



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,
TELECOMUNICACIONES Y REDES

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN ALGORITMO DE
PREDICCIÓN DE ARMÓNICOS E INTERMODULACIONES EN
LA BANDA DE RADIODIFUSIÓN FM, EN RIOBAMBA

Trabajo de Titulación presentado para optar al grado académico de:
INGENIERO EN ELECTRÓNICA TELECOMUNICACIONES Y REDES

AUTORES: EDWIN IVAN JAMI CHICAIZA
MARLID ISAMARA GAIBOR GUASTAY
TUTOR: ING. WILLIAM CALVOPIÑA

RIOBAMBA-ECUADOR

-2016-

©2016, Marlid Isamara Gaibor Guastay, Edwin Ivan Jami Chicaiza

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca los Derechos de los Autores.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y
REDES

El Tribunal de Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de investigación: DISEÑO Y DESARROLLO DE UN ALGORITMO DE PREDICCIÓN DE ARMÓNICOS E INTERMODULACIONES EN LA BANDA DE RADIODIFUSIÓN FM, EN RIOBAMBA de responsabilidad de los señores Marlid Isamara Gaibor Guastay y Edwin Ivan Jami Chicaiza, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Dr. Miguel Tasambay, PhD. DECANO FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA	_____	_____
Ing. Franklin Moreno, Msc. DIRECTOR DE ESCUELA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y REDES	_____	_____
Ing. William Calvopiña, Msc. DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	_____	_____
Ing. Hugo Moreno, PhD. MIEMBRO DEL TRIBUNAL	_____	_____

Nosotros, Edwin Ivan Jami Chicaiza y Marlid Isamara Gaibor Guastay somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo.

Marlid Isamara Gaibor Guastay

Edwin Ivan Jami Chicaiza

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado al esfuerzo de mi madre, quien a pesar de las duras batallas nos ha apoyado a mí y a mis hermanos para alcanzar nuestras metas y a mis amados ángeles quienes están todo el tiempo en mi mente.

Marlid Gaibor

El presente trabajo de titulación va dedicado a mis padres Calixto Jami y Elvira Chicaiza, gracias a sus esfuerzos por apoyarme he logrado a llegar a esta instancia de mis estudios los quiero hasta el ∞ & $+$ \Rightarrow de todo $r = 1 - \sin(\theta)$

Edwin Jami

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi madre por el esfuerzo diario que demuestra el amor hacia mí y mis hermanos, igualmente a mis hermanos por el apoyo que me han sabido dar.

Al Ing. William Calvopiña, tutor del trabajo de Titulación y al Dr. Hugo Moreno quienes nos han guiado acertadamente para alcanzar esta meta. Y al Ing. Freddy Chávez quien me ha orientado en la carrera universitaria.

A mis queridos amigos compañeros de carrera y especialmente a todos quienes conforman el Grupo de danza representativo politécnico Ayahuashca con quienes he compartido momentos irrepetibles.

Marlid

Le agradezco a Dios quien con sus bendiciones me ha permitido llegar a la culminación de una de las metas de mi vida.

A mis padres Calixto Jami y Elvira Chicaiza y hermanos Janeth, Diego, Yadira por su apoyo incondicional.

Al Ing. William Calvopiña Director del trabajo de titulación al Dr. Hugo Moreno miembro del tribunal quienes por su valiosa guía y asesoramiento permitieron llegar a la realización y culminación de la misma.

A mis amigos que gracias al equipo que conformamos llegamos hasta el final del camino Verónica, Marilyn, Lili, Mercy, Eddy, Eduardo y Lucho.

Edwin

TABLA DE CONTENIDO

	Páginas
PORTADA	i
DERECHOS DE AUTOR	ii
FIRMAS DE RESPONSABILIDAD	iii
RESPONSABILIDAD DE AUTORES	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE TABLAS	xvii
ÍNDICE DE ECUACIONES	xviii
ÍNDICE DE ANEXOS	xix
RESUMEN	xx
SUMMARY	xxi
INTRODUCCIÓN	xxii
CAPÍTULO I	
1. MARCO REFERENCIAL	1
1.1 Espectro Radioeléctrico	1
<i>1.1.1 Plan Nacional de Frecuencias</i>	<i>1</i>
<i>1.1.2 Concesión de frecuencias</i>	<i>3</i>
<i>1.1.3 Modulación en frecuencia</i>	<i>3</i>
<i>1.1.4 Distorsión</i>	<i>4</i>
<i>1.1.5 Armónicos</i>	<i>4</i>
<i>1.1.5.1 Distorsión armónica</i>	<i>4</i>
<i>1.1.5.2 Análisis de Fourier</i>	<i>6</i>
<i>1.1.5.3 Distorsión de intermodulación</i>	<i>7</i>
1.2 Intermodulación	7
<i>1.2.1 Elementos activos</i>	<i>7</i>
<i>1.2.2 Amplificador de potencia</i>	<i>8</i>
<i>1.2.3 Distorsión de elementos activos</i>	<i>8</i>
<i>1.2.3.1 Distorsión por ley cuadrática</i>	<i>8</i>
<i>1.2.3.2 Distorsión por ley cúbica</i>	<i>9</i>
<i>1.2.4 Productos de intermodulación</i>	<i>10</i>

1.3	Tipos de intermodulaciones.....	12
1.3.1	<i>Definiciones de distintos tipos de intermodulación en el transmisor</i>	<i>12</i>
1.3.2	<i>Intermodulación de un solo canal.....</i>	<i>13</i>
1.3.3	<i>Intermodulación multicanal.....</i>	<i>14</i>
1.3.4	<i>Intermodulación entre transmisores</i>	<i>14</i>
1.3.5	<i>Intermodulación debido a antenas activas</i>	<i>15</i>
1.3.6	<i>Intermodulación debido a circuitos pasivos</i>	<i>16</i>
1.4	Características técnicas de las estaciones radiodifusoras en FM.....	17
1.4.1	<i>Introducción.....</i>	<i>17</i>
1.4.2	<i>Parámetros que influyen en el área de cobertura de una estación FM.....</i>	<i>17</i>
1.4.2.1	<i>Antena.....</i>	<i>17</i>
1.4.2.2	<i>Antena de transmisión</i>	<i>17</i>
1.4.2.3	<i>Antena de recepción</i>	<i>17</i>
1.4.3	<i>Características de las antenas</i>	<i>17</i>
1.4.3.1	<i>Diagrama de radiación</i>	<i>17</i>
1.4.3.2	<i>Polarización:</i>	<i>18</i>
1.4.3.3	<i>Ganancia</i>	<i>18</i>
1.4.3.4	<i>Inclinación mecánica.....</i>	<i>19</i>
1.4.3.5	<i>Inclinación electrónica.....</i>	<i>19</i>
1.4.4	<i>Tipos de antenas</i>	<i>19</i>
1.4.4.1	<i>Antena Isotrópica</i>	<i>19</i>
1.4.4.2	<i>Antena omnidireccional.....</i>	<i>19</i>
1.4.4.3	<i>Antena direccional.....</i>	<i>19</i>
1.4.4.4	<i>Antena de banda angosta para FM.....</i>	<i>19</i>
1.4.4.5	<i>Antena de banda ancha para FM</i>	<i>20</i>
1.4.5	<i>Propagación de radiofrecuencia</i>	<i>20</i>
1.4.5.1	<i>Reflexión.....</i>	<i>20</i>
1.4.5.2	<i>Dispersión.....</i>	<i>21</i>
1.4.5.3	<i>Difracción.....</i>	<i>21</i>
1.4.6	<i>Tipo de propagación de radiodifusión FM.....</i>	<i>21</i>
1.4.6.1	<i>Propagación por onda terrestre</i>	<i>22</i>
1.4.6.2	<i>Propagación por onda directa.....</i>	<i>22</i>
1.4.7	<i>Servicio de radiodifusión FM.....</i>	<i>22</i>
1.4.7.1	<i>Espectro radioeléctrico de radiodifusión sonora</i>	<i>25</i>
1.4.8	<i>Filtros para FM</i>	<i>26</i>
1.4.8.1	<i>Filtro Pasa Banda</i>	<i>27</i>

1.4.8.2	<i>Filtro Rechaza Banda</i>	27
1.4.8.3	<i>Características de filtros FM</i>	27
1.5	Analizador de espectro	29
1.5.1	<i>Características del analizador de espectro</i>	29
1.5.1.1	<i>Elementos principales del analizador Anritsu</i>	30
1.5.2	<i>Analizador de espectro Anritsu MS2724C, pantalla en funcionamiento</i>	31
1.5.2.1	<i>Frecuencia (Frequency)</i>	31
1.5.2.2	<i>Ancho de ventana (Span)</i>	32
1.5.2.3	<i>Amplitud (Amplitude)</i>	32
1.5.2.4	<i>Marcador (Marker)</i>	33
1.5.2.5	<i>Tiempo de barrido (Sweep time)</i>	33
1.5.2.6	<i>Retención de máximos (Max Hold)</i>	34
1.5.3	<i>Configuración del analizador de espectro Anritsu</i>	34
1.6	Tarjetas USRP B210	35
1.6.1	<i>Diagrama de bloque de las tarjetas USRP B210</i>	37
1.6.2	<i>Conexión USRP B210 con la PC</i>	38
1.7	Matlab	38
1.7.1	<i>Instalación de paquetes USRP en Matlab</i>	39
1.7.1.1	<i>Entorno Guide Matlab</i>	41
1.7.1.2	<i>Propiedades de los componentes de los elementos</i>	42
1.7.1.3	<i>Funcionamiento general del GUIDE MATLAB</i>	43
1.7.2	<i>Simulink</i>	44
1.7.2.1	<i>Introducción</i>	44
1.7.2.2	<i>Acceso a paquetes Simulink</i>	44
1.7.3	<i>Transmisor FM inalámbrico de corto alcance</i>	46
1.7.3.1	<i>Configuración del transmisor FM de corto alcance</i>	47
1.8	Mediciones de señal FM	48
1.8.1	<i>Análisis de la situación actual de la radiodifusión FM en Riobamba</i>	48
1.8.1.1	<i>Detección de problemas de señales no deseadas</i>	49
CAPÍTULO II		
2.	MARCO METODOLÓGICO	52
2.1	Introducción	52
2.2	Nivel de investigación	52
2.2.1	<i>Investigación de campo</i>	52

2.2.2	Investigación descriptiva	53
2.2.3	Recolección de datos	53
2.2.3.1	<i>Instrumento de recolección de datos</i>	53
2.2.4	Diseño del algoritmo	54
2.2.4.1	<i>Introducción</i>	54
2.2.4.2	<i>Dispositivo para procesamiento de Señal</i>	54
2.2.4.3	<i>Selección de Software</i>	55
2.2.5	Desarrollo	55
2.2.5.1	<i>Analizador de espectro FM</i>	56
2.2.5.2	<i>Demodulador de Audio</i>	63
2.2.6	Funcionamiento general	67
2.2.7	Aplicación para la predicción de armónicos e intermodulaciones en FM	68
2.3	Población y muestra	74
2.3.1	Población	74
2.3.2	Muestra	74
2.3.2.1	<i>Muestreo no probabilístico</i>	74
2.3.3	Técnicas de procesamiento y análisis de datos	75

CAPÍTULO III

3.	MARCO DE RESULTADOS	76
3.1	Introducción	76
3.2	Procedimiento para hallar armónicos e intermodulaciones	76
3.3	Señales armónicas de la aplicación vs analizador de espectro	78
3.3.1	Armónicos generados por la frecuencia 90.9 MHz	79
3.3.1.1	<i>Primer armónico en frecuencia central 90.9MHz</i>	79
3.3.1.2	<i>Segundo armónico en frecuencia central 181.8MHz</i>	80
3.3.1.3	<i>Tercer armónico en frecuencia central 272.7 MHz</i>	81
3.3.1.4	<i>Cuarto armónico en frecuencia central 363.6 MHz</i>	82
3.3.1.5	<i>Quinto armónico en frecuencia central 454.5 MHz</i>	84
3.3.2	Armónicos generados por la frecuencia 99.3 MHz	85
3.3.2.1	<i>Primer armónico en frecuencia central 99.3 MHz</i>	85
3.3.2.2	<i>Segundo armónico en frecuencia central 198.6 MHz</i>	86
3.3.2.3	<i>Tercer armónico en frecuencia central 297.9 MHz</i>	88
3.3.2.4	<i>Cuarto armónico en frecuencia central 397.2 MHz</i>	89
3.3.2.5	<i>Quinto armónico en frecuencia central 496.5 MHz</i>	90

3.4	Señales de intermodulación de la aplicación vs analizador de espectro.....	91
3.4.1	<i>Intermodulación (IM) en 107.7 MHz de frecuencias 90.9 y 99.3 MHz.....</i>	91
3.4.2	<i>Intermodulación en 90.9 MHz de frecuencias 95.1 y 99.3 MHz.....</i>	92
3.4.3	<i>Intermodulación en 94.9 MHz de frecuencias 99.3 y 97.1 MHz.....</i>	94
3.4.4	<i>Intermodulación en 90.9 MHz de frecuencias 97.1 y 103.3 MHz.....</i>	95
3.4.5	<i>Intermodulación en 94.9 MHz de frecuencias 103.3 y 99.1 MHz.....</i>	97
3.4.6	<i>Intermodulación en 90.9 MHz de frecuencias 106.5 y 98.7 MHz.....</i>	98
3.4.7	<i>Intermodulación en 100.5 MHz de frecuencias 106.5 y 103.5 MHz.....</i>	100
3.4.8	<i>Intermodulación en 107.7 MHz de frecuencias 99.3 y 103.5 MHz.....</i>	101
3.4.9	<i>Intermodulación en 106.5 MHz de frecuencias 100.5 y 103.5 MHz.....</i>	103
3.4.10	<i>Intermodulación en 99.3 MHz de frecuencias 95.1 y 90.9 MHz.....</i>	104
3.4.11	<i>Intermodulación en 103.3 MHz de frecuencias 97.1 y 90.9 MHz.....</i>	105
3.4.12	<i>Intermodulación en 106.5 MHz de frecuencias 98.7 y 90.9 MHz.....</i>	107
3.4.13	<i>Intermodulación en 106.5 MHz de frecuencias 100.7 y 94.9 MHz.....</i>	108
3.5	Análisis de resultados.....	109
3.6	Consideraciones.....	111
	CONCLUSIONES.....	113
	RECOMENDACIONES	115
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE FIGURAS

	Páginas
Figura 1-1: Distorsión Armónica.....	5
Figura 2-1: Armónicos acorde a clases de ondas.....	7
Figura 3-1: Representación de los productos de intermodulación.....	8
Figura 4-1: Punto de intercepción de segundo orden.....	9
Figura 5-1: Punto de compresión a 1dB	10
Figura 6-1: Productos de Intermodulación	11
Figura 7-1: Productos de Intermodulación de tercer orden	11
Figura 8-1: Representación de los productos de intermodulación.....	12
Figura 9-1: Intermodulación de un solo canal	13
Figura 10-1: Ruido de intermodulación de tercer orden en la banda BO	14
Figura 11-1: Intermodulación multicanal	14
Figura 12-1: Intermodulación entre transmisores.....	15
Figura 13-1: Arquitectura de antena activa con amplificadores	15
Figura 14-1: Intermodulación debido a circuitos pasivos.....	16
Figura 15-1: Reflexión de señales en la Ionosfera.....	20
Figura 16-1: Dispersión de ondas de radiofrecuencia.....	21
Figura 17-1: Difracción de ondas de Radiofrecuencia	21
Figura 18-1: Propagación de Onda Terrestre.....	22
Figura 19-1: Propagación por Onda Directa.....	22
Figura 20-1: Servicio de radiodifusión	23
Figura 21-1: Elementos de un sistema de radiodifusión FM	23
Figura 22-1: Sistema de radiodifusión FM de baja potencia	26
Figura 23-1: Filtro Pasa Banda	27
Figura 24-1: Filtro Rechaza Banda.....	27
Figura 25-1: Comportamiento del filtro Pasa Banda FM	28
Figura 26-1: Filtro Pasa Banda de cuatro cavidades resonantes.....	29
Figura 27-1: Analizador de espectro Anritsu MS2724C	29
Figura 28-1: Panel Frontal de analizador de espectro.....	30
Figura 29-1: Frontal derecho del analizador.....	30
Figura 30-1: Panel superior del analizador	31
Figura 31-1: Analizador de espectro Anritsu.....	31
Figura 32-1: Opción frequency	32
Figura 33-1: Opción spam	32

Figura 34-1: Opción Amplitude.....	33
Figura 35-1: Opción Marker	33
Figura 36-1: Opción Sweep time	34
Figura 37-1: Opción Max Hold	34
Figura 38-1: Conector y Antena de FM.....	35
Figura 39-1: Analizador de espectro.....	35
Figura 40-1: Estructura externa de la tarjeta USRP B210	37
Figura 41-1: Diagrama funcional de la tarjeta USRP B210	38
Figura 42-1: Conexión USRP B210 con la PC.....	38
Figura 43-1: Guía de instalación, paquete USRP B210.....	39
Figura 44-1: Paquete USRP B210, select	40
Figura 45-1: Paquete USRP B210, USRP Radio.....	40
Figura 46-1: Paquete USRP B210, account.....	40
Figura 47-1: Paquete USRP B210, findsdru.....	41
Figura 48-1: Entorno Guide Matlab.....	41
Figura 49-1: Guide Matlab, Push Button.....	42
Figura 50-1: Guide Matlab, Callback	42
Figura 51-1: Guide Matlab, diseño	43
Figura 52-1: Simulink Matlab, Library.....	44
Figura 53-1: Simulink, categoría de bloques	45
Figura 54-1: Simulink, diagrama de bloques.....	45
Figura 55-1: Transmisor FM.....	46
Figura 56-1: Transmisor FM estructura interna.....	46
Figura 57-1: Transmisor FM.....	47
Figura 58-1: Transmisores FM juntos	48
Figura 59-1: Interferencia adyacente a la frecuencia 93.3 MHz.....	50
Figura 60-1: Interferencia adyacente a la frecuencia 94.5 MHz.....	50
Figura 61-1: Señal no deseada en la frecuencia 99.3 MHz.....	51
Figura 62-1: Señal no deseada fuera de la banda FM.....	51
Figura 1-2: Diagrama de bloques del analizador de espectro FM	56
Figura 2-2: Bloque sinewave, analizador de espectro FM.....	57
Figura 3-2: Constante del analizador de espectro FM	57
Figura 4-2: Frecuencia de intermodulación del analizador.....	57
Figura 5-2: Bloque SDRu del analizador de espectro FM.....	58
Figura 6-2: Bloque SDRu, sample time.....	60
Figura 7-2: Bloque Frame del Analizador	60
Figura 8-2: Bloque Búfer del analizador	61

Figura 9-2:	Bloque FFT del analizador.....	61
Figura 10-2:	Bloque del analizador de espectro FM.....	61
Figura 11-2:	Bloque Ganancia del analizador	62
Figura 12-2:	Bloque Abs del analizador de espectro FM	62
Figura 13-2:	Bloque var del analizador	62
Figura 14-2:	Diagrama de bloques Demodulador de Audio FM	63
Figura 15-2:	Variables del Demodulador de Audio.....	63
Figura 16-2:	Bloque SDRu del demodulador de audio.....	64
Figura 17-2:	Diagrama de bloques, Decodificador FM	64
Figura 18-2:	Diagrama de bloques, Demodulador FM	64
Figura 19-2:	Bloque Demodulador FM, Delay.....	65
Figura 20-2:	Bloque Demodulador FM, Math.....	65
Figura 21-2:	Bloque Demodulador FM, Product.....	65
Figura 22-2:	Bloque Demodulador FM, Complex.....	66
Figura 23-2:	Bloque Filtro del Demodulador de Audio FM.....	66
Figura 24-2:	Bloque 48Hz Salida del demodulador de audio FM	66
Figura 25-2:	Bloque Audio Device del demodulador.....	67
Figura 26-2:	Funcionamiento general de la aplicación.....	68
Figura 27-2:	Aplicación para la predicción de armónicos e intermodulaciones en FM	69
Figura 28-2:	Armónicos e Intermodulaciones en FM, cargar archivo Analizador	69
Figura 29-2:	Armónicos e Intermodulaciones en FM, cargar archivo Demodulador	70
Figura 30-2:	Armónicos e Intermodulaciones en FM, opción 2B-A	71
Figura 31-2:	Armónicos e Intermodulaciones en FM, opción 3B-C	71
Figura 32-2:	Armónicos e Intermodulaciones en FM, opción 4D-3C	71
Figura 33-2:	Armónicos e Intermodulaciones en FM, opción 4D-2B-A.....	72
Figura 34-2:	Armónicos e Intermodulaciones en FM, opción A+B-C	72
Figura 35-2:	Armónicos e Intermodulaciones en FM, algoritmo	72
Figura 36-2:	Armónicos e Intermodulaciones en FM ventana dos.....	73
Figura 37-2:	Mensaje de información.....	73
Figura 38-2:	Mensaje de advertencia.....	73
Figura 1-3:	Pantalla principal de la aplicación.....	77
Figura 2-3:	Intermodulación real en frecuencia 107.7 MHz.....	77
Figura 3-3:	Posibles combinaciones para la intermodulación 107.7 MHz.	78
Figura 4-3:	Espectro de intermodulación en frecuencia 107.7 MHz.	78
Figura 5-3:	Señal en frecuencia 90.9 MHz (Anritsu).	79
Figura 6-3:	Señal en frecuencia 90.9 MHz (Simulink).....	79
Figura 7-3:	Señal fundamental en frecuencia 90.9 MHz (Aplicación).....	80

Figura 8-3: Segundo armónico en frecuencia 181.8 MHz (Anritsu).	80
Figura 9-3: Segundo armónico en 181.8 MHz (Simulink).	81
Figura 10-3: Segundo armónico en 181.8 MHz (Aplicación).	81
Figura 11-3: Tercer armónico en 272.2 MHz (Anritsu).	81
Figura 12-3: Tercer armónico en 272.2 MHz (Simulink).	82
Figura 13-3: Tercer armónico en 272.2 MHz (Aplicación).	82
Figura 14-3: Cuarto armónico en 363.6 MHz (Anritsu).	83
Figura 15-3: Cuarto armónico en 363.6 MHz (Simulink).	83
Figura 16-3: Cuarto armónico en 363.6 MHz (Aplicación).	83
Figura 17-3: Quinto armónico en 454.5 MHz (Anritsu).	84
Figura 18-3: Quinto armónico en 454.5 MHz (Simulink).	84
Figura 19-3: Quinto armónico en frecuencia 454.5 MHz (Aplicación).	85
Figura 20-3: Señal fundamental en 99.3 MHz (Anritsu).	85
Figura 21-3: Señal fundamental en 99.3 MHz (Simulink).	86
Figura 22-3: Señal fundamental en 99.3 MHz (Aplicación).	86
Figura 23-3: Segundo armónico en 198.6 MHz (Anritsu).	87
Figura 24-3: Segundo armónico en 198.6 MHz (Simulink).	87
Figura 25-3: Segundo armónico en 198.6 MHz (Aplicación).	87
Figura 26-3: Tercer armónico en 297.9 MHz (Anritsu).	88
Figura 27-3: Tercer armónico en 297.9 MHz (Simulink).	88
Figura 28-3: Tercer armónico en 297.9 MHz (Aplicación).	89
Figura 29-3: Cuarto armónico en 397.2 MHz (Anritsu).	89
Figura 30-3: Cuarto armónico en 397.2 MHz (Simulink).	89
Figura 31-3: Cuarto armónico en 397.2 MHz (Aplicación).	90
Figura 32-3: Quinto armónico en 496.5 MHz (Anritsu).	90
Figura 33-3: Quinto armónico en 496.5 MHz (Simulink).	90
Figura 34-3: Quinto armónico en 496.5 MHz (Aplicación).	91
Figura 35-3: IM en 107.7 MHz de Fr. 90.9 y 99.3 MHz (Aplicación).	91
Figura 36-3: IM en 107.7 MHz de Fr. 90.9 y 99.3 MHz (Anritsu).	92
Figura 37-3: IM en 107.7 MHz de Fr. 90.9 y 99.3 MHz (Simulink).	92
Figura 38-3: IM en 90.9 MHz de Fr. 95.1 y 99.3 MHz (Aplicación).	93
Figura 39-3: IM en 90.9 MHz de 95.1 y 99.3 MHz (Anritsu).	93
Figura 40-3: IM en 90.9 MHz de Fr. 95.1 y 99.3 MHz (Simulink).	94
Figura 41-3: IM en 94.9 MHz de Fr. 99.3 y 97.1 MHz (Aplicación).	94
Figura 42-3: IM en 94.9 MHz de Fr. 99.3 y 97.1 MHz (Anritsu).	95
Figura 43-3: IM en 94.9 MHz de Fr. 99.3 y 97.1 MHz (Simulink).	95
Figura 44-3: IM en 90.9 MHz de FR 97.1 y 103.3 MHz (Aplicación).	96

Figura 45-3: IM en 90.9 MHz de Fr. 97.1 y 103.3 MHz (Anritsu).....	96
Figura 46-3: IM en 90.9 MHz de Fr. 97.1 y 103.3 MHz (Simulink).....	97
Figura 47-3: IM en 94.9 MHz de Fr. 103.3 y 99.1 MHz (Aplicación).....	97
Figura 48-3: IM en 94.9 MHz de Fr. 103.3 y 99.1 MHz (Anritsu).....	98
Figura 49-3: IM en 94.9 MHz de Fr. 103.3 y 99.1 MHz (Simulink).....	98
Figura 50-3: IM en 94.9 MHz de Fr. 103.3 y 99.1 MHz (Aplicación).....	99
Figura 51-3: IM en 94.9 MHz de Fr. 103.3 y 99.1 MHz (Anritsu).....	99
Figura 52-3: IM en 94.9 MHz de Fr. 103.3 y 99.1 MHz (Simulink).....	100
Figura 53-3: IM en 100.5 MHz de Fr. 106.5 y 103.5 MHz (Aplicación).....	100
Figura 54-3: IM en 100.5 MHz de Fr.106.5 y 103.5 MHz (Anritsu).....	101
Figura 55-3: IM en 100.5 MHz de Fr. 106.5 y 103.5 MHz (Simulink).....	101
Figura 56-3: IM en 100.5 MHz de Fr. 106.5 y 103.5 MHz (Simulink).....	102
Figura 57-3: IM en 100.5 MHz de Fr. 106.5 y 103.5 MHz (Simulink).....	102
Figura 58-3: IM en 100.5 MHz de Fr. 106.5 y 103.5 MHz (Simulink).....	102
Figura 59-3: IM en 106.5 MHz de Fr. 100.5 y 103.5 MHz (Aplicación).....	103
Figura 60-3: IM en 106.5 MHz de Fr. 100.5 y 103.5 MHz (Anritsu).....	103
Figura 61-3: IM en 106.5 MHz de 100.5 y 103.5 MHz (Simulink).....	104
Figura 62-3: IM en 99.3 MHz de Fr. 95.1 y 90.9 MHz (Aplicación).....	104
Figura 63-3: IM en 99.3 MHz de Fr. 95.1 y 90.9 MHz (Anritsu).....	105
Figura 64-3: IM en 99.3 MHz de Fr. 95.1 y 90.9 MHz (Simulink).....	105
Figura 65-3: IM en 103.3 MHz de Fr. 97.1 y 90.9 MHz (Aplicación).....	106
Figura 66-3: IM en 103.3 MHz de Fr. 97.1 y 90.9 MHz (Anritsu).....	106
Figura 67-3: IM en 103.3 MHz de Fr. 97.1 y 90.9 MHz (Simulink).....	106
Figura 68-3: IM en 106.5 MHz de Fr. 98.7 y 90.9 MHz (Aplicación).....	107
Figura 69-3: IM en 106.5 MHz de Fr. 98.7 y 90.9 MHz (Anritsu).....	107
Figura 70-3: IM en 106.5 MHz de Fr. 98.7 y 90.9 MHz (Simulink).....	108
Figura 71-3: IM en 106.5 MHz de Fr. 100.7 y 94.9 MHz (Aplicación).....	108
Figura 72-3: IM en 106.5 MHz de Fr. 100.7 y 94.9 MHz (Anritsu).....	109
Figura 73-3: IM en 106.5 MHz de Fr. 100.7 y 94.9 MHz (Simulink).....	109

ÍNDICE DE TABLAS

	Páginas
Tabla 1-1: Bandas de Frecuencias	2
Tabla 2-1: Distribución de Frecuencias (76-117,975) MHz	2
Tabla 3-1: Frecuencias Principales para Radiodifusión Sonora.....	25
Tabla 4-1: Frecuencias Auxiliares para Radiodifusión Sonora.....	25
Tabla 5-1: Tipos de estaciones de Radiodifusión	25
Tabla 6-1: Características técnicas de las tarjetas USRP	36
Tabla 7-1: Controles del entorno editor de interfaces de usuario MATLAB.....	41
Tabla 8-1: Especificaciones técnicas del transmisor FM inalámbrico de corto alcance	46
Tabla 9-1: Frecuencia de transmisión de Radio FM en Riobamba	48
Tabla 1-2: Combinaciones y generación de resultados	70
Tabla 2-2: Estaciones radiodifusoras seleccionadas para intermodulación.....	75
Tabla 1-3: Niveles de potencia recibida de armónicos	110
Tabla 2-3: Niveles de potencia recibida de intermodulación	111

ÍNDICE DE ECUACIONES

	Páginas
Ecuación 1-1: Distorsión armónica	5
Ecuación 2-1: Suma de voltajes medios	5
Ecuación 3-1: Sumatoria general de la fórmula de Fourier	6
Ecuación 4-1: Integral para la constante A_0 de la fórmula de Fourier	6
Ecuación 5-1: Integral para la constante A_n de la fórmula de Fourier	6
Ecuación 6-1: Integral para la constante B_n de la fórmula de Fourier	6
Ecuación 7-1: Relación de las constantes $A_n B_n$	6
Ecuación 8-1: Fórmula de R_n para las constantes $A_n B_n$	6
Ecuación 9-1: Señal fundamental en ley cuadrática	8
Ecuación 10-1: Señal de salida en ley cuadrática	9
Ecuación 11-1: Distorsión por ley cuadrática	9
Ecuación 12-1: Señal de salida en ley cúbica	9
Ecuación 13-1: Distorsión por ley cúbica	10
Ecuación 14-1: Señal de entrada en intermodulación	11
Ecuación 15-1: Respuesta en intermodulación	11
Ecuación 16-1: Intermodulación de frecuencias	11
Ecuación 17-1: Productos de intermodulación	12
Ecuación 18-1: Equivalencia entre dBd y dBi	18
Ecuación 19-1: Potencia efectiva radiada	26
Ecuación 1-2: Velocidad de datos (USRP)	60
Ecuación 2-2: Tiempo de muestreo (USRP)	60

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A: Algoritmo.fig

Anexo B: Datosespectro.m

Anexo C: Ventanados.m

RESUMEN

Se diseñó y desarrolló un algoritmo de predicción de armónicos e intermodulaciones en la banda de radiodifusión FM, en Riobamba. Para la realización de la aplicación se realizó una selección del sistema operativo, así como el software para el análisis matemático a ser utilizado por medio de la evaluación de características tomando en cuenta variables como, lenguaje de programación de alto nivel, entorno gráfico, herramientas de apoyo e integración con la plataforma USRP B210, la metodología utilizada permitió discernir los aspectos generales que intervinieron en el desarrollo y ejecución de la aplicación dentro de la Banda de radiodifusión FM, comprendida entre (88-108)MHz, mediante la utilización de equipos como: analizador de espectro, transmisores FM de corto alcance, tarjeta USRP B210 y la herramienta de software matemático Matlab-Simulink permitió cumplir con el propósito de la aplicación, para de esta manera determinar las causas y frecuencias que generan el problema de armónicos e intermodulaciones dentro de la banda de radiodifusión FM, analizando así en tiempo real las señales generadas por las estaciones radiodifusoras de Riobamba. Los resultados generados por la aplicación permitieron identificar a las posibles estaciones radiodifusoras que podrían generar intermodulaciones y mediante la tarjeta USRP B210 se comprobó mediante un ambiente controlado la detección de las emisoras que generaban las intermodulaciones. Con la aplicación desarrollada se ayudará a los concesionarios de estaciones FM, además se aprovechará para identificar armónicos e intermodulaciones en la Escuela de Ingeniería Electrónica en Telecomunicaciones y Redes, facilitando su uso para diferentes pruebas académicas. Recomendamos que la presente aplicación sea tomada en cuenta por ARCOTEL para el control de la radiodifusión FM, para de esta manera tener una señal óptima en los radioescuchas.

