico en aplicaciones.....	19
2.3. Modulación y demodulación de una señal.	21
2.3.1. Tipos de modulación.	23
2.4. Modelos de propagación de las ondas RF.	24
2.4.1. Propagación por ondas de superficie.	25
2.4.2. Propagación por onda directa.	26
2.5. Interferencia.	28
2.6. Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (P.I.R.E.).....	28
2.6.1. Potencia Efectiva Radiada (P.E.R.).	29
2.6.2. Pérdida básica de propagación.	30
2.6.3. Zonas de Fresnel.	30
2.7. Radiodifusión Sonora.	31
2.7.1. Estación de radiodifusión.....	32
2.7.2. Sistema de Radiodifusión.	34

2.8. Radiodifusión en Frecuencia Modulada FM.....	35
2.8.1. Estación de Frecuencia Modula (FM).....	35
2.8.2. Estaciones FM de Baja Potencia.....	37
2.9. Sistema de transmisión.....	38
2.9.1. Transmisor FM.....	39
2.9.2. Línea de transmisión.....	39
2.9.3. Antena de transmisión.....	40
2.9.4. Equipos de estudio.....	41
2.9.5. Enlaces.....	41
2.10. Ubicación de la estación.....	42
2.10.1. Ubicación de los Transmisores.....	42
2.10.2. Ubicación de transmisores de baja potencia.....	43
2.11. Instalación de las estaciones.....	43
Capítulo 3.....	45
3. Regulaciones y Normativas Técnicas.....	45

3.1. Plan Nacional de Frecuencias.....	45
3.2. Normas para la atribución de bandas.	48
3.2.1. Atribución de las Bandas de Frecuencias del Espectro Radioeléctrico...48	
3.2.2. Regiones de la Atribución de las Bandas de Frecuencias.	49
3.2.3. Designación de las Bandas de Frecuencias del Ecuador.....	51
3.2.4. Norma Técnica para la Radiodifusión en FM.	52
3.2.5. Canalización y grupos de frecuencias de la banda FM.....	54
3.2.6. Intensidad de Campo y porcentaje de modulación en FM.	58
3.3. Protecciones contra interferencias.	59
3.3.1. Incumplimiento y sanciones.	59
3.4. Entes reguladores del Estado.	60
Capítulo 4.....	62
4. Mediciones, requerimientos, gráficas y datos.	62
4.1. Estaciones concesionadas en la ciudad de Guayaquil.	62
4.2. Estaciones que se logran receptor en la ESPOL PROSPERINA.	65

4.3. Mediciones con el analizador de espectro y medidor de intensidad de campo.....	66
4.4. Adquisición de datos y control remotamente.....	67
4.5. Como realizar graficas en Matlab y Minitab.....	70
4.6. Comportamiento observable del espectro asignado a radiodifusión.....	74
Capítulo 5.....	84
5. Análisis, cálculos y modelamiento.....	84
5.1. Procesamiento y cálculos para la toma de muestras.....	84
5.2. Potencia de umbral para la selección de datos.....	88
5.3. Análisis de datos.....	89
5.3.1. Reducción de datos.....	91
5.4. Modelamiento de la señal.....	91
CONCLUSIONES.....	95
RECOMENDACIONES.....	97
Anexos.....	100

ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍA

CONARTEL	Consejo Nacional de Radiodifusión y Televisión.
CS	Constitución de la Unión Internacional de Telecomunicaciones.
CV	Convenio de la Unión Internacional de Telecomunicaciones.
SENATEL	Secretaría Nacional de Telecomunicaciones.
SUPERTEL	Superintendencia de Telecomunicaciones
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones.
CONATEL	Consejo Nacional de Telecomunicaciones.
PER	Potencia Efectiva Radiada

GLOSARIO

Banda de frecuencia	Intervalo de frecuencia perteneciente al espectro electromagnético cuyo uso es regulado por la ITU y su asignación es utilizada dentro del campo de las telecomunicaciones.
Canalización	Separación en varios canales dentro de una banda de frecuencia del espectro electromagnético.
Confiabilidad	La probabilidad de que algo se cumpla u opere de la manera prevista. Denotada por la letra griega Zita "Z" .
Desviación Estándar	Es el promedio o variación esperada con respecto a la media aritmética; siendo una medida de dispersión para variables de intervalos. Se la representa generalmente con la griega theta " θ ".

Estación	Uno o más transmisores, receptores, o una combinación de ambos, incluyendo las instalaciones, necesarias para asegurar un servicio de radiocomunicación, o el servicio de radioastronomía en un lugar determinado.
Interferencia	Efecto producido por una energía no deseada de una o varias emisiones, radiaciones, inducciones o sus combinaciones sobre la recepción en un sistema de radiocomunicación que se manifiesta como degradación de la calidad de la señal transmitida.
Ondas radioeléctricas	Ondas electromagnéticas, cuya frecuencia se fija convencionalmente por debajo de 3 000 GHz, y que se propagan por el espacio sin guía artificial. (ITU, 2012).
Radio	Término general que se aplica al empleo de las ondas radioeléctricas. (ITU, 2012).

Radiocomunicación	Toda comunicación transmitida por ondas radioeléctricas (CS) (CV). (ITU, 2012).
Radiodifusión	Conocido como broadcasting; es el servicio de emisión de señales sonoras destinado al servicio de radio; siendo este un servicio terrestre de las telecomunicaciones.
Servicio de Radiocomunicación	Servicio definido en esta sección que implica la transmisión, la emisión o la recepción de ondas radioeléctricas para fines específicos de telecomunicación. (ITU, 2012).
Servicio de Radiodifusión	Servicio de radiocomunicación cuyas emisiones se destinan a ser recibidas directamente por el público en general. Dicho servicio abarca emisiones sonoras, de televisión o de otro género (CS).
Sonido Estereofónico	Es aquel audio que puede ser grabado y reproducido en dos canales; para recrear una experiencia más real, en el cual se reproducen las partes de direcciones izquierda y derecha.

Sonido Monofónico	Monoaural, grabado por un solo canal; cuyo sonido es semejante al escucharlo con un solo oído.
SPAN	Medida de distancia entre dos puntos intermedios.
Telecomunicación	Toda transmisión, emisión o recepción de signos, señales, escritos, imágenes, sonidos o informaciones de cualquier naturaleza por hilo, radioelectricidad, medios ópticos u otros sistemas electromagnéticos (CS). (ITU, 2012).
Transmisión	Es la transferencia de audio, video, datos por medio de un canal de comunicación.
Umbral (Threshold)	Es un valor para el cual se referencian los niveles de potencia, para definir un comportamiento específico de una señal determinada.
Zona geográfica	Se describe a la superficie terrestre asociada con una estación la cual bajo las condiciones adecuadas y respetando las normas puede establecer una radiocomunicación.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1 Espectro electromagnético y sus bandas [7].....	9
Figura 2. 2 Onda electromagnética [13].	11
Figura 2. 3 Longitud de onda [14].	14
Figura 2. 4 Servicios del espectro radioeléctrico [15].	16
Figura 2. 5 Propagación una onda [16].	17
Figura 2. 6 Espectro Radioeléctrico [17].	18
Figura 2. 7 Modulación de una señal [18].....	21
Figura 2. 8 Demodulación de una señal [19].	22
Figura 2. 9 Canal para radiodifusión analógica [20].....	23
Figura 2. 10 Tipos de modulación [21].....	24
Figura 2. 11 Propagación por onda de superficie [22].	26
Figura 2. 12 Propagación por onda directa [23].	26
Figura 2. 13 Propagación atmosférica [24].	27
Figura 2. 14 Propagación espacial [25].	28
Figura 2. 15 Diagrama de las zonas de Fresnel [27].....	31
Figura 2. 16 Estación Repetidora [28].....	33
Figura 2. 17 Sistema de radiodifusión [29].	35
Figura 2. 18 Áreas de cobertura [30].	36
Figura 2. 19 Estación FM de baja potencia [31].....	38
Figura 2. 20 Cable coaxial (Izq.) y Guía de Onda (Der.) [32].....	40

Figura 3. 1. Regiones de las bandas de Frecuencia [10].	51
Figura 3. 2. Zonas geográficas para radiodifusión FM [29].	52
Figura. 4. 1 Agilent E4404B SPECTRUM ANALIZER.	67
Figura. 4. 2 Complemento de INTUILINK.	68
Figura. 4. 3 Conectar al analizador de Espectros.	68
Figura. 4. 4 Get Data Intuilink.	69
Figura. 4. 5 Mediciones Repetitivas.	69
Figura. 4. 6 Conexión por TeamViewer.	70
Figura. 4. 7 Abrir hoja de datos.	71
Figura. 4. 8 Graficar.	72
Figura. 4. 9 Asignar formula.	73
Figura. 4. 10 Variación de Potencia a través del ancho 88 -108 MHz.	75
Figura. 4. 11 Histograma de las Potencias.	75
Figura. 4. 12 Frecuencias ocupadas.	77
Figura. 4. 13 Histograma de medición > -94 dBm.	77
Figura. 4. 14 Comportamiento de 88MHz durante 36 horas.	78
Figura. 4. 15 Ciclo de trabajo primera frecuencia.	78
Figura. 4. 16 Comportamiento del espectro por rango de frecuencia.	79
Figura. 4. 17 Espectrograma para la Radiodifusión FM.	80
Figura. 4. 18 Ciclo de trabajo del espectro asignado a Radiodifusión FM.	80
Figura. 4. 19 Comportamiento primeras 36 horas.	81
Figura. 4. 20 Comportamiento cada 36 horas.	82
Figura. 4. 21 Comportamiento los 7 días y 12 horas.	83

Figura. 5. 1 Comportamiento esperado de una emisora.....	85
Figura. 5. 2 Matriz de Correlación.....	90
Figura. 5. 3 Modelo de Markov.....	93

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Espectro electromagnético según su frecuencia.....	10
Tabla 2 Unidades de medición de frecuencias	13
Tabla 3 Unidades de longitud de onda.....	14
Tabla 4 Espectro radioeléctrico según las bandas usadas para radiodifusión.	18
Tabla 5 Distribución convencional del espectro.....	20
Tabla 6 Atribución de las bandas de frecuencia.	49
Tabla 7 Zonas geográficas para radiodifusión FM.....	53
Tabla 8 Canales en la banda 88.1 MHz - 107.9 MHz	54
Tabla 9 Asignación de canales en los grupos G1, G2 y G3.....	56
Tabla 10 <i>Asignación de canales en los grupos G4, G5 y G6</i>	57
Tabla 11 Niveles de Intensidad de Campo para las diferentes áreas geográficas. ...	58
Tabla 12 Niveles de Intensidad de Campo para baja potencia y servicios comunales	59
Tabla 13 Estaciones Radiales en la ciudad de Guayaquil	63
Tabla 14 Estaciones no concesionadas, demoduladas en la ESPOL-PROSPERINA.	65
Tabla 15 Valores de correlación entre las mediciones.....	90
Tabla 16 Ocurrencias por evento.....	92

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo, proyecta un análisis para determinar si se le está dando un uso eficiente al espectro asignado a la radiodifusión FM en la zona de la ESPOL campus PROSPERINA, para esto se procede a dividir el trabajo en 5 capítulos que contemplan la información necesaria, normativas, mediciones y metodologías implementadas para efectuar el análisis deseado.

En el capítulo 1 se redactan las condiciones que se presentan al momento de realizar el proyecto, los motivos por el cual se lo desea implementar, junto con el planteamiento de los objetivos y metodología a ejecutar, considerando los posibles problemas que se encuentren en el cumplimiento del análisis.

En el segundo capítulo se detallan las terminologías y la información necesaria de la radiodifusión y la modulación en FM; junto con las explicaciones técnicas que se deben de implementar; además de la operatividad y funcionamiento de las estaciones de radio para realizar la puesta en marcha y la transmisión de las ondas en el espectro radioeléctrico.

En el capítulo 3, se redactan las normativas técnicas que se deben seguir para poder implementar los sistemas de radiodifusión y su administración; la

ocupación por canal, los parámetros de interferencia y como deben operar las estaciones concesionadas de manera que no generan interferencias y no afecten a los otros servicios prestados dentro del espectro radioeléctrico.

En el capítulo 4, se detalla el proceso de adquisición de datos, los instrumentos utilizados, la ubicación geográfica para la medición, los diferentes programas de computadora utilizados para el análisis de los datos adquiridos los cuales generan gráficas que permiten analizar el comportamiento del espectro y el cumplimiento o no de las normativas.

En el último capítulo, se detallan las razones por las cuales se realizaron un número determinado de mediciones, reducción de puntos, cantidad de muestras y todas las explicaciones matemáticas, para el análisis del uso de eficiencia del espectro, junto con la aplicación del modelo estocástico de Markov y sus respectivas probabilidades.

CAPÍTULO 1

1. Descripción general del proyecto.

Mediante este capítulo introductorio, se pretende mostrar los antecedentes y la motivación para realizar el presente proyecto, indicando el problema, y la manera en que se piensa analizarlo a través de la metodología a implementar en el desarrollo del mismo y la descripción de sus limitaciones.

1.1. Antecedentes.

El espectro radioeléctrico es un recurso natural limitado; el cual se encuentra controlado y monitoreado por la SUPERTEL; administrado y regulado por el CONATEL y representado ante los organismos internacionales por la SENATEL; reconociendo que estos organismos basan sus regulaciones según las normas regulatorias de la ITU. Se debe considerar el antecedente de que la Asamblea Nacional Constituyente con fecha 17 de Diciembre del 2014 aprobó en segundo debate el proyecto de “Ley Orgánica de Telecomunicaciones”, por lo que los organismos antes

mencionados podrían desaparecer y ser reemplazados por uno solo llamado “Agencia de Regulación y Control de Telecomunicaciones”. Esta ley entrará en vigencia a partir de su publicación en el Registro Oficial, un extracto de ella se puede leer en el ANEXO F [11].

Dentro de la banda de frecuencia VHF; se analizará el espectro dedicado a la radiodifusión, que va desde los 88 MHz hasta los 108 MHz. Este espectro en su mayoría se encuentra concesionado y regulado de manera tal que las estaciones sonoras deben de encontrarse operando las 24 horas del día, caso contrario pudiesen experimentar sanciones.

El avance de las telecomunicaciones conlleva al desarrollo socio económico del país y mejoras de la calidad de vida de sus habitantes.

1.2. Identificación del problema.

Actualmente la demanda del espectro se encuentra en crecimiento, principalmente en las ciudades densamente pobladas; por lo que en el caso de la banda de frecuencia para la radiodifusión FM el espectro libre es relativamente escaso, debido a las regulaciones y

concesiones bajo las cuales nos regimos. Por esta razón no se pueden brindar más servicios o dar apertura a nuevas estaciones de radio y así poder maximizar el beneficio del recurso espectral en la sociedad.

Es necesario considerar que un uso eficiente del espectro puede marcar una diferencia en la prosperidad de una nación, especialmente en las que, las comunicaciones están fuertemente ligadas a las tecnologías inalámbricas como es el caso de la telefonía móvil.

1.3. Justificación.

Debido a esto, es necesario analizar y corroborar si se le está dando el uso eficiente a la banda de frecuencias para radiodifusión FM y de no ser así; poder desarrollar técnicas o sugerencias de métodos que permitan la distribución y uso del espectro para facilitar las comunicaciones. Una posible solución a la escasez del espectro sería utilizar tecnología más avanzada respecto a los equipos de radiocomunicación, como el caso de la migración de Televisión Analógica a la Televisión Digital contemplada para el año 2016 en las ciudades de Quito y Guayaquil; la cual liberaría un

segmento del espectro que con tecnologías actuales puede ser mejor aprovechado.

1.4. Objetivos.

1.4.1. Objetivo General.

Medir, caracterizar y modelar el rango de frecuencias para radio difusión FM.

1.4.2. Objetivos Específicos.

1. Aprender la implementación y uso de los equipos para las mediciones y adquisiciones de datos usados posteriormente para modelar.
2. Realizar mediciones en la banda 88 MHz - 108 MHz.
3. Desarrollar un estudio del uso del espectro dedicado a radiodifusión FM; en el que se indiquen las horas y porcentaje de uso en la zona de la ESPOL campus PROSPERINA.
4. Hacer un estudio de los servicios brindados y las asignaciones, tomando en consideración las interferencias que se pueden generar en caso del uso inadecuado del rango asignado.

5. Identificar el modelo matemático a implementar.
6. Confirmar los rangos concesionados y en caso de estar disponibles darles uso para las comunicaciones.

1.5. Metodología del desarrollo del proyecto.

Para realizar el estudio y determinar si se le está dando o no un uso eficiente del espectro dedicado a la radiodifusión FM, se considera llevar a cabo el presente proyecto en varios pasos:

1. Se debe de investigar las normativas técnicas que rigen el rango de frecuencias asignado a la radiodifusión en frecuencia modulada.
2. Obtener información sobre los segmentos del espectro concesionados, para identificar si se les está dando el uso correcto, o si se encuentran rangos libres dentro de él. Para esto se consultarán las normativas técnicas de la SUPERTEL .
3. Con el analizador de espectro modelo “E4402B” proporcionado por el Laboratorio de Telecomunicaciones de la FIEC realizar las

mediciones y aprender a enlazar dichos datos con el programa “Intuilink”.

4. Con la base de los datos adquiridos y programas probabilísticos elaborar esquemas en los cuales se puedan comprobar ciclos de trabajo, los rangos libres que se podrían utilizar y desarrollar el modelo matemático del uso del espectro asignado a radiodifusión FM.
5. Sugerir técnicas o usos adecuados para segmentos del espectro que se encuentren libres o no concesionados en el área de la ESPOL, y dedicarla a servicios de radiodifusión que se pueden generar con ondas kilométricas.

1.6. Limitaciones presentes.

La antena receptora provista por la FIEC es una antena modelo “SIRIO SD2000”, la cual está diseñada para trabajar en un rango de frecuencia de 160 MHz - 2.000 MHz, dejando fuera un segmento del espectro asignado a la radiodifusión en frecuencia modulada. Por consiguiente para este estudio, se utilizará otra antena de ganancia unitaria, perteneciente a un equipo de medición de intensidad de

campo para señales analógicas modelo “FIM-71VHF” y que trabaja en un rango de 45 MHz - 225 MHz.

Las mediciones se realizarán dentro del área de la ESPOL, específicamente en el laboratorio de telecomunicaciones de la Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación (FIEC) por consiguiente, para el manejo remoto de los equipos se utilizará una plataforma de comunicación virtual llamada TeamViewer; la cual requiere que el ordenador se encuentre conectado a la red y disponga de una conexión a internet.

El manejo del software de adquisición de datos funciona solo con el sistema operativo Windows XP, debido a este antecedente se debe usar del laboratorio la máquina correspondiente, la cual no posee mucha memoria RAM, y en ocasiones ejecuta de manera lenta la inicialización de los programas. Hay que tener en consideración que este software solo permite la captura de 500 mediciones repetitivas como máximo, y el número de puntos a medir dependerá de la configuración que se realice dentro del analizador de espectro.

Capítulo 2

2. Fundamentos teóricos de la radiodifusión.

Se pretende a través del presente capítulo indicar las bases teóricas sobre las señales a transmitir, el comportamiento de las mismas en la banda de VHF, así como también los aspectos y normas a considerar para dichas transmisiones.

2.1. El espectro electromagnético.

El espectro electromagnético se compone de todas las formas de radiación de ondas electromagnéticas; dichas ondas se propagan por el espacio libre a través de ondas de radio. El espectro como se puede apreciar en la Figura 2.1 se puede organizar en amplias regiones ya sea por frecuencia o por longitud de onda, dentro de las cuales algunas de ellas tienen una característica muy específica como, por ejemplo, el espectro de la energía radiante de una luz blanca pasada por un prisma mostrándonos el “arcoíris” de todos sus colores constituyentes [7], [5].

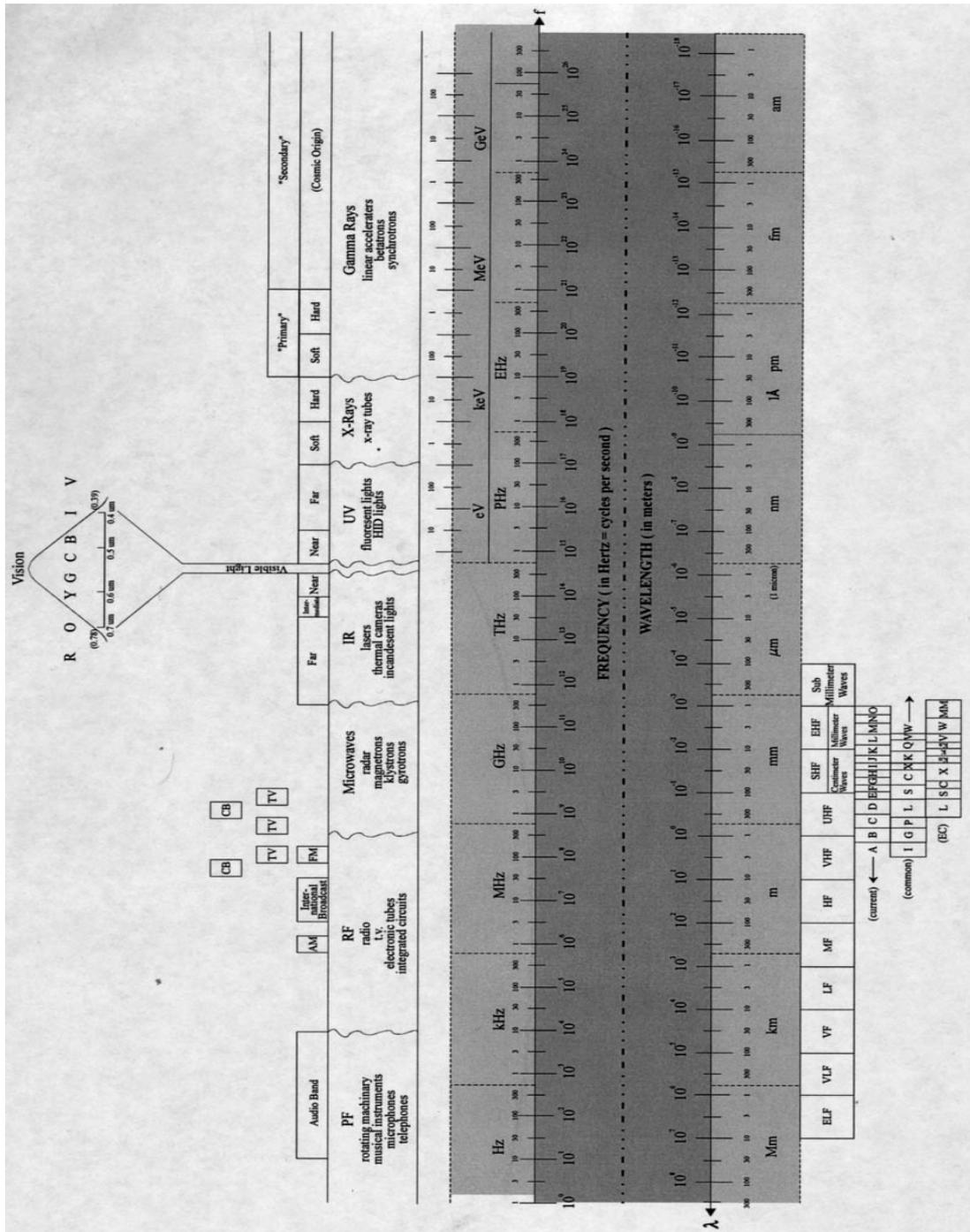


Figura 2. 1 Espectro electromagnético y sus bandas [7].

2.1.1. Espectro Electromagnético según su frecuencia.

La Tabla 1 muestra la división del espectro electromagnético en base a las frecuencias y sus designaciones [3],[5].

Tabla 1 Espectro electromagnético según su frecuencia.

Margen de Frecuencia	Nomenclatura	Designación
30 a 300 Hz		ELF
0.3 a 3 KHz		VF
3 a 30 KHz	Milimétricas	VLF
30 a 300 KHz	Kilométricas	LF
300 a 3,000 KHz	Hectométricas	MF
3,000 a 30,000 KHz	Decamétricas	HF
30a 300 MHz	Métricas	VHF
300 a 3,000 MHz	Decimétricas	UHF
3,000 a 30,000 KHz	Centimétricas	SHF
30 a 300 GHz	Milimétricas	EHF
300 a 3,000 GHz	Decimilimétricas	Luz infrarroja
3 a 30 THz		Luz infrarroja
30 a 300 THz		Luz infrarroja
0.3 a 3 PHz		Luz visible
3 a 30 PHz		Luz ultravioleta
30 a 300 PHz		Rayos X
0.3 a 3 EHz		Rayos Gamma
3 a 30 EHz		Rayos Cósmicos

Tabla referencial del espectro.

2.1.3. Radiación electromagnética.

La radiación electromagnética, se define como el movimiento de energía de un lugar a otro en forma de ondas electromagnéticas y se propaga en todas las direcciones a través del espacio formado por la combinación de los campos magnéticos y los campos eléctricos [5].

2.1.4. Ondas electromagnéticas.

Son el tipo de ondas producidas por la radiación electromagnética como se aprecia en la Figura 2.2, las cuales se encargan de transportar la energía. Estas ondas se pueden propagar en el en el vacío sin el uso de una guía, a diferencia de las ondas guiadas que requieren de un medio conductor sea este cable, hilo, fibra etc. [5].

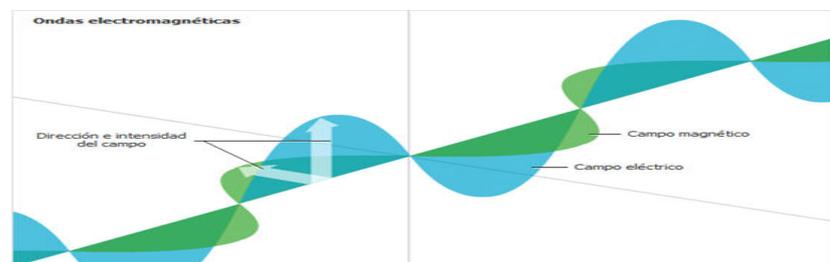


Figura 2. 2 Onda electromagnética [13].

Las ondas electromagnéticas poseen dos características principales las cuales son: la frecuencia de sus oscilaciones y la longitud de onda; tomando en consideración que la frecuencia hace referencia al número de oscilaciones que ocurre en un periodo de tiempo determinado y se mide en Hertzios (Hz) [5].

2.1.5. Frecuencia y longitud de onda en el espectro.

El espectro electromagnético se muestra como una función de la frecuencia o de la longitud de onda como se observa en la Figura 2.1, las cuales son inversamente proporcionales y se describen a través de la Ecuación (1.1), recalcando que estas ondas viajan alrededor de 3×10^8 metros por segundo que es un valor aproximado de la velocidad de la luz en el vacío. Convencionalmente la velocidad de la luz se la representa con la letra “c” expresada en metros sobre segundos (m/s), y la longitud de onda con la letra lambda “ λ ” que se expresa en nanómetros (nm) [5].

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

Ecuación (1. 1)

2.1.6. Unidades de medición de frecuencia.

La frecuencia es una magnitud que mide el número de repeticiones por unidad de tiempo; se la mide en Hz y como se menciona anteriormente, está relacionada de manera inversa con la longitud de onda. En la Tabla 2 mostramos las unidades usadas para expresar la frecuencia en Hz; y es de considerar que el “Electrón Voltio” (ev) es principalmente usado como unidad para medir la variación de energía potencial, no obstante se lo puede usar como unidad de frecuencia cuando el caso lo requiera [10].

Tabla 2 Unidades de medición de frecuencias

Nomenclatura	Abreviatura	Valor
Kilohertz	1 kHz	10^3 Hz
Megahertz	1 MHz	10^6 Hz
Gigahertz	1 GHz	10^9 Hz
Terahertz	1 THz	10^{12} Hz
Petahertz	1 PHz	10^{15} Hz
Exahertz	1 EHz	10^{18} Hz
Electron volts	1 ev	2.41×10^{24} Hz

Considerar que el HZ es 1/s.

2.1.7. Longitud de onda.

Se define como la distancia real recorrida por una onda o perturbación en un intervalo de tiempo determinado, que es el que transcurre entre dos máximos consecutivos como se aprecia en la Figura 2.3. Las unidades de medición para la longitud de onda se describen en la Tabla 3 [5].

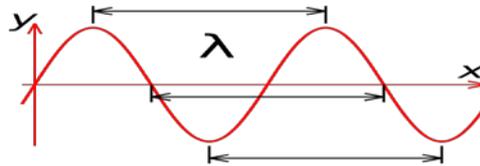


Figura 2. 3 Longitud de onda [14].

Tabla 3 Unidades de longitud de onda.

Medida	Abreviatura	Valor
Centímetro	1 cm	10^{-2} m
Milímetro	1 mm	10^{-3} m
Micrómetro	1 μ m	10^{-6} m
Nanómetro	1 nm	10^{-9} m
Angstrom	1 Å	10^{-12} m
Picometro	1 pm	10^{-15} m
Fentometro	1 fm	10^{-18} m
Atometro	1 am	10^{-18} m

2.2. Espectro Radioeléctrico.

De acuerdo al reglamento de la UIT; el espectro radioeléctrico se encuentra comprendido entre los 3 KHz y 3,000 GHz y se lo divide en tres regiones; en el cual la Región 1 corresponde a Europa y África; la Región 2 a América del Norte y América del Sur y por último, la Región 3 Asia y Oceanía. Como consecuencia de esto se observa que el Ecuador se encuentra en la Región 2 y se rige con las normas asignadas a dicha región [4], [6].

Es de notar que el espectro radioeléctrico es una porción del espectro electromagnético dentro del cual se proporcionan la mayoría de los servicios de telecomunicaciones como la operación de las emisoras de radio tanto AM como FM, las transmisiones de televisión abierta, telefonía celular, microondas, radiomensajes, sistemas satelitales, sistemas de comunicación para aeronaves y los radioaficionados entre varios servicios. Tal como se aprecia en la Figura 2.4; debido a que se prestan múltiples servicios el espectro es organizado y regulado principalmente al ser un medio intangible [4], [3].

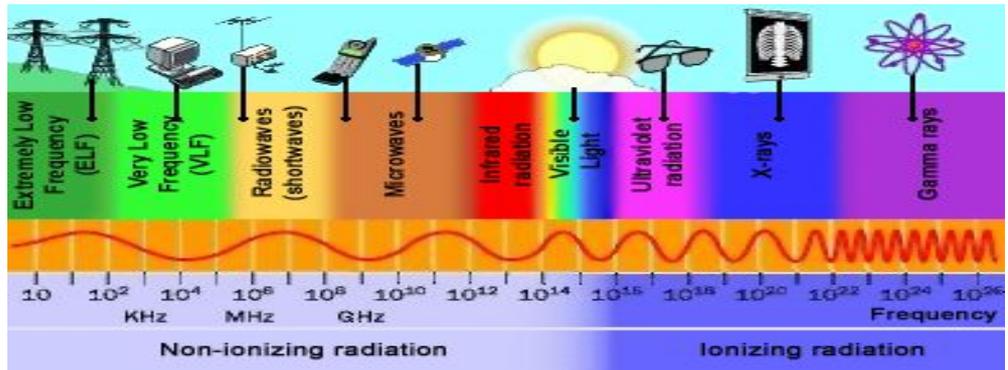


Figura 2. 4 Servicios del espectro radioeléctrico [15].

2.2.1. Propagación de ondas en el espectro radioeléctrico.

Las ondas del espectro radioeléctrico, no se encuentran limitadas por fronteras territoriales como es el caso geográfico de los países; dichas ondas se propagan en el espacio, pero se las puede limitar regulando los dispositivos electrónicos para su control y aprovechamiento como se aprecia en la Figura 2.5; es por esto que la regulación y control del uso del espectro es regido por tratados internacionales y tratados interinos, que en este caso a nivel internacional es administrado por la ITU y a nivel nacional es regulado por la SUPERTEL, los cuales fijan los lineamientos a seguirse [5], [4].

Como medida del control internacional, el espectro se lo divide en diversas bandas de frecuencias que designan una porción del mismo en base a criterios técnicos del servicio que se presta en dicha banda. Cada una de ellas puede ser canalizada, controlando una posible saturación debido a los servicios prestados [6], [4].

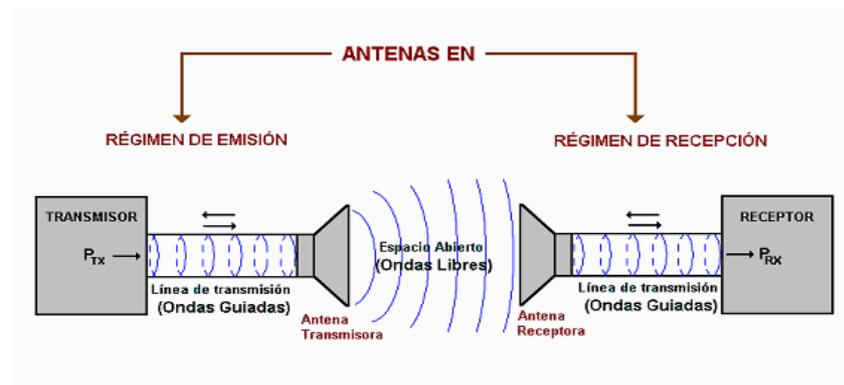


Figura 2. 5 Propagación una onda [16].

2.2.2. Espectro radioeléctrico según su frecuencia.

El espectro de la audiofrecuencia es aquel compartido por las bandas ELF, SLF, ULF y VLF cuyo margen de frecuencia va desde los 20 Hz hasta 20.000 Hz aproximadamente como se observa a través de la Figura 2.6. Pero es de considerar que estas ondas se mueven a la velocidad del sonido dentro de un medio debido a que son ondas de presión; mientras que las

ondas de radiofrecuencia, se movilizan a la velocidad de la luz sin necesidad de un medio al ser ondas electromagnéticas [5], [4].

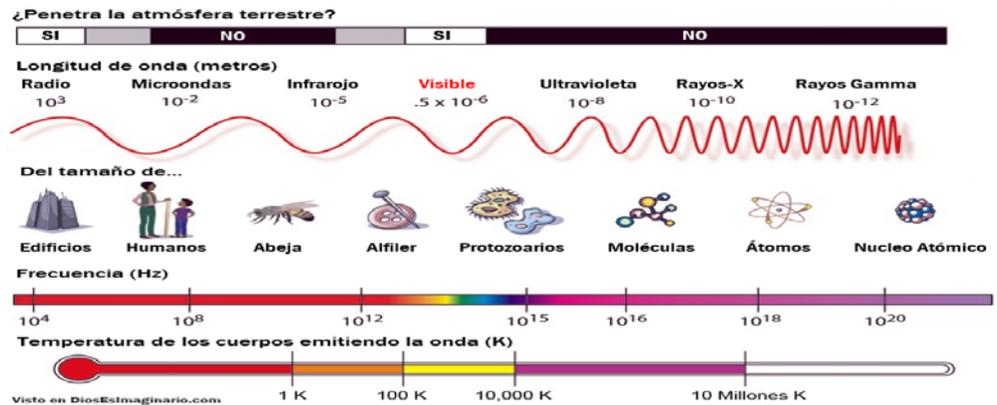


Figura 2. 6 Espectro Radioeléctrico [17].

2.2.3. Espectro radioeléctrico y división de bandas para radio.

En la Tabla 4, se puede apreciar cómo se subdivide el espectro en base a las bandas usadas para el servicio de radiodifusión y sus respectivos rangos de frecuencia [10].

Tabla 4 Espectro radioeléctrico según las bandas usadas para radiodifusión.

Espectro	Rango de Frecuencia
Onda larga	150 - 285 KHZ
Onda media	520 - 1605 KHZ
Onda corta	2300 - 26100 KHZ

VHF	
Banda I	47 - 68 MHZ
Banda II: FM	87 - 110 MHZ
Banda III	174 - 230 MHZ
UHF	
Banda IV	470 - 606 MHZ
Banda V	606 - 862 MHZ
Ku	
FSS Banda inferior	10.7 - 11.7 GHZ
DBS	11.7 - 12.5 GHZ
FSS Banda Superior	12.5 - 12.75 GHZ

Clasificación de las bandas y su rango.

2.2.4. Distribución del espectro radioeléctrico en aplicaciones.

El espectro se lo puede clasificar en base a las funciones que se les da dentro de las telecomunicaciones considerando la frecuencia en la que se encuentra, ya que dependiendo de esta, se afectará a la propagación de las ondas y los usos serán diferentes [4].

Al espectro se lo subdivide en nueve bandas de frecuencias las cuales son designadas con la unidad de frecuencia "Hz" y su orden es de forma creciente como se aprecia en la Tabla 5

y de la cual requerimos para el estudio las ondas métricas o de VHF [5].

Tabla 5 Distribución convencional del espectro.

Sigla	Características	Uso
VLF	El tipo de propagación es por onda de tierra; la atenuación de señales es débil; estable.	Enlaces de radio a grandes distancias.
LF	Menos estable que las VLF; de atenuación débil y propagación por onda de tierra.	Navegación aérea y marítima con enlaces de radio a gran distancia.
MF	Absorción elevada durante el día y propagación ionosférica durante la noche, parecido a LF.	Radiodifusión.
HF	En su propagación es de prevalencia la ionosférica pero con fuertes variaciones estacionales las 24 horas.	Comunicación de todo tipo a media y larga distancia.
VHF	El tipo de propagación prevaeciente es la directa; y en ocasión ionosférica o troposférica	Enlaces de radio a corta distancia, televisión y frecuencia modulada.
UHF	Solamente propagación directa, posibilidad de enlaces	Enlaces de radio a corta distancia,

	por reflexión o a través de satélites artificiales.	televisión y ayuda a la navegación aérea.
SHF	Características similares a las UHF	Radar y enlaces de radio.
EHF	Características similares a las UHF	Radar y enlaces de radio.
EHF	Características similares a las UHF	Radar y enlaces de radio.

Usos comunes del espectro en las comunicaciones.

2.3. Modulación y demodulación de una señal.

Para que se efectuó la transmisión en las comunicaciones de radio, es necesaria la superposición de una señal de frecuencia baja proveniente de la fuente, con una señal de frecuencia elevada conocida como portadora; la onda generada por la suma de ambas señales se la denomina señal modulada; por lo tanto la información transmitida por la fuente es transportada sobre la señal portadora, comportamiento apreciado a través de la Figura 2.7 [3], [5].

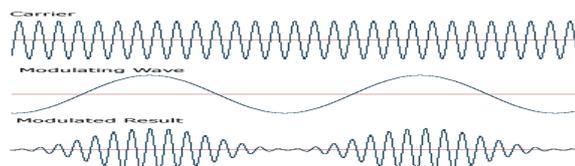


Figura 2. 7 Modulación de una señal [18].

Se conoce como modulación, al efecto de variar o cambiar alguna propiedad de una onda portadora conforme a la información originada por la fuente; esto se realiza en el transmisor. El efecto contrario se lo hace en el proceso de demodulación, el cual es realizado en el receptor y consiste en obtener la información de la fuente separándola de la portadora, como se observa en la Figura 2.8 [5], [4].

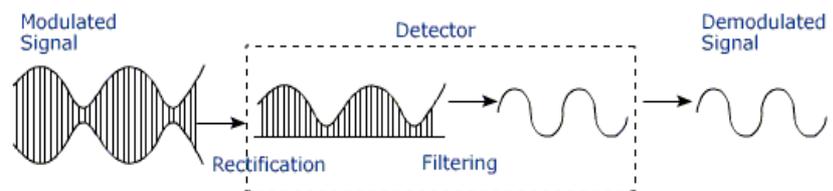


Figura 2. 8 Demodulación de una señal [19].

La señal banda base que modula la portadora, adicionalmente es una señal de información que se puede comparar con un canal analógico sencillo. Al modular la señal, esta cambia su frecuencia por una más alta, para posteriormente ser trasladada hacia el receptor [4].

Es de considerar para la modulación y demodulación el uso del término canal; el cual se utiliza para referirse a una banda particular de frecuencias que se encuentran distribuidas como se observa en la Figura 2.9 [20].

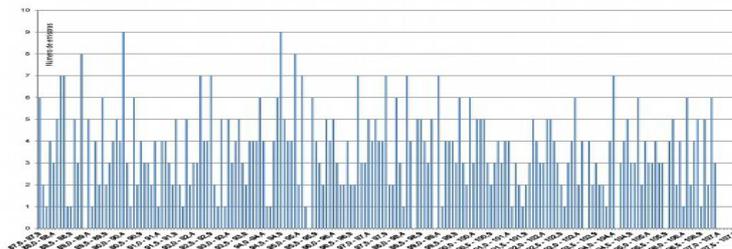


Figura 2. 9 Canal para radiodifusión analógica [20].

2.3.1. Tipos de modulación.

Se conoce que en una onda sinusoidal se pueden variar tres características y en base a esto implementar diferentes tipos de modulación visualizados en la Figura 2.10 [5]

- Amplitud (AM)
- Frecuencia (FM)
- Fase (PM)

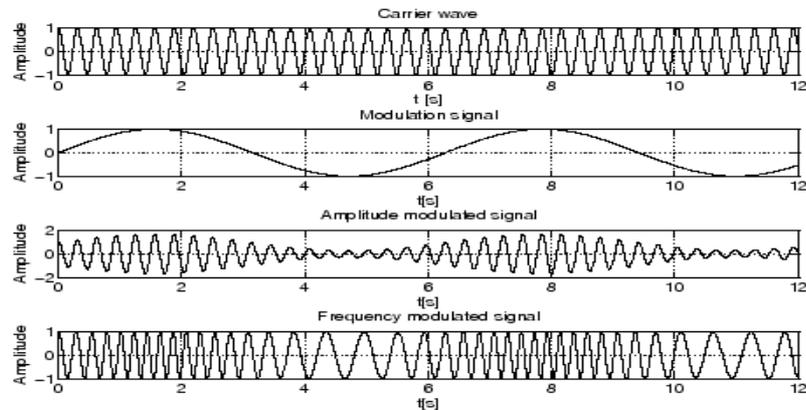


Figura 2. 10 Tipos de modulación [21].

La técnica de modulación es necesaria, debido a que la emisión de señales en forma de ondas electromagnéticas por la atmósfera a frecuencias bajas resulta difícil, además de que, si las señales de información se transmitieran con su misma frecuencia, estas se interferirían mutuamente. Para evitar este inconveniente, al modular la señal se la transmite en un canal diferente por estación [5].

2.4. Modelos de propagación de las ondas RF.

Debido a que las ondas poseen una componente eléctrica y una magnética, durante su emisión pueden ocurrir varios fenómenos que a su vez modifiquen las características de propagación; como son: los obstáculos en el trayecto del enlace (edificaciones, montañas),

las condiciones ambientales (lluvia, absorción por gases y vapores), propiedades eléctricas del terreno (constante dieléctrica, conductividad) y otros fenómenos influyentes que a continuación se mencionan [5].

- Reflexión.- La onda de radio cambia de dirección en el mismo medio cuya superficie tiene la característica de ser lisa.
- Refracción.- La onda irradiada, puede desviar levemente su trayectoria al atravesar un medio con densidad distinta.
- Difracción.- Es el efecto bajo el cual las ondas se esparcen al entrar en contacto con un obstáculo; es considerada una forma particular de interferencia.
- Dispersión.- Es el efecto bajo el cual las ondas de distinta frecuencia se ven separadas al atravesar un medio.

2.4.1. Propagación por ondas de superficie.

Usada en propagación a grandes distancias; posee un alcance aproximado a los 100 kilómetros y se la utiliza para la radiodifusión en amplitud modulada (AM). La onda viaja a lo largo de la superficie antes de ser absorbida por el suelo y lo

logra por encima de los obstáculos debido a la difracción como se aprecia en la Figura 2.11 [5].



Figura 2. 11 Propagación por onda de superficie [22].

2.4.2. Propagación por onda directa.

Usada frecuentemente para radiodifusión FM y televisión en las bandas VHF y UHF; posee poco alcance por lo que necesita de equipos repetidores ubicados entre 30 a 100 kilómetros. La antena debe poseer una altura tal que la propagación sea por línea de vista directa entre el transmisor y el receptor y puede que ocurra por reflexión como se observa en la Figura 2.13, en cuyo caso se debería de considerar las características del suelo para evitar mayor pérdida [5].

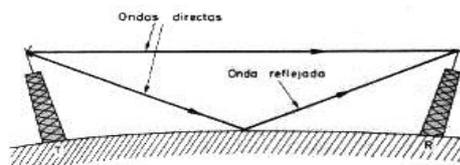


Figura 2. 12 Propagación por onda directa [23].

2.4.3. Propagación atmosférica.

Permite comunicaciones a largas distancias, funciona de manera tal que las ondas se irradian hacia la atmósfera y desde la cual se ven reflejadas a la superficie, para nuevamente volver a reflejarse hacia la atmósfera en saltos sucesivos hasta alcanzar el receptor. Ocurre entre la tropósfera y la ionósfera como se aprecia a través de la Figura 2.14 [5], [24].

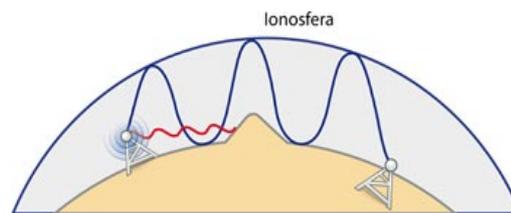


Figura 2. 13 Propagación atmosférica [24].

2.4.4. Propagación espacial.

Permite conexiones transoceánicas, usa altas frecuencias comprendidas entre 1GHz a 30 GHz, atraviesa la atmósfera de manera que emite ondas hacia satélites ubicados en la órbita terrestre y dentro del mismo son amplificadas y redirigidas hacia el receptor [5].

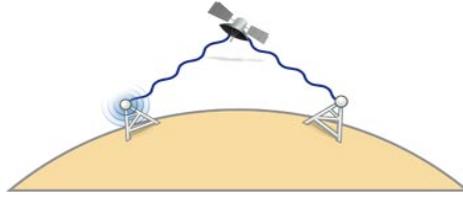


Figura 2. 14 Propagación espacial [25].

2.5. Interferencia.

Es la superposición de dos o más ondas lo cual resulta en una onda de mayor o menor amplitud, que en el caso de la radiodifusión puede ocasionar una baja en la señal además de diversos factores que afectarán la integridad de la señal [2].

2.6. Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (P.I.R.E.).