PALABRAS CLAVE: < SEÑALES DE RADIO [ARMÓNICOS]> <SEÑALES DE RADIO [INTERMODULACIÓN] > <FRECUENCIA MODULADA [FM] > < LABORATORIO DE MATRICES [MATLAB] > <PLATAFORMA DE SIMULACIÓN MULTIDOMINIO [SIMULINK] > <SOFTWARE PERIFÉRICO UNIVERSAL DE RADIO [USRP]>

SUMMARY

It was designed and developed a prediction algorithm of harmonic and intermodulations in the FM broadcasting band in Riobamba. A selection of the operating system was made for the implementation of the application, as well as the software for the mathematical analysis to be used through the evaluation of characteristics considering variables such as high level programming language, graphical environment, and support and integration tools with the USRP B210 platform, the methodology used made it possible to determine the general aspects involved in the development and execution of the application within the FM broadcast band between (88-108) MHz, using equipment such as: Spectrum analyzer, FM transmitters of short range, USRP B210 card and the tool of mathematical software, Matlab Simulink allowed to fulfill with the purpose of the application in order to determine the causes and frequencies that produce the problem of harmonic and intermodulations inside the FM broadcasting band analyzing in real-time the signs generated by the radio stations of Riobamba. The results achieved by the application allowed to identify to the possible radio stations that could produce intermodulations and the detection of the stations that caused the intermodulations was verified through a controlled environment using the USRP B210 card. The concessionaires of FM stations will be benefited with the application developed, also it will be used to identify harmonics and intermodulations at the Electronic Engineering School in Telecommunications and Networks, facilitating its use for different academic tests. It is recommended that this application is taken into consideration by ARCOTEL for control of FM broadcasting, and thus obtain an optimal signal in the broadcasters.

KEY WORDS: < RADIO SIGNALS [HARMONICS] > < RADIO SIGNALS [INTERMODULATION] > < FREQUENCY MODULATED [FM] > < MATRIX LABORATORY [MATLAB] > < MULTI-DOMAIN SIMULATION PLATFORM [SIMULINK] > < UNIVERSAL SOFTWARE RADIO PERIPHERAL [USRP]>

INTRODUCCIÓN

Una de las primeras transmisiones de radio se dio en la Ciudad de Riobamba y oportunamente se fueron expandiendo a otras localidades del país, de igual manera se crearon nuevas estaciones de radio muchas de las cuales tienen sus antenas en ubicaciones relativamente próximas o incluso comparten el espacio en una misma torre o mástil soporte de antenas y esto genera armónicos e intermodulaciones. La banda FM en la ciudad de Riobamba está afectada por señales no deseadas producidos por distintos factores que afectan al servicio de radiodifusión, los armónicos de la banda FM pueden generar molestias si estos no son debidamente atenuados, las intermodulaciones son señales no deseadas que pueden producirse al mezclarse con otras señales cercanas de dos o más emisoras que están en lugares contiguos o adyacentes, cada frecuencia que se transmite forma señales adicionales en frecuencias que no se requiere como resultado de la suma y diferencia de frecuencias fundamentales en transmisión es por ello que a veces se percibe más de una emisora en un receptor de radio como consecuencia del batido de señales, los armónicos e intermodulaciones son generados por dispositivos no lineales como amplificadores y transmisores.

ANTECEDENTES

“... En el año 1925 en la ciudad de Riobamba-Ecuador se realizó la primera radiodifusión gracias a un radioaficionado que elaboró los dispositivos con el propósito de poner al aire la primera radio en el país con el nombre de El Prado, esta radio tenía un transmisor de 25kw y funcionaba en la frecuencia de 5MHz, y transmitía diariamente con un lapso de cinco horas para ese entonces no existía ninguna regulación para uso del espectro radioeléctrico ...” (Logroño y Paredes 2014 pp. 17-18).

Con el pasar del tiempo al aparecer diversos tipos de sistemas de comunicación fue necesaria la división de frecuencias para de esta manera asignar un espacio determinado a cada sistema, como es el caso de la Radiodifusión en Frecuencia Modulada (FM), de igual manera se crearon diversos organismos como MINTEL, SENATEL, CONATEL, SUPERTEL que permitían coordinar, controlar y regular el uso del espectro radioeléctrico.

El espectro radioeléctrico constituye un subconjunto de ondas electromagnéticas u ondas hertzianas fijadas convencionalmente por debajo de 300 GHz, que se propagan por el espacio sin necesidad de una guía artificial.

La Legislación de Telecomunicaciones ecuatoriana define al espectro radioeléctrico como un recurso natural limitado, perteneciente al dominio público del Estado, inalienable e imprescriptible (<http://www.arcotel.gob.ec/espectro-radioelectrico-2/>), el rango correspondiente para la

transmisión de Frecuencia Modulada es (88-108) MHz acorde al Plan Nacional de Frecuencias emitido en el año 2012 por la CONATEL bajo las recomendaciones propuestas por UIT.

A la par del crecimiento del sector de las Telecomunicaciones en el mundo, y en particular de la Radiodifusión FM, han sido necesarios estudios con el fin de mejorar los conflictos que se han ido presentando en las transmisiones.

Parte de éste ámbito son las interferencias que afectan en la calidad de la señal en la banda FM, las mencionadas interferencias pueden darse por distintos factores, entre las que se puede mencionar las causadas por armónicos e intermodulaciones.

Una señal armónica es el resultado de un proceso no lineal al que ha sido sometida una señal en frecuencia base. Las armónicas originadas tienen la característica de poseer una frecuencia múltiplo de la frecuencia base, lo que implica un problema cuando las frecuencias de las armónicas generadas coinciden con otro sistema que se halle trabajando en esa frecuencia.

Tomando en cuenta las intermodulaciones éstas son las formadas por la suma y diferencia de armónicos y de señales fundamentales. La UIT ha dividido las intermodulaciones en 5 tipos, según la Recomendación UIT-R SM.1446, en donde se realiza el análisis de la generación y reducción de productos de intermodulación. Para la Radiodifusión FM en particular, UIT ha realizado recomendaciones basadas en la Norma Europea de Telecomunicaciones 132, en la que se determina las características necesarias para el mejor rendimiento en VHF, FM y transmisores de radiodifusión sonora monofónicos y estereofónicos que operan en la banda de frecuencia 87,5 MHz a 108 MHz.

En la actualidad es el Estado Ecuatoriano quien a través del MINTEL, ARCOTEL coordina, regula y controla la concesión de frecuencias en base a las leyes, reglamentos y resoluciones para los tipos de servicios de telecomunicaciones existentes, teniendo así la Frecuencia Modulada.

“... La Norma técnica vigente para el servicio de radiodifusión sonora en frecuencia modulada analógica, establece medidas que tienen por objetivo minimizar interferencias entre las cuales se encuentra; que el porcentaje máximo de distorsión armónica permitido es 0.5% con una modulación del 100%, además se determina que los niveles de emisión no esenciales deben atenuarse con un mínimo de 80 dB por debajo de la potencia media del ancho de banda autorizado y con una modulación del 100% ...”
(<http://www.oficial.ec/resolucion-arcotel-2015-000061-apruebase-actualizacion-norma-tecnica-servicio-radiodifusion-sonora>).

Hoy en día mediante la radio se tiene programación de tipo musical, publicitaria, noticiosa, permitiendo de esta manera que llegue la información a numerosos lugares del Ecuador, razón por la cual existe un considerable número de estaciones de radiodifusión que transmiten en el rango de frecuencia FM, mismos que producen interferencias que resultan de la propagación de armónicos e intermodulaciones lo que hace necesario que se desarrolle una aplicación que permita efectuar un análisis de interferencias existentes, a más de las que se producirían de instalarse un nuevo transmisor.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En el presente trabajo de titulación diseño y desarrollo de un algoritmo de predicción de armónicos e intermodulaciones producidas por radiodifusión FM para Riobamba existen diversos problemas que pueden ser vistos con distinto enfoque así, por ejemplo:

Cuando una señal se transmite en frecuencia modulada independientemente de la señal fundamental transmitida, esta señal fundamental produce armónicos e intermodulaciones que pueden afectar a frecuencias aledañas que se están transmitiendo.

En el ámbito social implica molestias debido a las interferencias en los radioescuchas por la baja calidad en la transmisión, hecho que nos lleva también a nombrar el ámbito tecnológico que se ve degradado al imposibilitarse una transmisión óptima sin problemas de interferencias.

SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

Al no existir una aplicación que permita determinar y realizar un análisis de los posibles armónicos e intermodulaciones producidas por una señal fundamental, en radiodifusión en frecuencia modulada lo que implica la disminución de calidad de servicio, generados por señales de intermodulación el mismo que es un problema que ha surgido en los últimos años esto se debe al crecimiento explosivo de la cantidad de emisoras en el aire, muchas de las cuales tienen sus antenas en ubicaciones relativamente próximas o incluso comparten el espacio en una misma torre o caseta de equipos.

Desde otro punto de vista las intermodulaciones son interferencias causadas por la combinación interna de señales fuertes de radio en los receptores inalámbricos, estas señales de intermodulación son causadas por señales fuertes que generalmente no están cerca de esa frecuencia inalámbrica. Otro de los factores que producen es debido a la mezcla, suma o resta de dos señales de radiofrecuencia que generan una tercera fuera de la banda de frecuencias en que

se encuentran la señal original (<http://www.radioworld.com/article/el-problema-de-la-intermodulaci%C3%B3n-en-fm/271236>).

Las señales armónicas originadas en FM afectan a otros sistemas de comunicación, produciendo interferencia directa teniendo efectos como tonos fuertes o débiles en el audio y cambios característicos en la señal fundamental en transmisión.

Estos armónicos luego se combinan o mezclan en el receptor, para crear una nueva frecuencia que no estaba presente en la entrada del receptor (<http://www.audio-technica.com/cms/site/26971e97bf9429d3/>).

JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

El auge existente de estaciones que transmiten en frecuencia modulada ha conllevado a que se realicen muchos estudios. Investigaciones sobre radiodifusión en la banda FM ya han sido realizados en el país, proyectos en otras universidades van desde determinación de coberturas hasta detección de interferencias, sin embargo para ello se han utilizado software existentes y en el mejor de los casos se ha logrado, mediante la toma de datos, diseñar sistemas que muestran la situación en el momento de estudio de las señales; la aplicación a desarrollarse tiene como variante la capacidad de llevar a cabo predicciones de armónicos e intermodulaciones que pueden producirse dejando paso a una interpretación veraz y oportuna.

Una aplicación que permita realizar un análisis predictivo de señales interferentes se torna relevante porque simplifica y agiliza el estudio de la incidencia de un transmisor a instalarse en cuanto a armónicos e intermodulaciones existentes de otros transmisores y los que se producirían. Los conflictos de frecuencias que se ocasionan son claramente visualizados una vez puesto en marcha un transmisor, pero éstos hechos pueden ser anticipados mediante un proceso confiable para detección de interferencias, como el mencionado anteriormente.

JUSTIFICACIÓN APLICATIVA

El diseño y desarrollo del algoritmo conllevará al mejoramiento, planificación, análisis, predictivo de estaciones radiodifusoras que transmiten en frecuencia modulada y sufren interferencias, para cuyo objetivo se ha visto en la necesidad de hacer un análisis de los principales armónicos e intermodulaciones que se producen al transmitir una señal y que pueden afectar la banda de radiodifusión FM.

El desarrollo de la aplicación se lo realizará en un formato de menús y submenús que permitirán al usuario tener una interfaz más amigable.

El análisis e interpretación de los resultados se lo realizará con las frecuencias de radiodifusión que transmiten en frecuencia modulada en la ciudad de Riobamba, percibiendo de esta manera las señales armónicas y de intermodulación producidas por una señal fundamental en transmisión.

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y desarrollar un algoritmo de predicción de armónicos e intermodulaciones en la banda de radiodifusión FM, en Riobamba.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Verificar mediante mediciones, los problemas relacionados a armónicos e intermodulaciones existentes en la banda de radiodifusión FM, en la ciudad de Riobamba.

Desarrollar el algoritmo de predicción, definiendo los parámetros distintivos de una señal, para la implementación bajo un lenguaje de programación de alto nivel con una interfaz amigable para el usuario.

Realizar pruebas de la aplicación a través de simulaciones de señales que se transmiten en FM, con el algoritmo prototipo diseñado.

Evaluar la eficiencia de predicción de la aplicación y comparar resultados de los datos tomados en un analizador de espectro con los valores obtenidos por la aplicación.

CAPÍTULO I

1. MARCO REFERENCIAL

1.1 Espectro Radioeléctrico

El tema del espectro radioeléctrico es directamente abordado desde el gobierno en el Ecuador.

Así, la Constitución del 2008, en su artículo 17, propone métodos transparentes para la asignación de sus frecuencias, el acceso a bandas libres para la explotación de redes inalámbricas, el apoyo a gestionar estaciones de radio y televisión (públicas y privadas) y el acceso universal a las TIC de forma ilimitada (Albornoz y Agüero, 2011 p. 10).

De acuerdo con la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones), el espectro radioeléctrico es el conjunto de ondas electromagnéticas, cuya frecuencia se fija convencionalmente por debajo de 300GHz, y que se propagan por el espacio sin guía artificial. El espectro radioeléctrico, es un recurso natural de propiedad exclusiva del Estado, y cuya regulación, administración y control le corresponde al Estado.

El Estado ecuatoriano ejerce la función de control del espectro radioeléctrico, de los servicios de telecomunicaciones, radiocomunicaciones y de los servicios de radiodifusión y televisión a través de la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL) (Cherrez, 2014 p.47).

1.1.1 Plan Nacional de Frecuencias

Dependiendo de la frecuencia y por ende de la longitud de onda, se utilizan para diferentes tipos de transmisiones, así por ejemplo frecuencias bajas tienen la propiedad de atravesar grandes obstáculos, no siendo de la misma manera con las altas.

El espectro radioeléctrico según la UIT se lo divide en bandas de frecuencias cuyas siglas provienen de su nombre en inglés, a los cuales igualmente les corresponden un rango de longitud de onda.

En la tabla 1-1, se nombran las Bandas de frecuencias más importantes.

Tabla 1-1: Bandas de Frecuencias

Número de la Banda	Nombre	Rango de frecuencias	Rango de Longitud de onda
4	VLF	3 a 30 kHz	10 a 100 km
5	LF	30 a 300 kHz	1 a 10 km
6	MF	300 a 3000 kHz	100 a 1000 m
7	HF	3 a 30 MHz	10 a 100 m
8	VHF	30 a 300 MHz	1 a 10 m
9	UHF	300 a 3000 MHz	10 a 100 cm
10	SHF	3 a 30 GHz	1 a 10 cm
11	EHF	30 a 300 GHz	1 a 10 mm

Fuente: ARCOTEL, 2015 (Bandas de Frecuencias).

Ya que el espectro radioeléctrico se lo denomina como un recurso limitado, se requiere un plan de distribución de frecuencias bien elaborado que asegure el buen aprovechamiento del mismo, en nuestro país se lo ha nombrado como Plan Nacional de Frecuencias PNF, la última publicación se dio en el año 2012 por la institución encargada anteriormente de las políticas y planes de las telecomunicaciones en Ecuador CONATEL.

“... El objetivo principal del PNF es el de proporcionar los lineamientos para un proceso eficaz de gestión del espectro radioeléctrico, asegurar una utilización óptima del mismo; así como, la prevención de interferencias perjudiciales entre los distintos servicios. El Plan Nacional de Frecuencias establece: Atribución de bandas y sub-bandas a los servicios de radiocomunicaciones, adjudicaciones y reserva de frecuencias para usos específicos y adaptabilidad a las nuevas tecnologías ...” (CONATEL 2012 p. 13).

Para la distribución de frecuencias, UIT divide al mundo en tres regiones, Ecuador se halla en la Región 2 y FM corresponde a la banda de 88 a 108 MHz, en la tabla 2-1 se muestra como está asignada este rango de frecuencias según el PNF.

Tabla 2-1: Distribución de Frecuencias (76-117,975) MHz

Banda MHz	Banda MHz	Rango MHz	Nota EQA (resumen): Servicio (Sistema/Uso)
76 - 88	76 - 88	76-88	RADIODIFUSIÓN (emisiones de televisión)
RADIODIFUSIÓN Fijo Móvil	RADIODIFUSIÓN		
88 - 100	88 - 100		
RADIODIFUSIÓN	RADIODIFUSIÓN		
100 - 108	100 - 108		
RADIODIFUSIÓN	RADIODIFUSIÓN		
108 - 117,975	108 - 117,975		
RADIONAVEGACIÓN AERONÁUTICA	RADIONAVEGACIÓN AERONÁUTICA		

Fuente: ARCOTEL, 2015 (Distribución de frecuencias 76-117,975 MHz)

1.1.2 Concesión de Frecuencias

La concesión de frecuencias del espectro radioeléctrico es otorgada por medio de organismos estatales, actualmente a cargo del Consejo de Regulación y Desarrollo de la Información y Comunicación (CORDICOM) y ARCOTEL.

En abril del 2016 se inició el concurso para la adjudicación de frecuencias en cumplimiento con la Ley de Comunicación aprobada en 2013; donde el artículo 106 establece la distribución equitativa del 33% de frecuencias para la operación de medios públicos, igual proporción para los medios privados y el 34% para operación comunitaria (<http://www.andes.info.ec/es/noticias/ecuador-lanzara-concurso-concesion-mas-mil-frecuencias-radio-tv-democratizar-espectro>).

CORDICOM tiene entre sus responsabilidades; la evaluación de los proyectos propuestos y de la disposición de medidas para los medios comunitarios en cuanto a autogestión y autonomía en función administrativa y financiera.

Es deber de ARCOTEL por otro lado; establecer y sociabilizar las bases del concurso, recepción y evaluación de solicitudes y posterior publicación de resultados. Para finalmente otorgar los títulos habilitantes a la concesionaria correspondiente, los cuales tienen una duración de 15 años con opción a renovación.

1.1.3 Modulación en Frecuencia

La onda portadora de información para ser transmitida es variada en frecuencia según alguna propiedad de una segunda señal utilizada como moduladora. Entonces se crean bandas laterales en los dos extremos que hacen que el ancho de banda sea más grande en comparación a una onda con amplitud modulada y que a la vez están dadas según el índice de modulación que en términos sencillos se lo puede explicar cómo el nivel de variación de la frecuencia. Una vez transmitida la señal FM se logra recuperar la información ya que se puede recomponer la onda al obtener bandas laterales.

La portadora modulada se amplifica hasta un cierto nivel por un excitador que entrega la señal al amplificador final, quien suministra la potencia de radiofrecuencia que irá a la antena. Según los alcances deseados, se necesitarán distintas potencias amplificadas. (<http://www.paraninfo.es/catalogo/9788497324489/sistemas-de-radiocomunicaciones->).

La frecuencia modulada se ubica en la banda VHF, y esta es utilizada principalmente para radiodifusión sonora, aunque también se transmite televisión analógica, esto sucede porque gracias a que la información está en la frecuencia y no en la amplitud de la onda, esta no necesita de mucha potencia para ser transmitida y además no se ve tan afectada por el ruido como lo sería una transmisión AM.

1.1.4 Distorsión

La distorsión de una señal es el cambio o deformación que sufre la misma, debido a distintos factores que producen que la onda inicial se vaya modificando o genere señales en otras frecuencias como es el caso de la distorsión armónica.

1.1.5 Armónicos

Los armónicos son señales de menor amplitud desfasados en frecuencia con respecto a la frecuencia fundamental u onda portadora y son producidos por cargas no lineales cuya función no es constante es decir que está en función de la tensión.

Las cargas armónicas más frecuentes debido a la no linealidad se encuentran en los receptores alimentados por electrónica como rectificadores convertidores etc., y esto hace que cuando se aplica una onda sinusoidal de una sola frecuencia, la corriente resultante no es de una sola frecuencia. Los Transformadores, reguladores y otros equipos conectados al sistema pueden presentar un comportamiento de carga no lineal, elementos semiconductores y transformadores que se saturan generan armónicos.

Los efectos principales de los armónicos provocados por tensión y corriente pueden ser: La posibilidad de amplificación de algunos armónicos como consecuencia de resonancia serie y paralelo, la reducción en el rendimiento de los sistemas de generación, transporte y utilización de la energía, el envejecimiento del aislamiento de los componentes de la red y, como consecuencia, la reducción de la energía (<http://circuitor.es/es/formacion/armonicos-electricos>)

1.1.5.1 Distorsión armónica

Se genera cuando la señal pasa a través de un dispositivo no lineal como un amplificador y, en consecuencia, el sistema produce ondas múltiples de varios grados u órdenes de la frecuencia fundamental o primer armónico.

Si una señal con una frecuencia fundamental es llevada a través de un sistema no lineal, en la salida se obtendrá la señal con su misma frecuencia base sumada a otras señales con frecuencias múltiplos de la fundamental a los cuales se los denomina armónicos. Por lo tanto, la señal saliente se verá distorsionada. En la figura 1-1, se puede observar la en primera instancia la señal senoidal que más adelante forma armónica de n orden las cuales al ser sumadas generan la señal distorsionada como se ve en el último gráfico.

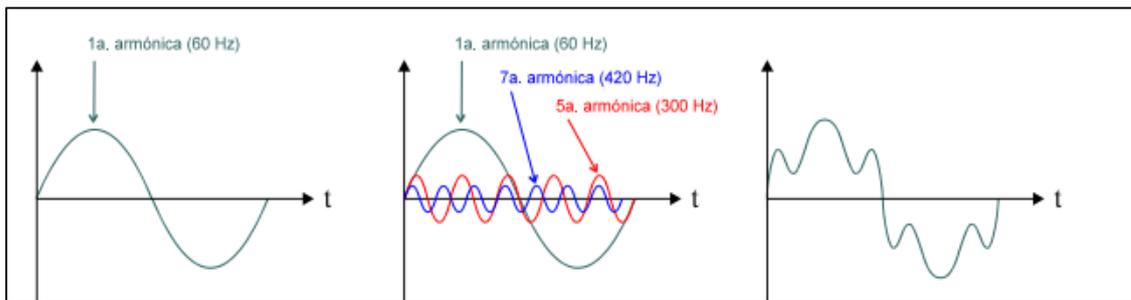


Figura 1-1: Distorsión Armónica

Fuente: (<http://www.reasa.com.mx/>)

En una transmisión FM estos armónicos podrían interferir con telefonía o televisión, por lo que se suelen usar filtros pasa banda y rechaza banda para evitar estas interferencias. Para calcular la distorsión armónica (TDH) se utiliza las siguientes ecuaciones.

Ecuación 1-1

$$\%TDH = V_{(alto)}/V_{(fund)} * 100$$

Ecuación 2-1

$$V_{(alto)} = \sqrt{[v^2 + v_2^2 + v_3^2]}$$

Donde:

%TDH = porcentaje de la distorsión armónica total

V_(alto) = suma cuadrática de los voltajes medios (rms)

V_(fund) = voltaje medio de la frecuencia fundamental

“...Las cargas no lineales se pueden modelar como fuentes de corriente constante para cada frecuencia armónica y deberán ser calculadas respecto a la corriente de la frecuencia de interés. Estas inyecciones de corriente se calculan con base en las series de Fourier, por lo que básicamente su representación consistirá en la realización de una síntesis de la forma de onda, considerando un determinado número de armónicos, de lo cual dependerá la exactitud obtenida en el estudio...” (Orellana 2011 p.90).

1.1.5.2 Análisis de Fourier

El teorema de Fourier dice que toda onda periódica no sinusoidal puede ser descompuesta como la suma de ondas sinusoidales, mediante la aplicación de la serie de Fourier, siempre y cuando se cumplan las siguientes condiciones (Arcila 2014 pp. 2-3).

Que la integral a lo largo de un periodo de la función sea un valor finito.

Que la función posea un número finito de discontinuidades en un periodo.

Que la función posea un número finito de máximos y mínimos en un periodo.

Cualquier función $F(x)$ con periodo 2π tiene su representación en series de Fourier de acuerdo con la siguiente expresión:

$$Y = F(x) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} [A_n \text{sen}(nx) + B_n \text{cos}(nx)] \quad \text{Ecuación 3-1}$$

$$A_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} F(x) dx \quad \text{Ecuación 4-1}$$

$$A_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} F(x) \text{sen}(nx) dx \quad \text{Ecuación 5-1}$$

$$B_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} F(x) \text{cos}(nx) dx \quad \text{Ecuación 6-1}$$

$$[A_n \text{sen}(nx) + B_n \text{cos}(nx)] = R_n \text{sen}(nx + \Phi_n) \quad \text{Ecuación 7-1}$$

$$R_n = \sqrt{A_n^2 + B_n^2} \quad \Phi_n = \tan^{-1} \left(\frac{B_n}{A_n} \right) \quad \text{Ecuación 8-1}$$

Con valores para $n=1,2,3,4\dots$

Usando las ecuaciones anteriores se puede encontrar los armónicos de ondas más comunes dentro de un sistema que se representan en forma general en la figura 2-1, se muestra la descomposición armónica de acuerdo a la clase de onda.

CLASE DE ONDA	DESCOMPOSICIÓN ARMÓNICA
Onda seno	$Y=a \text{ sen } \theta$
Rectificación de media onda	$Y=a/\pi+0.5\text{sen } \theta-(2/1.3)\text{cos}2\theta-(2/3.5\pi)\text{cos}4\theta\dots$
Rectificación de onda completa	$Y=2a/\pi+(2/1.3)\text{cos } 2\theta-(2/3.5\pi)\text{cos } 4\theta-(2/5.7)\text{cos } 6\theta\dots\dots$
Rectificación de M fases	$Y=(am/\pi)\text{sen } \pi\theta/m+(2/(m^2-1))\text{cos } m\theta-(2/(4m^2-1))\text{cos } 2\theta+(2/(9m^2-1))\text{cos } 3m\theta\dots\dots$
Onda triangular	$Y=8a/\pi^2 [\text{sen } \theta-(1/9)\text{sen } 3\theta+(1/25)\text{sen } 5\theta+(1/49)\text{sen } 7\theta\dots$
Onda rectangular	$Y=4a/\pi [\text{sen } \theta-(1/3)\text{sen } 3\theta+(1/5)\text{sen } 5\theta+(1/7)\text{sen } 7\theta\dots$
Onda de tres niveles	$Y=3.4641a/\pi [\text{cos } \theta-(1/5)\text{cos } 5\theta+(1/7)\text{cos } 7\theta+(1/11)\text{sen } 11\theta\dots$

Figura 2-1: Armónicos acorde a clases de ondas
Fuente: (Arcila 2014 p. 3)

1.1.5.3 Distorsión de intermodulación

La intermodulación se la puede definir como la combinación o batidos de señales que da como resultado una nueva señal cuya frecuencia puede interferir o coincidir con otra señal que trabaje en aquella banda.

Los productos de intermodulación generados en transmisores, amplificadores y convertidores de frecuencia dependen de la potencia de la portadora, del número de canales y del punto de intercepción de tercer orden del dispositivo (http://www.cepes.org.pe/apc-aa/archivos-aa/...).

1.2 Intermodulación

La intermodulación es la modulación de señales no deseadas entre frecuencias de dos o más señales como resultado de la suma o resta de frecuencias, provocado en su gran mayoría por dispositivos no lineales generando varios grados de intermodulación.

1.2.1 Elementos activos

Los elementos activos de un sistema de transmisión o recepción son de vital importancia ya que estos elementos producen la no linealidad de sistemas y como resultado de esto se puede producir las intermodulaciones.

1.2.2 Amplificador de potencia

Los amplificadores de potencia son de vital importancia en un sistema de comunicación ya que estos dispositivos permiten aumentar la potencia de las señales al ser transmitidas, los amplificadores al ser elementos activos, dado que su construcción se basa en transistores generan distorsión no lineal.

Todos los amplificadores tienen una limitación de trabajo donde no pueden suministrarse un valor mayor al 90% de la tensión con la que se está alimentando, a partir de ese punto la ganancia se satura y no crece más, en el intervalo de 0v hasta un crecimiento de un 90% el amplificador cumple con un régimen de trabajo lineal creciente tras superar el punto de compresión a 1dB entra el régimen de saturación donde se producen mayores distorsiones, figura 3-1.

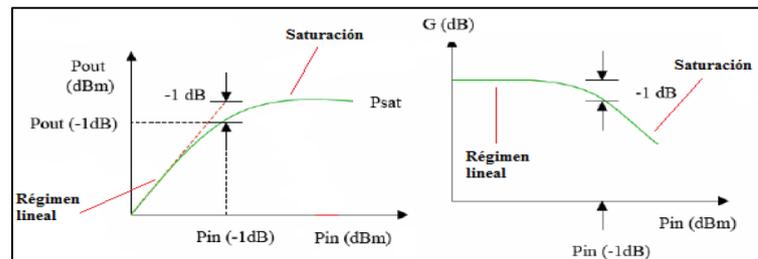


Figura 3-1: Representación de los productos de intermodulación
Fuente: (Redondo 2014 p. 39)

1.2.3 Distorsión de elementos activos

La deformación o variación de una señal es conocida como distorsión, el mismo que esta sujeto a varios componentes de un circuito independiente, si son elementos activos o pasivos se da la distorsión lineal y no lineal.

La aparición de la distorsion no lineal es debido a que usan componentes como diodos o transistores y como resultado de esto a la salida se tiene componentes frecuenciales que no estaban presentes en la entrada.

1.2.3.1 Distorsión por ley cuadrática.

Si se considera una señal $x(t)$ y una salida de señal $y(t)$ debido a la respuestas de sistemas no lineales se puede desarrollar una relacion como la ecuacion 11-1.

$$x(t) = A \cos(\omega_0 t)$$

Ecuación 9-1

Ecuación 10-1

$$y(t) = a_1x(t) + a_2x^2(t)$$

Ecuación 11-1

$$y(t) = \frac{a_2A^2}{2} + a_1A\cos(\omega_0t) + \frac{a_2A^2}{2}\cos(2\omega_0t)$$

Donde el primer término corresponde a una constante, el segundo término representa el primer armónico ω_0 , la creación del segundo armónico pertenece al término $2\omega_0$, esta es la base de la creación de armónicos en este caso armónico de segundo orden.

El segundo armónico tiene una pendiente 2 en su zona lineal esto argumenta que, por cada aumento de un 1dB a la entrada, en la salida se aumentará 2dB, en el caso de que el amplificador fuese ideal no hubiese saturación.

El nivel de potencia de entrada y salida en el que la potencia de la señal fundamental corresponde al segundo armónico se llama el punto de intercepción de orden 2.

En la figura 4-1, se muestra la intercepción de segundo orden.

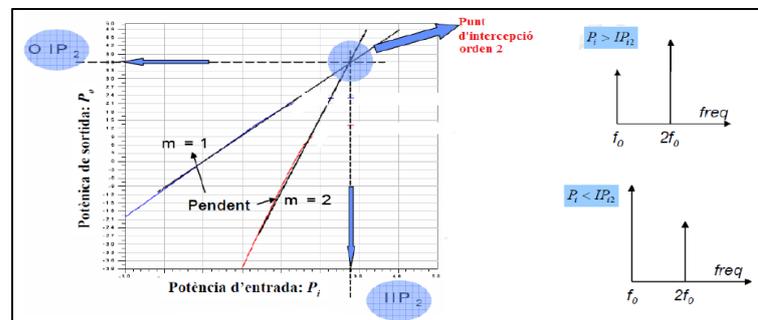


Figura 4-1: Punto de intercepción de segundo orden
Fuente: (Redondo 2014 p. 40)

1.2.3.2 Distorsión por ley cúbica

Es muy similar a la ley cuadrática, pero en esta ocasión presenta la distorsión de tercer orden, como la ecuación (12-1) el desarrollo para esta expresión queda descrita en la ecuación (13-1).