Es aquel valor que permite determinar, rangos de operación y el área de cobertura; considerado el producto de la ganancia de la antena con la potencia suministrada en comparación con una antena isotrópica (*antena ideal que puede emitir la misma potencia en todas las direcciones*). Se la expresa en dBW (decibelio/Vatios) y se la puede calcular a través de la Ecuación (2.1) [5].

$$PIRE = P_T - L_C + G_a$$

Ecuación (2. 1)

- P_T = Potencia de salida del transmisor (dBm).
- G_a = Ganancia de la antena al receptor (dB) respecto a una antena isotrópica (dBi).
- L_c = Pérdidas por acoplamiento y líneas de transmisión (dB).

2.6.1. Potencia Efectiva Radiada (P.E.R.).

Las antenas reales no son isotrópicas y en la radiodifusión, se usan antenas derivadas del dipolo, es por esto que debemos de usar la potencia efectiva irradiada para los cálculos de alcance, perdidas y potencias de la antena [5].

Se define al P.E.R.; como el producto de la potencia de la antena con su respectiva ganancia de dipolo de media onda en una dirección dada y su valor es expresado en dB; es de considerar que la ganancia de la antena de $\lambda/2$, posee una diferencia de 2,15 dB con respecto a la ganancia de una antena isotrópica, que se aprecia en la Ecuación (2.2) y por ende el P.E.R puede ser hallada en base al P.I.R.E como se aprecia en la Ecuación (2.3) [5].

$$G_T(dB) = G_T(dBi) - 2.15 \text{ dB}.$$

Ecuación (2. 2)

$$P.E.R. = P.I.R.E. - 2.15 \text{ dB.}$$

Ecuación (2. 3)

2.6.2. Pérdida básica de propagación.

Es la pérdida de ganancia que sufre la onda al ser irradiada en el espacio libre; se lo expresa como el cociente entre la potencia transmitida y la potencia recibida por una antena isotrópica en el espacio libre, tal como se aprecia en la Ecuación (2.4) [5].

$$L_p = 20 \log F + 20 \log D - 27.5 \text{ dB}$$

Ecuación (2. 4)

- F = Frecuencia de enlace.
- D = Distancia entre la antena emisora y receptora.

2.6.3. Zonas de Fresnel.

Para poder establecer un enlace, se considera que no existan obstáculos y exista línea de vista dentro del primer radio de Fresnel (r_1) entre el emisor y el receptor, como se observa en la Figura 2.16. En caso de ocurrir obstáculos dentro de este radio; la obstrucción máxima permisible es del 20 %; y así

podemos considerar las formulas previamente descritas para los cálculos de la transmisión [26].

En caso que no se pueda cumplir con esta condición se procede a tomar en consideración otros factores para la transmisión como son: los cálculos, obstáculos, atmósfera, condiciones del terreno entre otros factores que mitiguen la onda irradiada [5].



Figura 2. 15 Diagrama de las zonas de Fresnel [27].

2.7. Radiodifusión Sonora.

Es un servicio empleado por la radiocomunicación para emitir ondas que serán recibidas por la población general; debido a que permite la transmisión de las señales empleando la modulación de ondas electromagnéticas; es de fácil acceso, bajo costo y provee la capacidad de comunicación entre los oyentes en tiempo real [4].

2.7.1. Estación de radiodifusión.

Las estaciones de radiodifusión, son aquellas que están compuestas por un transmisor enlazado a una antena y cuya instalación proporciona el servicio de radiodifusión para el área autorizada de operación, estas estaciones se las clasifica como:

- Estación Matriz
- Estación Repetidora

Acorde al tipo de servicio que brindan, se las clasifica como:

- Servicio público: Son las dedicadas a aportar servicios para la comunidad, no tienen fines lucrativos y son financiadas por el estado.
- Comercial privada: Son las estaciones que poseen capital y se sustentan de la comercialización y la transmisión de eventos con fines lucrativos.
- Comunitarias: Dedicadas a una comuna o pueblo, posee financiamiento estatal o de la comuna misma.

2.7.1.1. Estación Matriz.

Es aquella estación dedicada a transmitir programación diaria generada dentro de su estudio en forma estable y permanente. Está formada por un estudio, un sistema de transmisión, un enlace estudio-transmisor y sistemas de equipos receptores. Se ubica dentro de la ciudad o población autorizada como área principal. Siendo esta ubicación el domicilio legal del concesionario [4].

2.7.1.2. Estación Repetidora.

Es la estación que retransmite simultáneamente la programación de la estación matriz. Este proceso se lo ilustra en la figura 2.16, haciendo uso de la misma frecuencia o de una frecuencia diferente en base al contrato de concesión de dicha estación [4].



Figura 2. 16 Estación Repetidora [28].

2.7.1.3. Frecuencias auxiliares.

Son las frecuencias usadas para los enlaces radioeléctricos entre el transmisor con la repetidora y el estudio con el transmisor, sea este un servicio fijo o móvil. Estas frecuencias permiten el uso de circuitos de contribución entre repetidoras con los estudios, además de adquisición de información adicional utilizando los recursos de enlaces terrestres, o enlaces satelitales destinados a la transmisión de la programación [4].

2.7.2. Sistema de Radiodifusión.

Es el conjunto de la estación matriz con sus repetidoras, que se utilizan para la transmisión de la programación de manera simultánea en el área de interés con la inclusión de las frecuencias auxiliares de radiodifusión. La Figura 2.17 muestra un sistema de radiodifusión [4], [5].

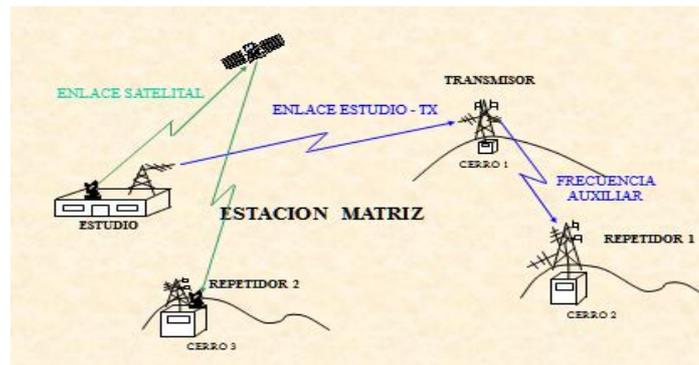


Figura 2. 17 Sistema de radiodifusión [29].

2.8. Radiodifusión en Frecuencia Modulada FM.

Se trata de un sistema de transmisión de radio; para el cual la onda portadora se modula de manera tal que su frecuencia varía acorde a la señal de audio que se desea transmitir; por esta razón, este tipo de transmisión posee mayor inmunidad al ruido e interferencias, los cuales generalmente afectan la amplitud de la señal y no la frecuencia. Su propagación depende de la línea de vista y difracción de obstáculos en las zonas urbanas lo cual limita su cobertura [4].

2.8.1. Estación de Frecuencia Modula (FM).

Estaciones dedicadas a la radiodifusión que operan usando un ancho de banda de 220 KHz para emisiones estereofónicas y 180 KHz para monofónicas, dentro de una misma zona geográfica. Estas estaciones operan dentro de la banda de 88

MHz -108 MHz como se establece dentro del Plan Nacional de Frecuencias para Radio y Televisión [4], [5].

2.8.1.1. Área de servicio.

Es el área bajo la cual la estación FM irradia su señal considerando las características técnicas de su contrato sin irrumpir en las relaciones de protección y explotación y evitando interferencias con estaciones adyacentes, como se observa en la Figura 2.18 [5].

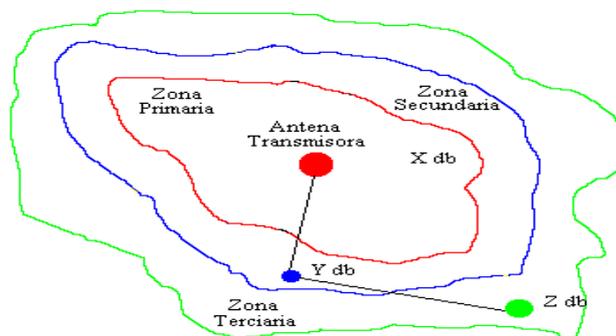


Figura 2. 18 Áreas de cobertura [30].

2.8.1.2. Área de cobertura principal.

Área estipulada dentro del contrato de concesión con la SUPERTEL, siendo esta una ciudad o poblado; el cuál

será cubierto por la irradiación de ondas en frecuencia modulada de la estación transmisora [5].

2.8.1.3. Área de cobertura secundaria.

Se define como el área cuya cobertura corresponde a los alrededores de un poblado o ciudad que ha sido denominada como área principal [5].

2.8.1.4. Área de cobertura autorizada.

Es el área comprendida por el área principal más el área secundaria [5].

2.8.2. Estaciones FM de Baja Potencia.

Son aquellas estaciones FM para las cuales el P.E.R no debe excederse de 250 W. Generalmente estas estaciones brindan servicios a zonas de baja población como es el caso de los cantones, y su frecuencia puede ser reutilizada para irradiar la señal a otros cantones dentro de la misma zona o en su defecto ser usada por un diferente concesionario dentro de la misma provincia, siempre y cuando cubra la población de interés sea cubierta [5].

Se las ubica en áreas periféricas y su antena debe tener una altura que no sobrepase los de 36 m sobre la superficie de la población a servir, como se visualiza en la Figura 2.19. Toda aprobación técnica para el uso de una estación FM de baja potencia se basa en la Norma Técnica Reglamentaria para Radiodifusión en Frecuencia Modulada Analógica [5].

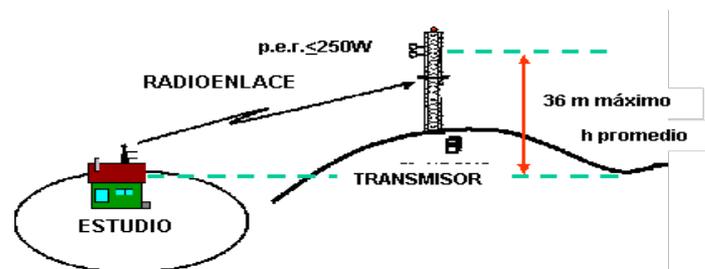


Figura 2. 19 Estación FM de baja potencia [31].

2.9. Sistema de transmisión.

El sistema de transmisión, es aquel que está compuesto por todos los equipos y dispositivos que al ser interconectados nos permiten brindar un servicio de radiocomunicación; estos equipos pueden ser modificados o reemplazados siempre y cuando no alteren las características bajo las cuales funciona el entorno común y que además no afecten a los sistemas contiguos. La modificación de algún componente que cambie el sistema de transmisión debe tener

una previa autorización de los mecanismos de control que para el caso de nuestro territorio es la SUPERTEL [5].

2.9.1. Transmisor FM.

Los transmisores FM poseen un oscilador maestro encargado de generar una portadora sinusoidal de frecuencia y amplitud estable, que luego se modula junto con la información. Poseen amplificadores que aumentan la potencia de manera tal que esta se encuentre al nivel requerido para la línea de transmisión y la antena. La potencia máxima depende de la ganancia máxima de la antena, considerando que la potencia isotrópica radiada no supere los 16 dB [5].

2.9.2. Línea de transmisión.

Es un elemento que permite guiar la propagación de una onda de un punto a otro con la mayor eficiencia posible. En el caso de interconectarse con una antena será la guía de onda o cable coaxial siendo la primera usada para frecuencias mayores a los 2 GHz dado que la longitud de onda es corta y por ende no es posible utilizar otros medios, mientras que para frecuencias superiores a HF se utiliza el cable coaxial, la forma

física que poseen ambos tipos de líneas se la aprecia en la Figura 2.23. Una línea de transmisión debe poseer la impedancia requerida para permitir el acoplamiento entre el equipo transmisor con la antena [5].



Figura 2. 20 Cable coaxial (Izq.) y Guía de Onda (Der.) [32].

2.9.3. Antena de transmisión.

Dispositivo que irradia la onda electromagnética por el espacio, desde el transmisor hacia los receptores cercanos, y para lograr esto, los equipos receptores deben de sintonizarse a la misma frecuencia de los equipos de transmisión, además de poseer la polarización correcta, sea esta vertical u horizontal [7].

El tipo de antenas que se pueden usar son lineales, circulares o elípticas, estas deben de ser gestionadas en el contrato de concesión especificando el área en el cual se las va a ubicar y la altura autorizada en dicho contrato [7].

Las torres de transmisión a usarse para el montaje de las antenas, pueden ser compartidas con otros concesionarios o con operadores de otros servicios siempre y cuando se cumplan los parámetros técnicos para la radiodifusión [7].

2.9.4. Equipos de estudio.

Los equipos y su manipulación son de total libertad del concesionario, y de acuerdo a las necesidades requeridas por la estación estos pueden ser modificados y actualizados para mantener el funcionamiento óptimo de la estación de radio [5].

2.9.5. Enlaces.

Para el adecuado funcionamiento de los enlaces se debe garantizar la comunicación sin provocar interferencias a estaciones vecinas; por consiguiente el concesionario debe confirmar que la frecuencia de trabajo asignada se encuentre debidamente autorizada antes de la compra y configuración de los equipos, salvo que el enlace no use frecuencias radioeléctricas, y esto se haya notificado a la SUPERTEL [6].

2.10. Ubicación de la estación.

Se eligen zonas altas con vista directa hacia el sector a cubrir con la señal que se desea irradiar, considerando que esta no se atenué por obstáculos en el camino basándose en las zonas de Fresnel, de manera que se evite la pérdida por obstáculos [5].

2.10.1. Ubicación de los Transmisores.

Se ubican por lo general fuera del área urbana, para evitar la saturación del espectro con los otros tipos de transmisiones efectuadas dentro de la ciudad y tratando de que se encuentren a una distancia prudencial de la estación de audio para evitar ruido; también pueden ubicarse en áreas donde sean compartidas con otro concesionario u operador de diferente servicio. Debe considerarse que la distancia entre el transmisor y la antena sea pequeña para minimizar la pérdida de la señal en la línea de transmisión, en el caso de que su ubicación sea dentro del área urbana, debe de ser una zona aislada y cuya altura supere los 60 metros [5].

2.10.2. Ubicación de transmisores de baja potencia.

Estos equipos se ubican en áreas periféricas a la zona que se desea irradiar, su sistema radiante debe de estar geográficamente situado a una altura máxima de 36 metros sobre la altura promedio de la base [5].

2.11. Instalación de las estaciones.

Los parámetros a cumplir para el montaje de una estación de radiodifusión y la ubicación de sus instalaciones y equipos son los estipulados dentro del contrato de concesión de la misma. A continuación se hará una breve mención de las normas a cumplir durante este proceso [5], [6]:

- **Transmisores.-** Se debe de identificar el área física que contiene el transmisor y la torre de soporte para el sistema radiante; en caso de instalarse próximo a estaciones de fuerzas armadas se requerirá una autorización de la SUPERTEL y en caso de ubicarse cerca de edificaciones con infraestructura de equipos de radio ayuda o aeronavegación, se requiere la autorización de la Dirección de Aviación Civil. Se prohíbe la instalación de torres cerca de pistas de aterrizaje excepto que se posea la

autorización expresa de la Dirección de Aviación Civil, todas las torres deben poseer la debida señalización [5].

- Estudio principal.- Es el espacio donde se ubica la estación matriz y desde donde se genera la programación a recibir y a difundir, se vale de frecuencias auxiliares y cualquier tipo de enlaces previamente autorizados por la SUPERTEL [5].

- Estudios secundarios.- Ubicados fuera del área de cobertura principal y puede estar en la misma o diferente zona geográfica; se destinan para generar una programación específica para lo cual pueden usar enlaces que no requieran una autorización escrita [5].

- Estudios móviles.- Se dice de aquellos que generan programación ocasional desde vehículos o lugares especiales tanto nacional como internacional, para lo cual se comunican utilizando frecuencias auxiliares, satelitales o terrestres [5].

Capítulo 3

3. Regulaciones y Normativas Técnicas.

En el capítulo 3, se describen las normativas técnicas y las regulaciones para efectuar las comunicaciones a través del ancho de banda dedicado a la radiodifusión; junto con las instituciones y ente regulativos que aseguran que se brinde el servicio en el Ecuador de manera correcta y sin haber problemas con el uso del espectro entre servicios diferentes y entre distintos concesionarios.

3.1. Plan Nacional de Frecuencias.

El Objetivo principal de el Plan Nacional de Frecuencias es el de brindar las bases necesarias que garanticen un proceso eficaz de gestión del espectro radioeléctrico así como una utilización óptima del mismo, además de la prevención de interferencias entre los diferentes servicios [6].

En el documento del Plan Nacional de Frecuencias del Ecuador se expresa la soberanía del Estado Ecuatoriano respecto a la administración y manejo del espectro radioeléctrico que se utiliza en los múltiples servicios de telecomunicaciones dentro del país [6].

Debido a que Ecuador compra tecnología en el sector de telecomunicaciones, se debe acoger recomendaciones de organismos internacionales tales como la Unión Internacional de Telecomunicaciones [ITU] , Federal Communications Commission [FCC] de los Estados Unidos de América y European Telecommunications Standards Institute [ETSI] para los países europeos [6].

El Plan Nacional debe satisfacer las demandas de los servicios de la telefonía fija inalámbrica, las comunicaciones móviles terrestres, satelitales, los servicios de Comunicación Personal, Sistemas Móviles Internacionales de Telecomunicaciones (IMT-2000), los sistemas troncalizados, los servicios acordes al concepto de última milla, espectro ensanchado, etc. [6].

El Plan Nacional consiste en tres partes, en la primera parte se muestran los términos y definiciones establecidas por la UIT tales como la gestión del espectro radioeléctrico, los servicios radioeléctricos y las Estaciones y sistemas radioeléctricos [6].

En la segunda parte se muestra el Cuadro de Atribución de Bandas de Frecuencias correspondiente al rango de 9 KHz – 1.000 GHz. De acuerdo a la UIT ha dividido al mundo en tres Regiones: Región 1, Región 2 (*a la que pertenece Ecuador*), y Región 3 [6].

La tercera parte nos describe las aplicaciones, parámetros técnicos, normas y estándares de los servicios que se utilizan en cada una de las bandas de frecuencia, además de previsiones futuras que podrían presentarse en la utilización del espectro radioeléctrico [6].

El plan establece lo siguiente:

- Designaciones y reserva de frecuencias.
- Atribución de las bandas y sub-bandas a todos servicios.
- Servicios característicos específicos.
- Adaptación a nuevos sistemas tecnológicos.
- Migración y calendarios de ocupación en las bandas.

3.2. Normas para la atribución de bandas.

Las normas establecidas de acuerdo al Plan Nacional de Frecuencias según la atribución de sus bandas son:

- Compartición de las bandas de frecuencias.
- Priorizar las bandas de acuerdo a sus servicios.
- Reserva de frecuencias y bandas del espectro para el uso común, así como también las sub-bandas respectivas.

3.2.1. Atribución de las Bandas de Frecuencias del Espectro Radioeléctrico.

El espectro radioeléctrico, se encuentra subdividido en nueve bandas de frecuencias, las cuales se encuentran designadas en orden ascendente, por números enteros y que comienzan desde el número 4. Dado que las bandas anteriores pertenecen al espectro electromagnético, estas divisiones se pueden apreciar en la Tabla 6. Considerando el hecho que la unidad para la frecuencia es el Hertz (Hz), las frecuencias están expresadas como [10]:

- Kilohertzios (KHz) hasta los 3000 kHz
- Mega Hertzios (MHz) = 3MHz - 3000 MHz
- Giga Hertzios (GHz) = 3 GHz - 3000 GHz

Tabla 6 Atribución de las bandas de frecuencia.

Número de la Banda	Símbolo en inglés	Gama de frecuencias	Subdivisión métrica	Abreviaturas métricas para las bandas
4	VLF	3 a 30 kHz	Ondas Miriamétricas	B.Mam
5	LF	30 a 300 kHz	Ondas Kilométricas	B.Km
6	MF	300 a 3000 kHz	Ondas Hectométricas	B.Hm
7	HF	3 a 30 MHz	Ondas Decamétricas	B.Dam
8	VHF	30 a 300 MHz	Ondas Métricas	B.m
9	UHF	300 a 3000 MHz	Ondas Decimétricas	B.dm
10	SHF	3 a 30 GHz	Ondas Centimétricas	B.cm
11	EHF	30 a 300 GHz	Ondas Milimétricas	B.mm
12		300 a 3000 GHz	Ondas Decimilimétricas	

Bandas de la 4 a la 12.

3.2.2. Regiones de la Atribución de las Bandas de Frecuencias.

Acorde a la UIT, el planeta se encuentra dividido en tres Regiones como se visualiza en la Figura 3.1; a continuaciones detallaremos las regiones y la atribución de las bandas de frecuencias para cada región [10]:

- “Región 1, comprendida por la zona limitada al este por la línea A, como se observa en la figura 3.1, y al oeste por la

línea B con la excepción de la República Islámica de Irán situada entre esos límites. Dentro de esta región están los territorios de Armenia, Azerbaiyán, Georgia, Kazakstán, Mongolia, Uzbekistán, Kirguistán, Federación de Rusia, Tayikistán, Turkmenistán, Turquía y Ucrania y la zona al norte de la Federación de Rusia que se encuentran entre las líneas A y C” [10].

- “Región 2, comprendida por la zona limitada al este por la línea B y al oeste por la línea C” [10].
- “Región 3, comprendida por la zona limitada al este por la línea C y al oeste por la línea A con la excepción de Armenia, Azerbaiyán, Georgia, Kazakstán, Mongolia, Uzbekistán, Kirguistán, Federación de Rusia, Tayikistán, Turkmenistán, Turquía, Ucrania y la zona al norte de la Federación de Rusia. Y situada fuera de estos límites la República Islámica de Irán” [10].

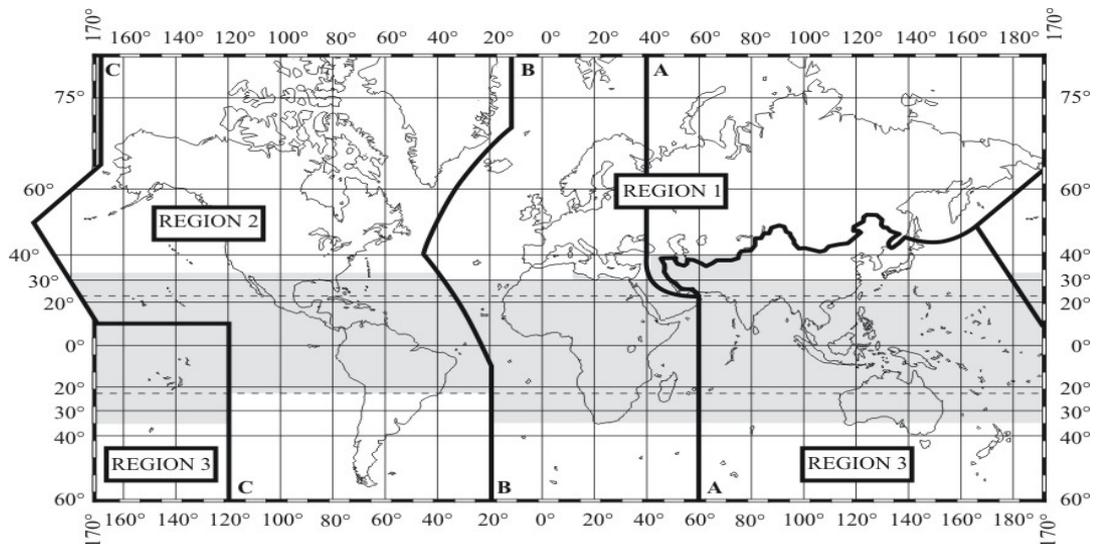


Figura 3. 1. Regiones de las bandas de Frecuencia [10].

3.2.3. Designación de las Bandas de Frecuencias del Ecuador.

Para establecer la atribución de bandas de frecuencias dedicada a los servicios de radiocomunicaciones específicos; se usa la correspondiente nota nacional EQA en la cual se establecen las bandas. Recordar que estas notas EQA pueden ser modificadas si cuenta con la aprobación del CONATEL [6].

La resolución “**EQA.35**” nos dice que “La banda 88 MHz - 108 MHz, es atribuida exclusivamente al servicio de RADIODIFUSIÓN Sonora en Frecuencia Modulada (FM)” [10].

El resto de resoluciones se las puede encontrar en el ANEXO

C.

3.2.4. Norma Técnica para la Radiodifusión en FM.

La Norma Técnica para Radiodifusión en Frecuencia Modulada Analógica, cuyo reglamento se encuentra en el Registro Oficial “N° 074 del 10 de Mayo del 2000” junto sus respectivas modificaciones emitidas en el Registro Oficial “N° 103 de 13 de Junio de 2003”, tiene como principal objetivo establecer canales para los sistemas radioeléctricos además de optimizar el espectro y poder garantizar su uso eficiente. Como se observa en la Figura 3.2 y en la Tabla 7 se establecen las siguientes zonas geográficas para la respectiva concesión de las estaciones en frecuencia modulada [6].



Figura 3. 2. Zonas geográficas para radiodifusión FM [29].

Tabla 7 Zonas geográficas para radiodifusión FM.

Zonas Geográficas	Cobertura de las Zonas Geográficas (Incluye Grupos de Frecuencias)⁽¹⁾
FA001	Azuay Cañar. Grupos de frecuencia 1, 3 y 5
FB001	Provincia de Bolívar excepto las estribaciones occidentales del ramal occidental de, la Cordillera de los Andes. Grupo de frecuencia 6
FC001	Provincia del Carchi. Grupos de frecuencias 1 y 3
FD001	Provincia de Orellana. Grupo de frecuencia 1
FE001	Provincia de Esmeraldas, excepto Rosa Zárate y La Concordia que pertenecen a la zona P, subgrupo P1. Grupos de frecuencias 4 y 6
FG001	Provincia del Guayas, Sub-zona 1 (independiente de la Sub-zona 2), excepto las ciudades de El Empalme, Balzar, Colimes, Palestina, Santa Lucía, Pedro Carbo, Isidro Ayora, Lomas de Sargentillo, Daule, El Salitre, Alfredo Baquerizo Moreno, Simón Bolívar, Milagro, Naranjito, Maridueña, El Triunfo, Naranjal, Balao y Bucay. Grupos de frecuencias 1, 3 y 5
FG002	Provincia del Guayas, subzona 2, (independiente de la subzona 1), comprende las ciudades de la Península de Santa Elena y General Villamil. Grupos de Frecuencias 1, 3 y 5
FJ001	Provincia de Imbabura. Grupos de frecuencias 2 y 6
FL001	Provincia de Loja. Grupos de frecuencias 2 y 5
FM001	Provincia de Manabí; excepto los cantones El Carmen y Pichincha. Grupos de frecuencias 1, 3 y 5
FN001	Provincia de Napo. Grupo de frecuencia 1
FO001	Provincia de El Oro, e incluye Milagro, Naranjito, Bucay, Maridueña, El Triunfo, Naranjal y Balao de la provincia. del Guayas, La Troncal y las estribaciones del ramal occidental de la Cordillera de los Andes de las provincias de Chimborazo, . Cañar y Azuay. Grupos de frecuencias 2, 4 y 6
FR001	Provincia de Los Ríos, e incluye El Empalme, Balzar, Colimes,. Palestina, Santa Lucía, Pedro Carbo, Isidro Ayora, Lomas de Sargentillo, Daule, El Salitre, Alfredo Baquerizo Moreno y Simón Bolívar de la provincia del Guayas, cantón Pichincha de la provincia de Manabí y las estribaciones occidentales del ramal occidental de la Cordillera de los Andes de las provincias de Cotopaxi y Bolívar. Grupos de frecuencias 2, 4 y 6
FP001	Provincia de Pichincha, subzona 1 (independiente de la subzona 2). Grupos de frecuencias 1, 3 y 5
FP002	Provincia de Pichincha, subzona 2 (independiente de la subzona 1), comprende: Santo Domingo de los Colorados e incluye los cantones aledaños: El Carmen (de la provincia de Manabí), Rosa Zárate y la Concordia (de la provincia de Esmeraldas). Grupos de frecuencias 1, 3 y 5
FS001	Provincia de Morona Santiago. Grupo de frecuencia 1

FT001	Provincias de Cotopaxi y Tungurahua, excepto las estribaciones occidentales del ramal occidental de la Cordillera de los Andes de la provincia de Cotopaxi y el cantón Baños de la provincia de Tungurahua. Grupos de frecuencias 1, 3 y 5
FH001	Provincia de Chimborazo, excepto las estribaciones occidentales del ramal occidental de la Cordillera de los Andes de esta provincia. Grupos de frecuencias 1, 3 y 5
FU001	Provincia de Sucumbíos. Grupos de frecuencias 1 y 3
FX001	Provincia de Pastaza, incluido Baños (de la provincia de Tungurahua). Grupo de frecuencia 6
FY001	Provincia de Galápagos. Grupo de frecuencia 4
FZ001	Provincia de Zamora Chinchipe. Grupo de frecuencia 3

3.2.5. Canalización y grupos de frecuencias de la banda FM.

En la Tabla 8 se aprecian los canales de la banda de Frecuencia Modulada numerado del 1 al 100; los cuales poseen una separación de 200 KHz entre ellos, iniciando el canal 1 en 88.1 MHz y terminando el canal 100 en 107.9 MHz [6].

Tabla 8 Canales en la banda 88.1 MHz - 107.9 MHz

Canal #	Frecuencia (MHz)						
1	88.1	26	93.1	51	98.1	76	103.1
2	88.3	27	93.3	52	98.3	77	103.3
3	88.5	28	93.5	53	98.5	78	103.5
4	88.7	29	93.7	54	98.7	79	103.7
5	88.9	30	93.9	55	98.9	80	103.9
6	89.1	31	94.1	56	99.1	81	104.1

7	89.3	32	94.3	57	99.3	82	104.3
8	89.5	33	94.5	58	99.5	83	104.5
9	89.7	34	94.7	59	99.7	84	104.7
10	89.9	35	94.9	60	99.9	85	104.9
11	90.1	36	95.1	61	100.1	86	105.1
12	90.3	37	95.3	62	100.3	87	105.3
13	90.5	38	95.5	63	100.5	88	105.5
14	90.7	39	95.7	64	100.7	89	105.7
15	90.9	40	95.9	65	100.9	90	105.9
16	91.1	41	96.1	66	101.1	91	106.1
17	91.3	42	96.3	67	101.3	92	106.3
18	91.5	43	96.5	68	101.5	93	106.5
19	91.7	44	96.7	69	101.7	94	106.7
20	91.9	45	96.9	70	101.9	95	106.9
21	92.1	46	97.1	71	102.1	96	107.1
22	92.3	47	97.3	72	102.3	97	107.3
23	92.5	48	97.5	73	102.5	98	107.5
24	92.7	49	97.7	74	102.7	99	107.7
25	92.9	50	97.9	75	102.9	100	107.9

A continuación las Tablas 9 y 10 muestran que para la distribución y asignación de frecuencias en todo el territorio nacional, se establecen 6 grupos de frecuencias; Los primeros cuatro Grupos “G1, G2, G3 y G4” que asignan 17 frecuencias por grupo y G5, G6 con 16 frecuencias cada uno [6].

Tabla 9 Asignación de canales en los grupos G1, G2 y G3.

Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3	
Canal #	Frecuencia (MHz)	Canal #	Frecuencia (MHz)	Canal #	Frecuencia (MHz)
1	88.1	2	88.3	3	88.5
7	89.3	8	89.5	9	89.7
13	90.5	14	90.7	15	90.9
19	91.7	20	91.9	21	92.1
25	92.9	26	93.1	27	93.3
31	94.1	32	94.3	33	94.5
37	95.3	38	95.5	39	95.7
43	96.5	44	96.7	45	96.9
49	97.7	50	97.9	51	98.1
55	98.9	56	99.1	57	99.3
61	100.1	62	100.3	63	100.5
67	101.3	68	101.5	69	101.7
73	102.5	74	102.7	75	102.9
79	103.7	80	103.9	81	104.1
85	104.9	86	105.1	87	105.3

91	106.1	92	106.3	93	106.5
97	107.3	98	107.5	99	107.7

Tabla 10 Asignación de canales en los grupos G4, G5 y G6.

Grupo 4		Grupo 5		Grupo 6	
Canal #	Frecuencia (MHz)	Canal #	Frecuencia (MHz)	Canal #	Frecuencia (MHz)
4	88.7	5	88.9	6	89.1
10	89.9	11	90.1	12	90.3
16	91.1	17	91.3	18	91.5
22	92.3	23	92.5	24	92.7
28	93.5	29	93.7	30	93.9
34	94.7	35	94.9	36	95.1
40	95.9	41	96.1	42	96.3
46	97.1	47	97.3	48	97.5
52	98.3	53	98.5	54	98.7
58	99.5	59	99.7	60	99.9
64	100.7	65	100.9	66	101.1
70	101.9	71	102.1	72	102.3
76	103.1	77	103.3	78	103.5
82	104.3	83	104.5	84	104.7
88	105.5	89	105.7	90	105.9
94	106.7	95	106.9	96	107.1
100	107.9				

3.2.6. Intensidad de Campo y porcentaje de modulación en FM.

La cobertura de una estación de radiodifusión y la calidad técnica del servicio prestado se determinan por las señales recibidas y su intensidad de campo. Considerando una medición a 10 metros por encima del nivel del suelo se deben cumplir los siguientes valores mostrados en la Tabla 11 [6].

Para las transmisiones monofónicas y estereofónicas se permite un 100% de porcentaje de modulación, y en los casos en que se utiliza una subportadora el valor es del 95% [6].

Tabla 11 Niveles de Intensidad de Campo para las diferentes áreas geográficas.

Zona de Cobertura	Intensidad de Campo
Área de Cobertura Principal	≥ 54 dBuV/m
Área de Cobertura Secundaria	< 54 dBuV/m
	≥ 30 dBuV/m
Otras Zonas Geográficas	< 30 dBuV/m

Para Radiodifusoras de baja potencia y de servicios comunales tenemos los siguientes valores mostrados en la Tabla 12 [6].

Tabla 12 Niveles de Intensidad de Campo para baja potencia y servicios comunales

Zona de Cobertura	Intensidad de Campo
Área de Cobertura Principal	< 43dBuV/m
	≥ 30 dBuV/m
Otras Zonas Geográficas	< 30dBuV/m

3.3. Protecciones contra interferencias.

Para Radiodifusión en Frecuencia Modulada Analógica la Norma Técnica (Resolución No. 866-Conartel-99) nos expresa que; aquel concesionario que genere interferencias debe de incorporar a su sistema el equipamiento o accesorios necesario para atenuar la señal interferente en al menos 80 dB; por ende dicho concesionario se ve en la obligación de regular sus equipos de transmisión para poder cumplir con la normativa [6], [3].

3.3.1. Incumplimiento y sanciones.

Se constituye como una infracción técnica de Clase IV el no cumplimiento de las disposiciones emitidas según el ordenamiento de frecuencias y su respectivo plan, de acuerdo a lo estipulado en la Ley de Radiodifusión y Televisión [6].

En el caso de existir interferencia previa a su respectiva comprobación, por incumplimiento de las normas técnicas, se establecerá una sanción que ordene la suspensión de las emisiones interferentes hasta que se realicen las respectivas correcciones [6].

3.4. Entes reguladores del Estado.

SENATEL = “Es la encargada de ejecutar la reglamentación dictada por el CONATEL, además de administrar el espectro de frecuencias” [6].

CONATEL = “Es el encargado de regular los servicios de telecomunicaciones y el uso del espectro radioeléctrico, tomando las medidas necesarias para que los servicios de telecomunicaciones se encuentren en los niveles adecuados de calidad y eficiencia” [6].

SUPERTEL = “Es la encargada de controlar y monitorear el espectro de frecuencias en el Ecuador además de supervisar los contratos de concesión” [6].

CONARTEL = Encargado de regular los servicios de radio y televisión. Fusionándose con el Conatel en Agosto del 2009, mediante decreto presidencial, donde indica que toda la administración y bienes del Conartel, pasan a ser administrados por el Conatel. La asignación de frecuencias para la radiodifusión y televisión previamente era realizada por el CONARTEL (ahora lo hace el Conatel), acorde al Plan Nacional de Distribución de Frecuencias basándose en un informe técnico por parte de la SUPERTEL, en el cual se analiza la disponibilidad de los canales [6].

Capítulo 4

4. Mediciones, requerimientos, gráficas y datos.

En el capítulo 4, se hablará sobre las concesiones de las emisoras de radio en FM, mediciones adquiridas de recepción de estas emisoras en el área del laboratorio de la FIEC, así como también se explicará el proceso de adquisición de datos a través del analizador de espectro, para finalmente analizar y concluir si se le está dando un uso eficiente al segmento del espectro dedicado a la radiodifusión FM.

4.1. Estaciones concesionadas en la ciudad de Guayaquil.

Como se mencionó en el capítulo 3; las estaciones de radio FM se encuentran operando dentro del rango de frecuencias de 88 MHz - 108 MHz, y estas deben funcionar con una separación de 400 KHz entre estaciones para evitar interferencias. Debido a que Guayaquil es una zona poblada y considerando el hecho de que la portadora que lleva la información ocupa un ancho de banda de 220 KHz, se deja 90KHz en ambos lados de la portadora con el objetivo de evitar interferencias entre los canales adyacentes. A continuación se

menciona en la Tabla 13 las estaciones concesionadas para la zona del Guayas en la ciudad de Guayaquil [33].

Tabla 13 Estaciones Radiales en la ciudad de Guayaquil

Frecuencia	Nombre de la estación
88,1	RADIO MARIA
88,5	GALAXIA
88,9	DI BLU
89,3	RADIO CITY
89,7	PUNTO ROJO
90,1	ROMANCE
90,5	CANELA
90,9	RADIO MIX
91,3	TROPICÁLIDA
91,7	ANTENA 3
92,1	ESTRELLA
92,5	FOREVER MUSIC FM
92,9	COLON FM
93,3	AMERICA
93,5	RADIO CORPLEX
93,7	RADIO DISNEY
93,9	FOXROR RADIO
94,1	ONDA POSITIVA
94,5	PLATINUM
94,9	LA OTRA
95,3	CUPIDO
95,7	METRO STEREO
96,1	ONDA CERO

96,5	TROPICANA
96,9	MAS CANDELA
97,3	NUEVO TIEMPO
97,7	RADIO CENTRO
98,1	MORENA FM
98,5	J.C. RADIO
98,9	I-99
99,3	SABORMIX
99,7	ELITE
100,1	LA PRENSA
100,9	ASAMBLEA NACIONAL
101,3	LA ESTACION
101,7	RTU RADIO
102,1	WQ RADIO
102,5	HCJB2
102,9	RADIO FLUX
103,3	JOYA STEREO
103,7	SONORAMA
104,1	ALFA SÚPER STEREO
104,5	CORAZON
104,9	SUPER 11 Q
105,3	RADIO PUBLICA DEL
105,7	FABU
106,1	BBN RADIO
106,5	FUEGO
106,9	RADIO DEPORTIIN
107,3	RUMBA NETWORK

Las estaciones van desde los 88 MHz hasta los 108 MHz.

4.2. Estaciones que se logran receptor en la ESPOL PROSPERINA.

Con el uso de un equipo sintonizador de radio se procedió a verificar si las estaciones que tienen concesión para la ciudad de Guayaquil tenían cobertura en la zona del Campus de la Espol Prosperina, y además si existía algún tipo de interferencia. Los resultados encontrados con este sencillo procedimiento, evidenciaron estaciones pertenecientes a provincias cercanas de las cuales, algunas denotaban una mala calidad en la señal de audio demodulada. A continuación en la tabla 14 se detallan las estaciones encontradas y no concesionadas para la ciudad de Guayaquil que se lograron sintonizar dentro del área de la Espol; específicamente en el laboratorio perteneciente a la FIEC, lo que indicaría que dichas estaciones no estarían cumpliendo con el reglamento en vigencia de la normativa técnica y separación para ciudades pobladas emitidos por el CONATEL [6].

Tabla 14 Estaciones no concesionadas, demoduladas en la ESPOL-PROSPERINA.

Frecuencia	Señal Demodulada
88,3	Aceptable
88,7	Aceptable
90,3	Ruidosa
91,1	Ruidosa
91,5	Ruidosa

94,3	Aceptable
96,7	Aceptable
97,9	Aceptable
98,7	Ruidosa
100,3	Ruidosa
101,5	Aceptable
102,3	Ruidosa
102,7	Aceptable
103,5	Ruidosa
103,9	Aceptable
104,7	Aceptable
105,1	Aceptable
105,5	Aceptable

4.3. Mediciones con el analizador de espectro y medidor de intensidad de campo.

En la Figura 4.1 observamos los equipos utilizados en el proceso de medición como son: el analizador de espectro modelo Agilent E4404B y el medidor de intensidad de campo modelo FIM-71 VHF, de este último aprovechamos el rango de frecuencia en el que trabaja su antena, que va desde los 45 MHz hasta los 225 MHz. El analizador de espectro fue configurado para que tome 2.000 puntos por muestra en el ancho de banda asignado, (88 MHz -108 MHz) lo que indica un segmento del espectro de 20 MHz para ser analizado; al efectuar la división entre el ancho de banda (20MHz) y el número de puntos

configurados (2.000) obtenemos que cada muestra medida tiene una separación de 10 KHz entre sí; las características del analizador de espectro se pueden apreciar a través del ANEXO A y el funcionamiento de la antena en el ANEXO B [1].



Figura. 4. 1 Agilent E4404B SPECTRUM ANALIZER.

Es necesario aclarar que se descartó el uso de la antena SIRIO SD 2000 que posee la FIEC; porque su rango de frecuencias empieza desde los 100 MHz, es decir 12 MHz fuera del rango en que se basa el análisis de este proyecto.

4.4. Adquisición de datos y control remotamente.

Para la adquisición de datos, se utilizó una computadora portátil con sistema operativo Windows XP, la cual se conecta al analizador de espectro mediante el puerto USB; esta computadora tiene instalado un programa llamado Intuilink, el cual permite que dentro de los

complementos de Microsoft Excel 2007 se capturen datos desde el analizador de espectro hacia el computador. Para configurar la toma de datos en la computadora se realizaron los siguientes pasos:

1. Se creó una hoja nueva en Excel, y en la pestaña de complementos se escogió la opción de “Agilent PSA/ESA” como vemos en la Figura 4.2.



Figura. 4. 2 Complemento de INTUILINK.

2. Luego, se puede observar en la Figura 4.3 la ventana de “Connect to PSA/ESA”, se elige el modelo del analizador con el que se está trabajando y se presiona “conectar” .

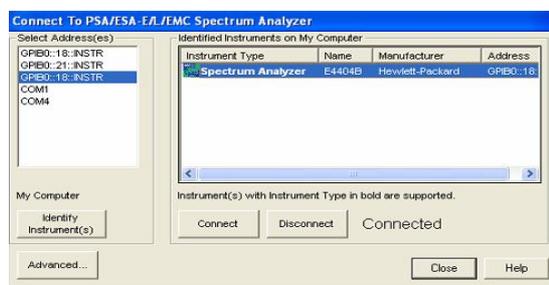


Figura. 4. 3 Conectar al analizador de Espectros.

- Una vez conectado, dentro de la barra de complementos, se elige el ícono para obtener datos “Get Data” como se observa en la Figura 4.4. Inmediatamente se muestra una ventana en la que se observa en la parte izquierda las etiquetas de los parámetros que se desean obtener, y en la parte derecha la opción “Get Repeated Measurements”, la cual se procede a escoger.

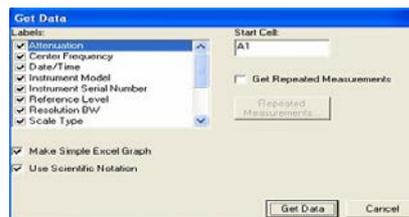


Figura. 4. 4 Get Data Intuilink.

- Se abre una ventana emergente, en la que se puede elegir el número de mediciones a realizar dentro del intervalo específico como se aprecia en la Figura 4.5.



Figura. 4. 5 Mediciones Repetitivas.

Una vez finalizada las primeras 500 mediciones, se necesita volver a configurar la computadora siguiendo las instrucciones descritas en los 4 pasos mencionados anteriormente; por lo que resulta conveniente contar con un acceso remoto a dicho equipo; debido a esto se da uso de un programa llamado TeamViewer, el cual permite a través de una conexión de internet acceder y controlar remotamente cualquier ordenador desde otro dispositivo que también tenga acceso a internet. En la Figura 4.6 se observa la ventana de conexión que el programa TeamViewer ofrece.



Figura. 4. 6 Conexión por TeamViewer.

4.5. Como realizar graficas en Matlab y Minitab.

Para realizar gráficas de dos dimensiones tales como histograma, gráfico de área, gráfico de barras y análisis de distribución de puntos, se dará uso del programa Minitab; que es un programa que permite el

uso de Microsoft Excel junto con la capacidad de análisis estadístico de datos.

Para implementar las funciones en Minitab primero se debe de importar la información de los datos tomados, para esto es necesario tener toda la información en una sola hoja de Excel. Debido a la gran cantidad de datos adquiridos, se programa unas pequeñas subrutinas llamadas “MACROS” que funcionan dentro de Excel y que se son de gran ayuda para poder organizar, mover y hacer cálculos de una manera más rápida. En la Figura 4.7 se muestra el procedimiento para escoger la hoja que vamos a importar.

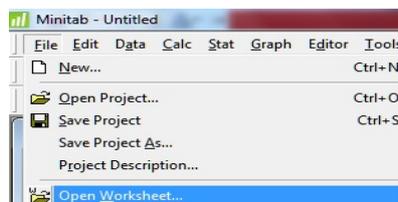


Figura. 4. 7 Abrir hoja de datos.

Con la hoja de datos abierta, se procede a ejecutar las gráficas deseadas, escogiendo una o más columnas que contienen la información que se va a procesar. En la Figura 4.8 se observa un

ejemplo de lo antes descrito, una vez que se ha seleccionado la información requerida se presiona la opción de “OK”.

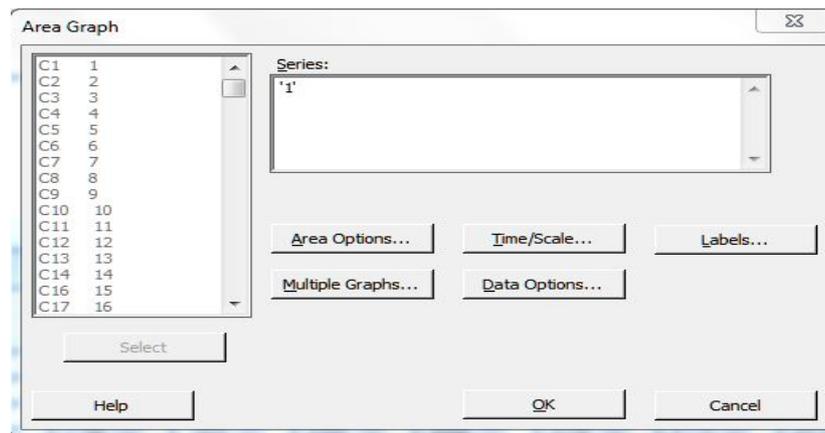


Figura. 4. 8 Graficar.