Ecuación 12-1

$$y(t) = a_1x(t) + a_3x^3(t)$$

$$y(t) = a_1 A \left(1 + \frac{3a_3 A^2}{4a_1} \right) \cos(\omega_0 t) + \frac{a_3 A^3}{4} \cos(3\omega_0 t)$$

La señal fundamental corresponde el primer término de la ecuación (13-1) y posee una constante a_3 , la misma que tiene un valor negativo debido a la compresión de la ganancia del régimen de saturación, el segundo término corresponde al tercer armónico de la señal.

La pendiente de la zona lineal es de orden 3 lo quiere decir que, por cada dB aumentado en la entrada, a la salida se tendrá aumentado en 3dB, el punto de intersección es similar al del segundo orden. El nivel de compresión o punto de compresión a 1dB corresponde al punto en la cual la potencia real está 1dB por debajo de la potencia ideal debido a que el sistema se satura. El punto de compresión por ley cúbica a 1 dB, se muestra en la figura 5-1.

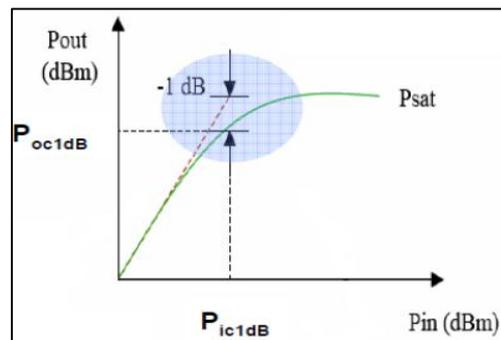


Figura 5-1: Punto de compresión a 1dB

Fuente: (Redondo 2014 p. 41)

1.2.4 Productos de intermodulación

“... La mayoría de los sistemas no poseen una respuesta que sigan una ley única ya sea esta cuadrática, cúbica o de cualquier otro orden en particular, sino que modifican la señal aplicando una serie de términos no lineales de diferente orden. Si además se tiene en cuenta que es difícil que a la entrada únicamente se encuentre un tono, sino que son varias señales de banda ancha formados por la propia señal y las señales indeseadas, se produce lo que se conoce como productos de intermodulación ...” (Redondo, M. 2014 p. 42).

Para el estudio de productos de intermodulación se define una señal a la entrada de un sistema compuesta de dos tonos (14-1) y un sistema genérico con respuesta a la expresión (15-1).

$$x(t) = A_1 \cos(\omega_1 t) + A_2 \cos(\omega_2 t)$$

$$y(t) = a_1 x(t) + a_2 x^2(t) + a_3 x^3(t) + \dots$$

Desarrollando cada expresión de los términos de la ley cuadrática y cubica figura 6-1, queda definido como la suma o resta de los múltiplos o armónicos de las dos frecuencias de entrada de la manera en que aparece la ecuación (16-1).

$$f_{out} = |nf_1 \pm mf_2| \rightarrow orden = |n| + |m|$$

$x(t)$	$x^2(t)$	$x^3(t)$
$a_1 A_1 \cos(\omega_1 t)$ $a_2 A_2 \cos(\omega_2 t)$	$\frac{a_2}{2} A_1^2, \frac{a_2}{2} A_2^2$ $\frac{a_2}{2} A_1^2 \cos(2\omega_1 t)$ $\frac{a_2}{2} A_2^2 \cos(2\omega_2 t)$ $a_2 A_1^2 A_2^2 \cos((\omega_1 + \omega_2)t)$ $a_2 A_1^2 A_2^2 \cos((\omega_1 - \omega_2)t)$	$a_3 A_1^3, a_3 A_2^3$ $(\frac{3a_3}{4} A_1^3 + \frac{3a_3}{2} A_1 A_2^2) \cos(\omega_1 t)$ $(\frac{3a_3}{4} A_2^3 + \frac{3a_3}{2} A_2 A_1^2) \cos(\omega_2 t)$ $\frac{a_3}{4} A_1^3 \cos(3\omega_1 t)$ $\frac{a_3}{4} A_2^3 \cos(3\omega_2 t)$ $\frac{3a_3}{4} A_2 A_1^2 \cos((2\omega_1 + \omega_2)t)$ $\frac{3a_3}{4} A_2^2 A_1 \cos((\omega_1 + 2\omega_2)t)$ $\frac{3a_3}{4} A_2 A_1^2 \cos((2\omega_1 - \omega_2)t)$ $\frac{3a_3}{4} A_2^2 A_1 \cos((2\omega_2 - \omega_1)t)$

Figura 6-1: Productos de Intermodulación
Fuente: (Redondo, M. 2014 p. 42)

Los productos de intermodulación de tercer orden son los más perjudiciales y peligrosos ya que caen cerca de la señal fundamental como se muestra en la figura 7-1.

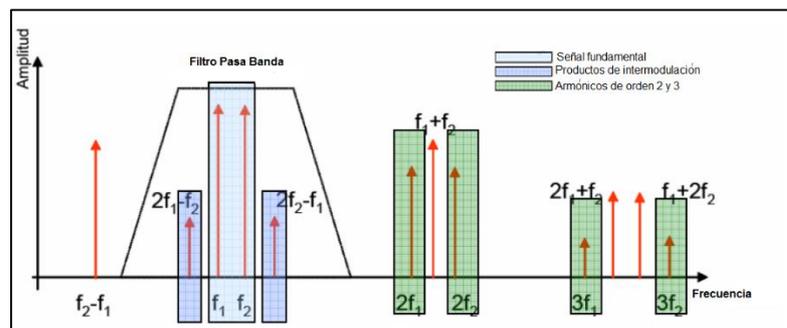


Figura 7-1: Productos de Intermodulación de tercer orden
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016

1.3 Tipos de intermodulaciones

1.3.1 Definiciones de distintos tipos de intermodulación en el transmisor

Los productos de intermodulación son generados por las no linealidades del amplificador de salida del transmisor (por ejemplo, los semiconductores, los klystrons, etc.) y de los dispositivos pasivos tales como combinadores, circuladores, conectores, etc.

Los productos de intermodulación a la frecuencia f_{IM} son generados por dos o más señales no deseadas a las frecuencias f_1, f_2, \dots a causa de las no linealidades en la salida de un transmisor. La relación entre f_{IM} y f_1, f_2, \dots puede expresarse de forma muy general (ITU-R 2000 p. 2). En la figura 8-1, se representa la relación entre los distintos productos de intermodulación.

Ecuación 17-1

$$f_{IM} = | m_1 f_1 + m_2 f_2 + \dots | \quad \text{con} \quad m_i = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

La expresión $n=m_1+m_2+\dots$ indica el orden de la intermodulación. Así tendremos distintos casos:

- Para el orden $n=2$, $m_1=m_2=1$; por lo tanto, $f_{IM} = |f_1 \pm f_2|$
- Para el orden $n=3$, $m_1=2, m_2=1$; por lo tanto, $f_{IM} = |2f_1 \pm f_2|$
- Para el orden $n=3$, como en el caso anterior también se puede dar que: $m_1=1, m_2=2$ por lo tanto,

$$f_{IM} = |2f_2 \pm f_1|$$

- Para el orden $n=5$, $m_1=3, m_2=2$; por lo tanto, $f_{IM} = |3f_1 \pm 2f_2|$
- Para el orden $n=5$, como en el caso anterior también se puede dar que: $m_1=2, m_2=3$ por lo tanto,

$$f_{IM} = |3f_2 \pm 2f_1|$$

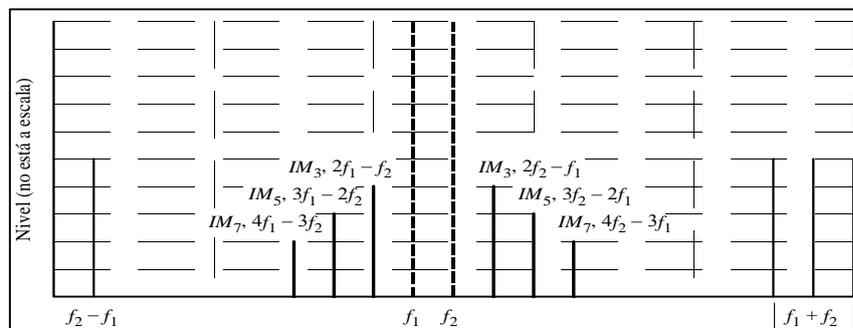


Figura 8-1: Representación de los productos de intermodulación

Fuente: (ITU-R 2000 p. 3)

Según la ITU -R en la recomendación SM.1446 se define cinco tipos de intermodulaciones que se pueden producir.

1.3.2 Intermodulación de un solo canal

La intermodulación de un solo canal es la distorsión de una señal deseada producido por dispositivos como combinadores u otros causando la no linealidad de los circuitos del transmisor, figura 9-1.

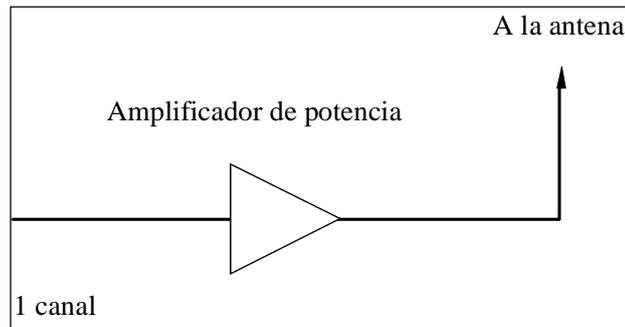


Figura 9-1: Intermodulación de un solo canal
Fuente: (UIT-R 2000, p. 3)

Los productos de intermodulación aparecen por la mezcla de señales de RF de transmisión son conocidos también como productos de distorsión por intermodulación, estas señales pueden aparecer fuera o dentro de la banda base esto se debe al mezclado de las componentes discretas de las señales de una onda al transmisor complejo.

En señales analógicas como por ejemplo la señal vocal que comprende diversas frecuencias con variables en función del tiempo, en señales digitales se produce al mezclar los componentes en frecuencia de las series de Fourier produciendo así nuevas componentes en frecuencia dando como resultado una distorsión en la onda de la señal a transmitirse aumentando la amplitud en una parte del espectro de la señal inicial.

Las señales digitales contienen un número infinito de componentes espectrales y como resultado de esto un espectro continuo muy similar al ruido, cuando se aumenta la energía en las sub-bandas se podría decir que es producido por el efecto de la distorsión de intermodulación generalmente de tercer orden.

Este aumento de energía es tanto en ruido como parte espectral de la señal a menudo estas señales en modulación digital como protuberancias o salientes próximos a los bordes del filtro pasa banda provocando un exceso de ruido en la banda adyacente con posibles interferencias como se muestra en la figura 10-1.

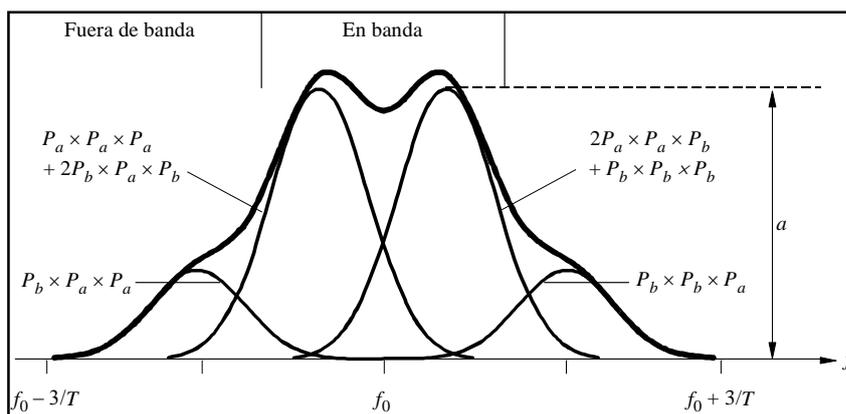


Figura 10-1: Ruido de intermodulación de tercer orden en la banda BO
Fuente: (UIT-R 2000 p. 4)

1.3.3 Intermodulación multicanal

La intermodulación de multicanal se produce cuándo diferentes señales de varios canales resultan distorsionadas a causa de la no linealidad producida por los propios elementos y circuitos del transmisor, figura 11-1. Cada una de las señales de cada canal puede tener diferentes modulaciones, anchos de banda o separaciones dentro de la banda.

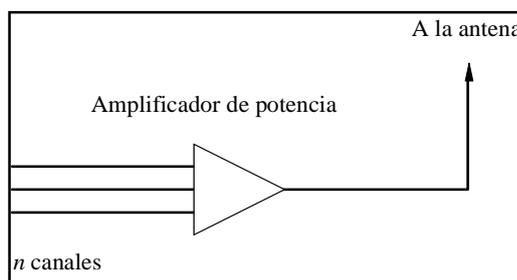


Figura 11-1: Intermodulación multicanal
Fuente: (UIT-R 2000 p. 4)

1.3.4 Intermodulación entre transmisores

La intermodulación entre transmisores se produce cuando uno o más transmisores en un mismo emplazamiento producen intermodulación, dentro de los propios transmisores o en una componente no lineal situada en el emplazamiento, provocando productos de intermodulación a frecuencias posiblemente muy alejadas de las frecuencias de transmisión reales.

Esta situación se conoce a menudo con el nombre de efecto del perno oxidado y es función de diversos problemas técnicos producidos por encontrarse varios transmisores en un mismo emplazamiento, aunque pueden realizarse algunas pruebas sobre los propios transmisores (UIT-R 2000 p. 5)

Estos productos de intermodulación vienen inducidos por señales de interferencia que son introducidos en el transmisor mediante una antena receptora, si estas señales tienen frecuencias cercanas a la frecuencia nominal del transmisor generan importantes productos de intermodulación a la salida del transmisor, si estas señales tienen frecuencias lejanas a la frecuencia nominal del transmisor también se debe tener en cuenta ya puede afectar a otros sistemas que estén transmitiendo.

La figura 12-1 ilustra este tipo de intermodulación.

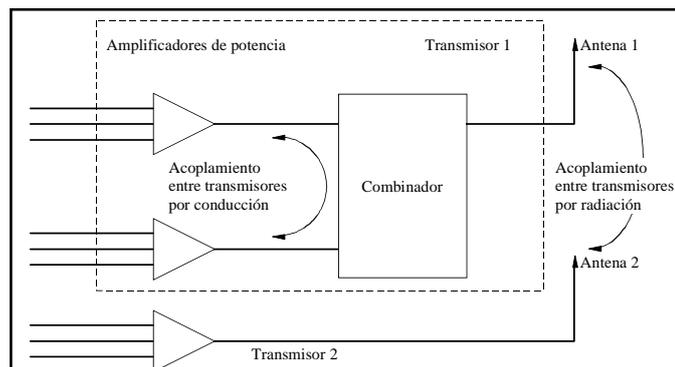


Figura 12-1: Intermodulación entre transmisores
Fuente: (UIT-R 2000 p. 5)

1.3.5 Intermodulación debido a antenas activas

En la figura 13-1, se ilustra la arquitectura de antena activa con amplificadores utilizada en un satélite. El emplazamiento del conjunto conformador del haz antes de los amplificadores de potencia permite limitar las pérdidas de potencia en RF, pero impone a los propios amplificadores un modo de funcionamiento multiportadora: cada amplificador recibe todas las señales que van a transmitirse y, por lo tanto, funciona en toda la anchura de banda del sistema.

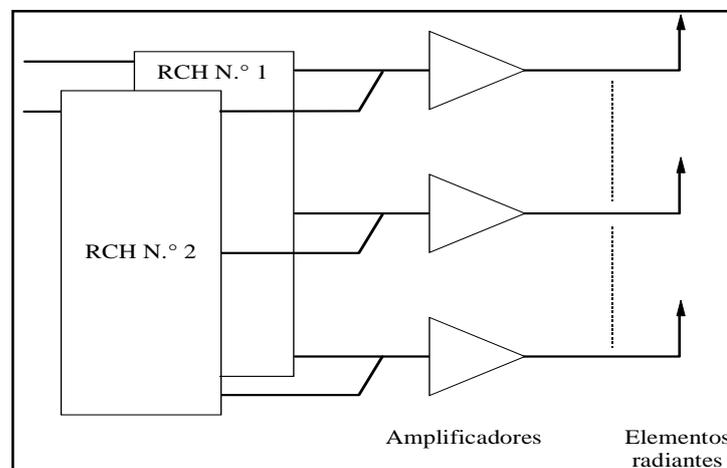


Figura 13-1: Arquitectura de antena activa con amplificadores
Fuente: (UIT-R 2000 p. 6)

Esta distribución de la potencia de la señal a lo largo de los distintos trayectos de antena permite el intercambio de potencia entre los haces, así como su reconfiguración, mediante la simple transmisión de una señal de telemando (UIT-R 2000 p. 6)

El funcionamiento de la multiportadora de este tipo de antenas, y la no linealidad de los amplificadores provoca intermodulaciones por emisiones no esenciales. Los análisis para este tipo de intermodulación son muy complejos debido a la arquitectura que representan las antenas activas.

RCH: redes conformadas del haz

1.3.6 Intermodulación debido a circuitos pasivos

En la figura 14-1, se ilustra un ejemplo de una estación de radiocomunicaciones en la que varios receptores y transmisores tienen una sola antena en común; los cables y los conectores son considerados elementos pasivos y no provocan productos de intermodulación debido a que son circuitos lineales.

Sin embargo, al degradarse estos elementos con el tiempo debido al envejecimiento o a contactos flojos puede tener un cierto grado de no linealidad, y si están varios transmisores funcionando con elementos degradados pueden generarse productos de intermodulación debido a la combinación de las frecuencias de transmisión, en casos extremos productos de intermodulación del orden novenos han degradado seriamente el comportamiento del receptor.

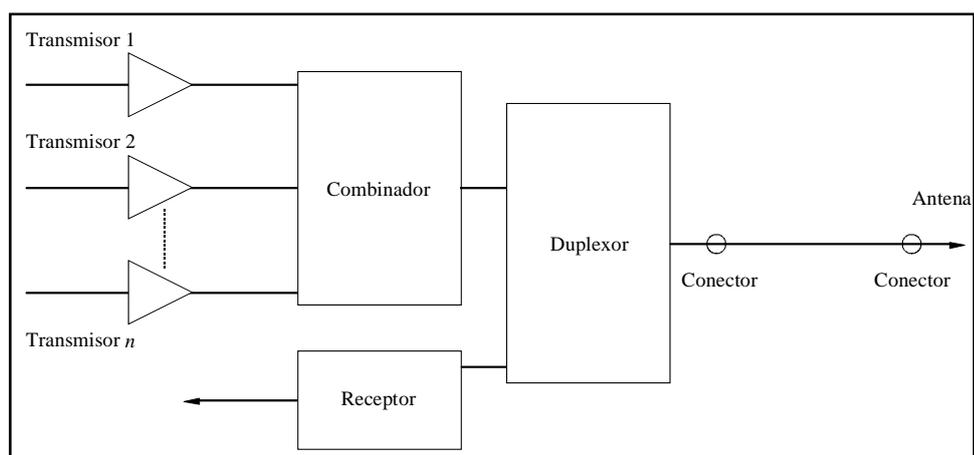


Figura 14-1: Intermodulación debido a circuitos pasivos
Fuente: (UIT-R 2000 p. 6)

En consecuencia, es importante mantener la linealidad de los elementos pasivos tales como los cables, guías de onda y los conectores. Revisándolos que no estén flojos o deteriorados.

1.4 Características técnicas de las estaciones radiodifusoras en FM

1.4.1 Introducción

“... Los sistemas de radiodifusión fueron creados para acortar las distancias y mantener una comunicación mediante el uso de ondas radioeléctricas, las mismas que se propagan por el espacio en la banda de frecuencias de 88 MHz hasta 108 MHz, los elementos que hacen posible este tipo de comunicación son moduladores, amplificadores, filtros, cables, antenas, y la transmisión de las emisiones radiales, las mismas que están expuestas a una serie de fenómenos que causan la degradación de la señal. Los más comunes son el ruido y la temperatura, repercutiendo en el área de cobertura, dicha área se define como el alcance útil de la emisión radioeléctrica ...” (Arias y Villafuerte, 2013 p. 19).

1.4.2 Parámetros que influyen en el área de cobertura de una estación FM

1.4.2.1 Antena

Es conocido también como sistema radiante, es un dispositivo de conductor metálico de diferente longitud de onda que emite o recibe ondas electromagnéticas en el espacio libre a frecuencia o frecuencias a la cual fue construida.

1.4.2.2 Antena de transmisión

Permite convertir la electricidad que es guiada a través de un conductor que puede ser cable, guía de onda, microstrip o línea de transmisión, a ondas electromagnéticas para posteriormente transmitir a una frecuencia determinada al espacio libre.

1.4.2.3 Antena de recepción

Realiza el proceso inverso a la antena de transmisión es decir convierte las ondas electromagnéticas u ondas radiadas en energía eléctrica provenientes del espacio libre independientemente del tipo de antena que sea.

1.4.3 Características de las antenas

1.4.3.1 Diagrama de radiación

Son representaciones gráficas generalmente en coordenadas polares o esféricas y representa las propiedades de una radiación de una antena mediante la variación de la potencia radiada y la

dirección de la antena, permitiendo graficar la potencia irradiada en una escala de decibeles o en diagramas de polarización y fase o a su vez en campos lejanos que influyen a grandes distancias. El diagrama de radiación está compuesto de los siguientes parámetros:

- **Lóbulo principal:** es la dirección a donde apunta la antena con su máxima potencia y representa la máxima radiación en función de su directividad y ganancia.
- **Lóbulos secundarios:** son pequeñas radiaciones en función del lóbulo principal de radiación de la antena transmisora.
- **Ancho de haz:** Es el margen de ángulo en función de la dirección de la radiación máxima se toma 3dB por debajo del máximo.
- **Relación de lóbulo principal a secundario (SLL):** es una relación en (dB) entre el máximo valor del lóbulo principal y el máximo valor del lóbulo secundario.
- **Relación delante atrás (FBR):** es una relación en (dB) y representa el valor máximo de radiación en la misma dirección y en dirección opuesta.

1.4.3.2 Polarización:

La polarización puede ser tipo vertical, horizontal o circular y depende del plano en el cual se propaga el campo eléctrico.

1.4.3.3 Ganancia

La ganancia es la relación entre la potencia entregada por la antena y la potencia disipada por esta.

- **dBi** hace referencia a una antena de dipolo isotrópico y corresponde a $\lambda/4$ de la potencia isotrópica efectiva radiada (PIRE).
- **dBd** hace referencia a una antena de dipolo de $\lambda/2$ de la potencia efectiva radiada (PER).

Ecuación 18-1

$$\text{dBd} = \text{dBi} - 2.15$$

1.4.3.4 Inclinação mecánica

Este tipo de inclinación permite tener un mejor apuntamiento del lóbulo principal hacia la zona de cobertura, se lo realiza mediante una pieza mecánica colocado sobre el eje o soporte de las antenas directivas que se encuentran colocadas sobre la torre o mástil.

1.4.3.5 Inclinação electrónica

Es conocido como TILT se mide en grados y es el ángulo que permite reducir el lóbulo de radiación y por consiguiente la cobertura de estaciones transmisoras vecinas, dirigiendo su energía radiante a un sentido específico; al aplicar la TILT se modifica el diagrama de radiación y fase de la señal permitiendo llevar una mayor directividad en las antenas.

1.4.4 Tipos de antenas

1.4.4.1 Antena Isotrópica

Esta antena transmite uniformemente en todas las direcciones y su radiación se puede ver como una esfera perfecta, este tipo de antena no es posible tener en la práctica.

1.4.4.2 Antena omnidireccional

Esta antena permite irradiar la misma cantidad de energía en todas las direcciones ya sea radiación vertical u horizontal.

1.4.4.3 Antena directiva

La antena directiva tiene un valor máximo de radiación en una sola dirección.

1.4.4.4 Antena de banda angosta para FM

Existen varios tipos de antenas de banda angosta para FM entre los que se puede nombrar los que presentan una terminación circular, también existen las helicoidales y las más populares de alta penetración, estos poseen alta selectividad lo que permite un mejor acoplamiento, además de tener polarización horizontal y vertical con potencias iguales.

Las antenas de banda angosta por sus dimensiones físicas poseen una baja resistencia de radiación, haciendo que la antena sea selectiva por tener un factor alto de calidad, con una respuesta de frecuencia en un margen de 200 kHz, y para poder trabajar dentro del rango de frecuencia (88-108) MHz se debe variar las dimensiones de los dipolos. Las dimensiones de las antenas vienen dadas acorde a $\lambda/4$ (Arias y Villafuerte, 2013 p. 25).

1.4.4.5 Antena de banda ancha para FM

Estas antenas están construidas con dimensiones acordes a $\lambda/2$, tienen alta ganancia en comparación con las antenas simples. Pueden estar formados por un dipolo en polarización vertical y un reflector, para aumentar el ancho de banda de las antenas se debe incrementar la resistencia de radiación.

El uso de un reflector es para reducir al máximo la directividad eliminar todo elemento parásito, evitar las radiaciones laterales y así facilitar el montaje en la torre (Arias y Villafuerte, 2013 p. 26).

1.4.5 Propagación de radiofrecuencia

Las ondas de radio se propagan libremente utilizando la atmósfera terrestre gracias a una fuente que transmite energía para posteriormente, mediante una antena receptora captar esta energía transmitida, tanto la radiación como la captura son funciones de las antenas y dependen de la distancia entre ellas.

1.4.5.1 Reflexión

La reflexión se da cuando las ondas o señales transmitidas chocan con obstáculos y estas pueden ser alcanzadas por la antena receptora implicando una atenuación dependiendo del escenario en la ionósfera, se da entre (60-600) km, figura 15-1.

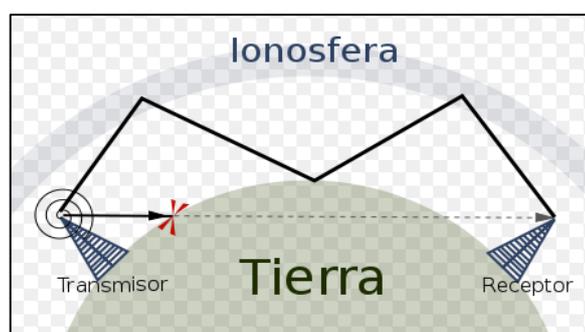


Figura 15-1: Reflexión de señales en la Ionosfera
Fuente: (<http://recursostic.educacion.es>)

1.4.5.2 *Dispersión*

Esta forma de propagación se conoce también como Scattering, este efecto ocurre cuando las ondas de radio atraviesan pequeñas masas de electrones como por ejemplo una gota de agua, se puede dar en la tropósfera hasta 15km, figura 16-1.

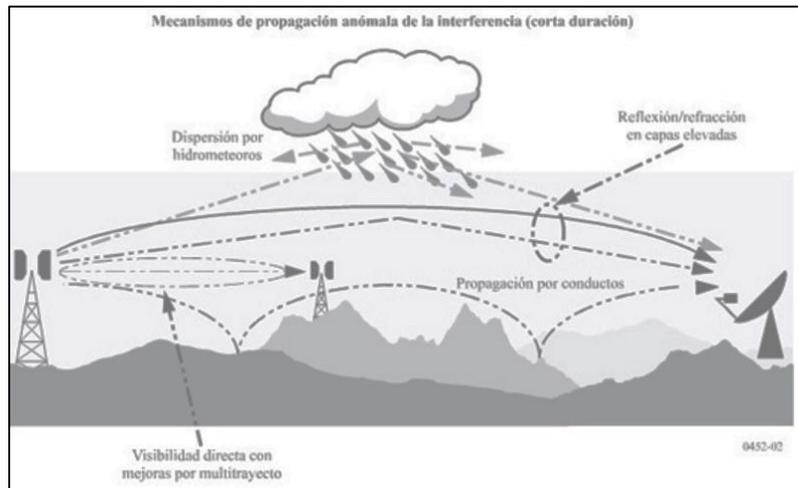


Figura 16-1: Dispersión de ondas de radiofrecuencia

Fuente: <https://www.xirio-online.com/help/es/rec452.html>

1.4.5.3 *Difracción*

Esta forma de propagación es conocido también como filo de navaja y se da en la superficie terrestre y consiste en superar un obstáculo pasando por donde exista espacio libre, de acuerdo al principio de Huygens, figura 17-1.

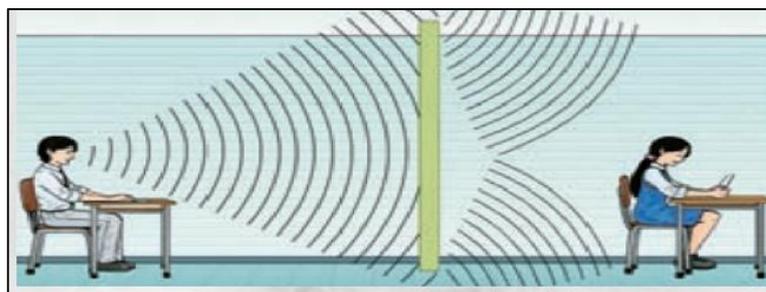


Figura 17-1: Difracción de ondas de Radiofrecuencia

Fuente: <http://edwicarval.wix.com/fisicaondasyelectro#!difraccion/c4wf>

1.4.6 *Tipo de propagación de radiodifusión FM*

La mayoría de las antenas transmisoras de las estaciones difusoras FM se sitúan en los cerros altos, esto se debe a que aprovechan su altura para tener una mejor línea de vista hacia la zona de cobertura.

1.4.6.1 Propagación por onda terrestre

Las señales u ondas de radio siguen la curvatura de la tierra para ello la onda aprovecha difracción por lo cual alcanza grandes distancias antes de que la señal se pierda, se utiliza para emisiones de amplitud modulada AM de onda corta u onda larga en frecuencias menores a los MHz, figura 18-1.

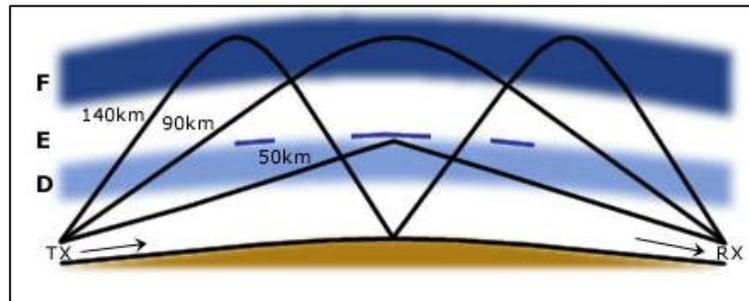


Figura 18-1: Propagación de Onda Terrestre

Fuente: <http://dateca.unad.edu.co/contenidos/>

1.4.6.2 Propagación por onda directa

Este tipo de propagación se da por línea de vista entre el emisor y receptor sin obstáculos intermedios y que se encuentre despejado la primera zona de Fresnel, se utiliza en frecuencias mayores a los 50MHz generalmente para televisión y radiodifusión de frecuencia modulada, figura 19-1.

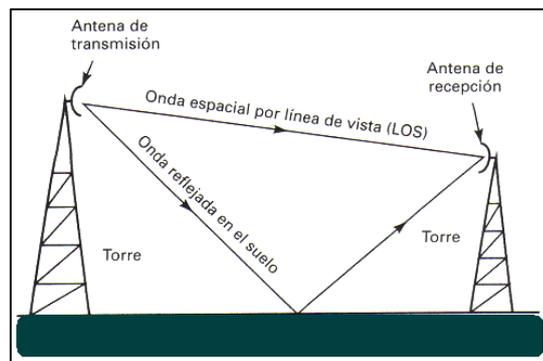


Figura 19-1: Propagación por Onda Directa

Fuente: <http://dateca.unad.edu.co/contenidos/>

1.4.7 Servicio de radiodifusión FM

La banda FM es utilizada para la difusión de señales sonoras que provienen de las estaciones de radio las cuales son emitidas en una determinada zona de cobertura llegando así al público en general.

El funcionamiento del servicio de radiodifusión se ilustra en la figura 20-1.

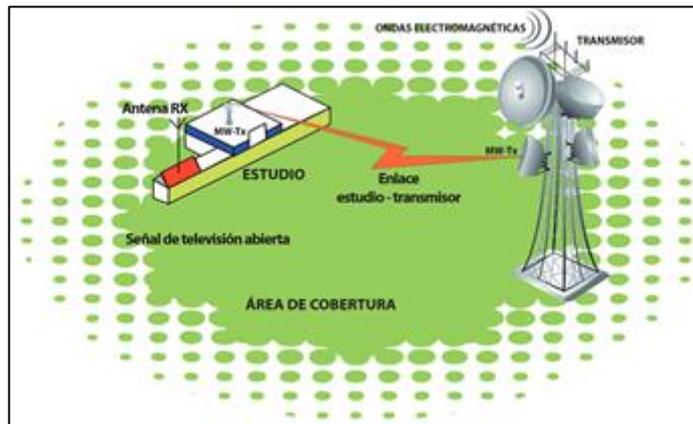


Figura 20-1: Servicio de radiodifusión

Fuente: (http://controlenlinea.arcotel.gob.ec/wps/portal/informacion/informacion_tecnica/radiodifusion/).

Convencionalmente, la señal sonora es creada en el estudio de cada estación de radio y de allí transmitida a través de un radioenlace o enlace físico a un sistema que recibe la señal, ubicado en zonas altas para conseguir un mayor alcance; para inmediatamente encargarse de la propagación a través de ondas electromagnéticas en la frecuencia FM que se concesiona a cada estación, para finalmente llegar a los oyentes que se ubican en la zona de cobertura, figura 21-1.

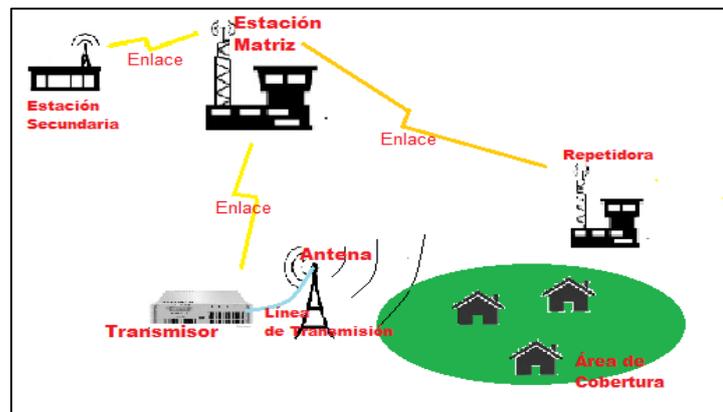


Figura 21-1: Elementos de un sistema de radiodifusión FM

Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016

- Estación matriz: es la que se compone de un estudio principal con el respectivo equipo que transmite en la zona de cobertura autorizada.
- Estación repetidora: es la que se encarga de retransmitir la señal que llega desde la estación matriz, en una determinada área de cobertura.

- Sistema de radiodifusión: está compuesto de la estación matriz y la o las repetidoras, las cuales transmiten la emisión sonora en la zona de cobertura autorizada.
- Estudio principal: llamado también control máster, constituye el área física donde se establece la programación para posteriormente ser transmitida.
- Estudio secundario: en estos espacios se producen contenidos que forman parte de la programación a ser emitida desde el estudio principal.
- Enlaces auxiliares: son todos los enlaces ya sean físicos o a través del aire, pueden ser temporales o permanentes y aseguran la conectividad entre todo el sistema de radiodifusión.
- Transmisor: es un equipo electrónico encargado de generar una señal que se irradia en la frecuencia autorizada, a través de la antena a la que se conecta al dispositivo.
- Línea de transmisión: es el medio físico por el que se transmite las señales eléctricas generadas en el transmisor hacia la antena, se debe tener en cuenta el acoplamiento que requiere para que existan mínimas pérdidas de potencia.
- Antena: es un dispositivo que irradia ondas electromagnéticas que llegan a la antena como señales eléctricas a través de la línea de transmisión, hacia una zona de cobertura específica, puede estar configurada con distintas polarizaciones como horizontal o circular, etc. En general los aspectos técnicos del dispositivo como potencia, frecuencia, zona de cobertura, etc., se rigen a las especificaciones autorizadas.
- Frecuencia de transmisión: es la frecuencia en la que se transmite la onda generada en la antena, misma que llega a los dispositivos receptores del público que se encargan de demodular la señal para escuchar el audio.
- Área de cobertura: es la zona geográfica en la que se emite las ondas electromagnéticas, teniendo como objetivo primario una zona de cobertura principal que por lo general es una ciudad o poblado, pero también puede cubrir una zona de cobertura secundaria, dentro de los límites permitidos por la autoridad.

1.4.7.1 Espectro radioeléctrico de radiodifusión sonora

El sistema radioeléctrico para transmisión sonora utiliza rangos de frecuencias del espectro radioeléctrico que se divide en Frecuencias Principales, Tabla 3-1 y Auxiliares, Tabla 4-1.

Tabla 3-1: Frecuencias Principales de Radiodifusión Sonora

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

Fuente: ARCOTEL, 2015. (Radiodifusión)

Tabla 4-1: Frecuencias Auxiliares de Radiodifusión Sonora.

Banda (MHz)	Ancho de Banda (MHz)
222.0-235.0	13
246.0-248.0	2
417.5-430	12.5
937-940	3
941-951	10
956-960	4
1670-1690	20

Fuente: ARCOTEL, 2015. (Radiodifusión)

En tabla 5-1, se describe la característica dependiendo del tipo de estación.

Tabla 5-1: Tipos de estaciones de Radiodifusión

Parámetros	Tipo de Estación	Características
Por la programación que transmite	Matriz	Establece la programación y la transmite.
	Repetidora	Capta la programación enviada de la matriz y la retransmite.
Por el tipo de concesionario	Públicos	Pertenecen al Estado o Gobiernos descentralizados.
	Privados	Pertenecen a personas particulares y pueden o no tener fines de lucro.
	Comunitarios	Son de objetivos sociales y sin fines de lucro.
Por las características técnicas para FM	Potencia Normal	Se delimita por la zona geográfica.
	Baja Potencia	Potencia Efectiva Radiada (PER) mínima < 250 w.
Por la potencia del transmisor para AM	Local	Potencia Efectiva Radiada (PER) mínima >3 KW.
	Regional	Potencia Efectiva Radiada (PER) >3 KW y < 10 KW.
	Nacional	Tienen Potencia Efectiva Radiada (PER) >10 KW.

Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016

Fuente: ARCOTEL, 2015. (Radiodifusión)

En la figura 22-1, se ilustra el sistema de radiodifusión FM de baja potencia.

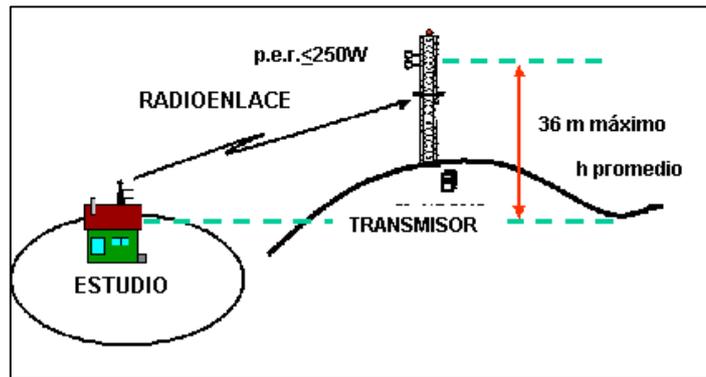


Figura 22-1: Sistema de radiodifusión FM de baja potencia

Fuente: (http://controlenlinea.arcotel.gob.ec/wps/portal/informacion/informacion_tecnica/radiodifusion/).

- Potencia Efectiva Radiada (PER): es la potencia que irradia la antena, tomando en cuenta las pérdidas de conectores y de la línea de transmisión, además las ganancias del equipo transmisor y de la antena, este valor estima el área que cubrirá la transmisión. Ecuación (19-1).

Ecuación 19-1

$$P.E.R. [kW] = P_{Tx} [kW] * 10^{\frac{G[dBd] - P[dB]}{10}}$$

De acuerdo a la norma técnica para el servicio de radiodifusión sonora en frecuencia modulada analógica los niveles de intensidad de campo son:

“...En el borde del área de cobertura principal: para Monofónicos $\geq 48 \text{ dB}\mu\text{V/m}$, para Estereofónicos $\geq 54 \text{ dB}\mu\text{V/m}$

En el borde del área de cobertura secundaria: para Monofónicos $\geq 30 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ y $< a 48 \text{ dB}\mu\text{V/m}$, para Estereofónicos $\geq 50 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ y $< a 54 \text{ dB}\mu\text{V/m}$...” (Arcotel 2015 p. 9)

1.4.8 Filtros para FM

Los transmisores FM poseen filtros internos que atenúan los armónicos que se generan en el proceso de amplificación de la señal, sin embargo, se hace necesario el uso de filtros externos que aseguren la eliminación de las señales no deseadas, lo que implica que un correcto filtrado disminuye el problema de intermodulaciones en la radiodifusión FM. Existen distintos tipos de filtros: pasa bajo, pasa alto, pasa banda y rechaza banda; de los cuales se utilizan los pasa banda y rechaza banda en la radiodifusión FM.

1.4.8.1 Filtro pasa banda

Estos filtros se caracterizan porque dejan pasar una frecuencia específica central f_c que se halla dentro de un rango de frecuencias limitadas por frecuencias de corte, mientras las frecuencias que se hallan antes y después de la f_c en un sistema ideal son eliminadas como se muestra en la figura 23-1, en donde se puede observar también como trabaja el filtro pasa banda en un sistema real, en donde las armónicas son solamente atenuadas.

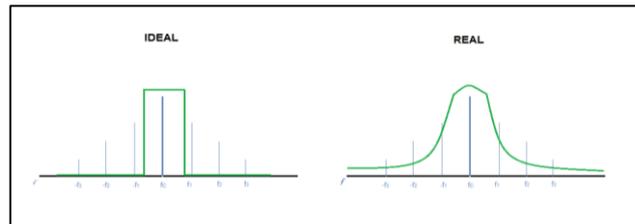


Figura 23-1: Filtro Pasa Banda
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016

1.4.8.2 Filtro rechaza banda

El filtro rechaza banda elimina una frecuencia específica f_c dentro de un rango de frecuencias limitada por la frecuencia de corte superior e inferior, dejando pasar todas las demás frecuencias que se hallan antes o después de la f_c como se ve en la figura 24-1, este filtro equivale a la suma de los filtros pasa bajo y pasa alto. En el caso de las transmisiones FM, este filtro es muy útil debido a que directamente elimina los armónicos que se generan.

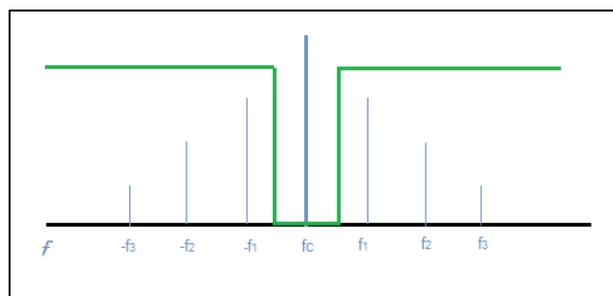


Figura 24-1: Filtro Rechaza Banda
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016

1.4.8.3 Características de filtros FM

Los filtros utilizados en FM son diseñados con cavidades resonantes debido a que presentan mayor eficiencia, en estos filtros se debe tomar en cuenta el factor de calidad de resonadores y el acople en la entrada y salida de la cavidad resonante.

En los filtros tenemos tres parámetros a tener muy en cuenta: La atenuación de paso, la adaptación y la selectividad. Las pérdidas de inserción en la banda de paso de un filtro "pasa-banda" son el elemento crucial de sus prestaciones. (<http://ibroad.es/Nuestros-productos/Filtros-FM/>). En donde se debe considerar:

- Las pérdidas de inserción son inversamente proporcionales al factor de calidad de los resonadores y a la adaptación de los elementos.
- La atenuación es inversamente proporcional al ancho de banda relativo del filtro.
- La atenuación es directamente proporcional al número de cavidades del filtro.

Los materiales que actualmente se utilizan para la fabricación de filtros son: cobre, latón, aluminio y acero inoxidable. En la figura 25-1, se muestra el comportamiento de los filtros pasa banda para FM que se hallan disponibles en el mercado, en la gráfica se observa la variación de la respuesta del filtro en base a las cavidades resonantes del filtro.

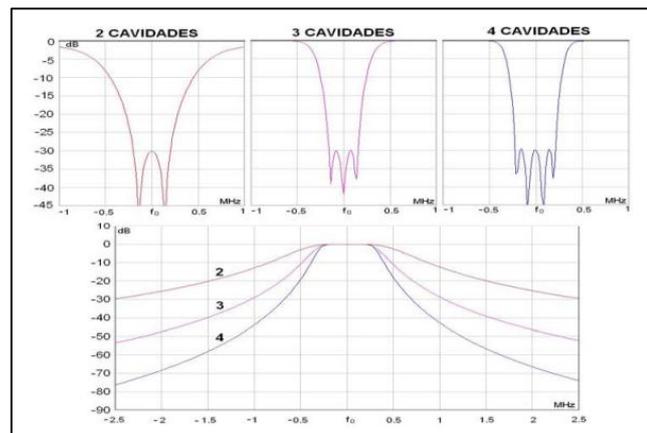


Figura 25-1: Comportamiento del filtro Pasa Banda FM
Fuente: (Vimesa 2013 p.1)

Las cavidades resonantes permiten atenuar las amplitudes de las señales armónicas, los filtros pasa banda para FM son generalmente fabricadas dependiendo del orden del armónico a ser atenuado y de la potencia que se requiere para la transmisión, es así que en el mercado se puede encontrar filtros para el segundo, tercero y cuarto armónico con un rango de (87.5-108) MHz y con una selectividad de atenuación de banda de hasta 20dB, en la figura 26-1, se muestra un filtro pasa banda para FM con cuatro cavidades resonantes.



Figura 26-1: Filtro Pasa Banda de cuatro cavidades resonantes
Fuente: (<http://www.sira.mi.it/es/products/broadcasting/8/fm-filters/281>)

1.5 Analizador de espectro

Para investigar el comportamiento y como se generan las señales armónicas y de intermodulación, se ha visto la necesidad de utilizar un analizador de espectro para hacer una recolección y análisis de datos.

1.5.1 Características del analizador de espectro

Es un equipo electrónico para la medición del espectro de frecuencias, que permite visualizar mediante una pantalla las distintas frecuencias espectrales pudiendo ser estas de tipo óptica, eléctrica o acústica.

La pantalla del analizador de espectro contiene un eje denominado eje de las ordenadas la misma que presenta una escala en dBm, por otro lado, contiene el eje de las abscisas que viene a representar la frecuencia acorde a la separación temporal del número de muestras obtenidas.

El analizador de espectro que se utilizará para el desarrollo del tema es el modelo MS2724C de la marca Anritsu, figura 27-1, del cual se describe las principales características:

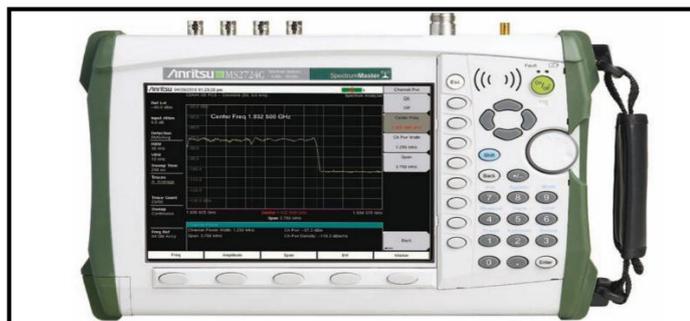


Figura 27-1: Analizador de espectro Anritsu MS2724C
Fuente: http://www.elvira.ru/import/spectrum_analyzer/anritsu_ms2724c.html

- Cobertura de frecuencia - 9 kHz a 20 GHz
- Preamplificadores de banda ancha en todo el rango de frecuencias.
- Resolución en ancho de banda de 1 Hz a 10 MHz
- Medidas LTE de hasta 20 MHz
- Analizador de Interferencia
- Analizadores de señales 3GPP

Entre las tareas que se pueden llevar a cabo utilizando el analizador de espectro se puede mencionar; comprobación técnica del espectro, la detección de la señal oculta, medidas de RF y de señales de microondas, las pruebas de backhaul de microondas o mediciones de señales celulares (https://www.microlease.com/latin_es/products/anritsu/analizadores-de-espectro-rf/ms2724c?basemodelid=5472).

1.5.1.1 Elementos principales del analizador Anritsu

Algunos de los botones principales para la configuración del analizador de espectro se muestra en la figura 28-1.



Figura 28-1: Panel Frontal de analizador de espectro
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016

El panel frontal derecho contiene elementos principales que permiten configurar para el análisis de las señales de radiofrecuencia ingresadas al analizador de espectro Anritsu, figura 29-1.



Figura 29-1: Frontal derecho del analizador
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016

En el panel superior del analizador de espectro tenemos varias opciones para obtener señales de radiofrecuencia RF así como diferentes puertos USB y diferentes elementos que complementan al analizador de espectro, figura 30-1.



Figura 30-1: Panel superior del analizador
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016

1.5.2 Analizador de espectro Anritsu MS2724C, pantalla en funcionamiento

Algunas de las funciones que se obtiene al medir una señal de radiofrecuencia se muestra a continuación en la figura 31-1.

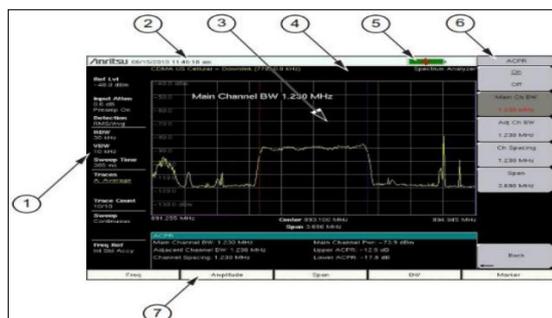


Figura 31-1: Analizador de espectro Anritsu
Fuente: (Logroño y Paredes, 2014 p. 97)

1. Ancho de VBW configurado a 10KHz.
2. Fecha y hora de medición de la señal.
3. Pantalla de la medición de la señal de radiofrecuencia.
4. Pantalla general del analizador de espectro para muestra de parámetros configurados.
5. Estado del nivel de batería.
6. Funciones para la elección y configuración de parámetros.
7. Panel para funciones programables para la señal ejemplo frecuencia amplitud, spam.

1.5.2.1 Frecuencia (Frequency)

Para analizar las señales de radiofrecuencia se debe poner una frecuencia central de inicio de trabajo mediante la función frecuencia de inicio (*freq start*), el mismo que se sitúa en el medio de

la pantalla del analizador de espectro, la frecuencia de finalización (*Freq stop*) es una frecuencia para paralizar el rango en una frecuencia determinada, figura 32-1.

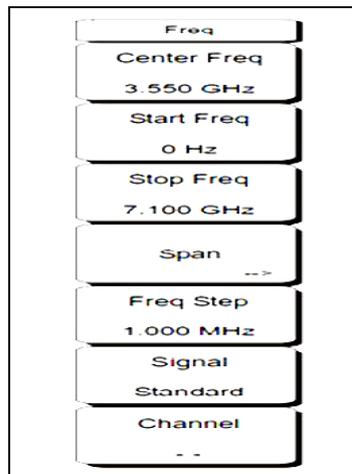


Figura 32-1: Opción frequency
Fuente: (Logroño y Paredes, 2014 p. 98)

1.5.2.2 Ancho de ventana (*Spam*)

La función spam permite configurar el ancho de la ventana para poder visualizar las señales mientras más bajo sea el valor del spam mejor se podrá visualizar las señales, figura 33-1.



Figura 33-1: Opción spam
Fuente: (Logroño y Paredes, 2014 p. 99)

1.5.2.3 Amplitud (*Amplitude*)

Permite controlar el nivel de referencia de la señal y la magnitud contiene también la opción Amplitude-scale/div que es la división de amplitud por escala, se puede seleccionar, por ejemplo

10dB/div, figura 34-1.

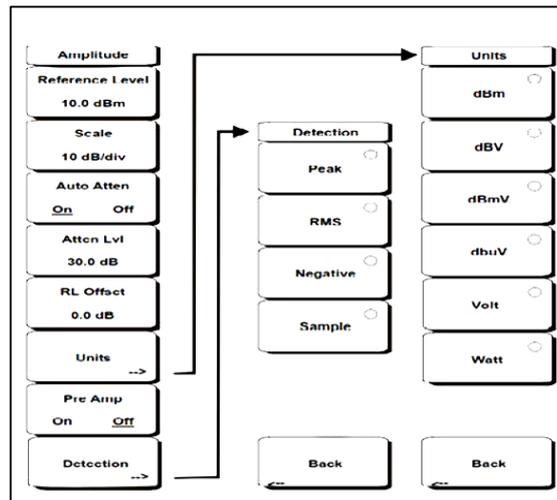


Figura 34-1: Opción Amplitude
Fuente: (Logroño y Paredes, 2014 p.100)

1.5.2.4 Marcador (Marker)

La opción marker permite directamente marcar un punto en la señal en la pantalla del analizador mediante el cual muestra el nivel de potencia y la frecuencia, se puede añadir más de un marcador en una señal, para activar el marcador se debe seleccionar la opción encender (*On*), figura 35-1.

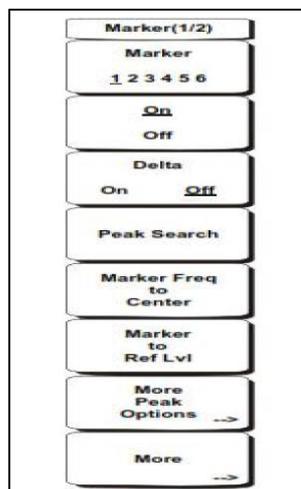


Figura 35-1: Opción Marker
Fuente: (Logroño y Paredes, 2014 p. 102)

1.5.2.5 Tiempo de barrido (Sweep time)

Conocido también como tiempo de barrido y por defecto casi siempre actúa en modo automático y establece el tiempo que le tomará al equipo en hacer un barrido en el rango del spam por lo

general el tiempo se configura automáticamente en segundos o milisegundos, figura 36-1.

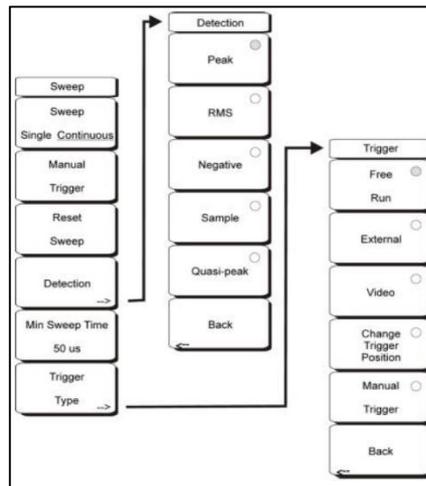


Figura 36-1: Opción Sweep time
Fuente: (Logroño y Paredes, 2014 p. 103)

1.5.2.6 Retención de máximos (Max Hold)

El Max Hold es otro de los parámetros configurados esta función permite visualizar los valores máximos de almacenamiento de los valores de la señal para poder compararla posteriormente esta configuración se encuentra dentro de la siguiente sub-opción, figura 37-1.

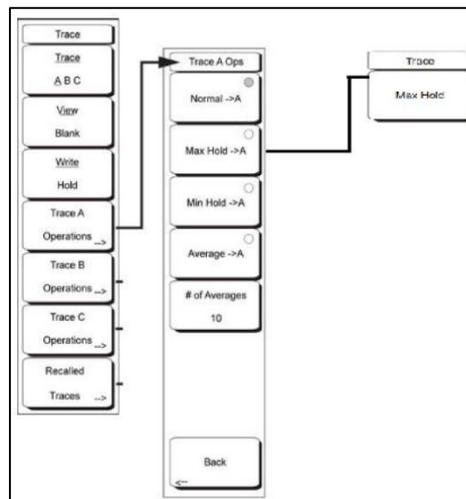


Figura 37-1: Opción Max Hold
Fuente: (Logroño y Paredes, 2014 p. 104)

1.5.3 Configuración del analizador de espectro Anritsu

Para realizar las mediciones se necesita una antena FM, la misma que viene en el kit del Analizador de espectro, esta antena se la debe conectar a la entrada de Radio Frecuencia del

analizador de espectro, figura 38-1.



Figura 38-1: Conector y Antena de FM
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016

Una vez conectado la antena FM se debe prender el analizador de espectro para poder realizar las mediciones respectivas hay que configurar parámetros secundarios. Para las mediciones se debe configurar los siguientes parámetros.

- Input anten: 0.0dB
- RBW: 1KHz
- VBW: 10KHz
- Traces:Max Hold
- Spam: 1MHz

Las señales obtenidas serán similares a las que se muestran en la figura 39-1.

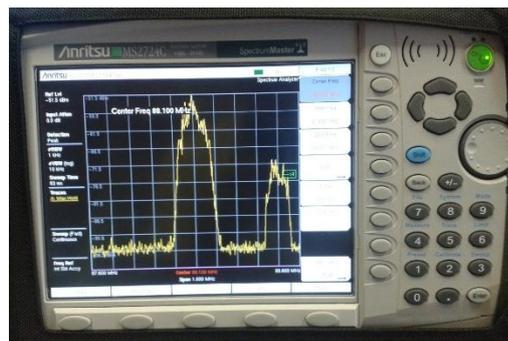


Figura 39-1: Analizador de espectro
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016

1.6 Tarjetas USRP B210

Las tarjetas USRP conocidas por su abreviación Universal Software Radio Peripheral es una familia de software que son comercializados por Ettus siendo así su empresa matriz National Instruments, el nombre de Ettus viene de Matt Ettus el mismo que dirigía un equipo de

investigación, las tarjetas USRP unifican sistemas de comunicación en una sola plataforma tratando de reducir costos para que sea más accesible para universidades, aficionados y centros de investigación en general.

Estas tarjetas USRP se conectan a los computadores mediante enlaces con velocidades relativamente altas, a través de puertos USB mediante los ordenadores se puede controlar el software de las tarjetas USRP pudiendo así recibir y enviar datos, algunas de estas tarjetas también tienen la funcionalidad de un procesador integrado lo que permite un trabajo más independiente.

La mayoría de los productos en relación a las tarjetas USRP son de código abierto permitiendo así a cualquier desarrollador tener toda la accesibilidad, se halla disponible en sus plataformas el código para una descarga libre, el controlador de las tarjetas USRP es el Universal Hardware Driver (UHD) desarrollado también bajo código abierto. Las USRPs hacen uso de la radio GNU que no es más que un sistema de software para crear sistemas de radio más complejos.

Las tarjetas USRP en su mayoría trabajan bajo Linux en distribuciones conocidas como Ubuntu, Debían, Fedora, Mint, etc., pero también puede trabajar bajo el sistema operativo Windows utilizando el software Matlab la versión tipo (b) para que el software Matlab le reconozca las tarjetas USRP es necesario instalar paquetes adicionales, las características de las tarjetas USRP B210 se describe en la tabla 6-1.

Tabla 6-1: Características técnicas de las tarjetas USRP

Nombre	Característica
Rango espectro	70MHz – 6 GHz
Entrada/salida	Half o full duplex tipo mimo
Ancho de banda	56MHz con velocidad de procesamiento de 61.44Ms/cuadratura
Conexión	USB 3.0
Spartan	6 XC6SLX150 FPGA

Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016

La tarjeta USRP B210 tiene varios puertos de entrada y salida y así como zócalos para entradas adicionales como relojes de presión, antenas GPS, ranuras de expansión en la figura 40-1, se muestra detalladamente elementos principales.

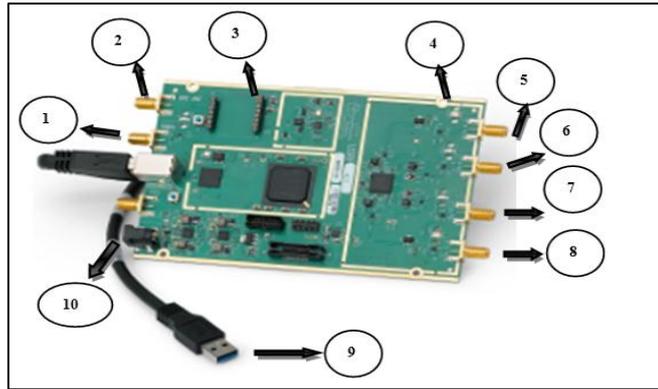


Figura 40-1: Estructura externa de la tarjeta USRP B210
 Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016

1. Entrada de antena para 10Mhz
2. Entrada de antena para GPS
3. Zócalo para reloj de precisión
4. Ranuras para sujetar la tarjeta
5. Transmisión o recepción de Radio frecuencia bloque secundario
6. Recepción de radio frecuencia bloque secundario
7. Recepción de señales de radio frecuencia bloque Primario
8. Transmisión o recepción de Radio frecuencia bloque primario
9. Cable USB 3.0
10. Alimentador de voltaje D.C 6v

1.6.1 Diagrama de bloque de las tarjetas USRP B210

Para recibir o transmitir señales, la tarjeta USRP B210 contiene bloques, dispositivos y/o elementos que permiten procesar la señal, como se muestra en la figura 41-1, para recibir la señal de radiofrecuencia la tarjeta USRP debe pasar por los siguientes procesos:

- Para recibir la señal se requiere una antena, dependiendo del tipo de antena y la frecuencia que trabaje se requiere un conector SMA macho con rosca por dentro el mismo que va conectado al SMA Ext_Ref.
- Después de capturar la señal con la antena pasa al sistema de reloj para la sincronización.
- Dependiendo del puerto que este configurado ya sea para transmisión o recepción se recibe o emite la señal dentro del bloque FPGA, una vez detectado el puerto pasa al sistema UHD (Universal Hardware Driver) para el transporte control y sincronización de la señal procesada por el bloque.

- La señal procesada se transforma a código Python para finalmente mediante el cable USB 3.0 se conecte al computador para obtener datos.

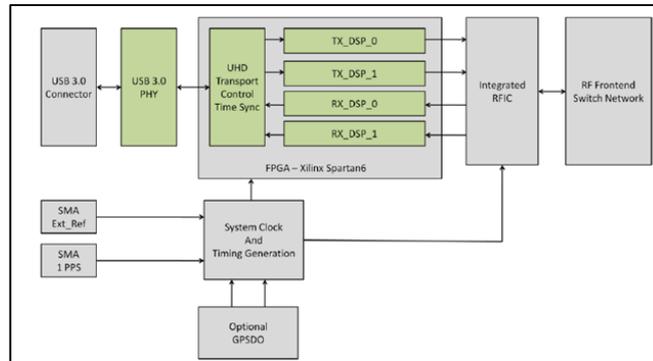


Figura 41-1: Diagrama funcional de la tarjeta USRP B210
Fuente:(National Instruments, 2015 p. 2).

1.6.2 Conexión de la tarjeta USRP B210 con la PC

Para la conexión de la antena FM con la tarjeta USRP B210 se requiere de un conector SMA macho con rosca por dentro y se debe conectar al segundo puerto de la tarjeta, la configuración por defecto de los puertos corresponde al primero para transmitir y el segundo para recibir señales, al otro extremo de la tarjeta USRP se debe conectar el cable USB 3.0 al puerto de conexión de la computadora, es recomendable conectar al puerto de conexión USB 3.0 para obtener una mayor velocidad de transporte de datos como muestra en la figura 42-1.