En caso de que a la columna de datos se le requiere aplicar alguna función o fórmula matemática como por ejemplo: una comparación entre los valores de potencias tomadas versus la potencia de umbral; lo que se hace es, seleccionarla y en el tab, Editor, Fórmulas escoger la opción “asignar formulas a columna” y entonces se puede realizar sumas, promedios o comparaciones, recordando escoger la columna donde se ubican los resultados. Esta información permitirá evaluar cuando una estación de radiodifusión se encuentra transmitiendo o como comúnmente se conoce “esta al aire”. En la Figura 4.9 se muestra el proceso para aplicar fórmulas a una columna de datos.

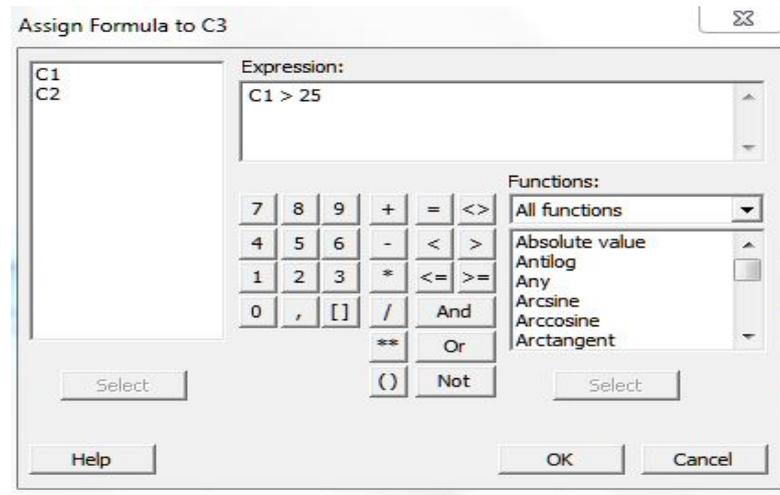


Figura. 4. 9 Asignar formula.

Para la realización de las gráficas en tres dimensiones y analizar el comportamiento del espectro en el transcurso de la semana que duró la adquisición de datos; se organiza las tablas con los valores de potencias en una sola hoja de Excel; para así trabajar con el programa Matlab, que es una herramienta matemática que permite ejecutar gráficos tridimensionales y poder tener una visión más amplia del comportamiento del espectro en función de tres variables involucradas en este análisis que son: tiempo, niveles de potencia y frecuencias.

Se requiere importar en Matlab los tres valores mencionados anteriormente, una vez realizado este proceso se puede entonces crear tres ejes para el gráfico, y con simples instrucciones de comandos

propios del programa, como “surf” (X, Y, Z) se visualiza una gráfica tridimensional del comportamiento por hora de los valores de potencias en función de la frecuencia. Luego con el comando “mesh” (X, Y, Z) ; se logra observar con colores dicho comportamiento, dado que asigna un color por cada intervalo de potencia.

4.6. Comportamiento observable del espectro asignado a radiodifusión.

Se tomaron 2.500 muestras durante un periodo de 180 horas considerando un intervalo de tiempo de 4 minutos con 20 segundos para cada medición, el cálculo de este intervalo se lo explica en el capítulo 5.

En la Figura 4.10, se describe el comportamiento del ancho de banda de 88 MHz a 108 MHz durante la primera medición ejecutada el día 29 de noviembre del 2013 a las 10 horas 37 minutos y 10 segundos; esta gráfica proporciona la variación de los niveles energéticos en decibelios respecto a 1 mW, es decir la potencia en dBm. Como se aprecia aparentemente todo el segmento del espectro en estudio se encuentra ocupado, con valores picos de -65 dBm para la potencia más alta y de -100 dBm para la más baja.

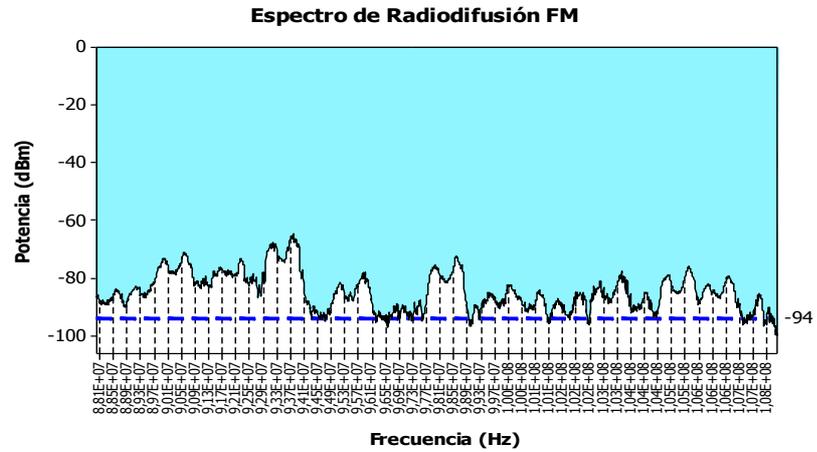


Figura. 4. 10 Variación de Potencia a través del ancho 88 -108 MHz.

En su gran mayoría las frecuencias tienen un nivel de potencia que va desde -93 dBm hasta - 78 dBm, siendo -86 dBm el valor que mayormente se repite como se aprecia en el histograma de potencias mostrado en la Figura 4.11.

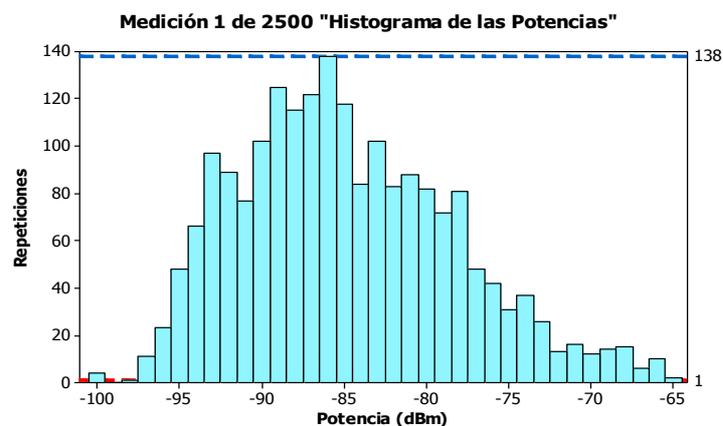


Figura. 4. 11 Histograma de las Potencias.

Para determinar si se encuentra o no transmitiendo una estación y encontrar espacios libres dentro del espectro asignado se considera una potencia de umbral, cuyo cálculo se lo explica en el capítulo 5 y que su valor es de -94 dBm. Con esta referencia, todo nivel de potencia que sea menor al umbral, se lo representará con un cero o espacio en blanco como se aprecia en la Figura 4.12, indicando que ese rango de frecuencia se encuentra libre.

Como se mencionó previamente en el capítulo 3, Tabla 7; la provincia del Guayas se encuentra en la Zona Geográfica FG001 delimitando una separación de 400 KHz entre cada estación de radio, cuya separación no se evidencia en la Figura 4.12, indicando que no hay el espacio necesario para ubicar otra estación de radiodifusión en FM. Muchos de estos espacios vacíos son simplemente el ancho de banda de reserva entre ciertas estaciones; los cuales se encuentran distribuidos de manera tal que no hay el espacio suficiente para enviar una señal sonora estereofónica. El espacio libre más notorio es uno de 200 KHz que va del 98,9 MHz al 99,1 MHz.

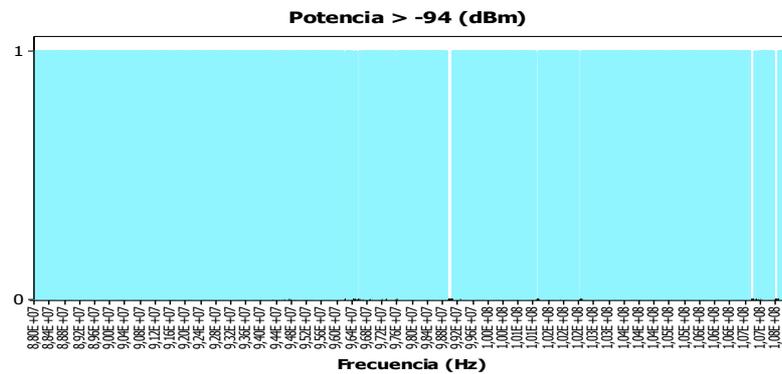


Figura. 4. 12 Frecuencias ocupadas.

El número total de puntos vacíos para la primera muestra es de 120 respecto a los 2.000 puntos de frecuencias medidos; lo que indica un espacio total de 1.200 KHz libres distribuidos a lo largo del ancho de banda destinado a la radiodifusión en FM como nos demuestra la Figura 4.13.

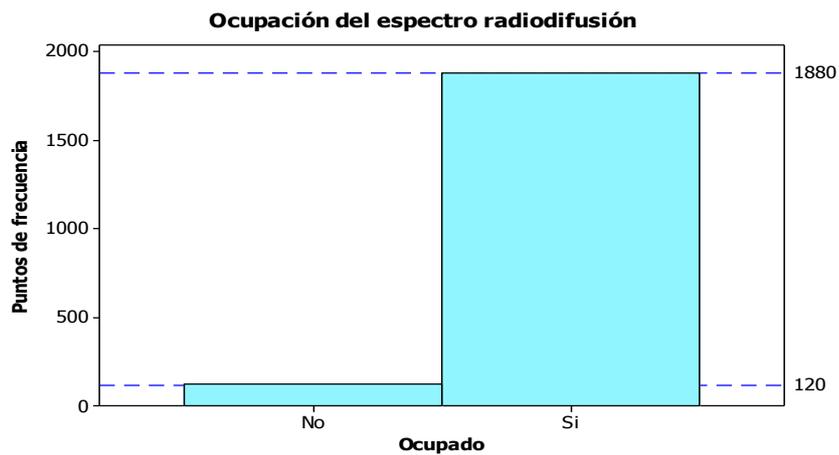


Figura. 4. 13 Histograma de medición > -94 dBm.

A continuación se observa el comportamiento del primer valor de frecuencia medido (88 MHz), ilustrado en la Figura 4.14, lo que determina un comportamiento casi uniforme de potencia en el tiempo durante un periodo de 36 horas.

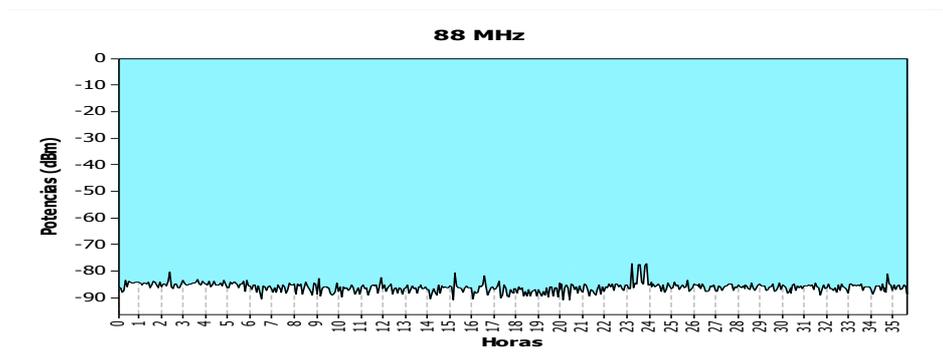


Figura. 4. 14 Comportamiento de 88MHz durante 36 horas.

La Figura 4.15 muestra que el ciclo de trabajo para la frecuencia de 88 MHz es del 100%; es decir que durante las primeras 36 horas, se encuentra con un nivel de potencia superior a nuestro valor de umbral.



Figura. 4. 15 Ciclo de trabajo primera frecuencia.

En la Figura 4.16, se observa el comportamiento general del espectro asignado a la radiodifusión, durante el periodo de 180 horas de todas las mediciones efectuadas, el cual es similar al comportamiento descrito en la primera medición observada en la Figura 4.10.

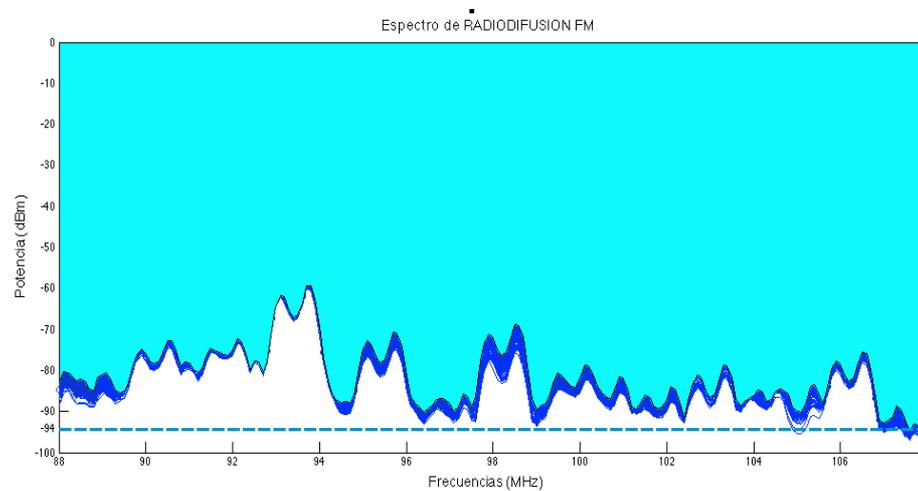


Figura. 4. 16 Comportamiento del espectro por rango de frecuencia.

A través de la Figura 4.17; se corrobora que el comportamiento energético del espectro asignado a la radiodifusión, es uniforme a través del tiempo para cada rango de frecuencia medido. Comprobando que la variación de los niveles de potencia en su mayoría superan el valor de umbral (-94 dBm).

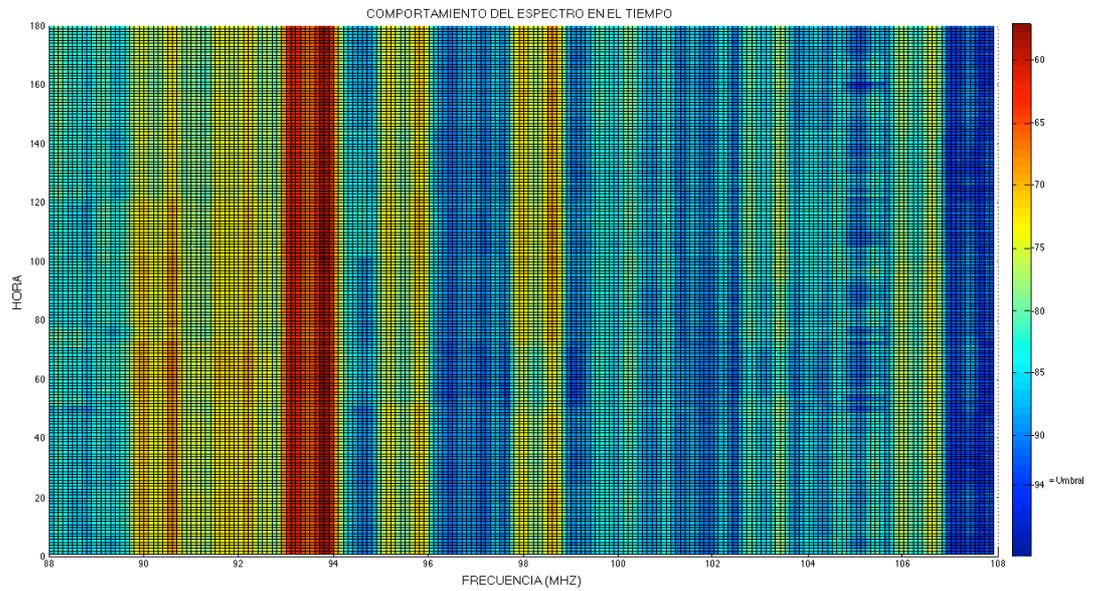


Figura. 4. 17 Espectrograma para la Radiodifusión FM.

En el ciclo de trabajo descrito a través de la Figura 4.18; se aprecia un porcentaje de ocupación del 100 %, para la mayoría de los rangos de frecuencias durante todo el periodo de medición, exceptuando las frecuencias cercanas a los 107 MHz .

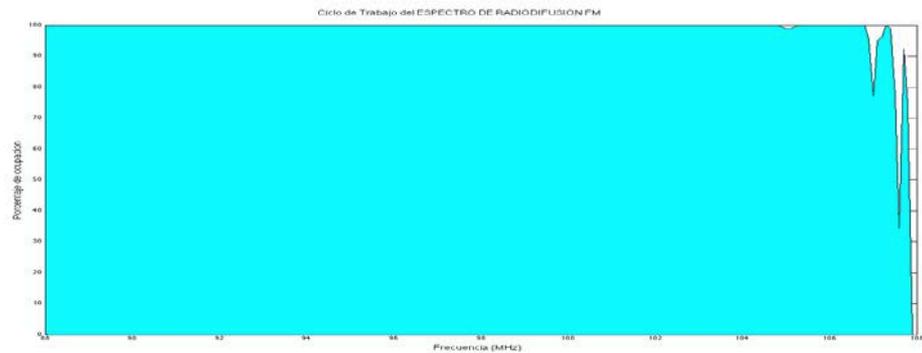


Figura. 4. 18 Ciclo de trabajo del espectro asignado a Radiodifusión FM.

Con las siguientes gráficas tridimensionales se complementará el análisis del comportamiento energético del espectro asignado a la radiodifusión FM en el Campus Prosperina.

Los niveles de potencia durante las primeras 500 mediciones observado en la Figura 4.19; presentan un comportamiento uniforme a través del tiempo para cada frecuencia, por lo que es posible promediar las muestras cada hora.

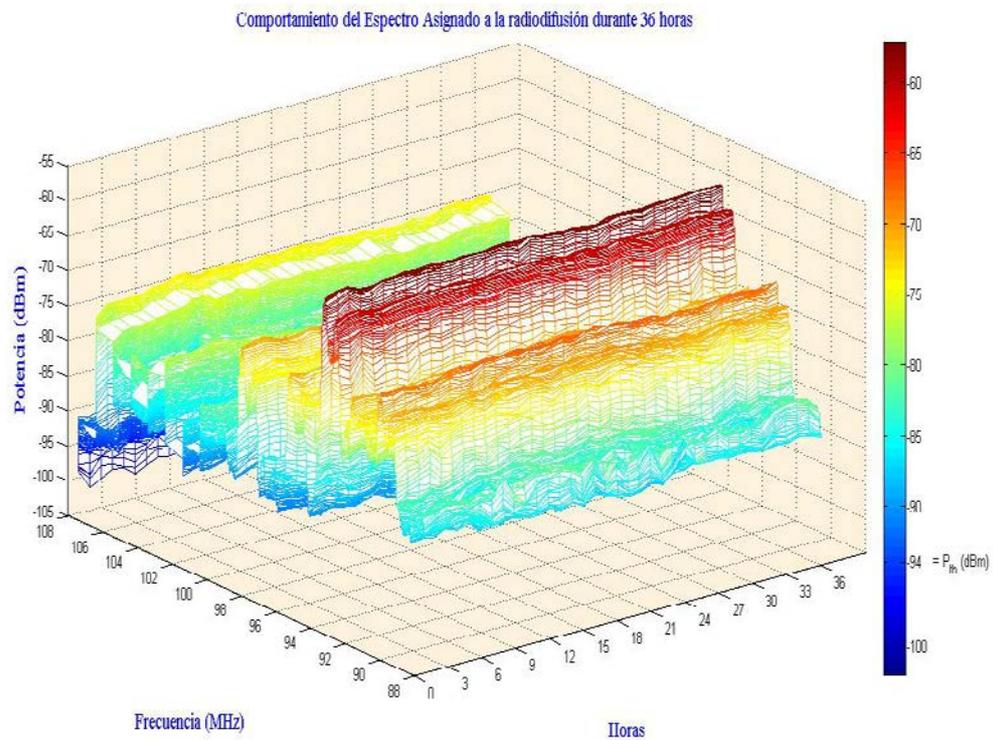


Figura. 4. 19 Comportamiento primeras 36 horas.

Todas las mediciones fueron realizadas durante un periodo de 7 días y 12 horas de lo cual se obtuvo 2.500 muestras para cada uno de los 2.000 puntos de frecuencia. En la Figura 4.20 se muestra el comportamiento del espectro cada 36 horas, el cual es invariante en el tiempo, y en su mayoría se encuentra ocupado; considerando el umbral de -94 dBm; con la excepción de ciertos pequeños rangos de frecuencia que se encuentran libres.

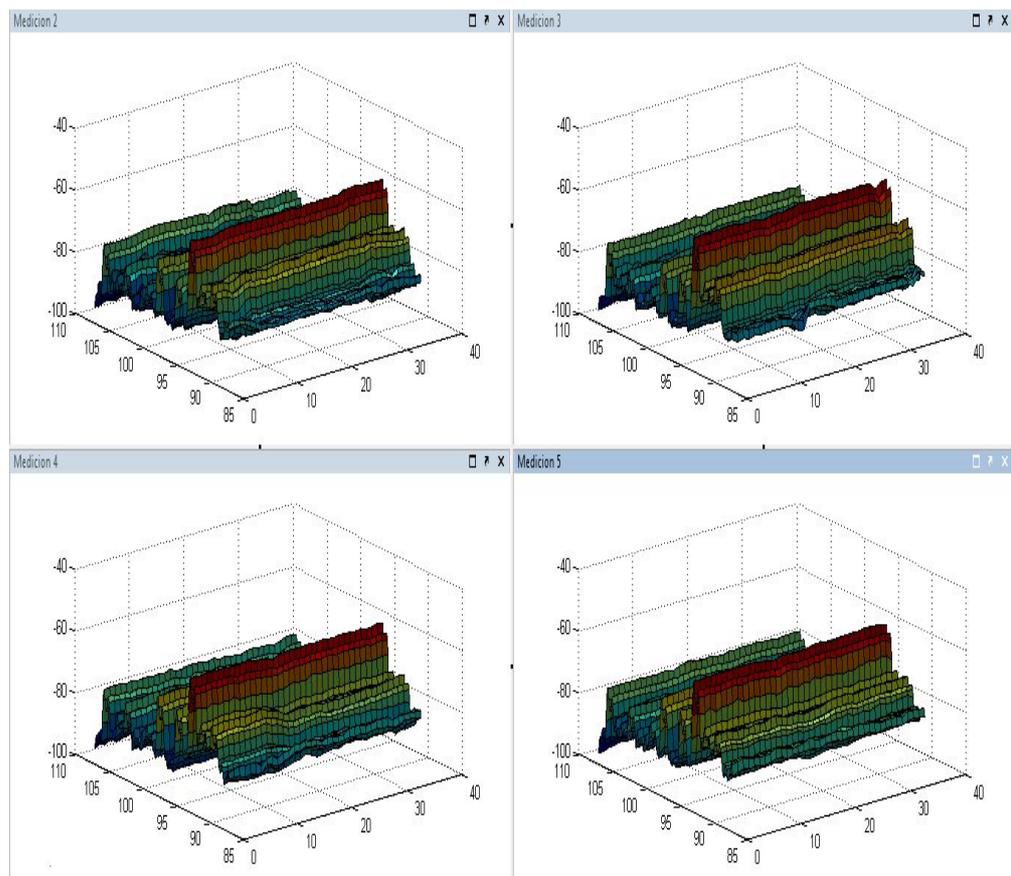


Figura. 4. 20 Comportamiento cada 36 horas.