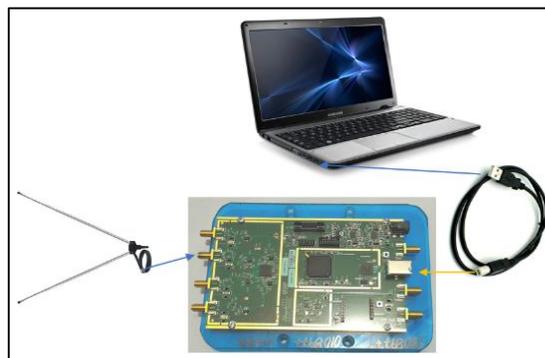


Figura 42-1: Conexión USRP B210 con la PC
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016

1.7 Matlab

La palabra Matlab proviene de la abreviatura MATRiz LABoratory o laboratorio de Matrices, es un software con un entorno técnico para el cálculo, análisis numérico y procesamiento de señales mediante una representación gráfica 2D-3D de fácil uso para la identificación de sistemas de redes

neuronales, sistemas dinámicos, diseño de sistemas de control y otras para ahorrar el tiempo de computo manual.

Matlab ofrece un sistema de entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación M permitiendo la creación de interfaces de usuarios GUI mediante el editor de interfaces de usuario (GUIDE) comunicándose así con otros programas en otros lenguajes de dispositivos hardware, posee además un paquete de software adicional plataforma de simulación multidominio (Simulink) con paquetes de bloques para el desarrollo de algoritmos. Matlab está desarrollado para la solución de problemas en distintos ámbitos en donde se incluye la ingeniería, para la que cuenta con distintas funcionalidades y ambientes que facilitan el trabajo como se describe a continuación.

“... Matlab basado en la matriz es la forma natural en la mayor parte del mundo para expresar matemática computacional. Gráficos integrados hacen que sea fácil de visualizar y obtener información a partir de datos. Una vasta biblioteca de cajas de herramientas prediseñados le permite comenzar de inmediato con algoritmos esenciales a su dominio. El entorno de escritorio invita a la experimentación, la exploración y el descubrimiento...” (<http://www.mathworks.com/products/matlab/>).

1.7.1 Instalación de paquetes USRP en Matlab

- Al abrir Matlab se debe dirigir a la pestaña *Add-Ons* y seleccionar *Get Hardware Support Packages* como en la figura 43-1.

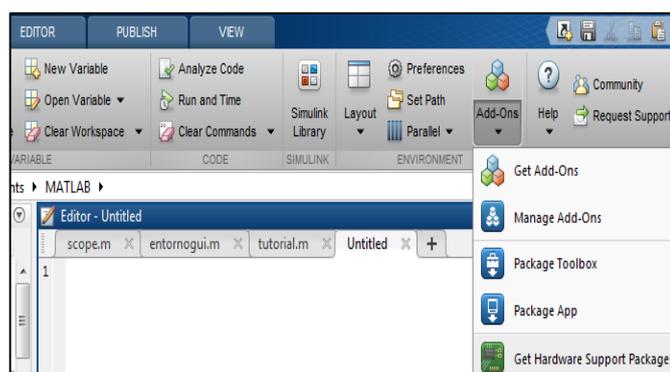


Figura 43-1: Guía de instalación, paquete USRP B210

Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

Fuente: Mathworks, 2016.

- Seleccionar la opción *Install from Internet* y posteriormente dar clic en el botón *next* figura 44-1.

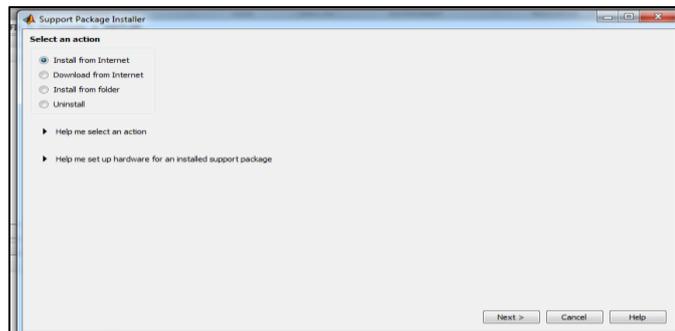


Figura 44-1: Paquete USRP B210, select
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.
Fuente: Mathworks, 2016.

- Seleccionar el paquete *USRP radio*, figura 45-1.

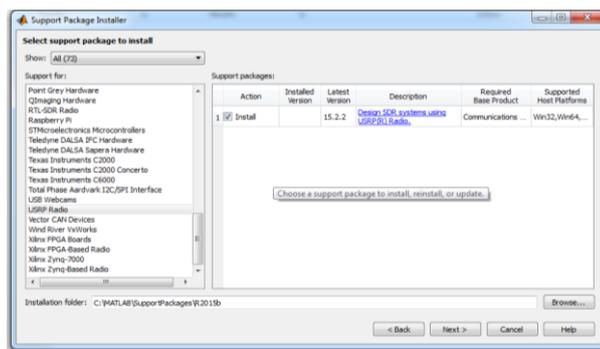


Figura 45-1: Paquete USRP B210, USRP Radio
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.
Fuente: Mathworks, 2016.

- Se requiere tener una cuenta asociada a matlab y luego se procede a instalar, figura 46-1.

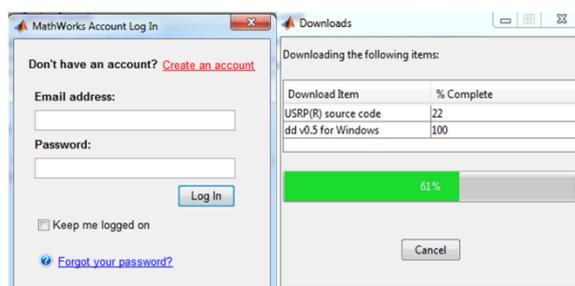


Figura 46-1: Paquete USRP B210, account
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.
Fuente: Mathworks, 2016.

Una vez terminada la instalación se procede a comprobar que reconozca las tarjetas USRP con el entorno de matlab para ello se tiene que digitar el comando *findsdru* en la ventana Command Windows conectando las tarjetas USRP B210 al ordenador, figura 47-1.

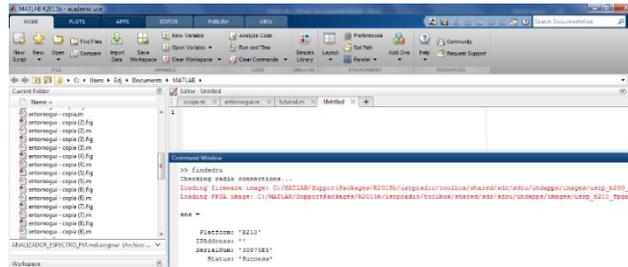


Figura 47-1: Paquete USRP B210, findsdru
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.
Fuente: Mathworks, 2016

1.7.1.1 Entorno Guide Matlab

Para acceder al editor de interfaces de usuario, digitar GUIDE en la ventana Command Windows a continuación se abrirá un nuevo formulario para el diseño del entorno gráfico del programa para obtener los nombres de los componentes de la paleta seleccionar *File, Preferences, Show names in component palette*, figura 48-1.

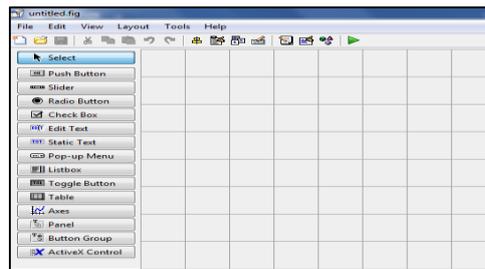


Figura 48-1: Entorno Guide Matlab
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.
Fuente: Mathworks, 2016.

El entorno GUIDE dispone de varios controles para utilizarlos dentro del panel y personalizar la interfaz del usuario, tabla 7-1.

Tabla 7-1: Controles del entorno editor de interfaces de usuario MATLAB

Control	Descripción
Push Button	Genera una acción al pulsar el botón
Slider	Permite seleccionar un rango determinado de valores
Radio Button	Permite seleccionar una opción a la vez de forma circular
Check Box	Muestra el cambio de una opción
Edit Text	Permite editar texto, así como el ingreso de una variable o número
Static Text	Visualiza un String de texto ingresado por otro componente del panel
Pop-up Menu	Permite visualizar y escoger una opción de una lista
Listbox	Visualiza una lista de opciones con menú despegable
Toggle Button	Genera un estado en el que se puede activar o desactivar
Axes	Esta función permite visualizar gráficos
Panel	Permite agrupar un grupo de controles
Button Group	Permite agrupar los botones de toggle y radio Button
Active X control	Muestra en el Gui los controles de active X

Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

Para seleccionar un elemento de la lista de opciones basta con arrastrar hacia la ventana derecha y personalizar el GUIDE mediante botones que harán una acción determinada dependiendo de la programación que contenga en su interior.

1.7.1.2 Propiedades de los componentes de los elementos

Cada elemento de la lista de opciones contiene sub-opciones que permiten configurar y personalizar los elementos, para acceder basta hacer doble clic y aparecerá el siguiente sub-menú, como se muestra en la figura 49-1.

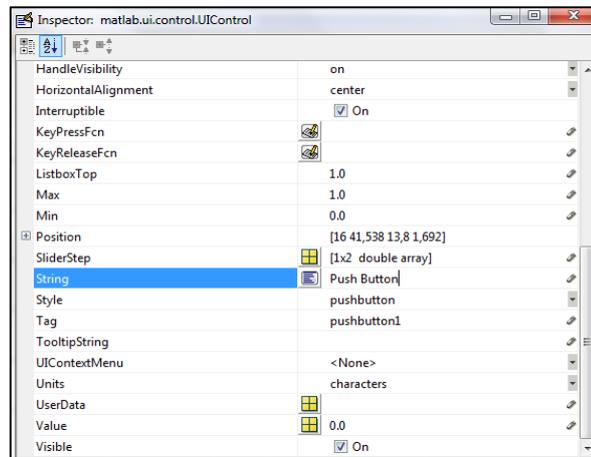


Figura 49-1: Guide Matlab, Push Button
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.
Fuente: Mathworks, 2016.

Una de las propiedades más importantes en el área de diseño de la GUI es el *view callback* que es el elemento que abre directamente a los archivos de programación .m, para acceder a esta propiedad hacer clic derecho sobre el elemento, dentro de esta propiedad se puede programar subrutinas que se ejecutarán cuando se mande a correr el programa, figura 50-1.

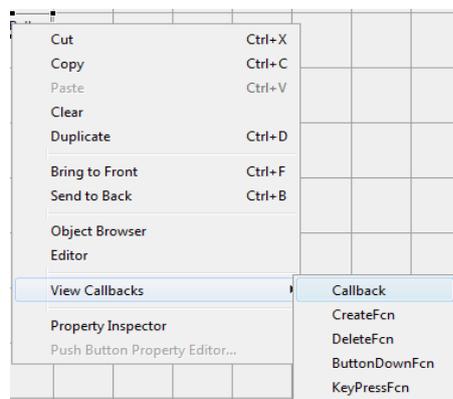


Figura 50-1: Guide Matlab, Callback
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.
Fuente: Mathworks, 2016.

1.7.1.3 Funcionamiento general del GUIDE MATLAB

Cuando se manda a ejecutar un programa Matlab genera archivos .m y .fig cada uno de estos archivos son dependientes el uno del otro, el archivo .m contiene la programación que el programador define dentro de cada elemento .fig en donde se encuentran los elementos gráficos de la aplicación a desarrollarse, por cada elemento agregado a la ventana de diseño se crea subrutinas dentro del archivo de extensión .m, figura 51-1.

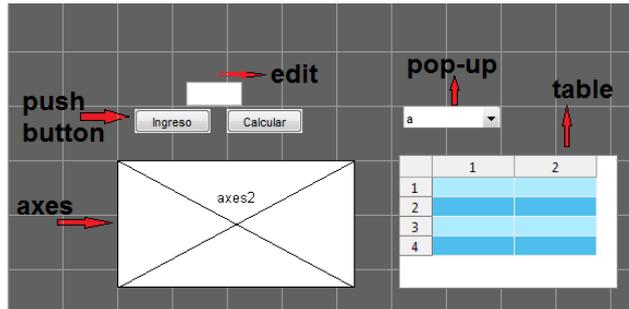


Figura 51-1: Guide Matlab, diseño
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.
Fuente: Mathworks, 2016.

El código que se genera automáticamente al poner elementos sobre la ventana de diseño en el archivo .m es el que se muestra a continuación.

- Edit

```
function edit1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

- Push button

```
function Ingreso_Callback(hObject, eventdata, handles)
function graficar_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