En la Figura 4.21 se presenta el comportamiento general de los niveles de potencia para cada valor de frecuencia en las 2.500 mediciones realizadas durante el lapso de 7 días y medio.

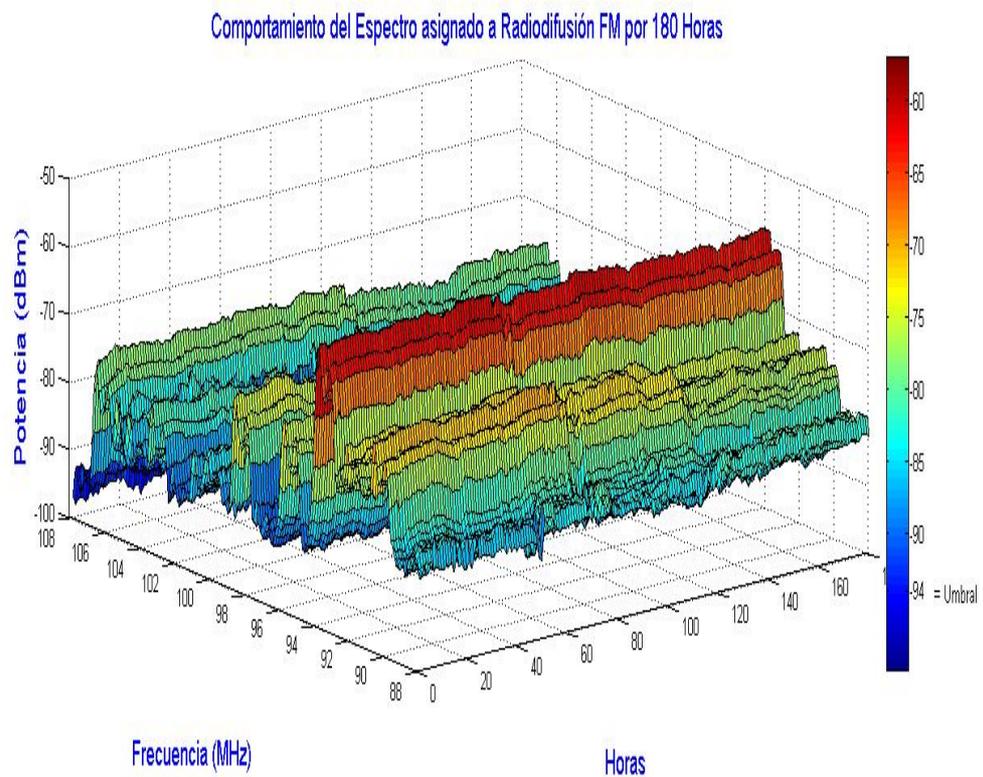


Figura. 4. 21 Comportamiento los 7 días y 12 horas.

Capítulo 5

5. Análisis, cálculos y modelamiento.

Este último capítulo, permite conocer el modelo matemático para representar el comportamiento del ancho de banda asignado a la radiodifusión FM, y los cálculos matemáticos realizados para la selección del umbral, tiempo de muestreo, número de muestra entre otros.

5.1. Procesamiento y cálculos para la toma de muestras.

Según las normativas establecidas por la SUPERTEL; el espectro asignado a la radiodifusión en frecuencia modulada analógica se lo agrupa por canales con una separación de 200 KHz entre sí; una señal auditiva estereofónica requiere de 220 KHz para ser transmitida y la normativa establece que en ciudades pobladas, exista una separación de 400 KHz entre estaciones emisoras para evitar interferencia por canales adyacentes considerando una banda de guarda de 90 KHz como se aprecia en la Figura 5.1.

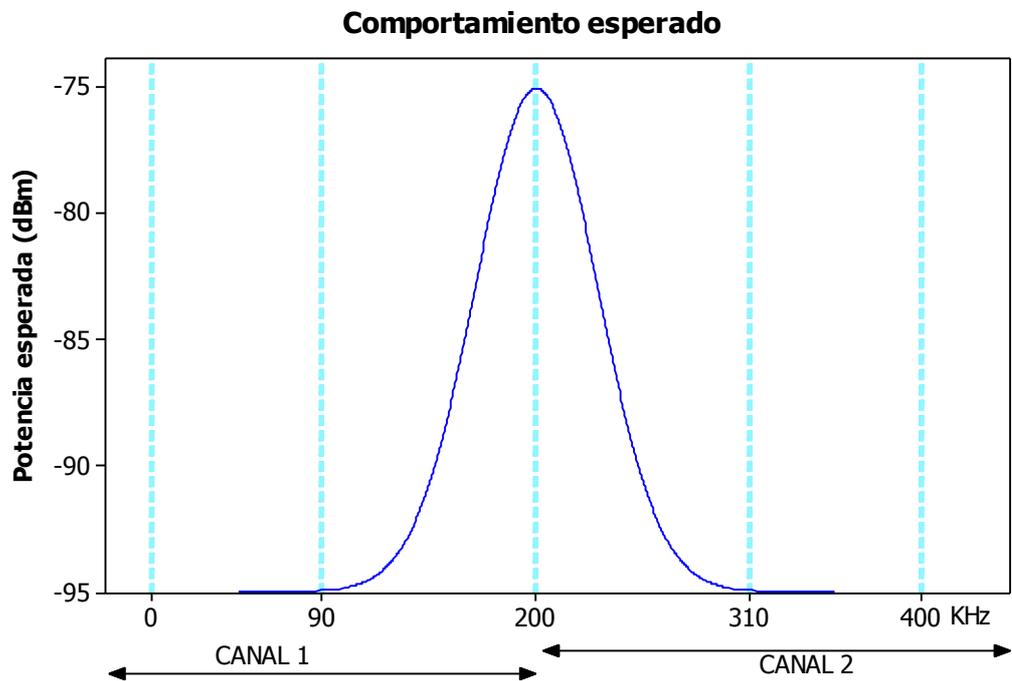


Figura. 5. 1 Comportamiento esperado de una emisora.

El complemento de Excel “intuilink” permite realizar un máximo de 500 muestras para cada 2.000 puntos de frecuencia; con estos valores máximos y con una resolución de 100 KHz que permite analizar los picos centrales por canal; se calcula un tiempo de barrido equivalente a 20 ms, descrito en la Ecuación (5.1).

$$S_t = \frac{\text{Puntos}}{RBw} = \frac{2000}{100 \times 10^3} = 20 \text{ [ms]}$$

Ecuación (5. 1)

El barrido que se efectúa en el ancho de banda a analizar de 20 MHz (SPAN), permite medir los niveles de potencia cada 2 ms con una separación de 10 KHz entre cada punto de frecuencia; valores que se calculan en las Ecuaciones (5.2) y (5.3) respectivamente.

$$\text{Separación por punto} = \frac{\text{SPAN}}{\text{PUNTOS}} = \frac{20 \times 10^6}{2 \times 10^3} \text{ Hz} = 10 \text{ KHz}$$

Ecuación (5. 2)

$$\text{Tiempo por punto} = \frac{S_t * \text{Separación por puntos}}{RB_w}$$

Ecuación (5. 3)

$$\text{Tiempo por punto} = \frac{20 \times 10^{-3} \times 10 \times 10^3}{100 \times 10^3} = 2 \text{ ms}$$

El tiempo que se escoge para realizar las 500 mediciones es de 36 horas “valor intermedio investigado del periodo de suspensión de actividad laboral a diferentes medios de telecomunicación”, sanción que fue emitida por la SUPERTEL a TELEAMAZONAS Y ECUADORTELECOM en los años 2009 y 2002 respectivamente; los cuales experimentaron un corte en sus actividades, en cumplimiento con el artículo 29 literal “c” de la LEY ESPECIAL DE TELECOMUNICACIONES [9].

En la Ecuación (5.4), se realiza el cálculo del tiempo de separación entre cada muestra realizada durante el periodo de 36 horas.

$$\textit{Tiempo por muestra} = \frac{\textit{Tiempo de muestreo}}{\textit{Numero de muestra}}$$

Ecuación (5. 4)

$$\textit{Tiempo por muestra} = \frac{36 \textit{ horas} \times 60 \textit{ minutos}}{500 \textit{ x horas}} = 4' 20''$$

Previamente se definen 2.000 puntos para cada muestra; por lo que se procede a calcular el número mínimo de mediciones necesarias para que la adquisición de datos se pueda considerar válida estadísticamente. Considerando un nivel de confianza del 97,5 % ($Z = 1.96$), una desviación estándar del 50% (σ) y un porcentaje de error del 1% (e); el tamaño de la muestra es calculado en la Ecuación (5.5).

$$n = \frac{N \times \sigma^2 \times Z^2}{(N - 1)e^2 + (\sigma^2 \times Z^2)}$$

Ecuación (5. 5)

$$n = \frac{2000 \times (0,5)^2 \times 1,96^2}{1999 \times (0,1)^2 + (0,5)^2 \times 1,96^2} = 112 \textit{ muestras}$$

Con el valor calculado en la ecuación 5.5 se comprueba que el número de muestras realizadas (500) cada 36 horas en el laboratorio de la FIEC es estadísticamente válido, al superar el valor mínimo (112) para los 2.000 puntos de frecuencias medidos.

5.2. Potencia de umbral para la selección de datos.

Se procede a definir el valor de la potencia de umbral de manera que aquellos valores que la superen, se definan como portadoras activas y valores inferiores se consideren ruido.

En la Ecuación (5.6) se calcula el valor del umbral, partiendo de la fórmula del ruido térmico en decibelios relativo a 1 milivatio (dBm), asumiendo una carga de 50 ohmios y temperatura ambiente. Se considera una pérdida por cable despreciable entre la antena y el analizador, debido a que la longitud del cable es muy corta. La ganancia de la antena es de 0dB con una impedancia de 50 ohmios, esta Ecuación y la explicación de la constante se aprecian a través del ANEXO D.

$$P_{th} = -174 \text{ db} + 10 \log(SPAN) + nf$$

Ecuación (5. 6)

$$P_{th} = -174 \text{ db} + 10 \log(20 \times 10^6) + 10 \text{ dBm} = -94 \text{ dBm}$$

- n_f = Piso de ruido definido por la atenuación del aparato de medición y del ambiente.

Se asigna un valor de 10 dBm al piso de ruido; basándose en una de las recomendaciones de la ITU [15] que sugiere ubicar el nivel de umbral 10 dB por encima del piso de ruido [8] como se aprecia en el ANEXO E.

5.3. Análisis de datos.

Se define una matriz de datos de potencia compuesta por 2.000 filas y 2.500 columnas; donde las filas representan intervalos de frecuencia dentro del rango de $88 \text{ MHz} \leq F \leq 108 \text{ MHz}$ y las columnas representan el tiempo en el cual se ejecuta cada medición que es de 4 minutos con 20 segundos entre el lapso de $0 \text{ Horas} \leq T \leq 180 \text{ Horas}$. Con los valores de potencia de dicha matriz se procede a realizar una gráfica de correlación observada en la Figura 5.2 y cuya matriz resultante se observa en la Tabla 15, donde vemos valores todos cercanos al 100 %, concluyendo que el comportamiento del segmento del espectro en este análisis es invariante en el tiempo.

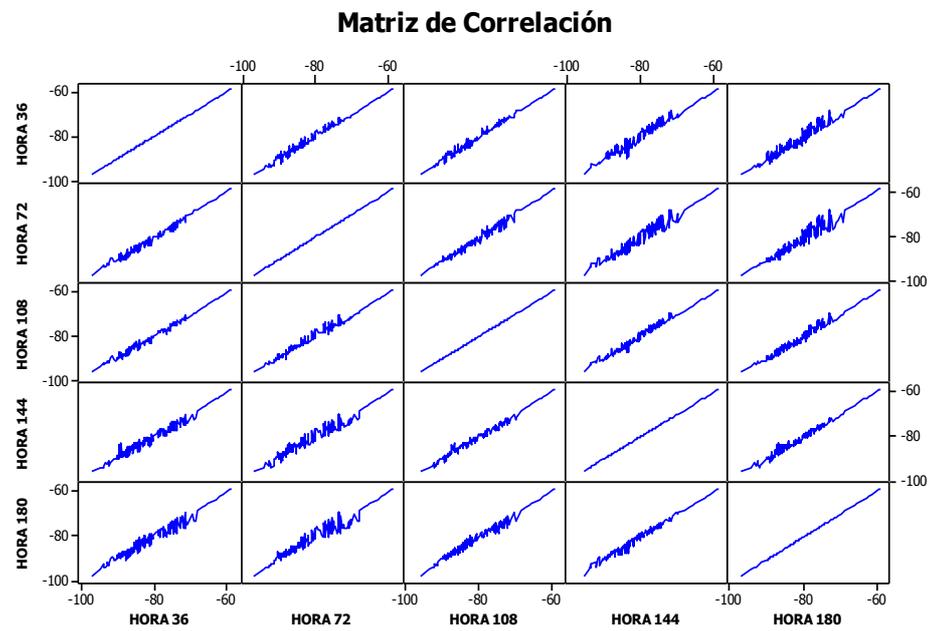


Figura. 5. 2 Matriz de Correlación.

Tabla 15 Valores de correlación entre las mediciones.

	180 horas	144 horas	108 horas	72 horas
144 horas	98,9 %			
108 horas	98,4 %	99,1 %		
72 horas	96,3 %	96,9 %	98,8 %	
36 horas	97,2 %	97,8 %	99,3 %	99,1 %

5.3.1. Reducción de datos.

Debido a que existe similitud entre los valores de potencia tomados por muestras; se procede a realizar una reducción de la matriz de potencia en la escala del tiempo, separándola en 5 intervalos de 36 horas cada uno y obteniendo un promedio de los datos cada 14 muestras, para de esta manera reducir el número de columnas. Considerando la ecuación (5.5), y despejando el valor de "N" se puede hallar el número de puntos mínimos con tamaño de muestra 36, confiabilidad 97,5% y 50% de desviación estándar con un 9% de probabilidad de error, lo que da como resultado el valor de 200; por lo que se procede a reducir el número de filas de 2.000 puntos a 200 puntos promediando cada 10 filas entre sí.

$$\frac{N \times (0,5)^2 \times 1,96^2}{(N - 1) \times (0,9)^2 + (0,5)^2 \times 1,96^2} = 36$$

$$N = 200$$

5.4. Modelamiento de la señal.

Considerando la matriz reducida de datos y con el valor de potencia umbral, se opta por el modelo de Desigualdad de Markov; en el cual la probabilidad de ocurrencia de un evento depende del evento anterior.

La probabilidad de que ocurra un evento se puede hallar del número de ocurrencias de un evento en particular, dividido para el número total de eventos. En base a esto, en el programa “Matlab” se procede a usar la matriz de datos simplificada con la cual se encuentra, el número de ocurrencias, para el evento de que supere o no el umbral. Y los cambios entre estos dos estados se reflejan en la tabla 16 con un conteo total de eventos igual a 36.000.

Tabla 16 Ocurrencias por evento.

	No supera Umbral	Supera Umbral
No supera Umbral	359	112
Supera Umbral	112	35417

Por consiguiente, se define una Variable Aleatoria “x” para la función “u” de valores no negativos, cuya densidad o distribución de probabilidades es “f” y su media se define por $E [u(x)]$, tal como se define en la ecuación 5.7.

$$\sum f(x) = P [u(x) \geq \varepsilon] \leq \frac{E [u(x)]}{\varepsilon}$$

Ecuación (5. 7)

La probabilidad de que ocurra el evento se define de manera que “0” se asigna a las señales de ruido y “1” a los valores que poseen portadoras mayores al umbral. Este comportamiento se lo grafica en la Figura 5.3 [12]. Finalmente si se desea encontrar los valores de un estado posterior, de acuerdo a Markov, se debe realizar el producto entre el estado inicial y el de transición elevado a la “n” donde n, representa el estado al que se desea llegar.

$$P(x = 0) = 1,30 \%$$

$$P(x = 1) = 98,70 \%$$

(Estado Inicial)

$$P(x_{0 \rightarrow 0}) = 76\% \quad P(x_{0 \rightarrow 1}) = 24\%$$

$$P(x_{1 \rightarrow 0}) = 0,3\% \quad P(x_{1 \rightarrow 1}) = 99,7\%$$

(Estado de Transición)

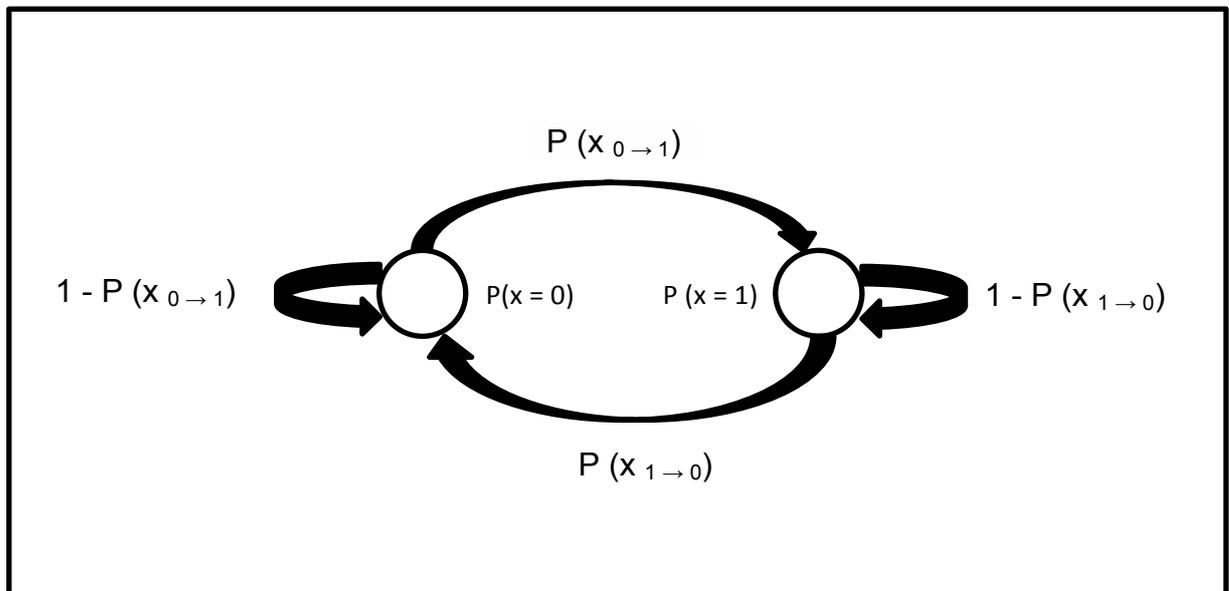


Figura. 5. 3 Modelo de Markov.

CONCLUSIONES

1. A través del análisis respectivo a las diferentes mediciones realizadas, se observa que el comportamiento energético del espectro es similar en el tiempo para cada punto de frecuencia medido.
2. Considerando el valor de umbral (-94 dBm) ; se opta por el modelamiento de la cadena de Markov, definiendo dos estados (Ruido , Señal), concluyendo que el espectro asignado a la radiodifusión FM en el CAMPUS PROSPERINA de la ESPOL, tiene un 98% de ocupación con un ciclo de trabajo constante en el tiempo.
3. Con los niveles de potencia obtenidos, y con la información de las frecuencias concesionadas para las estaciones de radio, se puede concluir que en algunos casos no se está cumpliendo en su totalidad la recomendación ITU-R BS.412-9, al encontrarse señales interferentes cuyo origen pertenece a radiodifusoras aledañas a la ciudad de Guayaquil.

4. Considerando las normativas vigentes que rigen la transmisión para las estaciones de radio en frecuencia modulada, se observa un uso no eficiente del espectro asignado a la radiodifusión FM; debido a que tecnologías actuales permiten una transmisión estereofónica, con una excelente calidad de audio y en un menor ancho de banda, como es el caso de la radio digital.

5. El sistema actual de separación de canales para la transmisión en FM observado a través de las mediciones, no permite la implementación de nuevos servicios debido a una saturación del espectro en este segmento; por consiguiente el análisis y desarrollo de un nuevo sistema de transmisión en frecuencia modulada es requerido para lograr una optimización en el uso del espectro radioeléctrico.

RECOMENDACIONES

1. Para futuras mediciones en el área de la FIEC de la ESPOL CAMPUS PROSPERINA, se sugiere el uso de un ordenador con un procesador Intel Core i3 2.0 GHz y un mínimo de memoria RAM de 4 GB para la adquisición de datos, considerando que el laboratorio cuente con una conexión estable al internet.
2. Se debe realizar un estudio más detallado por canal, de manera que se evalúe la posibilidad de implementar servicios adicionales dentro del área la ESPOL utilizando los pocos espacios libres que deja la técnica de modulación actual en frecuencia modulada.
3. Se sugiere la implementación de la tecnología digital DRM+, (la cual puede trabajar en VHF Banda II), para realizar la migración de la transmisión análoga actual en FM a una transmisión digital. Esta tecnología ayudaría a solucionar problemas vigentes de interferencia como los encontrados en la ESPOL, producidos por estaciones de

radio no concesionadas para la ciudad de Guayaquil, debido a que este tipo de transmisión posee las siguientes ventajas :

- A. Posibilidad de reutilizar el sistema radiante actual sin mayores inconvenientes salvo la consideración del máximo nivel de potencia en un sistema digital.
- B. No existirían modificaciones para el área de cobertura vigente de radiodifusión debido a la reutilización de las antenas existentes; esto implicaría que las actuales áreas de servicio no se verían afectadas.
- C. La posibilidad de usar técnicas SFN (Single Frequency Network) por sus siglas en inglés, con beneficios para estaciones regionales quienes serían capaces de reutilizar la misma frecuencia y lograr una cobertura regional permitiendo un uso más eficiente del espectro.
- D. Una señal estereofónica solo requiere 100 KHz para su transmisión, que es la cuarta parte del ancho de banda concesionado en la actualidad para cada estación de radio en el Ecuador.
- E. Una vez que la transmisión analógica no sea necesaria, esta puede ser simplemente apagada, ya que la tecnología DRM+ no depende de la señal FM. El espectro liberado (15 MHz)

puede ser entonces reutilizado para otros servicios DRM+. Esto facilita una suave y simple transición entre las transmisión análoga a digital.

4. Otras tecnologías como: “Eureka 147 Digital Audio Broadcasting (DAB)”, “Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial Sound Broadcasting (ISDB-TSB)”, “In Band On Channel-Digital Sound Broadcasting (IBOC-DSB)” cuyas tablas comparativas entre ellas se detallan en el Anexo G, deben ser adicionalmente consideradas en la toma de una decisión tan crítica e importante como es la migración de un sistema de radiodifusión análogo FM, a uno digital. Varios factores deben ser analizados, tales como, ocupación del espectro, canalización, niveles de potencia, reutilización de tecnología existente, disponibilidad de equipos transmisores- receptores, entre otros, pero este análisis debe de ser considerado para un estudio posterior al alcance de este proyecto.

Anexos

A. Rango de frecuencias del analizador de espectros E4402B

Frequency Specifications

ESA-E spectrum analyzer		EXA signal analyzer (Comparable model number)	
Frequency range	Model	Frequency range	Model
9 kHz to 3.0 GHz	E4402B	10 Hz to 3.6 GHz	N9010A-503
9 kHz to 6.7 GHz	E4404B	10 Hz to 7.0 GHz	N9010A-507
9 kHz to 13.2 GHz	E4405B	10 Hz to 13.6 GHz	N9010A-513
9 kHz to 26.5 GHz	E4407B	10 Hz to 26.5 GHz	N9010A-526
	NA	10 Hz to 32.0 GHz	N9010A-532
	NA	10 Hz to 44.0 GHz	N9010A-544

Band break			EXA signal analyzer			
ESA-E spectrum analyzer			Frequency range	Band	Options	Harmonic TM mixing mode
Frequency range	Band	Harmonic TM mixing mode	10 Hz to 3.6 GHz	0	503, 507, 513, 526, 532, 544	1-
100 Hz to 3.0 GHz	0	1-	3.5 to 7.0 GHz	1	507	1-
2.85 to 6.7 GHz	1	1-	3.5 to 8.4 GHz	1	513, 526, 532, 544	1-
6.2 to 13.2 GHz	2	2-	8.3 to 13.6 GHz	2	513, 526, 532, 544	1- (LO doubled)
12.8 to 19.2 GHz	3	4-	13.5 to 17.1 GHz	3	526, 532, 544	2-
18.7 to 26.5 GHz	4	4-	17.0 to 26.5 GHz	4	526, 532, 544	2- (LO doubled)
			26.4 to 32.0 GHz	5	532	2- (LO doubled)
			26.4 to 34.5 GHz	5	544	2- (LO doubled)
			34.4 to 44.0 GHz	6	544	4- (LO doubled)

Measurement speed			
Local measurement and display update rate	33 ms, (30/s)	Local measurement and display update rate	4 ms (250/s)
Remote measurement and GPIB transfer rate	33 ms, (30/s)	Remote measurement and LAN transfer rate	5 ms (200/s)
Marker peak search	300 ms	Marker peak search	1.5 ms
Center frequency tune and transfer (RF)	< 90 ms	Center frequency tune and transfer (RF)	20 ms
Center frequency tune and transfer (μ W)	350 ms	Center frequency tune and transfer (μ W)	47 ms

B. Especificaciones Técnicas del Medidor de Intensidad y su Antena Modelo FIM-71.

FIM-71 SPECIFICATIONS	
Frequency Range	45 MHz-225 MHz; continuous
RF Input Impedance/VSWR	50 ohms VSWR 1.2:1, 100 μ V full scale and greater; VSWR 1.5:1, 10 μ V full scale
Voltage Measurement	1 μ V to 10 V rms in seven switch selected ranges
Metering	4-1/2 inch meter, mirror-backed scale, taut band meter
Indication Modes	LINEar and LOGarithmic, switch selected
Meter Scales	LIN mode: 1-10 (logarithmic scale) and 0-20 dB (linear scale). LOG mode: -20 to +40 dB (60 dB range, linear scale) Battery voltage/External supply voltage scale.
Metering Detectors	Average responding and peak responding (for television sync pulse), switch selected
Receiver Bandwidths	AM/FM: 190 kHz at -3 dB, and TV: 450 kHz at -3 dB, switch selected
Absolute Accuracy	Voltage: ± 1.5 dB (LIN), ± 2.0 dB (LOG); for voltage $> 1.5\mu$ V (AM/FM) or $> 3\mu$ V (TV) Field Strength: ± 3.0 dB (LIN), ± 3.5 dB (LOG) for field strengths $> 1.8\mu$ V/M (AM/FM) or $> 3.7\mu$ V/M (TV) at 45 MHz; > 9.1 V/M (AM/FM) or $> 18.1\mu$ V/M (TV) at 225 MHz; using the supplied antenna.
Note: These figures apply when using the Average Detector; for the Peak Detector, noise correction factors (supplied) are required below 10 mV	

Antenna Ant-71	
Type:	Tunable half-wave dipole with continuously adjustable telescoping elements.
Frequency Range:	45 Mhz - 225 MHz
Calibration:	Antenna Factor data supplied based on NIST calibration; overall error including NIST calibration uncertainty, ± 5 dB max
Load Impedance:	50 ohms
Mounting:	Mounts on case for hand-held measurements at an antenna height of approx 7 ft.; has 1/4-20 threaded hole for mounting to other masts

Relative Accuracy	±1 dB at one frequency, for voltage or field strength, LIN mode, for voltages >10µV, with noise correction factors.
Harmonic Measurement	Measures second harmonic field strength of 87.5 Mhz-108 MHz signals to -80 dB for fundamental voltage less than 100mV
Calibrating Oscillator	Output switched to receiver for internal calibration, to external output (BNC connector) of OFF. Tracks receiver frequency when connected to receiver.
Frequency Dial Accuracy	Six-turn spiral, continuous tuning, movable cursor. ±0.5% of indicated frequency without cursor correction ±200 kHz typical, 87.5 MHz - 108 Mhz, after setting cursor on known signal
RCVR Spurious Response	Image Rejection, 55 dB typical; IF Rejection, 100 dB typical
Local OSC Radiation	45 MHz, 2µV; 225 MHz, 35µV; typical values across 50 ohm load at RF input connector
Demodulators	AM and FM; switch selected, phone jack (0.25") output connector
Video Frequency Response Output Level	50 Hz - 100 kHz, 3 dB max. variation 4.5V p-p max. across 75-ohm load, front panel adjustable
Audio Monitoring	Internal loudspeaker; headphones plug into demodulator output jack (disconnecting speaker); AM or FM selected by DEMOD switch; level control with disabling switch
Record Output Tip Contact	Two-circuit phone jack (.25") output DC analog of meter indication -0.8V to -8V (open circuit), 2000 ohm source resistance
Ring Contact	DC output from FM discriminator, @ -5 V + or -± 3 V, 10,000 ohm source resistance (Single circuit phone plug provides tip contact output only.)
Power Supply: Internal Batteries Battery Life	1.5 volt size "D" batteries, ten required 1500 readings or 18 hours continuous operation using Eveready No. 950 batteries (or equivalent) at 70°F
External Supply	11.5 volts to 19.0 volts DC, positive ground, 120 mA, Switchcraft No. 760 Connector (or equivalent)
Temperature Range	+ 15°F to +105°F (-10°C to +40°C)
Dimensions, Inches (CM)	Without Antenna: 9.5 (24) high, 12.25 (31) wide, 7.25 (18.4) deep With Antenna attached and retracted, 9.9 (25) high, 13.5 (34.3) wide, 7.25 (18.4) deep
Weight, Pounds (KG)	20 (9.1) with batteries, antenna, cover, cables and softcase
Note: Values without limits are typical only. Field strength data are with ANT-71 Antenna.	

C. EQ Designación de Bandas de Frecuencias en Ecuador

EQA.5 Las bandas 525 - 535 kHz, 535 – 1.605 kHz, 1.605 – 1.625 kHz, 1.625 – 1.705 kHz, son atribuidas al servicio de RADIODIFUSIÓN Sonora en Amplitud Modulada.

EQA.10 Las bandas 2.300 – 2.495 kHz, 3.200 – 3.230 kHz, 3.230 – 3.400 kHz, 4.750 – 4.850 kHz, 4.850 – 4.995 kHz, 5.005 – 5.060 kHz, son atribuidas al servicio de RADIODIFUSIÓN Sonora en onda corta tropical.

EQA.15 Las bandas 5.900 – 5.950 kHz, 5.950 – 6.200 kHz, 7.300 – 7.350 kHz, 9.400 – 9.500 kHz, 9.500 – 9.900 kHz, 11.600 – 11.650 kHz, 11.650 – 12.050 kHz, 12.050 – 12.100 kHz, 13.570 kHz – 13.600 kHz, 13.600 – 13.800 kHz, 13.800 – 13.870 kHz, 15.100 – 15.600 kHz, 15.600 – 15.800 kHz, 17.480 – 17.550 kHz, 17.550 – 17.900 kHz, 18.900 – 19.020 kHz, 21.450 – 21.850 kHz, 25.670 – 26.100 kHz, son atribuidas al servicio de RADIODIFUSIÓN Sonora en ondas decamétricas.

EQA.20 La banda 26.965 – 27.405 kHz, atribuida a los servicios FIJO y MÓVIL, se utiliza para el servicio de Banda Ciudadana. Los canales de la banda ciudadana desde 26.965 kHz a 27.285 kHz deberán aceptar interferencia perjudicial de las aplicaciones industriales, científicas y médicas (ICM).

EQA.25 En la banda 54 - 72 MHz, atribuida exclusivamente al servicio de RADIODIFUSIÓN de Televisión, operan los canales 2, 3 y 4.

EQA.30 En la banda 76 - 88 MHz, atribuida exclusivamente al servicio de RADIODIFUSIÓN de Televisión, operan los canales 5 y 6.

EQA.35 La banda 88 - 108 MHz, es atribuida exclusivamente al servicio de RADIODIFUSIÓN Sonora en Frecuencia Modulada (FM).

EQA.40 Las bandas 137 - 138 MHz, 148 – 149,9 MHz, 312 - 315 MHz, 387 - 390 MHz, 400,15 - 401,0 MHz, 1.525 – 1.544 MHz, 1.545 – 1.559 MHz, 1.610 – 1.626,5 MHz, 1.626,5 – 1.645,5 MHz 1.646,5 - 1.660,5 MHz, 2.170 – 2.200 MHz, 2.483,5 – 2.500 MHz, 2.500 – 2.520 MHz, 2.670 –2.690 MHz, 18,8 – 19,3 GHz, 19,3 – 19,6 GHz, 19,7 – 20,1 GHz, 20,1 – 20,2 GHz, 20,2 – 21,2 GHz 28,6 – 29,1GHz, 29,5 – 29,9 GHz, 30 – 31 GHz están proyectadas para compartirse con los sistemas satelitales no geoestacionarios.

EQA.45 La banda 138 – 144 MHz, es atribuida a los servicios FIJO, MÓVIL, RADIOLOCALIZACIÓN e INVESTIGACION ESPACIAL (espacio-Tierra) excepto enlaces radioeléctricos entre estaciones fijas con antenas direccionales punto – punto, punto – multipunto.

EQA.50 La banda 148 - 149,9 MHz, es atribuida a los servicios FIJO, MÓVIL y MÓVIL POR SATÉLITE (Tierra-espacio) excepto enlaces radioeléctricos entre estaciones fijas con antenas direccionales punto – punto, punto – multipunto.

EQA.55 Las bandas 150,05 - 156,7625 MHz, 156,8375 - 170 MHz, 450 – 455 MHz, 456 – 459 MHz, 460 – 470 MHz, 472 – 482 MHz, 487 – 500 MHz, 503 – 506 MHz y 509 – 512 MHz, son atribuidas a los servicios FIJO y MÓVIL excepto enlaces radioeléctricos entre estaciones fijas con antenas direccionales punto – punto, punto – multipunto.

EQA.60 En las bandas 170 - 172 MHz y 172 - 174 MHz, 500 – 503 MHz y 506 – 509 MHz, atribuidas a los servicios FIJO y MÓVIL operarán exclusivamente Sistemas Comunales de Explotación a partir de julio de 2003.

EQA.65 En la banda 174 - 216 MHz, atribuida exclusivamente al servicio de RADIODIFUSIÓN de Televisión, operan los canales del 7 al 13.

EQA.70 En la banda 225 - 235 MHz, atribuida a los servicios FIJO y MÓVIL, operan exclusivamente enlaces radioeléctricos entre estaciones fijas con antenas direccionales punto – punto, punto – multipunto para el servicio de RADIODIFUSIÓN Sonora.

EQA.75 En las bandas 235 – 245 MHz, 360 – 370 MHz, atribuidas a los servicios FIJO y MÓVIL, operan exclusivamente enlaces radioeléctricos entre estaciones fijas con antenas direccionales punto – punto, punto – multipunto.

EQA.80 La banda 406,1 - 410 MHz, es atribuida a los servicios FIJO, MÓVIL salvo móvil aeronáutico y RADIOASTRONOMÍA excepto enlaces radioeléctricos entre estaciones fijas con antenas direccionales punto – punto, punto – multipunto.

EQA.85 La banda 410 - 420 MHz, es atribuida a los servicios FIJO, MÓVIL salvo móvil aeronáutico e INVESTIGACIÓN ESPACIAL (espacio-espacio) excepto enlaces radioeléctricos entre estaciones fijas con antenas direccionales punto – punto, punto – multipunto.

EQA.90 La banda 420 - 425 MHz, es atribuida a los servicios FIJO y MÓVIL salvo móvil aeronáutico excepto enlaces radioeléctricos entre estaciones fijas con antenas direccionales punto – punto, punto – multipunto.

EQA.95 En la banda 425 – 430 MHz, atribuida a los servicios FIJO y MÓVIL salvo móvil aeronáutico, operan exclusivamente enlaces radioeléctricos entre estaciones fijas con antenas direccionales punto – punto, punto – multipunto para el servicio de RADIODIFUSIÓN Sonora.

EQA.100 En la banda 430 – 440 MHz, atribuida a los servicios FIJO, MÓVIL, RADIOLOCALIZACIÓN, operarán exclusivamente enlaces radioeléctricos entre estaciones fijas con antenas direccionales punto – punto, punto – multipunto.

EQA.105 La banda 440 – 450 MHz, es atribuida a los servicios FIJO y MÓVIL salvo móvil aeronáutico excepto enlaces radioeléctricos entre estaciones fijas con antenas direccionales punto – punto, punto – multipunto.

EQA.110 Las bandas 455 – 456 MHz, 459 – 460 MHz son atribuidas a los servicios FIJO, MÓVIL y MÓVIL POR SATÉLITE (Tierra-espacio) excepto enlaces radioeléctricos entre estaciones fijas con antenas direccionales punto – punto, punto – multipunto.

EQA.115 En las bandas 470 - 472 MHz, 482 - 487 MHz, atribuidas a los servicios FIJO y MÓVIL, operan Sistemas Buscapersonas Unidireccionales compartido con sistemas simplex excepto enlaces radioeléctricos entre estaciones fijas con antenas direccionales punto – punto, punto – multipunto.

EQA.120 En la banda 512 - 608 MHz, atribuida exclusivamente al servicio de RADIODIFUSIÓN de Televisión, operan los canales del 21 al 36.

EQA.125 En la banda 614 - 686 MHz, atribuida exclusivamente al servicio de RADIODIFUSIÓN de Televisión, operan los canales del 38 al 45.

EQA.130 En la banda 686 - 806 MHz, atribuida para el servicio de RADIODIFUSIÓN de Televisión, operan los canales del 49 al 69, para Televisión Codificada terrestre.

EQA.135 La banda 806 – 890 MHz, es atribuida a los servicios FIJO y MÓVIL exclusivamente, excepto enlaces radioeléctricos entre estaciones fijas con antenas direccionales punto – punto, punto – multipunto.

EQA.140 En las bandas 806 – 811 MHz y 851 – 856 MHz; 896 – 898 MHz y 935 – 937 MHz; 811 – 824 MHz y 856 – 869 MHz; 902 – 904 MHz y 932 – 934 MHz; atribuidas a los servicios FIJO y MÓVIL, operan Sistemas Troncalizados.

EQA.145 En las bandas 824 - 849 MHz y 869 - 894 MHz, atribuidas a los servicios FIJO y MÓVIL, operan Sistemas de Telefonía Móvil Celular.

EQA.150 El uso de la banda 902 - 928 MHz atribuida al servicio FIJO, se comparte con Sistemas de Espectro Ensanchado (Spread Spectrum).

EQA.155 En las bandas 917 – 922 MHz y 941- 946 MHz, 925 - 928 MHz y 951 – 954 MHz, 934 – 935 MHz y 955 – 956 MHz, 1.400 – 1.452 MHz, 1.492 – 1.525 MHz, 3.700 – 4.200 MHz, 5.925 – 6.700 MHz, 6.892 – 7.075 MHz, 7.075 – 8.500 MHz, 14,5 – 15,4 GHz, 17,8 – 18,8 GHz, 21,2 – 24 GHz, operan enlaces para sistemas de transmisión de datos.

EQA.160 En la banda 929 – 932 MHz, atribuida a los servicios FIJO y MÓVIL salvo móvil aeronáutico, operan Sistemas Buscapersonas Unidireccional.

EQA.165 En las bandas 901 - 902 MHz y 940 - 941 MHz, atribuidas a los servicios FIJO y MÓVIL salvo móvil aeronáutico, operan Sistemas Buscapersonas Bidireccional.

EQA.170 En la banda 946 - 951 MHz, atribuidas a los servicios FIJO y MÓVIL, operan exclusivamente enlaces radioeléctricos entre estaciones fijas con antenas direccionales punto – punto, punto – multipunto para el servicio de RADIODIFUSIÓN Sonora.

POR SATÉLITE (espacio-Tierra), operan exclusivamente Sistemas de Seguridad Pública.

EQA.205 En la banda 2.500 – 2.520 MHz, atribuida a los servicios FIJO, FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra), MÓVIL salvo móvil aeronáutico y MÓVIL POR SATÉLITE (espacio-Tierra), operan Sistemas de Distribución Multicanal Multipunto (MMDS).

En la banda 2.520 – 2.655 MHz, atribuida a los servicios FIJO, FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra), MÓVIL salvo móvil aeronáutico y RADIODIFUSIÓN POR SATÉLITE, operan Sistemas de Distribución Multicanal Multipunto (MMDS).

En la banda 2.655 – 2.670 MHz, atribuida a los servicios FIJO, FIJO POR SATÉLITE (Tierra-espacio) (espacio-Tierra), MÓVIL salvo móvil aeronáutico y RADIODIFUSIÓN POR SATÉLITE, operan Sistemas de Distribución Multicanal Multipunto (MMDS).

En la banda 2.670 – 2.686 MHz, atribuida a los servicios FIJO, FIJO POR SATÉLITE (Tierra-espacio) (espacio-Tierra), MÓVIL salvo móvil aeronáutico y MÓVIL POR SATÉLITE (Tierra-espacio), operan Sistemas de Distribución Multicanal Multipunto (MMDS).

EQA.210 En la banda 3.400 – 3.500 MHz, atribuida a los servicios FIJO, FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra), operan Sistemas de Acceso Fijo Inalámbrico (FWA).

En la banda 3.500 – 3.700 MHz, atribuida a los servicios FIJO, FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) y MÓVIL salvo móvil aeronáutico, operan Sistemas de Acceso Fijo Inalámbrico (FWA).

EQA.215 El uso de la banda 5.725 – 5.850 MHz, atribuida al servicio de RADIOLOCALIZACIÓN, se comparte con los servicios FIJO y MÓVIL que operan con Sistemas de Espectro Ensanchado (Spread Spectrum).

EQA.220 En la banda 6.700 – 6.892 MHz, atribuida a los servicios FIJO, FIJO POR SATÉLITE, MÓVIL, operarán exclusivamente enlaces radioeléctricos entre estaciones fijas con antenas direccionales punto – punto, punto – multipunto para el servicio de RADIODIFUSIÓN de Televisión, a partir de julio de 2003.

EQA.225 El uso de la banda 11,45 - 11,7 GHz, atribuida a los servicios FIJO, FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) y MOVIL salvo móvil aeronáutico, se comparte con el servicio de RADIODIFUSIÓN de Televisión Codificada por satélite. El uso de la banda 11,7 - 12,1 GHz, atribuida a los servicios FIJO y FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra), se comparte con el servicio de RADIODIFUSIÓN de Televisión Codificada por satélite. El uso de la banda 12,1 - 12,2 GHz, atribuida a los servicios FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra), se comparte con el servicio de RADIODIFUSIÓN de Televisión Codificada por satélite.

EQA.230 En la banda 12,7 – 12,75 GHz, atribuida a los servicios FIJO, FIJO POR SATÉLITE (Tierra-espacio), MÓVIL salvo móvil aeronáutico, operarán exclusivamente enlaces radioeléctricos entre estaciones fijas con antenas direccionales punto – punto, punto – multipunto para el servicio de RADIODIFUSIÓN de Televisión, a partir de julio de 2003.

EQA.235 En la banda 12,75 – 12,772 GHz, atribuida a los servicios FIJO, FIJO POR SATÉLITE (Tierra-espacio) y MÓVIL, operarán exclusivamente enlaces radioeléctricos entre estaciones fijas con antenas direccionales punto

EQA.175 La banda 1.710 – 1.885 MHz, atribuida a los servicios FIJO y MÓVIL, se reserva para introducir las Telecomunicaciones Móviles Internacionales – 2000 (IMT-2000) conforme la Nota S5.AAA del Cuadro de atribución de bandas de frecuencias (Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT) o Servicios de Comunicación Personal.

EQA.180 Las bandas 1.885 – 2.025 MHz y 2.110 – 2.200 MHz, atribuidas a los servicios FIJO y MÓVIL, se reservan para introducir las Telecomunicaciones Móviles Internacionales – 2000 (IMT-200) conforme la Nota S5.388 del Cuadro de atribución de bandas de frecuencias (Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT), o Servicios de Comunicación Personal en la primera banda.

EQA.185 En la banda 2.200 – 2.296 MHz, atribuida a los servicios FIJO y MÓVIL, operarán exclusivamente enlaces radioeléctricos entre estaciones fijas con antenas direccionales punto – punto, punto – multipunto del servicio de RADIODIFUSIÓN de Televisión, a partir de julio del 2003.

EQA.190 En la banda 2.300 – 2.400 MHz, atribuida a los servicios FIJO, MOVIL y RADIOLOCALIZACIÓN, operan exclusivamente Sistemas de Seguridad Pública.

EQA.195 El uso de la banda 2.400 – 2.483,5 MHz, atribuida a los servicios FIJO, MOVIL y RADIOLOCALIZACIÓN, operan Sistemas de Seguridad Pública compartido con Sistemas de Espectro Ensanchado (Spread Spectrum).

EQA.200 En la banda 2.483,5 – 2.500 MHz, atribuida a los servicios FIJO, MOVIL, MÓVIL POR SATÉLITE (espacio-Tierra), RADIODETERMINACION

– punto, punto – multipunto para el servicio de RADIODIFUSIÓN de Televisión, a partir de julio de 2003.

EQA.240 El uso de la banda 13,75 - 14 GHz, atribuida a los servicios FIJO POR SATÉLITE (Tierra-espacio) y RADIOLOCALIZACIÓN, se comparte con el servicio de RADIODIFUSIÓN de Televisión Codificada por satélite. El uso de la banda 14 - 14,3 GHz, atribuida a los servicios FIJO POR SATÉLITE (Tierra-espacio) y RADIONAVEGACIÓN, se comparte con el servicio de RADIODIFUSIÓN de Televisión Codificada por satélite. El uso de la banda 14,3 - 14,4 GHz, atribuida al servicio FIJO POR SATÉLITE (Tierra-espacio), se comparte con el servicio de RADIODIFUSIÓN de Televisión Codificada por satélite. El uso de la banda 14,4 - 14,5 GHz, atribuida a los servicios FIJO, FIJO POR SATÉLITE (Tierra-espacio), MÓVIL salvo móvil aeronáutico, se comparte con el servicio de RADIODIFUSIÓN de Televisión Codificada por satélite.

EQA.245 En las bandas 27,5 – 28,35 GHz y 29,1 – 29,25 GHz, atribuidas a los servicios FIJO, FIJO POR SATÉLITE (Tierra-espacio) y MÓVIL, operan Sistemas de Distribución Multipunto Local (LMDS). En la banda 31 – 31,3 GHz, atribuida a los servicios FIJO y MÓVIL, operan Sistemas de Distribución Multipunto Local (LMDS).[6]

D. Ruido Térmico y piso de ruido explicación.

The available power which can theoretically be transferred under such conditions is given by:

$$P = kTB$$

The factor of $4R$ has cancelled out so the *available noise power* does not depend upon the value of the *Resistance*. This is significant because it means that the *available noise power* of any resistor (or any noise source), if measured over the same bandwidth B , can be represented by a resistor at temperature T .