- Pop-up

```
function popupmenu1_Callback(hObject, eventdata, handles)
function popupmenu1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

- Los elementos *axes* y *table* no generan código, pero para utilizar en el programa hay que llamar con la función propia de cada uno.

- Para función *axes*: `axes(handles.axes2);`
 - Para función *table*: `set(handles.uitable1,'variable1',resultado);`
- Las sentencias más utilizadas son *get* y *set* y estos sirven para la asignación y obtención de valores de los elementos de la ventana de diseño, por ejemplo.
 - `NombrevARIABLE=get(handles.edit1,'string');`
 - `set(handles.edit1,'string',resultado);`

1.7.2 Simulink

1.7.2.1 Introducción

El software Simulink es una extensión para el modelado y simulación de sistemas utilizando componentes gráficos, la característica principal de este software es que permite crear o modelar sistemas no lineales, el software crea sistemas mediante diagrama de bloques con la capacidad de asumir condiciones iniciales.

1.7.2.2 Acceso a paquetes Simulink

Para acceder al paquete de software adicional plataforma de simulación multidominio con paquetes de bloques para el desarrollo de algoritmos digitar en la ventana de *Command Windows* el comando *simulink* o alternativamente en la ventana principal de Matlab seleccionar la opción *HOME* y dirigirse al botón *Simulink Library*, figura 52-1.

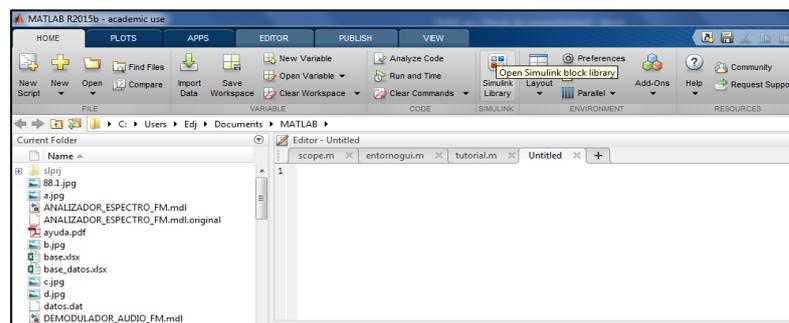


Figura 52-1: Simulink Matlab, Library

Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

Fuente: Mathworks, 2016.

Para el modelado de diferentes sistemas, Simulink dispone de varios diagramas de bloques los mismos que están clasificados por categorías, figura 53-1; dentro de esto se puede encontrar tales como sumadores, generadores de señal, osciloscopios, funciones de transferencia etc., para dibujarlos basta con arrastrarlas hasta la pantalla principal o pantalla de diseño.

Al ser Simulink una extensión de Matlab los datos pueden fácilmente interactuarse entre estos dos programas, Simulink es compatible con sistemas operativos como Windows, pero también existen versiones para Unix y Macintosh.

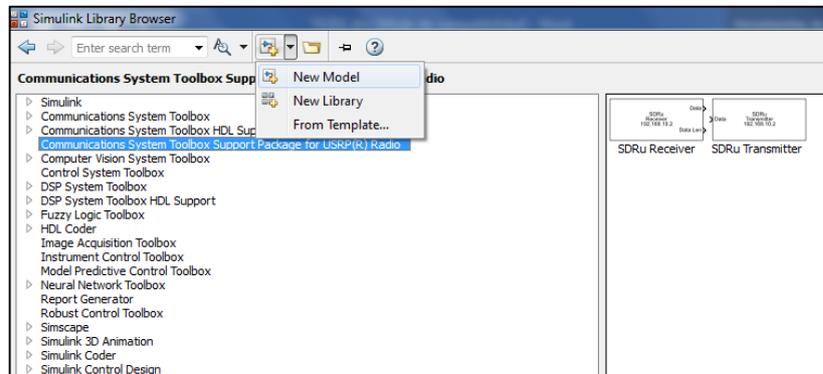


Figura 53-1: Simulink, categoría de bloques

Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

Fuente: Mathworks, 2016.

La agrupación de diferentes bloques en Simulink se le conoce como modelo y representa un sistema, estos archivos previamente creados se pueden abrir de tres maneras: Directamente desde Simulink, desde la ventana *Command Windows* de Matlab digitando el nombre del archivo, y la última opción directamente ejecutando el archivo.

Un nuevo sistema se puede crear rápidamente desde Simulink con la combinación *Ctrl-N* o desde cualquier ventana de Simulink desde la opción *Menú* y la sub-opción *Nuevo*. Los diagramas de bloques y las líneas que unen a estos son los dos principales artículos de Simulink, los bloques permiten generar funciones, visualizar señales, combinando o modificando parámetros en cambio las líneas permiten la transferencia de datos entre los diagramas de bloque, dependiendo de la dirección de la flecha será la transferencia de datos, figura 54-1.

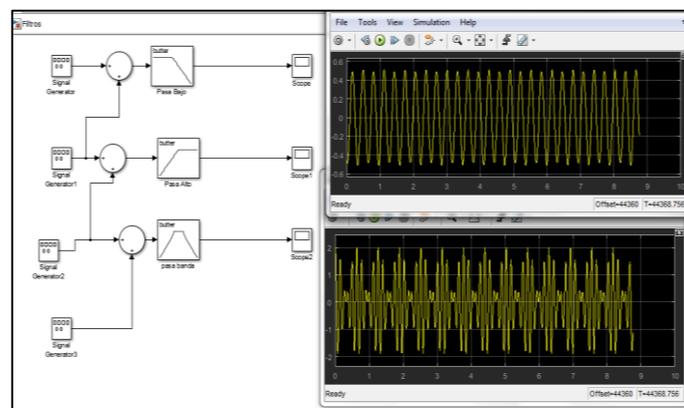


Figura 54-1: Simulink, diagrama de bloques

Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

Fuente: Mathworks, 2016.

1.7.3 Transmisor FM inalámbrico de corto alcance

Los transmisores utilizados para generar armónicos e intermodulaciones para el desarrollo de la investigación son de marca ENERGY SISTEM, con una distancia efectiva de aproximadamente 5m lo cual es ideal para generar armónicos e intermodulaciones dentro de la banda de radiodifusión FM, figura 55-1.



Figura 55-1: Transmisor FM

Fuente: <http://www.portalideal.com/tienda/categoria-producto/mp3/>

En la figura 56-1, se muestra el esquema de conexión y los elementos que conforman el transmisor FM de corto alcance.

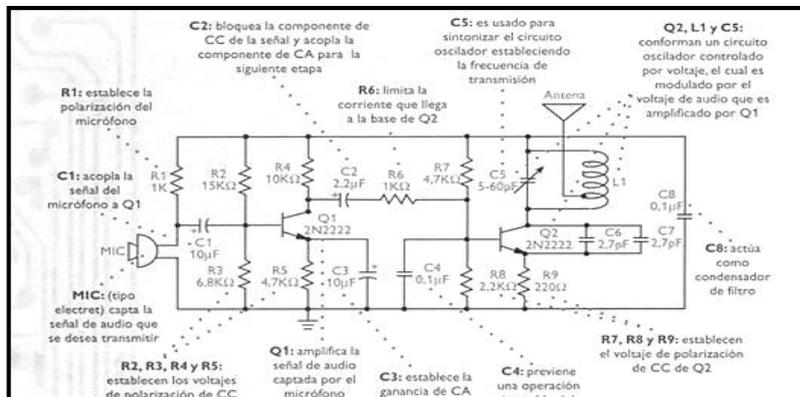


Figura 56-1: Transmisor FM estructura interna

Fuente: <http://www.forosdeelectronica.com/upload/EinSoldiatFiles/Transmisordiagrama.jpg>

Las características técnicas del transmisor de corto alcance se describen en la tabla 8-1.

Tabla 8-1: Características técnicas del transmisor FM

Nombre	Especificación
Voltaje de funcionamiento	(12v-24v) C.C
Frecuencia de transmisión	(87.5-108) MHz
Salto de frecuencia	100Khz
Lector de entradas	USB, SD, Mp3 audio In/ut
Tipo de formato	Archivos de audio .mp3
tablero	LCD indica la frecuencia y N° pista

Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

1.7.3.1 Configuración del transmisor FM de corto alcance

Para probar el funcionamiento del transmisor FM de corto alcance se requiere conocer las partes principales del transmisor ENERGY SISTEM, detallado en la figura 57-1, para la lectura de música se requiere en formato .mp3 guardado en algún lector de entradas especificado en la tabla 8-1.



Figura 57-1: Transmisor FM

Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

1. Alimentador de voltaje
2. Lector de entradas
3. Tablero LCD
4. Botón para el cambio de frecuencia
5. Botón para el cambio de música
6. Botón para iniciar/parar música

Para la generación de armónicos e intermodulaciones se requiere de dos dispositivos transmisores FM y seguir el siguiente procedimiento:

1. Alimentar del voltaje a cada dispositivo transmisor
2. Conectar al lector de entradas archivos más de una música con formato .mp3
3. Seleccionar la frecuencia por la cual va ser transmitida
4. Seleccionar la canción a transmitirse
5. Iniciar la transmisión

Cuando se inicie la transmisión con los dos dispositivos se los debe poner juntos, figura 58-1 para que de esta manera genere intermodulación, mediante el analizador de espectro Anritsu MS2724C se puede analizar la señal generada por los mismos.

Las frecuencias utilizadas en cada dispositivo transmisor se detallan en la tabla 1-2.



Figura 58-1: Transmisores FM juntos
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

1.8 MEDICIONES DE SEÑAL FM.

1.8.1 *Análisis de la situación actual de la radiodifusión FM en Riobamba*

En la provincia de Chimborazo actualmente existen 48 estaciones de radio que transmiten en Riobamba y sus alrededores, la mayoría de los transmisores están ubicados en el cerro Cacha; 12 de las radios transmiten a cantones aledaños de Riobamba utilizando la misma frecuencia, la asignación de frecuencias y la cobertura de cada estación de Radio FM, se muestra en la tabla 9-1.

Tabla 9-1: Frecuencia de transmisión de radio FM en Riobamba

NOMBRE DE LA RADIO	FR. (MHz)	LONGITUD	LATITUD	COBERTURA
RADIO PUBLICA	88,1 R	78°42'57.20"W	01°41'30.70"S	RIOBAMBA
RADIO PUBLICA	88,1 R	78°46'41.70"W	01°41'46.50"S	VILLA LA UNION
REMANENTE CELESTIAL	88,5 M	79°00'52.4"W	02°05'44.2"S	PARROQUIA MULTITUD
RECUERDOS FM	88,5 M	78°52'42.8"W	02°12'19.5"S	ALAUSI
ROMANCE 88.5 FM	88,5 R	78°42'59.4"W	01°41'31.9"S	RIOBAMBA
RUMBA STEREOFM	88,9 R	78°42'59.5"W	01°41'31.9"S	RIOBAMBA
RIOBAMBA STEREO	89,3 M	78°42'58"W	01°41'31"S	RIOBAMBA Y
RIOBAMBA STEREO	89,3 R	78°53'47"W	02°10'25"S	ALAUSI Y ALREDEDORES
FRECUENCIA LATINA	89,7 M	78°53'39"W	02°10'16"S	ALAUSI
GENIAL EXA FM	89,7 R	78°42'52"W	01°41'20"S	RIOBAMBA
SULTANA FM	90,1 M	78°42'52"W	01°41'20"S	RIOBAMBA, PENIPE, GUANO
STEREO MUNDO RDM	90,5 M	78°42'57.9"W	01°41'31.2"S	RIOBAMBA Y
CARACOL FM STEREO	91,3 R	78°42'52"W	01°41'20"S	RIOBAMBA Y
ESCUELAS RADIOFONICAS	91,7 M	78°43'01.0"W	01°41'32.9"S	RIOBAMBA
FANTASTICA 92.1 FM	92,1 M	78°42'59.73"W	01°41'31.98"S	RIOBAMBA
FANTASTICA 92.1 FM	92,1 R	78°53'46.76"W	02°10'27.98"S	ALAUSI
LA CONSENTIDA FM	92,5 R	78°42'53"W	01°41'23"S	RIOBAMBA
SISTEMA 2 FM	92,9 M	78°36'38"W	01°54'27"S	RIOBAMBA
SISTEMA 2 FM	92,9 R	78°53'39"W	02°10'16"S	ALAUSI
SUPER ESTEREO FM	93,3 M	78°42'57.52"W	01°41'31.19"S	RIOBAMBA
BONITA FM	93,7 R	78°42'52"W	01°41'20"S	RIOBAMBA
RADIO CULTURAL	94,1 R	78°35'02.50"W	01°30'32.20"S	RIOBAMBA, GUANO,
CANELA RADIO CORP 94.5	94,5 M	78°42'52"W	01°41'20"S	GUANO, RIOBAMBA
STEREO BUENAS NUEVAS	95,3 M	78°42'59.73"W	01°41'31.98"S	COLTA, RIOBAMBA
STEREO BUENAS NUEVAS	95,3 R	78°53'46.76"W	02°10'27.98"S	ALAUSI

RIO 95.7	95,7 M	78°42'58.3"W	01°41'31.1"S	RIOBAMBA
MUNDIAL FM	96,1 M	78°42'58"W	01°41'31"S	RIOBAMBA
SOL 96	96,5 M	78°42'51"W	01°41'20"S	RIOBAMBA
AMOR FM STEREO	96,9 R	78°42'58.5"W	01°41'20"S	RIOBAMBA
J.C. RADIO	97,3 R	78°42'52"W	01°41'31.6"S	RIOBAMBA
TRICOLOR FM	97,7 M	78°42'58.8"W	01°41'31.6"S	RIOBAMBA
TRICOLOR FM	97,7 R	78°53'20.9"W	02°09'35.1"S	ALAUSI, CHUNCHI
SANTO DOMINGO STEREO	98,1 M	78°55'17"W	02°17'09"S	CHUNCHI
PRIMAVERA FM	98,1 M	78°58'08"W	01°59'26"S	PALLATANGA
ALEGRIA FM	98,5 R	78°42'58"W	01°41'31"S	RIOBAMBA Y
HOLA FM	98,9 M	78°42'57.6"W	01°41'30.9"S	RIOBAMBA
PUNTUAL FM	99,7 M	78°42'58"W	01°41'39"S	RIOBAMBA
EL BUEN SEMBRADOR	100,1 M	78°45'45.3"W	01°50'30.4"S	SAN GUISEL ALTO
LA VOZ DEL VOLCAN	100,9 M	78°30'28"W	01°34'28"S	PENIPE, RIOBAMBA
TERNURA FM	101,3 M	78°42'59"W	01°41'32"S	RIOBAMBA Y
LA VOZ DE LA AIIECH	101,7 M	78°42'52"W	01°40'20"S	RIOBAMBA, VILLA LA
LA VOZ DE LA AIIECH	101,7 R	78°53'39"W	02°10'16"S	ALAUSI, CHUNCHI
LATINA FM	102,1 M	78°42'56.6"W	01°41'29.9"S	RIOBAMBA
CUMBRE FM	102,5 M	78°41'28.18"W	01°47'2.72"S	RIOBAMBA
SENSACION STEREO	102,9 M	78°40'10"W	01°56'00"S	GUAMOTE
SENSACION STEREO	102,9 R	78°42'52"W	01°41'20"S	RIOBAMBA
SONORAMA FM	103,7 R	78°42'52"W	01°41'20"S	RIOBAMBA
MARIA	104,1 R	78°42'49"W	01°41'4.8"S	RIOBAMBA
PAZ Y BIEN	104,5 R	78°42'56.6"W	01°41'30"S	RIOBAMBA
FUTURA	104,9 M	78°42'59"W	01°41'31.5"S	RIOBAMBA
LA RADIO DE LA ASAMBLEA	105,3 R	78°42'57.00"W	01°41'30.70"S	RIOBAMBA
RADIO PUBLICA	105,3 R	78°41'30.20"W	01°57'07.10"S	GUAMOTE
RADIO PUBLICA	105,3 R	78°57'03.50"W	02°01'29.90"S	PALLATANGA
RADIO PUBLICA	105,3 R	78°55'00.60"W	02°17'17.40"S	CHUNCHI
CATOLICA NACIONAL FM	105,7 M	78°43'10"W	01°42'21"S	RIOBAMBA Y
ANDINA FM	106,1 M	78°43'20.73"W	01°42'20.73"S	RIOBAMBA
ANDINA FM	106,1 R	78°53'46.76"W	02°10'27.98"S	ALAUSI
PANAMERICANA FM	106,9 R	78°42'52"W	01°41'20"S	RIOBAMBA
STEREO FAMILIAR	107,3 M	78°43'00.2"W	01°41'32.2"S	RIOBAMBA Y
STEREO FAMILIAR	107,3 R	78°53'39"W	02°10'16"S	ALAUSI

Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

Fuente: Arcotel, 2014.

1.8.1.1 Detección de problemas de señales no deseadas

Con el analizador de espectro se efectuaron mediciones en la ciudad de Riobamba desde distintas localidades de la misma, pudiendo así observar señales no deseadas que estaban presentes en la Banda FM, muchas de estas señales están adyacentes a frecuencias fundamentales que se están transmitiendo.

Se logró mejores resultados con mediciones realizadas al pie del cerro Cacha, obteniendo el espectro de las señales que estaban interfiriendo, así como la demodulación de estas señales de radio, tal como se muestra en la figura 59-1.

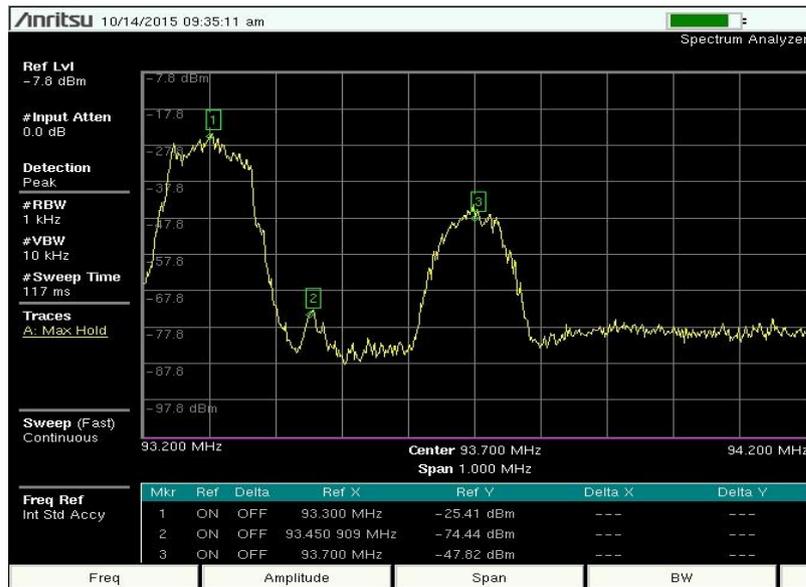


Figura 59-1: Interferencia adyacente a la frecuencia 93.3 MHz
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

Las señales interferentes halladas se demodularon para obtener audio y escuchar las estaciones de radio que se encontraban ocupando parte del ancho de banda asignado a una determinada estación radiodifusora como resultado de las intermodulaciones; suma y resta de dos o mas frecuencias, interferencias que se ilustran en la figura 60-1.



Figura 60-1: Interferencia adyacente a la frecuencia 94.5 MHz
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

Estas señales no deseadas como resultado de la intermodulación no solo aparecen en forma adyacente a las frecuencias fundamentales sino que caen en frecuencias que no están todavía asignadas a una concesionaria de radio, este es el caso de las frecuencias mostradas en la figura

61-1, 99.3MHz, en donde se puede observar parte de las señal que al demodular se puede escuchar una, dos o hasta tres estaciones de radio.



Figura 61-1: Señal no deseada en la frecuencia 99.3 MHz
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

Alguna de estas señales armónicas y de intermodulación, aparecen antes y después de la banda FM, de igual manera al demodular estas señales se pudo escuchar el audio de las emisoras de radio, como se muestra en la siguiente figura 62-1.



Figura 62-1: Señal no deseada fuera de la banda FM
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1 Introducción

En este capítulo se describe el marco metodológico que se desarrolló en el presente trabajo de titulación, se muestran aspectos principales como nivel de investigación, diseño de la investigación, población y muestra, así como sus técnicas y procedimientos en cada una de las fases con el fin de concluir los objetivos propuestos.

2.2 Nivel de investigación

De acuerdo al trabajo de titulación propuesto la investigación realizada es de Campo y Descriptivo ya que con la información obtenida se determinó los armónicos e intermodulaciones que pueden generar estaciones radiodifusoras en la Banda FM en Riobamba.

Mediante el marco metodológico de campo se podrá realizar y determinar: un diseño de investigación, sistema de variables, población y muestra, técnicas e instrumentos para recolección de datos, validación y confiabilidad.

2.2.1 *Investigación de campo*

La investigación de campo se presenta mediante la manipulación de una variable externa no comprobada, en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o porqué causas se produce una situación o acontecimiento particular (<http://investigacioneducativaparaguana.blogspot.com/2012/06/investigacion-de-campo-descriptiva.html>).

Esta investigación está sujeta al método científico mediante la cual, según el caso del trabajo, se estudia una realidad del entorno para hallar problemas y sus consecuencias. Se trata de una investigación de campo por cuanto tiene como propósito indagar los fenómenos que producen los armónicos e intermodulaciones con el fin de comprender y descubrir relaciones entre estos hechos examinados.

2.2.2 Investigación descriptiva

“... El propósito del investigador es describir situaciones y eventos. Esto es, decir cómo es y se manifiesta determinado fenómeno. Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis miden o evalúan diversos aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno o fenómenos a investigar...”
(<http://metodologadelainvestigacinsiis.blogspot.com/2011/10/tipos-de-investigacion-exploratoria.html>).

En una investigación descriptiva se realiza mediciones independientes a cada objeto de estudio, tomando en cuenta lo mismos factores en cada caso para detallar específicamente lo correspondiente a cada situación.

El proceso de describir cada situación independientemente permite obtener resultados y datos que deben conllevar a una relación entre lo casos estudiados, estos casos son definidos por el investigador tomando en cuenta a quien va dirigida la investigación y que se va a investigar.

2.2.3 Recolección de datos

Un proceso investigativo no tiene mucha validez sin una aplicación sistemática de técnicas de recolección de datos, ya que esta recolección permite conducir a la constatación del problema planteado.

2.2.3.1 Instrumento de recolección de datos

Es cualquier aparato o recurso que permite al investigador tener un acercamiento a los fenómenos y mediante esto extraer información para su posterior análisis. Este instrumento de recolección sintetiza una labor previa de investigación para la constatación del problema y resume los aportes al marco teórico al seleccionar datos que corresponden a la selección de variables o conceptos utilizados.

El equipo elegido para la recolección de datos es un instrumento ya desarrollado y disponible es el analizador de espectro Anritsu MS2724C, el cual se adapta a los requerimientos del estudio en particular.

Para la recolección de datos también se emplearon técnicas del tipo investigación documental que se define como consulta directa de fuentes documentales primarias como pueden ser

cuestionarios, revistas para extraer datos referentes al estudio de armónicos e intermodulaciones en la Banda FM.

Además, se indaga en internet para la consulta de estaciones radiodifusoras FM en Riobamba de organismos gubernamentales e internacionales como es el caso de ARCOTEL, UIT, páginas web universitarias, entre otros.

2.2.4 *Diseño del algoritmo*

2.2.4.1 *Introducción*

El algoritmo permite obtener una lista de combinación de frecuencias que pueden formar una intermodulación en una determinada frecuencia, existen cinco opciones de tablas en la que se muestra las frecuencias conjuntamente con las estaciones de radio a las que pertenecen.

Por otro lado, se tiene un panel en el que se puede observar el espectro que forman las señales ya sean armónicos, intermodulaciones o frecuencias fundamentales, y finalmente como las ondas que se tratan son sonoras, existe la opción de demodular la señal y escuchar el audio.

2.2.4.2 *Dispositivo para procesamiento de Señal*

El procesamiento de señal hace referencia a tomar variables físicas y transformarlas con el objetivo de obtener un producto que puede ser analizado. En el mercado existe una variedad de hardware especializados para este fin, sin embargo, son equipos de alto costo por la función que cumplen.

Como complementación de la aplicación se requiere de un dispositivo que permita procesar señales en tiempo real para poder detectar armónicos y/o intermodulaciones que se generan en la banda de radiodifusión FM. La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo cuenta con un Software Periférico Universal de Radio USRP el cual puede ser usado para obtener las señales requeridas, la misma que facilitó el dispositivo para el desarrollo del presente trabajo.

Las tarjetas USRP son transceptores que poseen una amplia gama de frecuencia de trabajo por lo que pueden ser utilizados para el análisis de señales en distintas bandas, además tienen la comodidad de poder ser programadas desde un PC que posee el software para la integración con la tarjeta, estas características hacen que la tarjeta USRP sea adoptada para la elaboración del trabajo de titulación.

2.2.4.3 Selección de software

El desarrollo de la aplicación de predicción de armónicos e intermodulaciones en la Banda FM presentó requerimientos específicos que pocos softwares pueden prestar entre ellos tenemos los siguientes:

- Lenguaje de Programación de alto nivel, el lenguaje de programación es una característica a tomar en cuenta debido a la necesidad de obtener un algoritmo con facilidad de programación y por ende permitir una rápida solución de problemas, originando así un código sencillo y adaptable.
- Entorno Gráfico, se tiene el propósito de presentar al usuario una interfaz gráfica amigable, que permita la utilización del programa de una manera simple, además de tener visualización de paneles fáciles de interpretar.
- Herramientas de apoyo, una amplia variedad de herramientas puede ayudar a simplificar un trabajo, debido a que ofrecen servicios o apoyan las tareas que se requieren en la programación, obteniendo resultados de forma más rápida y concisa.
- Integración con USRP B210, parte del trabajo a realizarse es la obtención de datos y señales del espectro radioeléctrico, que serán recolectados con el hardware USRP B210, para ello es necesaria una plataforma en la que se pueda controlar el dispositivo.

En base a las características recientemente descritas se eligió el software Matlab por tener un entorno adecuado a los requerimientos de la investigación, además por contener la extensión Simulink el cual es el único programa que permite que las tarjetas USRP B210 funcionen bajo la plataforma Windows.

2.2.5 Desarrollo

La aplicación consta de un algoritmo principal (algoritmo.fig) y cuatro archivos secundarios: ANALIZADOR_ESPECTRO_FM.mdl DEMODULADOR_AUDIO_FM.mdl, datosespectro.m, algoritmos.m, que complementan la aplicación para la predicción de armónicos e intermodulaciones. Cada uno de estos archivos se ejecutan dependiendo de la acción de los botones del entorno gráfico.

- El archivo algoritmo.fig cuyo contenido se visualiza en el anexo A, es el archivo principal en el cual se basa todo el entorno gráfico de la aplicación.
- El archivo datosespectro.m anexo B permite coger los datos del bloque de Simulink ANALIZADOR_ESPECTRO_FM.mdl para ponerlos en vector y mediante variables pasar al código .m y posteriormente ser ejecutado desde la aplicación desde el botón Graficar USRP B210.
- El archivo algoritmos.m anexo C, permite abrir una nueva ventana en la aplicación, esta ventana se ejecuta cuando se pulsa el botón aproximación, el algoritmo hace una aproximación de 50KHz a las respuestas generadas dentro de las matrices del algoritmo principal.

2.2.5.1 Analizador de espectro FM

El archivo ANALIZADOR_ESPECTRO_FM.mdl en la figura 1-2, permite coger la señal de radiofrecuencia FM a un ancho de banda de 1 MHz en tiempo real y mediante variables almacena datos lo que permite pasar a la aplicación principal para graficar dentro del entorno.

Contiene un bloque analizador de espectro que permite visualizar la señal en tiempo real con parámetros similares al analizador de espectro Anritsu MS2724C, este archivo contiene 13 bloques los mismos que tiene configuración de diferentes campos para su funcionamiento.

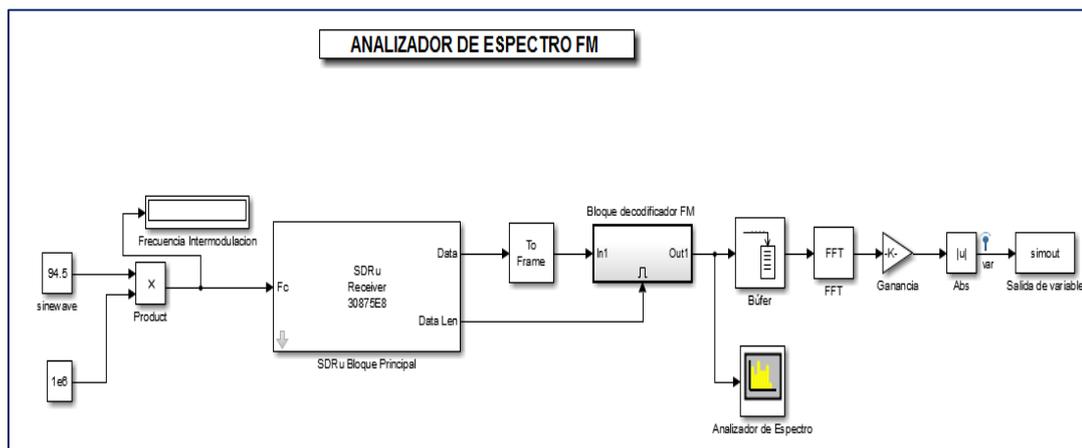


Figura 1-2: Diagrama de bloques del analizador de espectro FM

Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

Fuente: Simulink, 2016.

El bloque *sinewave* es una variable que es controlada directamente desde la aplicación de predicción de armónicos e intermodulaciones y su función es obtener valores ingresados por el

usuario para multiplicarlos por otra constante y transformar a MHz, la configuración de sus parámetros se describe en la figura 2-2.

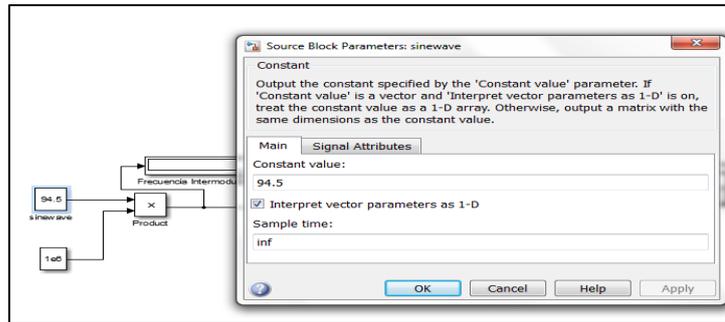


Figura 2-2: Bloque sinewave, analizador de espectro FM
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.
Fuente: Simulink, 2016.

La figura 3-2, es un bloque de una constante en el orden de los MHz que se multiplica con el bloque *sinewave* ingresados por el usuario.

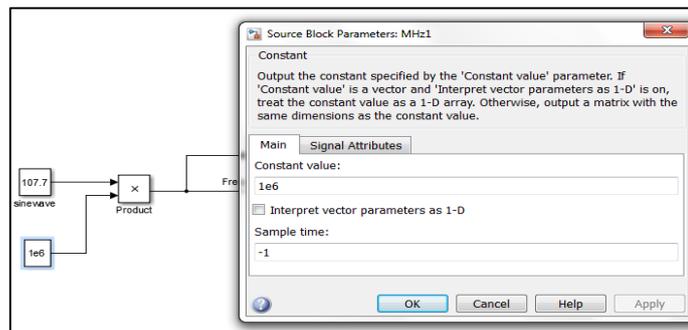


Figura 3-2: Constante del analizador de espectro FM
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.
Fuente: Simulink, 2016.

El diagrama de bloque Frecuencia de Intermodulación permite visualizar la frecuencia de FM transformada por la multiplicación de los bloques *sinewave* y *constante*, figura 4-2.

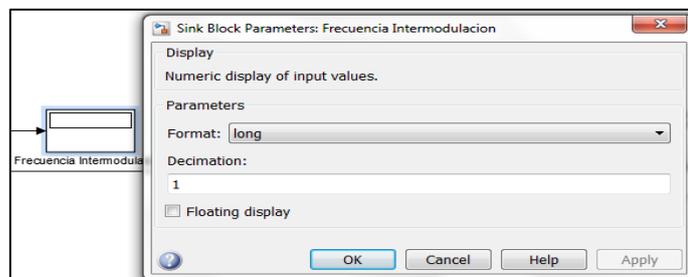


Figura 4-2: Frecuencia de intermodulación del analizador
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.
Fuente: Simulink, 2016.

El bloque *SDRu Receiver* mostrado en la figura 5-2, es el bloque principal de Simulink el cual permite comunicarse con la tarjeta USRP B210, los parámetros configurados incluyen:

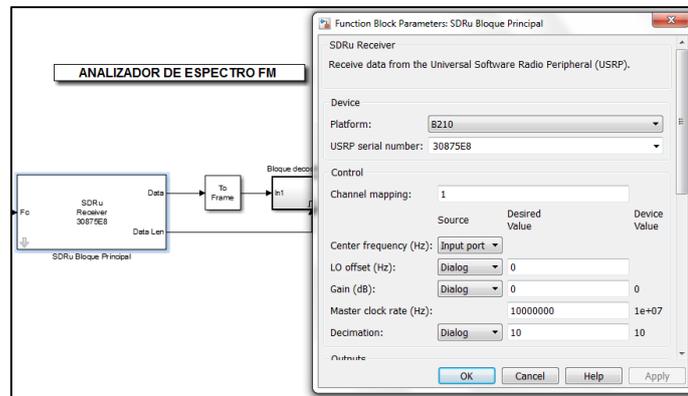


Figura 5-2: Bloque SDRu del analizador de espectro FM

Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

Fuente: Simulink, 2016.

- Platform: contiene las sub-opciones B200, B210, N200/N210/USRP2, X300, X310.
 - N200/N210/USRP2 y B200 soportan solamente un canal por el cual se puede recibir datos mediante el bloque receptor SDRu el cual emite una señal de vector de longitud fija.
 - B210, X300, X310 estas versiones soportan dos canales para recibir y transmitir datos mediante el bloque SDRu se emite una señal de matriz con un canal de datos de longitud fija.

- USRP serial number: es el número de serie de la tarjeta USRP B210 este número de serie se detecta automáticamente una vez conectada la tarjeta al ordenador.

- Channel mapping: es la asignación de los canales
 - Si está en uso un canal (SISO)
 - Si está en uso el canal dos (SISO)
 - Si está en uso el canal uno y dos [1 2] (MIMO)

- Center frequency (Hz): Es la frecuencia central que ingresa al bloque USRP, contiene las sub-opciones *Dialog*, *Input port*.
 - Dialog: permite ingresar una constante directamente desde el mismo bloque.
 - Input port: permite el ingreso de una única variable mediante un puerto de entrada al bloque.

Cuando se utiliza un solo canal el valor de la frecuencia central debe ser un escalar por ejemplo 50e6 en el caso de utilizar varios canales con diferentes frecuencias centrales se debe poner como un vector ejemplo [50e6 90e6] cada frecuencia corresponde a un canal de trabajo, en el caso de la tarjeta USRP B210 utilizando MIMO el valor debe ser un escalar.

- LO offset (Hz): es un leve desplazamiento de frecuencia RF para reducir interferencia o armónicos producidas por la tarjeta USRP B210, este valor no afecta a la frecuencia central recibida, el valor cuando se utiliza un solo canal debe ser un escalar ejemplo 1, en el caso de utilizar MIMO la LO debe ser siempre cero esto se debe a una limitación del UHD y se debe poner en forma de un vector ejemplo [0 0].
- Gain (dB): es la ganancia de la tarjeta USRP B210 esta ganancia tiene variación si es un bloque para transmisión, la ganancia máxima es 89,5dB y para recepción 73dB, para un solo canal la ganancia debe ser un escalar y para múltiples canales el valor debe ser de tipo vector, donde cada valor corresponde a un canal.
- Master clock rate (Hz): existen dos relojes: interno y externo, la velocidad corresponde tanto a A/D como a D/C, los valores válidos para el reloj son:
 - Para series B200 y B210 el rango correspondido esta entre 5e6 y 56e6, al utilizar múltiples canales el valor siempre deber ser superior a 30,72MHz debido a una limitación del Hardware de la tarjeta.
 - N200 / N210 / USRP2 el valor 1e + 08, no se puede cambiar esta cantidad.
 - X300 y X310 los valores: 120e6, 184.32e6, o 200e6.
- Decimation: es un valor para convertir la señal a banda de frecuencia intermedia (FI) la configuración corresponde a los siguientes valores:
 - 1 -3 para series B y X.
 - 4-256
 - 256-512 en este rango los valores deben ser divisibles para 4.
 - 512-1024 solo para series X300 y X310 los valores deben ser divisibles para 8.
- Sample time: especifica el tiempo de muestra en tiempo real se calcula mediante la ecuación (2-2)
 - Mater clock rate: 100000000Hz
 - Decimation 10
 - Data= 1000000

$$\text{data} = \frac{\text{Master Clock Rate}}{\text{Decimation}}$$

$$\text{Sample Time} = \frac{1}{\text{data}}$$

- **Frame length:** es la longitud de la trama de la señal a la salida del bloque USRP B210 el valor por defecto es 362, pero puede ser variable acorde al requerimiento. Los valores para los campos se muestran en la figura 6-2.

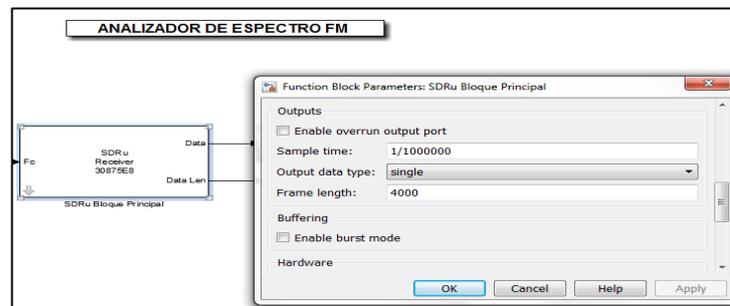


Figura 6-2: Bloque SDRu, sample time

Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.
Fuente: Simulink, 2016.

En el bloque *To Frame* se determina el muestreo conjunto de la señal de salida, los parámetros configurados están por defectos en la figura 7-2.

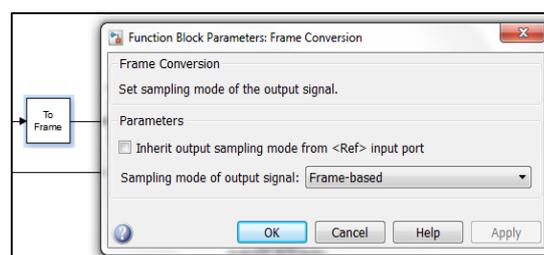


Figura 7-2: Bloque Frame del Analizador

Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.
Fuente: Simulink, 2016.

El bloque *búfer* almacena temporalmente pequeñas tramas de datos para luego enviarlos al bloque siguiente, el parámetro de configuración para este bloque está en 2000, los demás campos están consideradas con valor 0, figura 8-2.

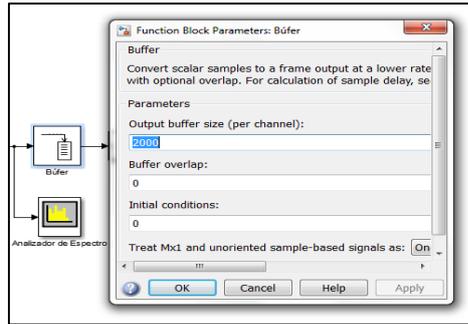


Figura 8-2: Bloque Búfer del analizador
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.
Fuente: Simulink, 2016.

“...Una de las razones por las que el análisis en Fourier es de amplia importancia en el procesamiento digital de señales, es debido a la existencia de un algoritmo eficiente para calcular la DFT. Este algoritmo se le denomina como la Transformada Rápida de Fourier (FFT). La FFT elimina información redundante que existe en la DFT, ya que esta explota las propiedades de periodicidad y simetría del factor de fase...” (Fernández, J. 2007 p. 34).

En el bloque FFT los parámetros están por defecto configurados por Simulink, figura 9-2.

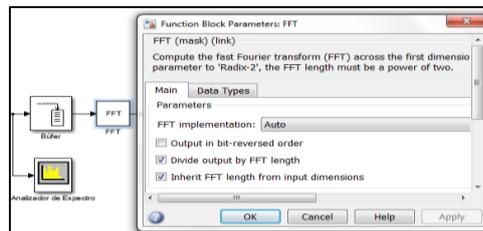


Figura 9-2: Bloque FFT del analizador
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.
Fuente: Simulink, 2016.

El *analizador de espectro* es un bloque de Simulink que permite obtener las señales generadas en el propio entorno Simulink o de ambientes externos de radiofrecuencia, este bloque toma como entrada señales discretos y los transforma en gráficos visualizando el espectro de frecuencia de entrada, la configuración se muestra en la figura 10-2.

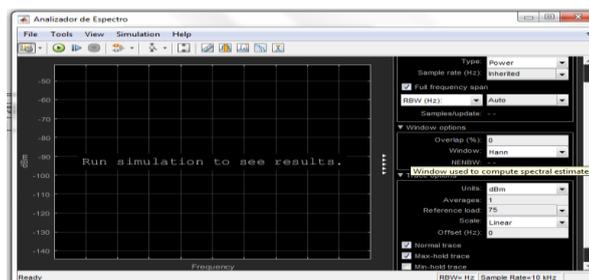


Figura 10-2: Bloque del analizador de espectro FM
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.
Fuente: Simulink, 2016.

El bloque de *ganancia* está configurado en función de la frecuencia de muestreo para el ejemplo esta con un valor de $1/1e6$, figura 11-2.

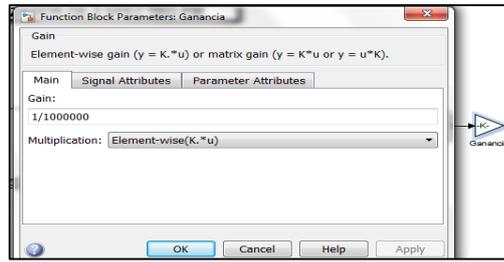


Figura 11-2: Bloque Ganancia del analizador
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.
Fuente: Simulink, 2016.

El bloque de *Abs* emite el valor absoluto de la entrada para los tipos de datos entero con signo, el valor absoluto del valor más negativo no es representable por el tipo de datos (<http://www.mathworks.com/help/simulink/sref/abs.html>), convirtiéndolo en parte positiva figura 12-2.

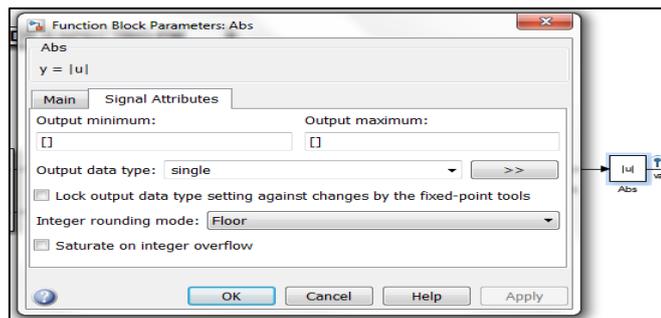


Figura 12-2: Bloque Abs del analizador de espectro FM
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.
Fuente: Simulink, 2016.

Para capturar los datos en tiempo real procesados por la tarjeta USRP B210 se añadió un *signal port* con el nombre *var*, con límite de puntos de 1000, *decimation 2* y *sample time -1*, esta variable permitirá almacenar datos para posteriormente utilizarlos dentro de la aplicación, figura 13-2.

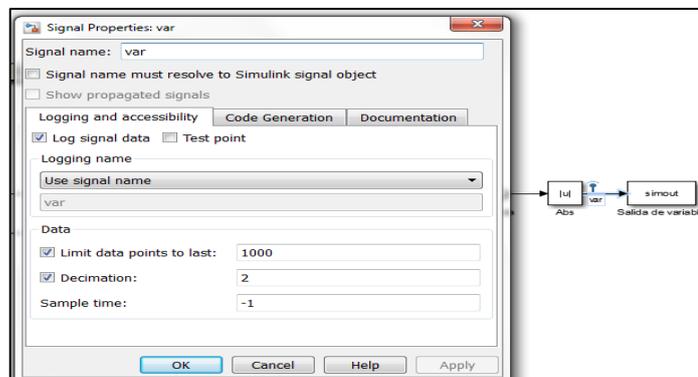


Figura 13-2: Bloque var del analizador
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.
Fuente: Simulink, 2016.

2.2.5.2 Demodulador de Audio

En el archivo DEMODULADOR_AUDIO_FM.mdl existen siete diagramas de bloque principales, figura 14-2, mediante los cuales se podrá demodular el audio de la frecuencia ingresada en la aplicación para predicción de armónicos e intermodulaciones, los bloques *sinewave*, *produc*, *1e6*, *frecuencia Intermodulación*, *To Frame* y el *bloque decodificador FM* que contiene un sub-sistema con cuatro bloques secundarios que permitirán demodular y filtrar la señal en dependencia de la frecuencia del bloque *sinewave*.

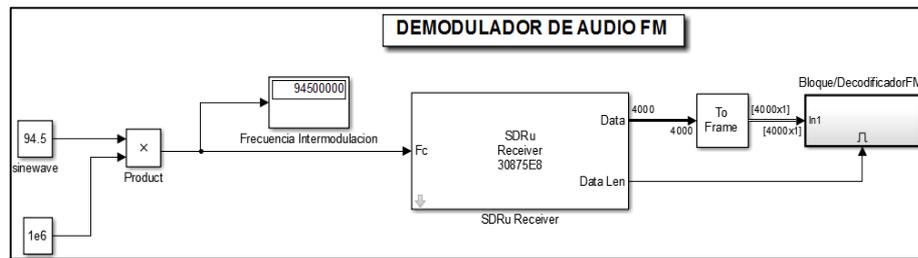


Figura 14-2: Diagrama de bloques Demodulador de Audio FM

Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

Fuente: Simulink, 2016.

Para configurar algunos parámetros dentro de los bloques se creó variables con el fin de facilitar el manejo de números, estas variables están creadas mediante la opción *Model Explorer*, figura 15-2.

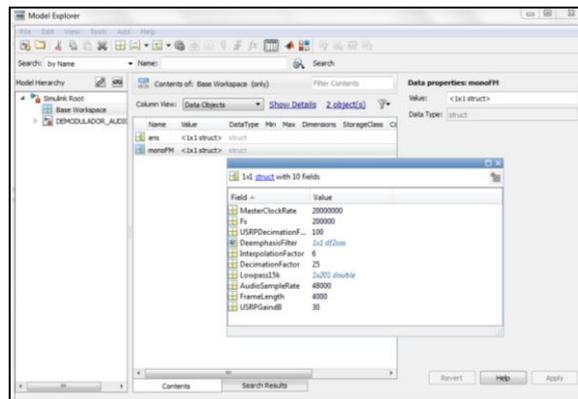


Figura 15-2: Variables del Demodulador de Audio

Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

Fuente: Simulink, 2016.

Para la utilización de variables se las debe escribir con el nombre exacto respetando mayúsculas y minúsculas anteponiendo el nombre principal que agrupa las variables seguido del nombre de la variable, ejemplo *monoFM.Fs*, en la figura 16-2 se muestra la utilización de las variables *Fs* y *FrameLength*., acorde a la figura 15-2 se puede ver los valores.

Los parámetros *Gain*, *Master clock rate* y *simple time*, contienen valores diferentes al archivo ANALIZADOR_ESPECTRO_FM.mdl debido a que en este archivo se utiliza el bloque decodificador FM y este contiene bloques secundarios, los cuales requieren valores más altos en *master clock rate* y *decimation* además de un *Sample time* más bajo. Utilizando la ecuación (14-2), se tiene:

- Mater clock rate: 20000000Hz
- Decimation: 100
- Data: 200000

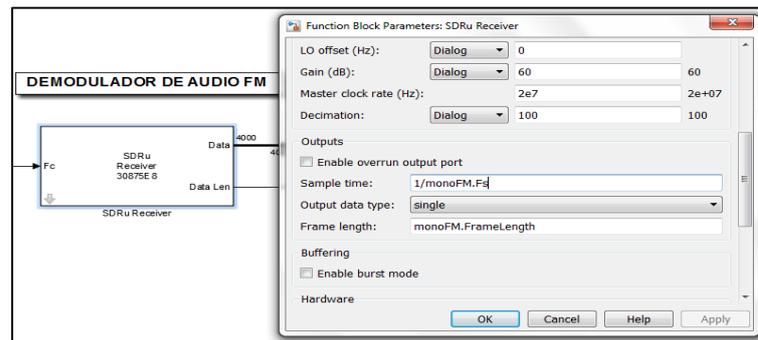


Figura 16-2: Bloque SDRu del demodulador de audio
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.
Fuente: Simulink, 2016.

El *Bloque decodificador FM* está compuesto por cuatro bloques secundarios, un demodulador FM, filtro, convertidor de frecuencia y dispositivo de audio, figura 17-2.

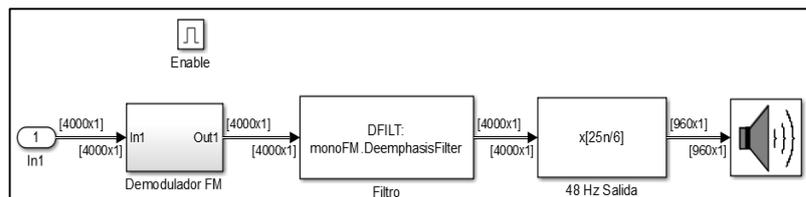


Figura 17-2: Diagrama de bloques, Decodificador FM
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.
Fuente: Simulink, 2016.

Dentro del bloque *Demodulador FM* existen cuatro bloques secundarios: *Delay*, *Math Function*, *Product* y *angle*, figura 18-2.

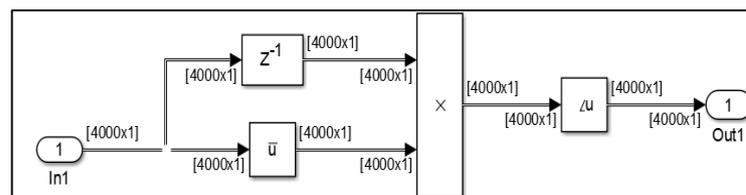


Figura 18-2: Diagrama de bloques, Demodulador FM
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.
Fuente: Simulink, 2016.

El bloque *Delay* permite un retardo de la señal de entrada por un número determinado de muestras, la configuración de los parámetros para este bloque se observa en la figura 19-2.

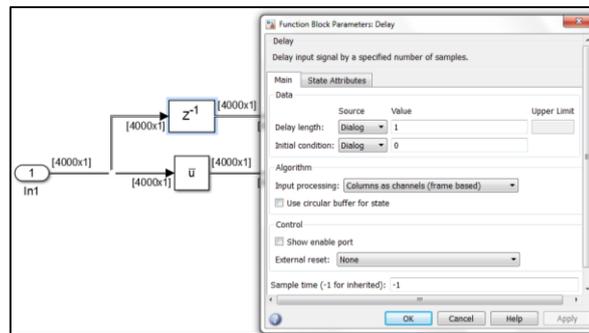


Figura 19-2: Bloque Demodulador FM, Delay
Fuente: Realizado por: Marlid I., Gaibor G. Edwin I., Jami Ch.

El bloque *Math* permite utilizar diferentes módulos de funciones logarítmicas, exponenciales de potencias, etc., para el bloque se configuró la función *conj* con datos de salida automáticos, figura 20-2.

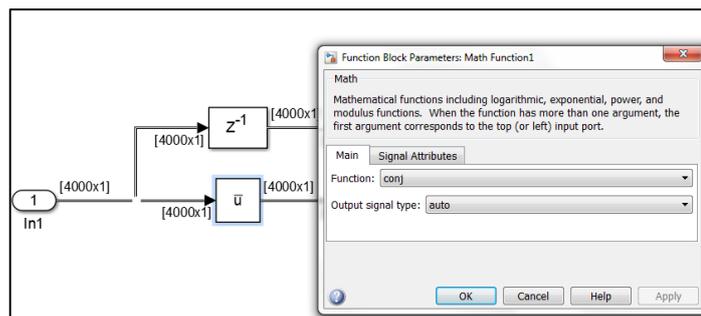


Figura 20-2: Bloque Demodulador FM, Math
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.
Fuente: Simulink, 2016.

El bloque *Product* multiplica las entradas del bloque *Math* y la función *Delay*, se configuró con dos entradas, figura 21-2.

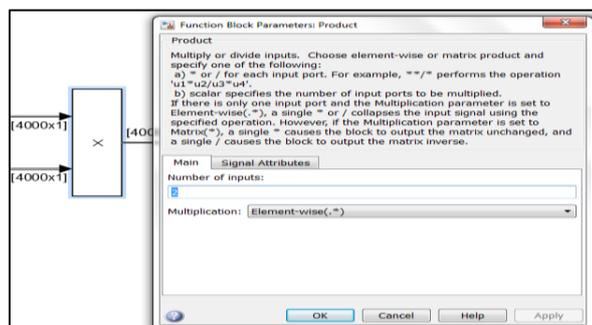


Figura 21-2: Bloque Demodulador FM, Product
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.
Fuente: Simulink, 2016.

El bloque *Complex to Amplitude-Angle* permite pasar del complejo a amplitudes angulares calculando el ángulo de fase en radianes de la entrada, el parámetro es: *Angle*, figura 22-2.

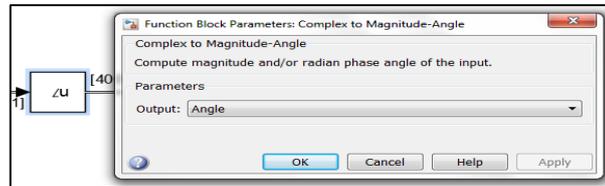


Figura 22-2: Bloque Demodulador FM, Complex
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.
Fuente: Simulink, 2016.

El bloque *filtro* es un filtro digital que permite operar sobre señales discretas o cuantizadas, dependiendo de la señal de entrada en tiempo y amplitud, ofrece tres maneras de configuración seleccionando un canal de entrada en función de la frecuencia, para el caso se seleccionó *Discrete-time filter object (DFILT)* y en el parámetro *Filter* la variable *DeemphasisFilter*, figura 23-2.

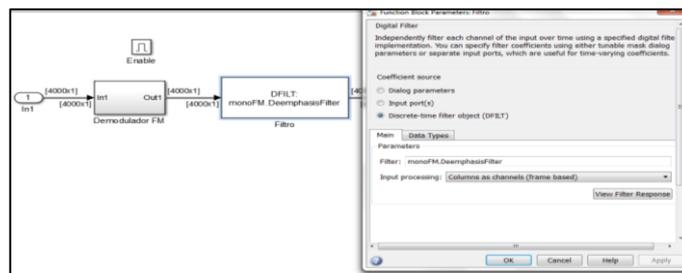


Figura 23-2: Bloque Filtro del Demodulador de Audio FM
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.
Fuente: Simulink, 2016.

En relación al bloque anterior del filtro con el tipo de respuesta ante la entrada unitaria se seleccionó el bloque *FIR Rate Conversion (Finite Impulse Response)*, este bloque contiene tres maneras de configuración *dialog parameters*, *Filter Object* y *Auto*, los parámetros configurados contienen campos que están llamados mediante variables, figura 24-2.

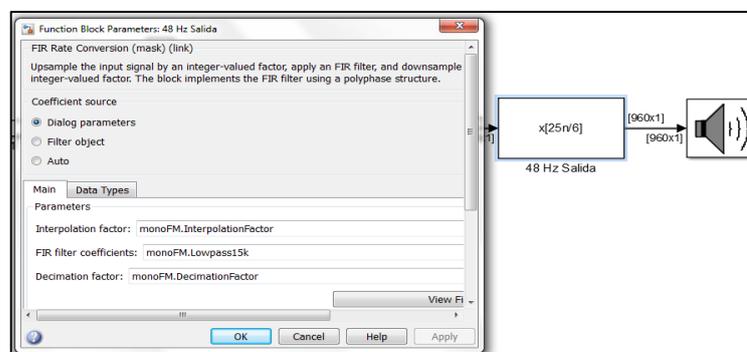


Figura 24-2: Bloque 48Hz Salida del demodulador de audio FM
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.
Fuente: Simulink, 2016.

El bloque *Audio Device* es un dispositivo de audio que envía datos al computador para poderlo escuchar el parámetro configurado esta por defecto de Simulink, figura 25-2.

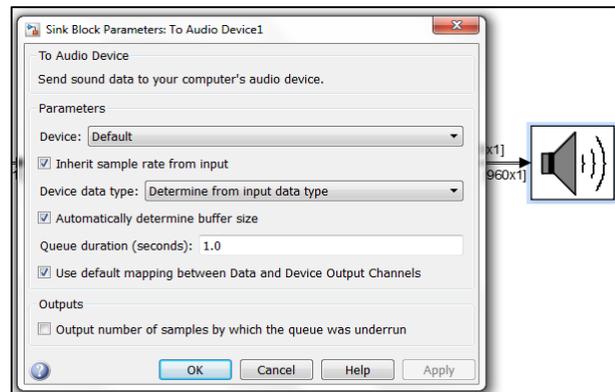


Figura 25-2: Bloque Audio Device del demodulador
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.
Fuente: Simulink, 2016.

2.2.6 *Funcionamiento General*

El proceso general que sigue el software para hallar armónicos e intermodulaciones en FM puede verse en la figura 26-2, en donde en primera instancia se requiere de una frecuencia de intermodulación que posteriormente es comparada con las matrices de intermodulaciones que genera el programa a partir de la base de datos de las estaciones de radio en la ciudad de Riobamba y las frecuencias libres.

Si la intermodulación existe se construyen las tablas que muestran todas las posibles combinaciones de frecuencias que generarían la intermodulación, indicando el nombre de la estación a la que pertenecen o en caso contrario mostrando las siglas NA que quieren decir No Asignada.

En la aplicación se establece un proceso alterno para el que es necesario tener conectado la tarjeta USRP B210 y cargados los archivos correspondientes explicados en la sección aplicación para la predicción de Armónicos e Intermodulaciones en FM.

Posteriormente se ingresa una frecuencia de la señal ya sea armónico, de intermodulación o fundamental para que pueda ser vista o escuchada. Si se requiere obtener el espectro de la señal la tarjeta USRP recogerá los datos del espectro radioeléctrico y mostrará la señal tanto en el analizador de espectro de Simulink como en la ventana de la aplicación.

Si en cambio lo que se requiere es escuchar el audio, el programa demodulará la señal para que sea advertida desde la PC.

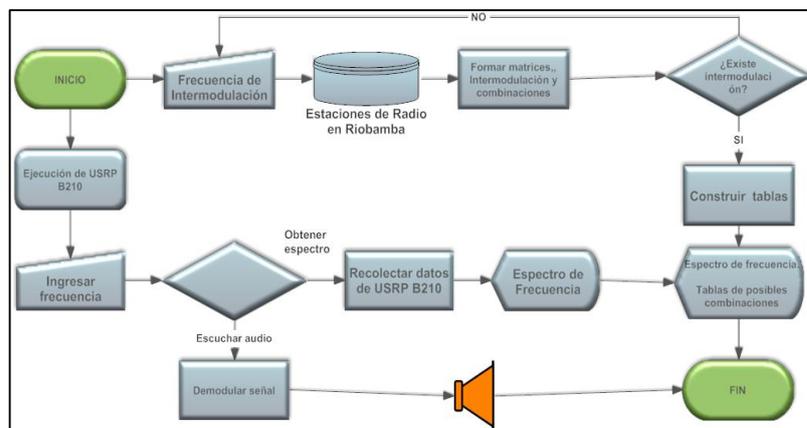


Figura 26-2: Funcionamiento general de la aplicación
 Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

2.2.7 Aplicación para la predicción de armónicos e intermodulaciones en FM

La aplicación para la predicción de armónicos e intermodulaciones en FM cuenta con tres secciones: armónicos e intermodulaciones en FM, espectro de intermodulación y posibles combinaciones como se muestra en la figura 27-2.

- Armónicos e Intermodulaciones en FM: está compuesta por tres paneles; dos para controlar los bloques de Simulink y el otro para el cálculo mediante el algoritmo en Matlab.
 - Simulink-USRP B210 analizador: permite cargar y controlar el archivo ANALIZADOR ESPECTRO_FM.mdl para ello cuenta con 5 pushbuttons: Buscar, Eliminar, Ingreso de frecuencia, Cargar mdl, Iniciar y dos static text para visualizar.
 - Simulink-USRP B210 Audio: permite cargar y controlar el archivo DEMODULADOR AUDIO FM.mdl para ello cuenta con 4 pushbuttons: Buscar, Eliminar, Cargar mdl, Iniciar y un static text para visualizar.
 - Matlab Algoritmo: genera el cálculo de armónicos e intermodulaciones se compone de 4 pushbuttons: Ingreso Frecuencia, Seleccione, Aproximación, Graficar USRP B210, un static text: para ingresar y visualizar la frecuencia y un pop-up: para seleccionar el orden y la combinación de la intermodulación.
- Espectro de Intermodulación: permite la visualización de los datos obtenidos del archivo ANALIZADOR ESPECTRO FM.mdl cuenta con un axes para la visualización de los armónicos e intermodulaciones.

- Posibles combinaciones: contiene varias filas numeradas en forma ascendente y 6 columnas con Estación y Fr(MHz), la estación visualiza el nombre de la radio y Fr(MHz) visualiza la frecuencia de la estación de radio, estas filas y columnas se activan de acuerdo al cálculo generado por el algoritmo de Matlab y al orden y combinación de la intermodulación seleccionado en el botón pop-up.

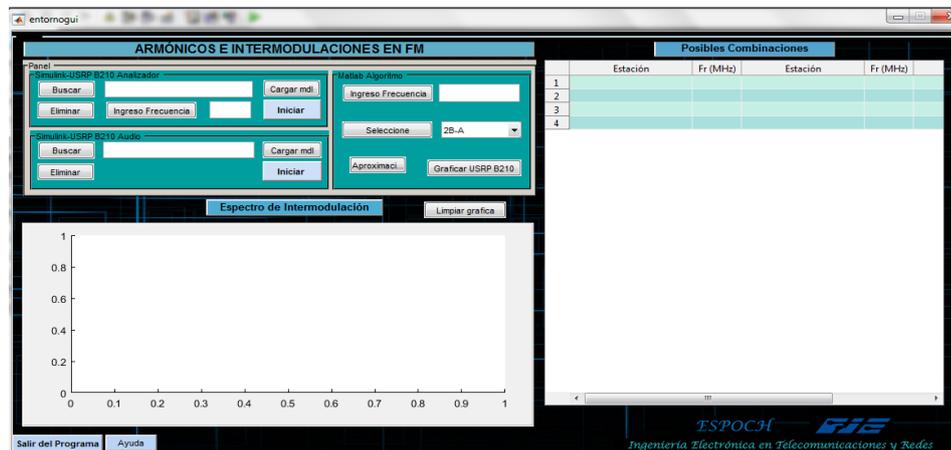


Figura 27-2: Aplicación para la predicción de armónicos e intermodulaciones en FM
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

Para cargar el archivo ANALIZADOR ESPECTRO FM.mdl dentro del panel Simulink USRP B210, figura 28-2, requiere de los siguientes pasos:

- *Buscar*, este botón permite buscar en un path de direcciones del archivo.mdl
- Seleccionar archivo a ser cargado
- *Cargar mdl*
- Ingresar una frecuencia para intermodulación
- *Iniciar*
- El botón *eliminar* sirve para eliminar el archivo en caso de que no sea el correcto

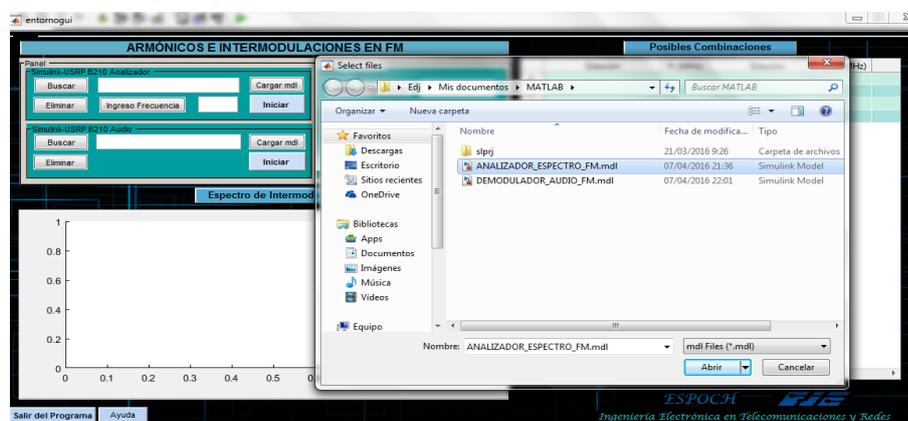


Figura 28-2: Armónicos e Intermodulaciones en FM, cargar archivo Analizador
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

Para cargar el archivo DEMODULADOR AUDIO FM.mdl dentro del panel Simulink USRP B210 figura 29-2 requiere de los siguientes pasos:

Buscar, este botón permite buscar en un path de direcciones del archivo.mdl

Seleccionar archivo a ser cargado

Cargar mdl

Ingresar una frecuencia para intermodulación en la casilla del Analizador

Iniciar

El botón *eliminar* sirve para eliminar el archivo en caso de que no sea el correcto

Nota: los archivos ANALIZADOR ESPECTRO FM y DEMODULADOR AUDIO FM funcionan independientemente, por lo tanto, solo se puede correr un programa a la vez mas no los dos juntos, esto se debe a que el bloque *SDRu receiver* de cada archivo busca el número de serie de la tarjeta por lo que puede estar en uso solamente uno, sin embargo, si no se dispone de las tarjetas USRP B210 y solo requiere calcular posibles combinaciones no es necesario cargar los archivos.

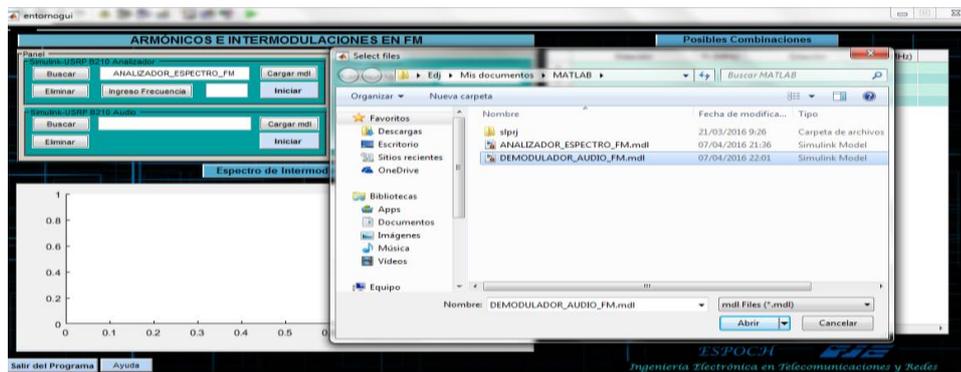


Figura 29-2: Armónicos e Intermodulaciones en FM, cargar archivo Demodulador
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

Una vez cargado los dos archivos ingresamos la frecuencia de intermodulación en el panel *Matlab Algoritmo* y seleccione una de las posibles combinaciones de los armónicos como se muestra en la figura 30-2, figura 31-2, figura 32-2, figura 33-2 y figura 34-2 el programa cuenta con las siguientes combinaciones donde los coeficientes representan el orden del armónico y las letras representan orden descendente de la estación radiodifusora ejemplo.

Tabla 1-2: Combinaciones y generación de resultados

Combinación	Fr(MHz)	Fr(MHz)	Fr(MHz)	Resultado
2B-A	100.7	94.9		$2(100.7) - (94.9) = 106.5$
3C-2B	94.5	88.5		$3(94.5) - 2(88.5) = 106.5$
4D-3C	94.5	90.5		$4(94.5) - 3(90.5) = 106.5$
4D-2B-A	104.5	107.9	95.7	$4(104.5) - 2(107.9) - (95.7) = 106.5$
A+B-C	101.3	93.3	88.1	$(101.3) + (93.3) - (88.1) = 106.5$

Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