- Thus, every noise source has an *Equivalent Noise Temperature*.

Thermal noise power (in dBW) is defined as:

$$P_{(dBW)} = 10 \log(kTB)$$

Where P in dBW is the noise power at the output of the thermal noise source, k is Boltzmann's constant 1.38×10^{-23} (J/K), T is temperature (in Kelvin), and B is the bandwidth (in Hz). At room temperature (17°C/290K), in a 1 Hz Bandwidth we can calculate the power:

$$P_{(dBW)} = 10 \log(1.38 \times 10^{-23} \times 290 \times 1) = -204 \text{ (dBW)}$$

$$P_{(dBW)} = 10 \log(P_{(W)} / 1W)$$

Power in dBm takes its reference as 1mW, and results the relation:

$$0 \text{ dBW} = 1 \text{ W} = 30 \text{ dBm}$$

Therefore we can calculate the thermal noise power in dBm at (17°C/290K) in a 1 Hz BW:

$$\text{Thermal Noise Power} = -204 + 30 = -174 \text{ dBm/Hz}$$

- Noise Power of -174 dBm/Hz is the reference for any noise power calculation when designing RF systems working at room temperature.
- Relative to the bandwidth, we can use the reference level of -174 dBm/Hz and simply multiply it by the actual bandwidth of the radio channel.

E. ITU REGULACIÓN PARA EL PISO DE RUIDO.

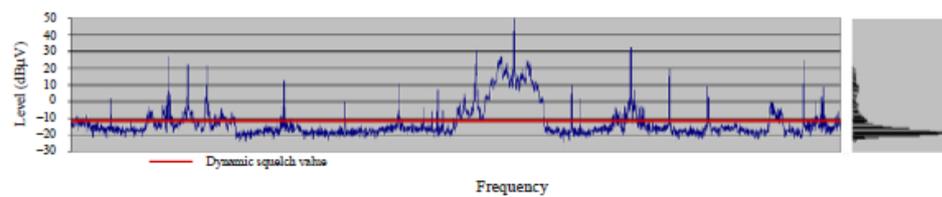
The threshold may also be defined by having knowledge of the levels at the measurement site. To determine the threshold, a margin of 8-12 dB may be added to the noise. The actual value which should be added to the noise level depends on "what is expected to see". If there is a need to have knowledge of all signals within the coverage area of the receiver then, not more than 3 up to maximum 5 dB should be added to the calculated noise level. In case of a fixed threshold level, one should determine the noise level from all the (remote) sites (receivers) and store them into a simple database. The values in this database should be used when processing the data.

It will be evident that the background noise level for processing results in the FM broadcasting band 87.5 MHz-108 MHz will be different from the frequency band 118 MHz-133 MHz of the Aeronautical Service.

Where measurements are carried out with a spectrum analyzer or receiver, a dynamic squelch can be calculated by means of various algorithms. It can be derived most easily from the frequency distribution of the samples over a sweep. A fixed margin of 5-10 dB is added to the level, which is represented by the highest number of discrete level values. In this way the threshold for the occupancy detection of this particular sweep is constituted (see Fig. 4.10-5).

FIGURE 4.10-5

Determination of the dynamic squelch



Spectrum-4.10-05

F. Extracto de la Ley Orgánica de Telecomunicaciones

DISPOSICIONES FINALES

Primera.- Se suprime la Superintendencia de Telecomunicaciones, el Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL) y la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones. Las partidas presupuestarias, los bienes muebles e inmuebles, activos y pasivos, así como los derechos y obligaciones derivados de contratos, convenios e instrumentos nacionales e internacionales correspondientes a dichas entidades, pasan a la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones.

Los derechos y obligaciones derivados de contratos, convenios e instrumentos nacionales e internacionales relacionados con la planificación del uso del espectro radioeléctrico, así como la elaboración del Plan Nacional de Frecuencias, son asumidos por la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones.

Segunda.- El Superintendente de Telecomunicaciones y la o el Secretario Nacional de Telecomunicaciones, en aplicación de lo dispuesto en la Disposición Final Primera, cesarán en funciones a partir de la publicación de la presente Ley en el Registro Oficial; en tal razón, se declara concluido el período para el cual fueron designados.

Tercera.- La representación del Estado ecuatoriano ante la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) es asumida por el Ministerio rector de las Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, la que contará con el asesoramiento técnico-regulatorio de la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, a cuyo efecto se realizarán las coordinaciones pertinentes.

Cuarta.- La Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones ejercerá las funciones de regulación, control y administración atribuidas al Consejo Nacional de Telecomunicaciones, Superintendencia de Telecomunicaciones y Secretaría Nacional de Telecomunicaciones en la Ley de Comercio Electrónico, Firmas Electrónicas y Mensajes de Datos, su Reglamento General y demás normativa.

Quinta.- La presente Ley entrará en vigencia a partir de su publicación en el Registro Oficial.



G. Comparación entre los diferentes sistemas Digitales para Radiodifusión

Rec. ITU-R BS.1114-7

TABLE 1
Performance of Digital Systems evaluated on the basis of the recommended technical and operating characteristics listed in Recommendation ITU-R BS.774

Characteristics from Recommendation ITU-R BS.774 (condensed wording)	DAB	ISDB-TSB	IBOC DSB	DRM
Range of audio quality and types of reception	Range is from 8 to 384 kbit/s per audio channel in increments of 8 kbit/s. MPEG-2 Layer II audio decoder typically operating at 192 kbit/s is implemented in receivers. The system is intended for vehicular, portable and fixed reception	Range is from phone quality to CD quality. It is also capable of 5.1 multi-channel audio. MPEG-2 advanced audio coding (AAC) decoder typically operates at 144 kbit/s for stereo. The system is intended for vehicular, portable and fixed reception	Range is from 36 kbit/s to 96 kbit/s using the HD Codec ⁽¹⁾ decoder. The system is intended for vehicular ⁽²⁾ , portable and fixed reception	Range of the useful content bit rate is from 37-186 kbit/s for the whole multiplex ensemble with a maximum of four services in all modes. Using the MPEG-4 HE-AAC v2 audio decoder CD quality is achieved. It is also capable of 5.1 multichannel audio. The system is intended for vehicular, portable and fixed reception ⁽³⁾
Spectrum efficiency better than FM	FM stereo quality achievable in less than 200 kHz bandwidth; co-channel and adjacent channel protection requirements much less than those for FM. Efficiency is especially high in the case of repeaters reusing the same frequency. (Orthogonal multi-carrier modulation with convolution error correcting coding, coded orthogonal frequency division multiplex (COFDM))	FM stereo quality achievable in less than 200 kHz bandwidth; co-channel and adjacent channel protection requirements much less than those for FM. Efficiency is especially high in the case of repeaters reusing the same frequency. It can be more effective by using 16/64-quadrature amplitude modulation (QAM) carrier modulation. (Orthogonal frequency division multiplex (OFDM) with concatenated block and convolutional error correcting coding)	FM stereo quality and data achievable without additional spectrum; co-channel and adjacent channel protection requirements much less than those for FM. System is interleaved to mitigate first adjacent channel issues and is more robust in the presence of co-channel analogue digital interference	FM stereo quality and data achievable within 100 kHz bandwidth; co-channel and adjacent channel protection requirements much less than those for FM. Further improvement in the efficiency of spectrum use can be achieved by operating multiple transmitters on the same frequency (i.e. SFN single frequency network). Efficiency is especially high in the case of repeaters reusing the same frequency. It can be more efficient by using 16-quadrature amplitude modulation (QAM) carrier modulation besides 4-QAM. (Orthogonal frequency division multiplex (OFDM) with multilevel error correcting coding)

Rec. ITU-R BS.1114-7

TABLE 1 (continued)

Characteristics from Recommendation ITU-R BS.774 (condensed wording)	DAB	ISDB-TSB	IBOC DSB	DRM
Reconfiguration and quality vs. number of programmes tradeoff	Service multiplex is based on 64 sub-channels of capacity varying from 8 kbit/s to about 1 Mbit/s, depending on the error protection level, and is totally reconfigurable in a dynamic fashion. Each sub-channel can also contain an unlimited number of variable capacity data packet channels	Multiplexing of payload data is based on MPEG-2 systems. Audio data rate can be selected in any step in order to trade off programme audio quality against the number of services. Transmission parameters such as modulation and error correction are dynamically reconfigurable by transmission and multiplexing configuration control (TMCC)	Bits can be dynamically re-allocated to audio or data using the HDC transport functionalities at the discretion of the broadcaster within the range of 36 to 96 kbit/s for audio to increase or decrease the data rate. The receiver dynamically re-configures to match the transmission mode of operation	Service multiplex can support up to four streams, the capacity of which can vary according to broadcaster needs and is totally reconfigurable in a dynamic fashion. Each stream may carry audio or data content with the packet size configurable by the broadcaster to maximize efficiency. The receiver dynamically reconfigures to match the transmission mode of operation
Extent of coverage vs. number of programme trade-offs	Five levels of protection for audio and eight levels of protection for data services are available through using punctured convolutional coding for each of the 64 sub-channels (forward error correction (FEC) ranges from 1/4 to 3/4)	Four kinds of modulation and five levels of protection are available. (Carrier modulation: differential quaternary phase shift keying (DQPSK), QPSK, 16-QAM, 64-QAM, coding rate: 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8)	The system maintains uniform coverage for all programs. Secondary carriers may have reduced range in presence of adjacent channel interference. (Carrier modulation: QPSK)	Two kinds of modulation (4-QAM, 16-QAM) and different levels of protection (two levels for the SDC and four levels for the MSC) are available. Each stream may be dynamically configured. Forward error correction (FEC) ranges from 1/4 to 5/8)

Rec. ITU-R BS.1114-7

TABLE 1 (continued)

Characteristics from Recommendation ITU-R BS.774 (condensed wording)	DAB	ISDB-TSB	IBOC DSB	DRM
Common receiver for different means of programme delivery – Terrestrial services	Allows local, subnational and national terrestrial services with the same modulation with single transmitter or multiple transmitters operating in a single frequency network to take advantage of a common receiver	Allows local, subnational and national terrestrial services with the same modulation with a single transmitter or multiple transmitters operating in a single frequency network to take advantage of a common receiver	System uses common antenna and front end that is compatible with existing analogue FM broadcast services. Allows for local service as well as subnational and national terrestrial services with a single transmitter or multiple transmitters operating in a single frequency network in the case of the digital portion of the hybrid mode or the all digital mode. Allows for common delivery of FM programming that makes a seamless transition from digital to analogue and back. Permits simulcasting of identical programming in analogue and digital mode	Allows local, subnational and national terrestrial services with the same modulation with a single transmitter or multiple transmitters operating in a single frequency network to take advantage of a common receiver. Designed as a terrestrial digital only system

Rec. ITU-R BS.1114-7

TABLE 1 (continued)

Characteristics from Recommendation ITU-R BS.774 (condensed wording)	DAB	ISDB-TSB	IBOC DSB	DRM
– Mixed/hybrid	Allows the use of the same band as terrestrial sound broadcasting (mixed) as well as the use of terrestrial on-channel repeaters to reinforce the satellite coverage (hybrid) resulting in all these channels being received transparently by a common receiver. Signal can be carried transparently by cable	Allows the use of the same band as terrestrial sound broadcasting (mixed) as well as the use of terrestrial on-channel repeaters to reinforce the satellite coverage (hybrid) resulting in all these channels being received transparently by a common receiver.	Signal can be carried transparently by cable	Signal can be carried transparently by cable
– Cable distribution		Signal can be carried transparently by cable		

Rec. ITU-R BS.1114-7

TABLE 1 (continued)

Characteristics from Recommendation ITU-R BS.774 (condensed wording)	DAB	ISDB-TSB	IBOC DSB	DRM
Programme-associated data (PAD) capability	PAD channel from 0.66 kbit/s to 64 kbit/s capacity is available through a reduction of any audio channel by the corresponding amount. Dynamic label for programme and service identification showing only receiver alphanumeric display is available to all receivers. Basic hypertext markup language (HTML) decoding and Joint Photographic Experts Group (JPEG) picture decoding is available on receivers with graphic displays (1/4 video graphic array (VGA)), etc.	PAD multiplexing is based on MPEG-2 systems	PAD is an integral part of the system and can be provided through opportunistic data without any reduction of audio quality or data channels. Dynamic label for programme and service identification showing on any receiver alphanumeric display is available to all receivers	PAD with broadcaster selected capacity is available. Dynamic label for programme and service identification showing on any receiver alphanumeric display is available to all receivers (DRM TextMessages; programme accompanying labels (Unicode)); Electronic programme guide; advanced text-based information service (Unicode), supporting all classes of receivers, triggers interactivity and geo-awareness; programme accompanying images + animation traffic information small-scale video
Flexible assignment of services	The multiplex can be dynamically re-configured in a fashion transparent to the user	The multiplex can be dynamically re-configured in a fashion transparent to the user	The system automatically reconfigures between audio and data in a fashion transparent to user	The multiplex can be dynamically re-configured in a fashion transparent to the user

Rec. ITU-R BS.1114-7

TABLE 1 (continued)

Characteristics from Recommendation ITU-R BS.774 (condensed wording)	DAB	ISDB-TSB	IBOC DSB	DRM
Compatibility of multiplex structure with open system interconnection (OSI)	The system multiplex structure is compliant with the OSI layered model, especially for the data channels, except for the unequal error protection features of the MPEG-2 Layer II audio channel	The system multiplex structure is fully compliant with MPEG-2 systems architecture	The system is based on an OSI layered model including both data and audio except for the unique error protection afforded the audio codec	The system multiplex structure is compliant with the OSI layered model for all services
Value-added data capability	Any sub-channel (out of 64) not used for audio can be used for programme-independent data services. Data packet channels for high priority services available to all receivers tuned to any service of the multiplex can be carried in the fast information channel (FIC). Total capacity is up to 16 kbit/s. Receivers are equipped with a radio data interface (RDI) for data transfer to a computer	Capacity at any rate up to the full payload capacity can be assigned to independent data for the delivery of business data, paging, still pictures graphics, etc. under conditional access control if desired	Capacity at any rate up to the full payload capacity can be assigned to independent data for the delivery of business data, paging still pictures graphics, etc. under conditional access control if desired	Capacity at any rate up to the full payload capacity can be assigned to independent data for the delivery of business data, paging still pictures graphics, etc. under conditional access control if desired

Rec. ITU-R BS.1114-7

TABLE 1 (continued)

Characteristics from Recommendation ITU-R BS.774 (condensed wording)	DAB	ISDB-TSB	IBOC DSB	DRM
Performance in multipath and shadowing environments	System is especially designed for multipath operation. It works on the basis of a power summation of echoes falling within a given time interval. This feature allows use of on-channel repeaters to cover terrain shadowed areas	System is especially designed for multipath environment. It works on the basis of a power summation of echoes falling within a given time interval. This feature allows the use of on-channel repeaters to cover terrain shadowed areas	System is especially designed for multipath operation. It is OFDM modulated thereby achieving a high degree of performance in multipath. This feature allows the use of on-channel repeaters to cover terrain shadowed areas	System is especially designed for multipath environment. It works on the basis of a power summation of echoes falling within a given time interval. This feature allows the use of on-channel repeaters to cover terrain shadowed areas
Common receiver signal processing for satellite (S) and terrestrial (T) broadcasting	Not applicable. Terrestrial only	Not applicable. Terrestrial only	Not applicable. Terrestrial only	Not applicable. Terrestrial only

Rec. ITU-R BS.1114-7

TABLE 1 (end)

Characteristics from Recommendation ITU-R BS.774 (condensed wording)	DAB	ISDB-TSB	IBOC DSB	DRM
Receiver low-cost manufacturing	Allows for mass-production manufacturing and low-cost consumer receivers. Typical receivers have been integrated in two chips. One chip manufacturer has integrated the full receiver circuitry into one chip	The system was specifically optimized to enable an initial low complexity vehicular receiver deployment. Standardization group has been established to achieve low cost receivers based on large scale integration (LSI) mass production techniques	The system was specifically optimized to enable an initial low complexity vehicular receiver deployment	Allows for mass-production manufacturing and low-cost consumer receivers

⁽¹⁾ Additional information about the HD Codec (HDC) can be found at www.ibequity.com

⁽²⁾ The modes implemented in the in-band on-channel (IBOC) chipset (Digital System C) do not support vehicular operation at frequencies above 230 MHz.

⁽³⁾ The system was successfully tested in Regions 1 and 3.

With respect to Region 2, field test data is not available to demonstrate compatibility with analogue broadcasting in areas with significant co- and adjacent-channel interference.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] KEYSIGHT TECHNOLOGIES, ESA-E Series Spectrum Analyzer DATA SHEET, USA: KEYSIGHT.COM, (2014).
- [2] McLean Foster, Martin Cave y Robert W. Jones, Visión General de la gestión del espectro. En Gestión del espectro radioeléctrico Módulo 5 (13,14 y 24). USA: ITU, (2009).
- [3] McLean Foster, Martin Cave y Robert W. Jones, Compartición del espectro. En Gestión del espectro Radioeléctrico (66 - 68), USA: ITU , (2009).
- [4] UIT-R, Servicios de radiodifusión sonora. En Recomendación UIT-R SM.851-1(14,17 y 19), USA: ITU, (1993).
- [5] Mejía Freire Jorge Felipe, Velásquez Ortega Danny Marcelo, Análisis del cumplimiento de la norma técnica reglamentaria para radiodifusión

en frecuencia modulada analógica y televisión analógica abierta en la ciudad de Cuenca, "<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1040>", (2011) .

- [6] CONATEL, Plan Nacional de Frecuencias Ecuador, http://www.regulaciontelecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/plan_nacional_frecuencias_2012.pdf, (2012) .
- [7] National Association of Broadcasters, ENGINEERING HANDBOOK SEVENTH EDITION, <http://www.americanradiohistory.com/Archive-NAB-Engineering/NAB-7th-Edition/1-NAB-7th.pdf>, (2007).
- [8] Radiocommunication Bureau, Handbook SPECTRUM MONITORING. 1st edition, Switzerland: ITU, (2011).
- [9] SUPERTEL, LEY ESPECIAL DE TELECOMUNICACIONES REFORMADA, "http://controlenlinea.supertel.gob.ec/wps/wcm/connect/c2f1b652-50d3-41b4-8b87-f9419d672edf/ley_especial_telecomunicaciones_reformada.pdf?MOD=

AJPERES&CACHEID=c2f1b652-50d3-41b4-8b87-f9419d672edf “,
(2004).

- [10] ITU, Reglamento Mundial de Radiocomunicaciones, Ginebra: ITU, (2012).
- [11] ASAMBLEA NACIONAL REPÚBLICA DEL ECUADOR, Ley orgánica de Telecomunicaciones. Ecuador, (2014).
- [12] Alexander M. Wyglinski and Gary J. Minden, A Spectrum Surveying Framework for Dynamic Spectrum Access Networks, IEEE, (2009), TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY. 58 (8), pp.4161 – 4163.
- [13] Adriana Charry, Electromagnetic-Fields, Disponible en <http://electromagnetic-fields.wikispaces.com/wiki/changes>. [Último Acceso 18/12/2014]
- [14] Laboratorio de Astrofísica Espacial y Física Fundamenta ,Centro de Astrobiología (INTA-CSIC), Disponible en <http://partner.cab.inta-csic.es/imagenes/wave.gif> [Último Acceso 18/12/2014].

- [15] La ocho.com ,Revista Móviles la Ocho, Disponible en <http://revistamoviles.blogspot.com/2011/11/telefonica-se-asegura-el-liderazgo-en.html> [Último Acceso 18/12/2014].
- [16] Fernando Alexis Jiménez ,monografías.com, Disponible en www.monografias.com/trabajos26/radiocomunicaciones [Último Acceso 18/12/2014].
- [17] Creative Commons S., Infografía del Espectro Electromagnético, Disponible en <http://www.yalosabes.com/infografia-del-espectro-electromagnetico.html> [Último Acceso 18/12/2014].
- [18] Dirk Halbach, Encyclopaedia Britannica Inc, Disponible en <http://users.sch.gr/gianmichel/hlektronikoi2.htm> [Último Acceso 17/12/2014].
- [19] NCS Pearson (2014), Tutor Vista.com, Disponible en <http://www.tutorvista.com/content/physics/physics-iv/communication-systems/demodulation.php> [Último Acceso 18/12/2014].

- [20] Gobierno de España, Secretaria de estado de telecomunicaciones y para la sociedad de la información, Disponible en http://www.minetur.gob.es/telecomunicaciones/Espectro/RadioTV/FM/Paginas/FM_RNE.aspx [Último Acceso 19/12/2014].
- [21] Angle Arz, Signal Amplitude Modulation, Disponible en <http://anglerz.com/signal-amplitude-modulationfrequency-phase/32.html> [Último Acceso 17/12/2014].
- [22] D.C., Propagación de Ondas Radioeléctricas, Disponible en <http://www.capa-f2.com/propagondas.html> [Último Acceso 20/12/2014].
- [23] Darío Jurado, Liga Panameña de Radioaficionados, Disponible en <http://www.qsl.net/lpr/ondase12.jpg> [Último Acceso 18/12/2014].
- [24] Santiago García, Sonido y Radiocomunicaciones, Disponible en <http://www.analfatecnicos.net/pregunta.php?id=22> [Último Acceso 20/12/2014].
- [25] José Luis Besada Sanmartín, Manuel Sierra Castañer, Disponible en <http://www.analfatecnicos.net/pregunta.php?id=14> [Último Acceso 17/12/2014].

- [26] Franklin Coloma, Estudio de las Zonas de Fresnel en las Comunicaciones inalámbricas, Disponible en <http://xentron.blogspot.com/2010/12/estudio-de-la-zona-fresnel-en-las.html> [Último Acceso 19/12/2014].
- [27] Centro de Producciones Técnicas, Dr. Joao Alfredo Disponible en <http://www.cpt.com.br/cursos-informatica-redesdecomputadores/artigos/comunicacao-wireless-zona-de-fresnel> [Último Acceso 18/12/2014].
- [28] Tecnicom, Servicio de Repetidora, Disponible en <http://www.tecnicom.com.uy/images/ESQUEMA-REPETIDORA.jpg> [Último Acceso 19/12/2014].
- [29] Ing. Francisco Neyra, Disponible en Norma Técnica Radiodifusión FM.ppt de SUPTEL [Último Acceso 22/12/2014].
- [30] Luis J. Fernández, Revista Electrónica de la Escuela de Ingeniería Eléctrica N02 de Disponible en <http://neutron.ing.ucv.ve/revista-e/No2/IMG00008.GIF> [Último Acceso 18/12/2014].

- [31] Jorge Mejía Freire, Danny Velásquez Ortega, Análisis del cumplimiento de la Norma Técnica Reglamentaria para radiodifusión en frecuencia modulada analógica y televisión analógica abierta en la Ciudad de Cuenca Disponible en <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1040> [Último Acceso 18/12/2014].
- [32] Artsys Telecom S.L., Radioenlaces Microondas Disponible en <http://www.artsys.es/Front/ListadoProducto> [Último Acceso 22/12/2014].
- [33] SUPERTEL EC, Situación de Operación de las Estaciones de Radiodifusión, Televisión y Audio y Vídeo por Suscripción. Disponible en http://www.supertel.gob.ec/pdf/estadisticas/frecuencia_modulada.pdf [Último Acceso 03/02/2015].