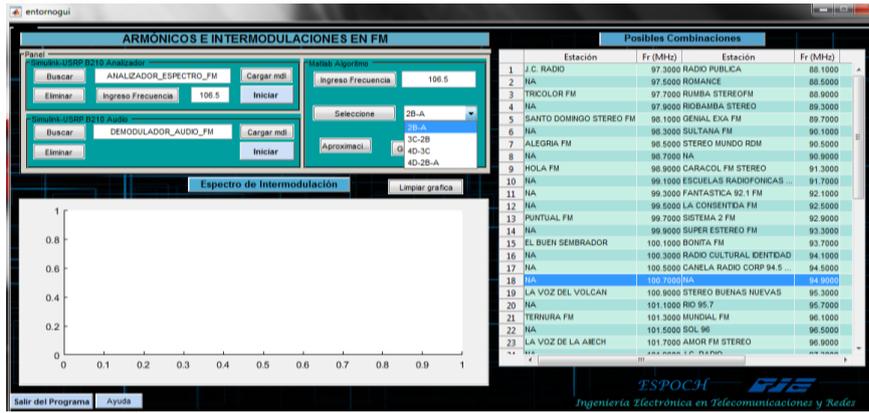


Figura 30-2: Armónicos e Intermodulaciones en FM, opción 2B-A
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

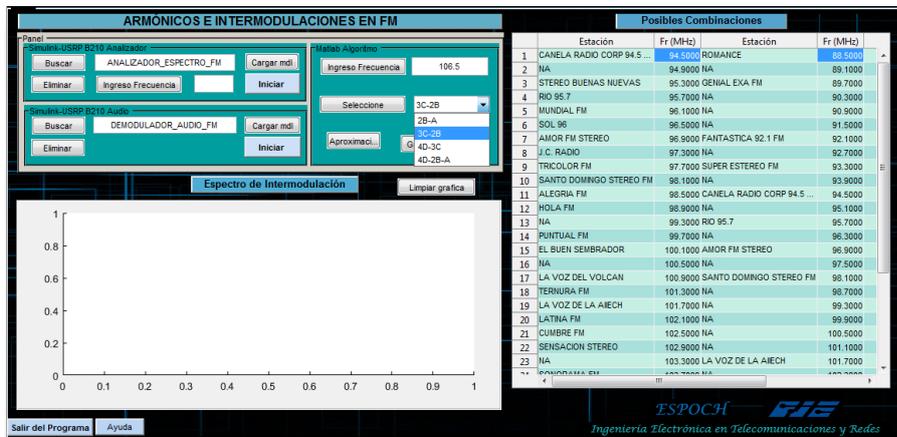


Figura 31-2: Armónicos e Intermodulaciones en FM, opción 3B-C
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

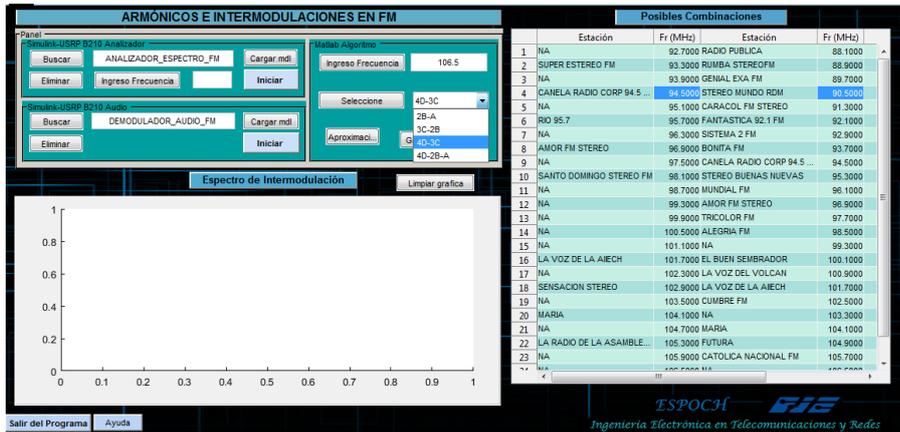


Figura 32-2: Armónicos e Intermodulaciones en FM, opción 4D-3C
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

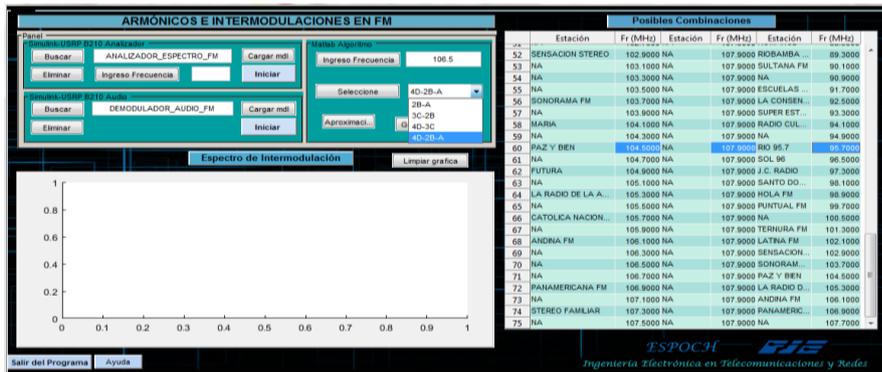


Figura 33-2: Armónicos e Intermodulaciones en FM, opción 4D-2B-A
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

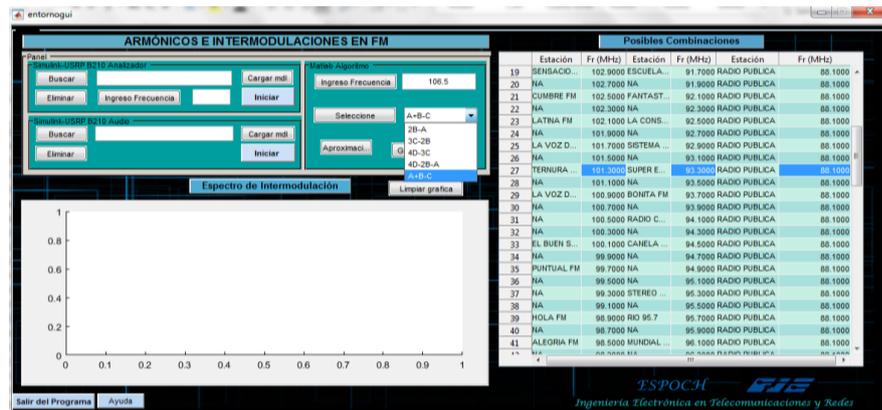


Figura 34-2: Armónicos e Intermodulaciones en FM, opción A+B-C
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

Si se requiere obtener datos de la intermodulación generada por bloques de Simulink es necesario parar la simulación del analizador de datos para posteriormente a esto pulsar el botón *Graficar USRP B210*. Es recomendable cada vez que se vaya a graficar pulsar el botón limpiar gráfica de esta manera se elimina el almacenamiento de los datos de la última gráfica figura 35-2, la aplicación muestra una escala en el eje de las y de -160dBm mas a bajo de la escala real y el eje las x una escala de 0 a 200 esto se debe a que Matlab genera automáticamente la escala para graficar.

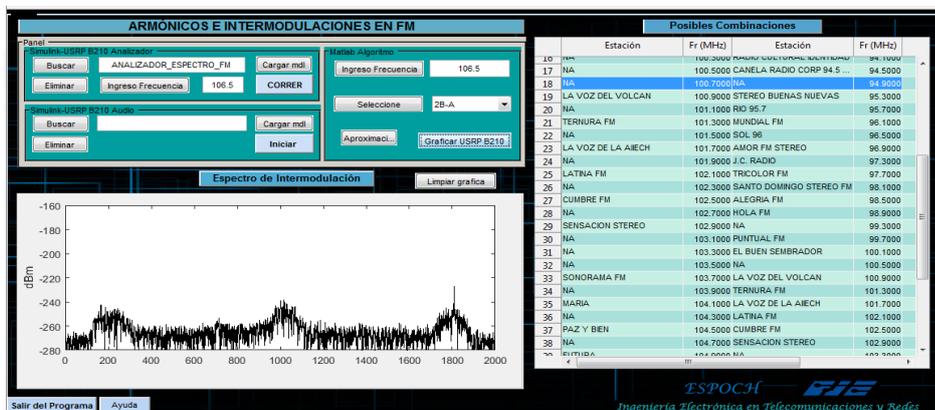


Figura 35-2: Armónicos e Intermodulaciones en FM, algoritmo
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

Hay algunas intermodulaciones que no son exactas o que no existen para las intermodulaciones que no son exactas se hizo una aproximación de 50khz a las respuestas dando como resultando pequeñas variaciones, para ver estos valores se debe pulsar en el botón *Aproximaciones*, figura 36-2.

La pantalla dos de la aplicación muestra los valores que se aproximado dentro de los 50Khz además cuenta con calculadora en la parte izquierda del programa.

	Estación	Fr MHz	Estación	Fr MHz	Fr MHz	Fr MHz	Fr MHz	Fr MHz
1	SOL 96	96.5000 NA		88.3000	96.5000	88.2500	96.5250	88.3000
2	NA	96.7000 NA		88.7000	96.7000	88.6500	96.7250	88.7000
3	AMOR FM STEREO	96.9000 NA		89.1000	96.9000	89.0500	96.9250	89.1000
4	NA	97.1000 NA		89.5000	97.1000	89.4500	97.1250	89.5000
5	J.C. RADIO	97.3000 NA		89.9000	97.3000	89.8500	97.3250	89.9000
6	NA	97.5000 NA		90.3000	97.5000	90.2500	97.5250	90.3000
7	TRICOLOR FM	97.7000 NA		90.7000	97.7000	90.6500	97.7250	90.7000
8	NA	97.9000 NA		91.1000	97.9000	91.0500	97.9250	91.1000
9	SANTO DOMINGO STEREO FM	98.1000 NA		91.5000	98.1000	91.4500	98.1250	91.5000
10	NA	98.3000 NA		91.9000	98.3000	91.8500	98.3250	91.9000
11	ALEGRIA FM	98.5000 NA		92.3000	98.5000	92.2500	98.5250	92.3000
12	NA	98.7000 NA		92.7000	98.7000	92.6500	98.7250	92.7000
13	HOLA FM	98.9000 NA		93.1000	98.9000	93.0500	98.9250	93.1000
14	NA	99.1000 NA		93.5000	99.1000	93.4500	99.1250	93.5000
15	NA	99.3000 NA		93.9000	99.3000	93.8500	99.3250	93.9000
16	NA	99.5000 NA		94.3000	99.5000	94.2500	99.5250	94.3000
17	PUNTUAL FM	99.7000 NA		94.7000	99.7000	94.6500	99.7250	94.7000
18	NA	99.9000 NA		95.1000	99.9000	95.0500	99.9250	95.1000
19	EL BUEN SEMBRADOR	100.1000 NA		95.5000	100.1000	95.4500	100.1250	95.5000
20	NA	100.3000 NA		95.9000	100.3000	95.8500	100.3250	95.9000
21	NA	100.5000 NA		96.3000	100.5000	96.2500	100.5250	96.3000
22	NA	100.7000 NA		96.7000	100.7000	96.6500	100.7250	96.7000
23	LA VOZ DEL VOLCAN	100.9000 NA		97.1000	100.9000	97.0500	100.9250	97.1000
24	NA	101.1000 NA		97.5000	101.1000	97.4500	101.1250	97.5000
25	TERNIDA FM	101.3000 NA		97.9000	101.3000	97.8500	101.3250	97.9000

Figura 36-2: Armónicos e Intermodulaciones en FM ventana dos
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

Para algunos casos que no existen intermodulación producidos por la Banda FM la aplicación mostrará el mensaje que se observa en la figura 37-2.

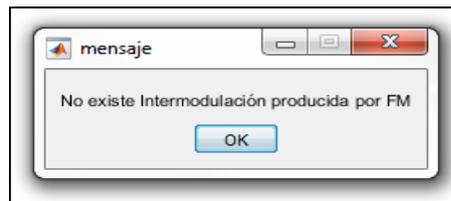


Figura 37-2: Mensaje de información
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

La aplicación cuenta con dos botones adicionales en la parte izquierda de la pantalla el botón salir del programa permite cerrar el programa generando un aviso antes de completar la acción figura 38-2 mientras que el botón ayuda abre un documento donde se explica cómo utilizar el programa.

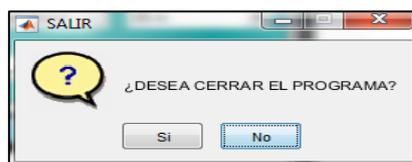


Figura 38-2: Mensaje de advertencia
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

2.3 Población y muestra

2.3.1 Población

Población es el conjunto total de individuos, objetos o medidas que poseen algunas características comunes observables en un lugar y en un momento determinado (<http://metodologiaeninvestigacion.blogspot.com/2010/07/poblacion-y-muestra.html>).

La población de cual se extrajo información necesaria para determinar las intermodulaciones corresponden a estaciones radiodifusoras FM de Riobamba, los cuales corresponden a 48 estaciones radiodifusoras que transmiten en la ciudad de Riobamba, 12 de las mismas transmiten a cantones aledañas utilizando la misma frecuencia.

2.3.2 Muestra

La muestra es una parte generalmente pequeña, que se toma del conjunto total para analizarla y hacer estudios que le permitan al investigador inferir o estimar las características de un problema (<http://colposfes.z.galeon.com/est501/suma/sumahtml/conceptos/estadistica.htm>).

2.3.2.1 Muestreo no probabilístico

El muestreo no probabilístico es una técnica de muestreo donde las muestras se recogen en un proceso que no brinda a todos los individuos de la población iguales oportunidades de ser seleccionados (<https://explorable.com/es/muestreo-no-probabilistico>), no todos los elementos de la población forman parte de la muestra.

Dentro del muestreo no probabilístico se seleccionó muestreo por conveniencia y muestreo discrecional, el muestreo por conveniencia consiste en seleccionar a los individuos que convienen al investigador para la muestra. Esta conveniencia se produce porque al investigador le resulta más fácil examinar a estos sujetos, ya sea por proximidad geográfica, etc. (<http://www.universoformulas.com/estadistica/inferencia/muestreo-no-probabilistico/>). En el muestreo discrecional los elementos son seleccionados a base de conocimiento y juicio del investigador.

La muestra seleccionada para el presente trabajo de titulación corresponde a la tabla 2-2, donde f_1 corresponde a la frecuencia uno del primer transmisor y f_2 corresponde a la frecuencia dos del segundo transmisor, f_i corresponde a la frecuencia de intermodulación producida por la suma y

resta de estas frecuencias, tanto f_1 , f_2 y f_i pertenecen a frecuencias no asignadas a ninguna estación radiodifusora en la banda FM de Riobamba.

La selección de estas frecuencias se dio en base a la tabla 9-1, donde se determinó las frecuencias que no estén siendo utilizadas por estaciones radiodifusoras con el objetivo de generar intermodulaciones con los transmisores FM de corto alcance así generar resultados más óptimos donde no intervengan frecuencias fundamentales que estén transmitiendo en la Banda FM de Riobamba con lo cual se logró validar de una mejor manera el programa.

Tabla 2-2: Estaciones seleccionadas para intermodulación

Frecuencia del transmisor uno F_1 (MHz)	Frecuencia del transmisor dos F_2 (MHz)	Intermodulación F_i (MHz)
90.9	99.3	107.7
95.1	99.3	90.9
97.1	99.3	94.9
97.1	103.3	90.9
99.1	103.3	94.9
98.7	106.5	90.9
103.5	106.5	100.5
103.5	99.3	107.7
103.5	100.5	106.5
95.1	90.9	99.3
97.1	90.9	103.3
98.7	90.9	106.5
100.7	94.9	106.5

Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

2.3.3 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Una vez terminado la aplicación para la predicción de armónicos e intermodulaciones se procedió a realizar las pruebas con los transmisores FM de corto alcance generando así intermodulaciones por la suma y resta de estas frecuencias.

La selección de frecuencias para generar intermodulaciones implicó una selección preliminar detallada en la tabla 2-2 la cual fue clasificada, procesada y ordenada atendiendo a los objetivos, lo que permitió y facilitó el análisis, luego el registro de cálculos para finalmente mostrar mediante la obtención de espectros de frecuencia, haciendo tanto uso de la aplicación para la predicción de armónicos e intermodulaciones como el instrumento analizador de espectro Anritsu.

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS

3.1 Introducción

Para obtener productos de intermodulación se creó un ambiente controlado que consta de dos transmisores FM inalámbricos de corto alcance descritos anteriormente en la tabla 2-2, con los cuales se generaron señales en frecuencias específicas que se hallan libres de acuerdo a la distribución de frecuencias de radio de la ciudad de Riobamba.

Las mediciones fueron realizadas con una atenuación de entrada de la antena de 0.0dB para obtener señales más reales, tanto en el analizador de espectro Anritsu como en el software de Simulink, así mismo se configuró un spam de 1MHz; con el fin de que el espectro obtenido en ambos sistemas sea equivalente.

Los resultados obtenidos tanto en el analizador de espectro Anritsu como en la aplicación fueron realizados en una misma localidad debido al corto alcance de cobertura de los transmisores utilizados para las pruebas. Las mediciones realizadas están hechas en una sola área de trabajo debido que el cambio de zona geográfica altera las potencias recibidas.

Como se ha explicado los resultados se han obtenido de un ambiente controlado como un método factible para la validación de la aplicación, sin embargo, es importante analizar intermodulaciones reales, para ello se explica el procedimiento a seguir para hallar estas señales no deseadas.

3.2 Procedimiento para hallar armónicos e intermodulaciones

Para hallar ya sea armónicos o intermodulaciones se debe primero conectar la tarjeta USRP B210 al ordenador y abrir la aplicación, dentro del algoritmo de predicción es necesario cargar los dos archivos Analizador de espectro FM y Demodulador de audio FM, posterior a esto ingresar la frecuencia en el que se requiere analizar la intermodulación en la sección Simulink USRP B210.

Se debe mandar a correr primero el archivo analizador de espectro para ver el espectro en frecuencia generado por el analizador de espectro de Simulink como se muestra en la figura 1-3.

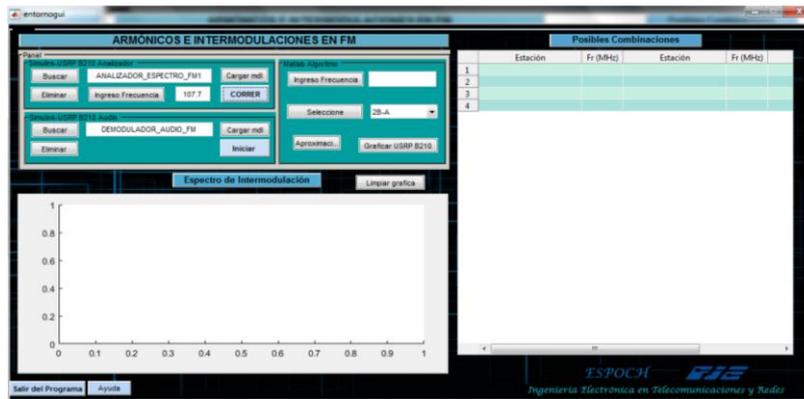


Figura 1-3: Pantalla principal de la aplicación.
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

Acorde a la frecuencia ingresada la aplicación mostrará un resultado que se puede ver en el analizador de espectro de Simulink como se ve a continuación en la figura 2-3, esta señal corresponde a una intermodulación real dentro de la Banda FM en frecuencia 107.7 donde se analiza un espectro de señal con amplitud menor como consecuencia de la suma o resta de frecuencias.

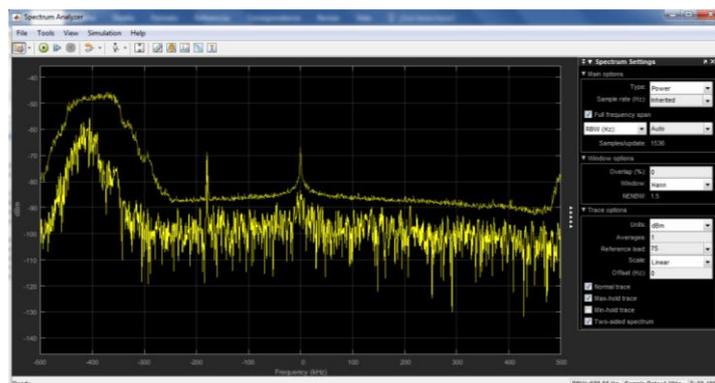


Figura 2-3: Intermodulación real en frecuencia 107.7 MHz.
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

Una vez analizada la señal de intermodulación de acuerdo a la escala mostrada por el programa, parar el programa Analizador de espectro y mandar a correr el archivo Demodulador de audio para ayudar a identificar las posibles combinaciones de frecuencias que generan esta intermodulación ingresar la frecuencia de intermodulación en la sección algoritmo Matlab y en base a la combinación seleccionada el programa genera combinaciones con frecuencias de las estaciones de Radio.

Para identificar las estaciones de radio que generan la intermodulación se debe ir probando cada frecuencia en orden descendente hasta identificar la estación correspondiente como se muestra en la figura 3-3, las estaciones que generaban intermodulación real corresponden a frecuencias 104.9

y 102.1 MHz el resultado de estas combinaciones esta descrito en la tabla 1-2, del capítulo anterior.

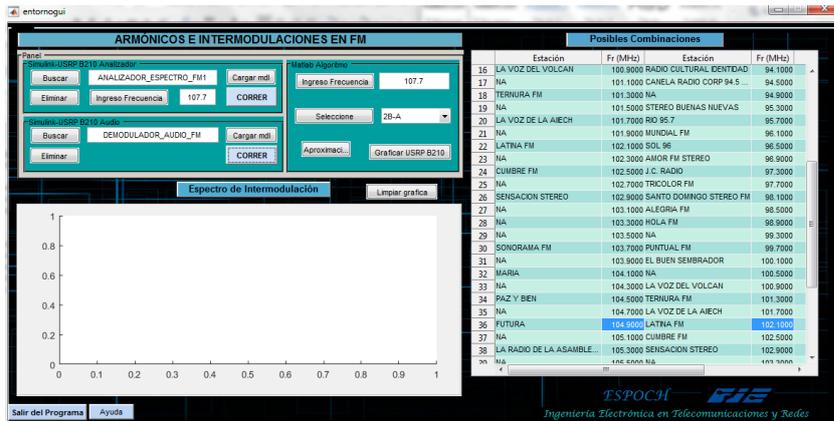


Figura 3-3: Posibles combinaciones para la intermodulación 107.7 MHz.
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

El programa muestra el espectro de la intermodulación en la pantalla de la aplicación como se muestra en la figura 4-3.

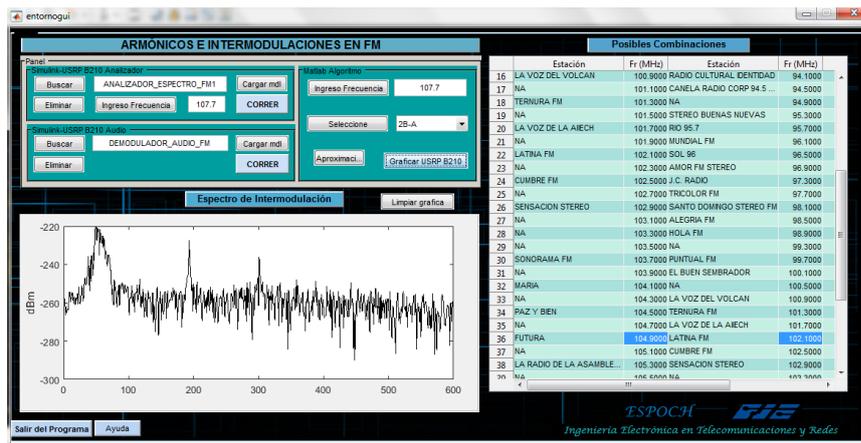


Figura 4-3: Espectro de intermodulación en frecuencia 107.7 MHz.
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

Los demás resultados generados por los transmisores de corto alcance se especifican a continuación.

3.3 Señales armónicas de la aplicación vs analizador de espectro

Los transmisores FM utilizados para la generación de productos de intermodulación, a más de la frecuencia central transmitida crean armónicos de distinto orden y que al mezclarse originan señales que pueden ubicarse tanto dentro como fuera de la banda FM. A continuación, se muestran los armónicos hasta de quinto orden, que fueron captados en la aplicación y los que igualmente se pudieron observar en el analizador de espectro Anritsu.

3.3.1 Armónicos generados por la frecuencia 90.9 MHz.

3.3.1.1 Primer armónico en frecuencia central 90.9MHz.

Del analizador de espectro Anritsu se obtuvo la figura 5-3, en la que se muestra la señal de radio que se transmitió en la frecuencia 90.9MHz con el transmisor A, el marcador 1 que indica la frecuencia central muestra un pico de -34.54dBm.

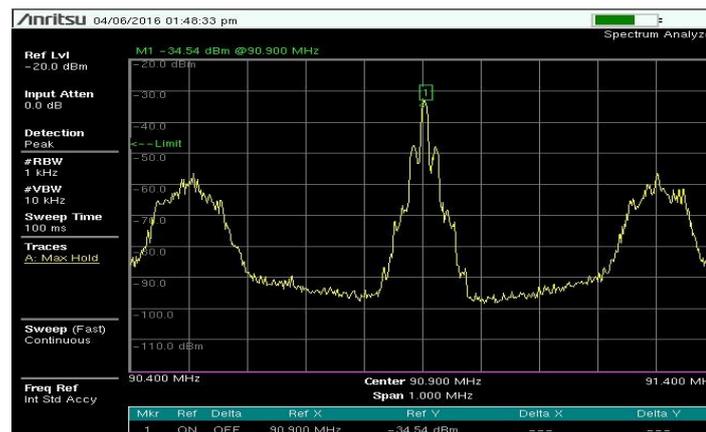


Figura 5-3: Señal en frecuencia 90.9 MHz (Anritsu).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

El espectro visto en la figura 6-3 es el obtenido por el analizador de espectro de Simulink, haciendo referencia a la figura 5-3, se observa la misma señal generada con valores de potencia cercanos a -30dBm.

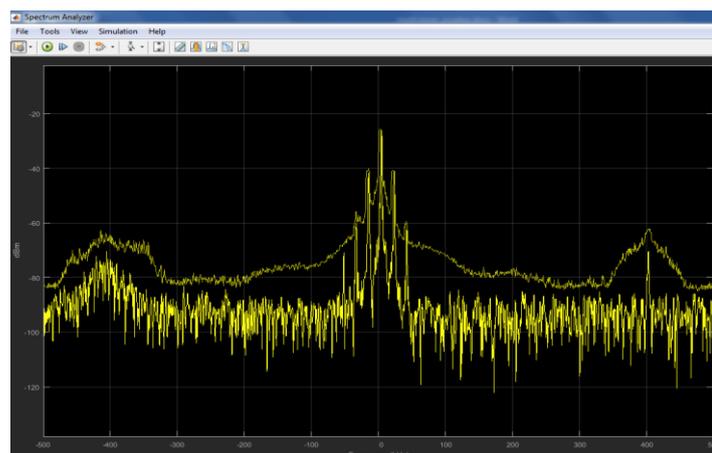


Figura 6-3: Señal en frecuencia 90.9 MHz (Simulink).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

Los resultados generados por la aplicación se pueden observar en la figura 7-3, para este caso la sección de interés es el espectro obtenido de características iguales a la vista anteriormente en la

figura 6-3 con una potencia cercana a -30dBm , con la diferencia de que no se halla el máximo alcance de potencia en cada espacio de frecuencia.

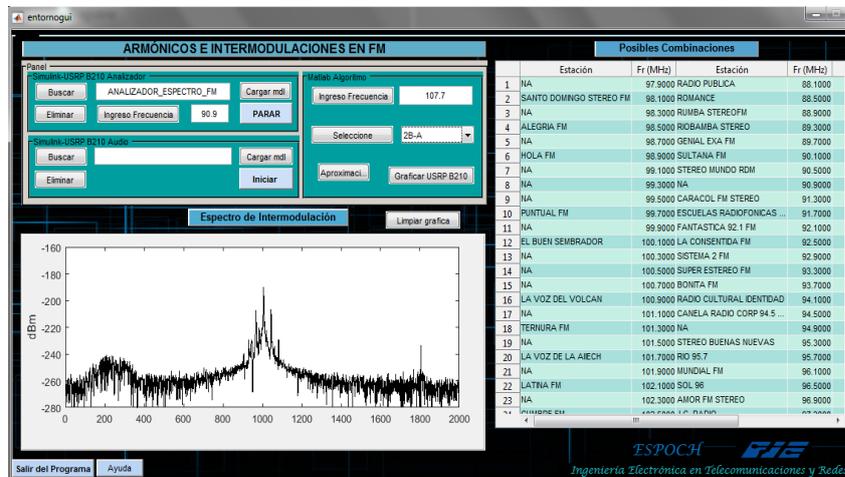


Figura 7-3: Señal fundamental en frecuencia 90.9 MHz (Aplicación).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

3.3.1.2 Segundo armónico en frecuencia central 181.8MHz.

El espectro de frecuencia central en 181.8MHz mostrado en la figura 8-3, corresponde al armónico generado por el transmisor A que trabaja en la frecuencia 90.9MHz visto en el analizador de espectro Anritsu, cuya potencia se encuentra en -58.98dBm .

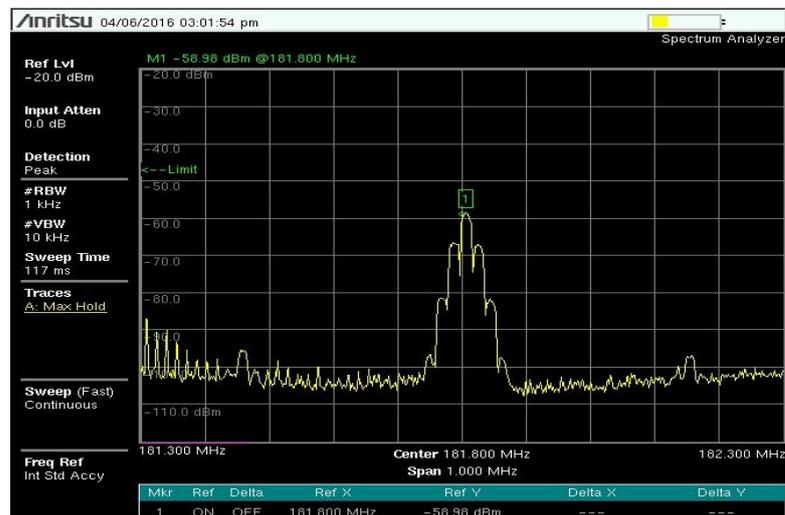


Figura 8-3: Segundo armónico en frecuencia 181.8 MHz (Anritsu).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

El espectro de la señal armónica que se captó en el analizador de espectro de Simulink se encuentra en la figura 9-3, en la que se observa el armónico con una potencia pico de -40dBm aproximadamente.

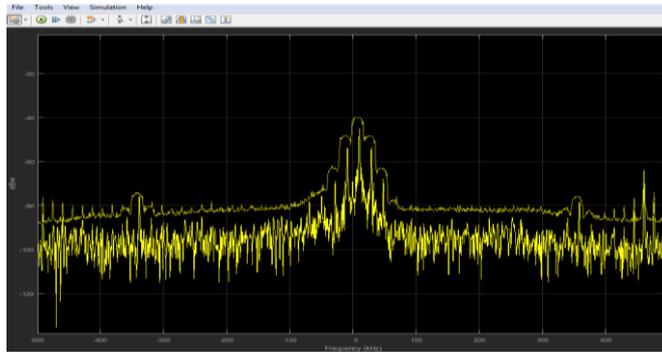


Figura 9-3: Segundo armónico en 181.8 MHz (Simulink).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

El segundo armónico generado por la frecuencia 90.9MHz, también puede ser observado en la figura 10-3, donde se muestra el espectro del armónico de frecuencia central de 181.8MHz con una potencia mayor a -60dBm.

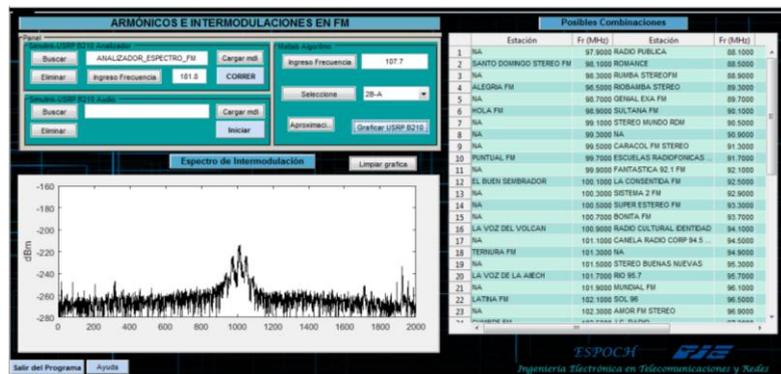


Figura 10-3: Segundo armónico en 181.8 MHz (Aplicación).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

3.3.1.3 Tercer armónico en frecuencia central 272.7 MHz.

El armónico de tercer orden de la frecuencia 90.9MHz es la mostrada en la figura 11-3, en la que la frecuencia central se halla en 272.7MHz, el armónico tiene una potencia de -64.78dBm según el espectro captado en el analizador de espectro Anritsu.

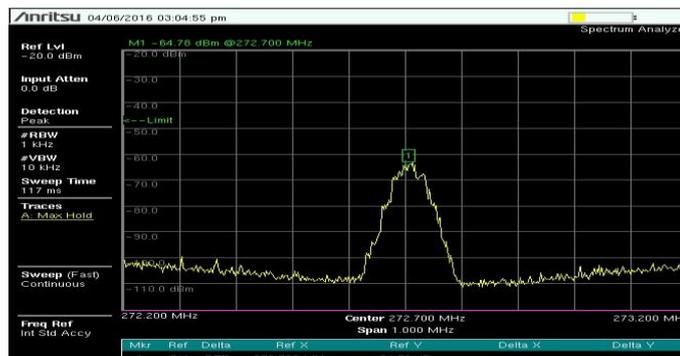


Figura 11-3: Tercer armónico en 272.2 MHz (Anritsu).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

El espectro que se observa en la figura 12-3, pertenece al tercer armónico generado por la frecuencia fundamental de 90.9MHz visto en el analizador de espectro de Simulink, la señal armónica presenta una potencia pico de alrededor de -50dBm.

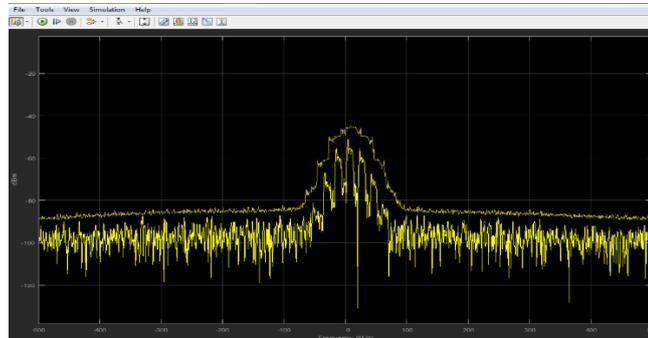


Figura 12-3: Tercer armónico en 272.2 MHz (Simulink).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

El tercer armónico en frecuencia central 272.2MHz se puede distinguir en la figura 13-3, con una potencia cercana a -60dBm, este espectro es mostrado en la ventana de la aplicación de predicción de armónicos e intermodulaciones en FM.

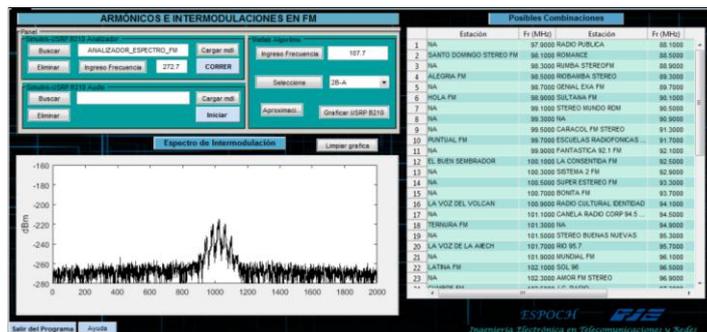


Figura 13-3: Tercer armónico en 272.2 MHz (Aplicación).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

3.3.1.4 Cuarto armónico en frecuencia central 363.6 MHz.

El armónico de cuarto orden generado por el transmisor A en frecuencia central de 90.9MHz, tiene como frecuencia 363.6MHz, en la figura 14-3 se puede observar el armónico visto en la pantalla del analizador de espectro Anritsu con una potencia de -60.82dBm.



Figura 14-3: Cuarto armónico en 363.6 MHz (Anritsu).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

El cuarto armónico en frecuencia central 363.6MHz visto en el analizador de espectro de Simulink se encuentra en la figura 15-3, la potencia de la señal presenta picos con potencia aproximada a -45dBm.

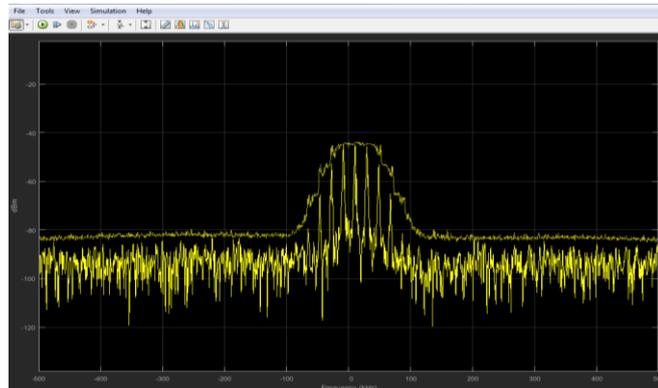


Figura 15-3: Cuarto armónico en 363.6 MHz (Simulink).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

El espectro visible en la ventana del programa para determinar armónicos e intermodulaciones en la banda FM muestra el cuarto armónico con frecuencia central 363.6MHz y una potencia mayor a -60dBm, así como se observa en la figura 16-3.

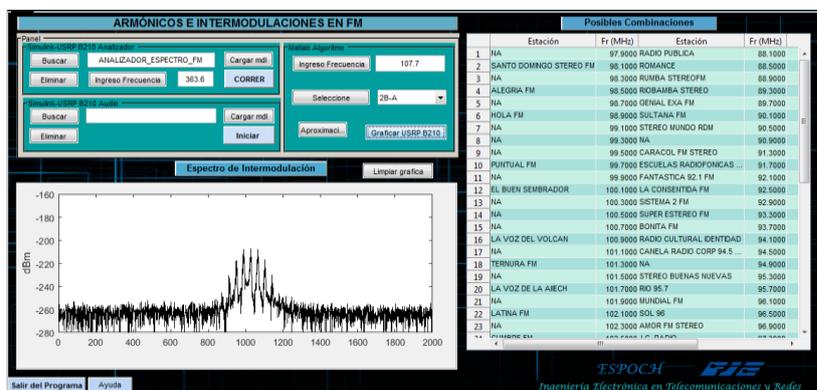


Figura 16-3: Cuarto armónico en 363.6 MHz (Aplicación).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

3.3.1.5 Quinto armónico en frecuencia central 454.5 MHz.

La figura 17-3 pertenece a la señal captada por el analizador de espectro Anritsu, la cual tiene frecuencia central en 454.5MHz, la quinta armónica de la frecuencia transmitida en 90.9MHz presenta una potencia de -67.71dBm.

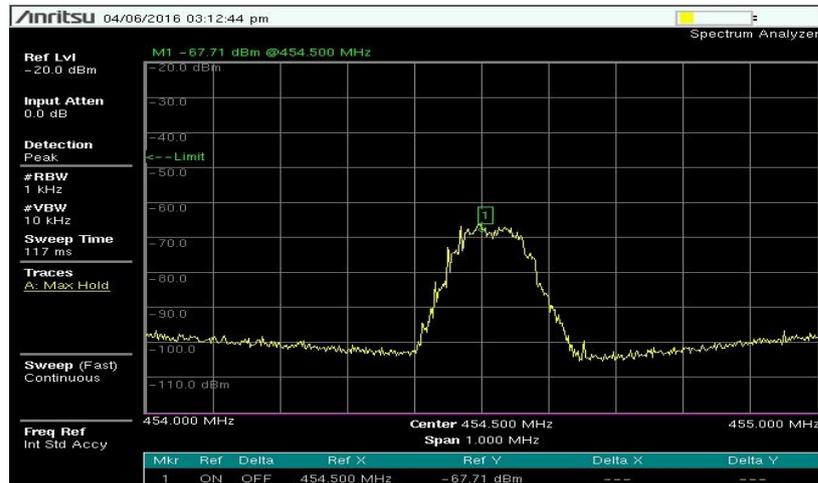


Figura 17-3: Quinto armónico en 454.5 MHz (Anritsu).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

El quinto armónico producido por la frecuencia fundamental 90.9MHz con frecuencia central 454.5MHz, presenta una potencia de -70dBm aproximadamente, en el analizador de espectro de Simulink, como se puede divisar en la figura 18-3.

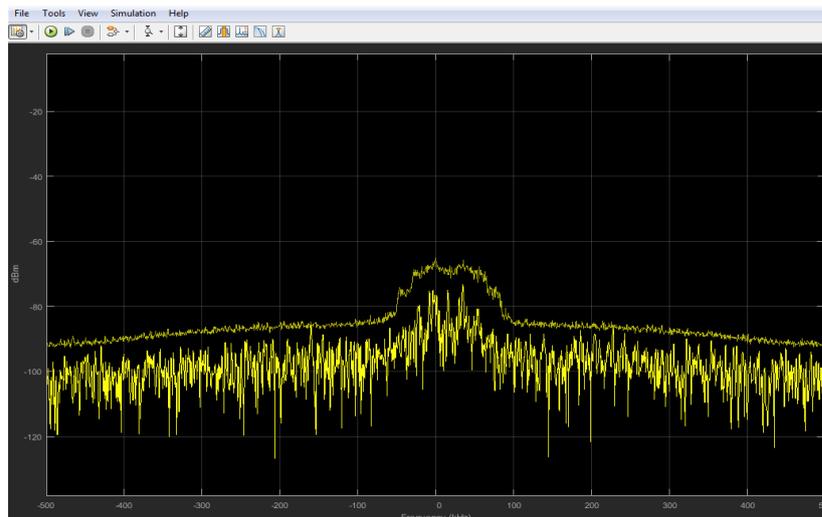


Figura 18-3: Quinto armónico en 454.5 MHz (Simulink).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

El espectro que se distingue en la ventana de la aplicación de predicción de armónicos e intermodulaciones presentado en la figura 19-3, corresponde al quinto armónico generado por la frecuencia fundamental 90.9MHz en el que la potencia se establece por encima de -80dBm.

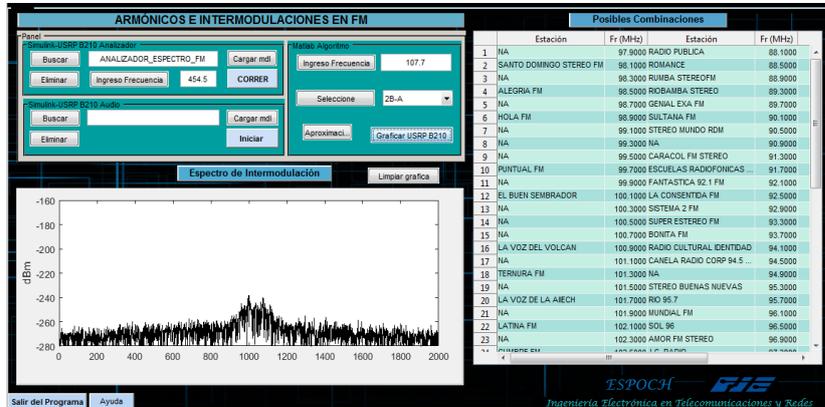


Figura 19-3: Quinto armónico en frecuencia 454.5 MHz (Aplicación)
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

3.3.2 Armónicos generados por la frecuencia 99.3 MHz

La frecuencia de trabajo del transmisor B para este caso es de 99.3MHz, al igual que en el caso anterior se pueden observar en las figuras que siguen los armónicos generados hasta de quinto orden.

3.3.2.1 Primer armónico en frecuencia central 99.3 MHz.

La frecuencia central mostrada en la figura 20-3, es la vista en el equipo analizador de espectro Anritsu, la señal transmitida por el transmisor B se configuró en la frecuencia 99.3MHz, el marcador 1 indica un pico de potencia en -59.09 dBm.

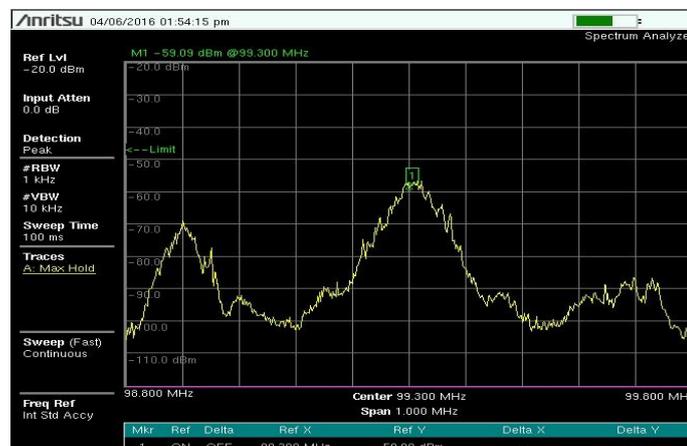


Figura 20-3: Señal fundamental en 99.3 MHz (Anritsu).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016

La señal presentada en la figura 21-3, al igual que la anterior figura 20-3 muestra la frecuencia generada en el transmisor B en 99.3MHz, cuya potencia en dBm llega aproximado a -45, todo lo anterior tomado de la señal vista en el analizador de espectro de Simulink.

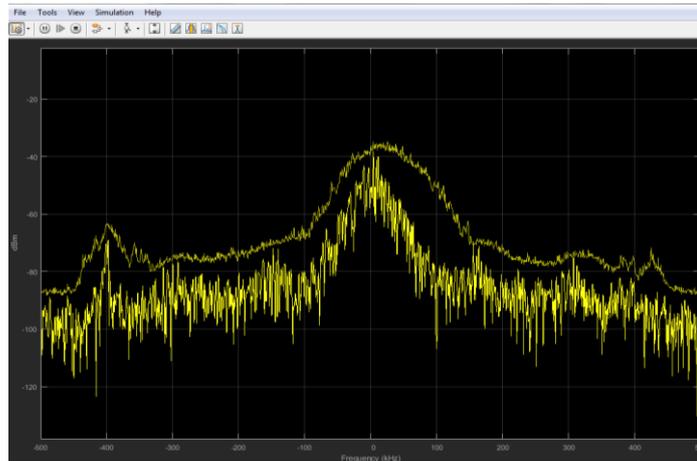


Figura 21-3: Señal fundamental en 99.3 MHz (Simulink).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

En la figura 22-3, se muestra el espectro generado por el transmisor B en la frecuencia 99.3MHz, el valor máximo que alcanza la frecuencia central se halla a un nivel un aproximado de -200dBm según la escala del programa, que al hacer la transformación a la escala real se halla en -40 dBm.

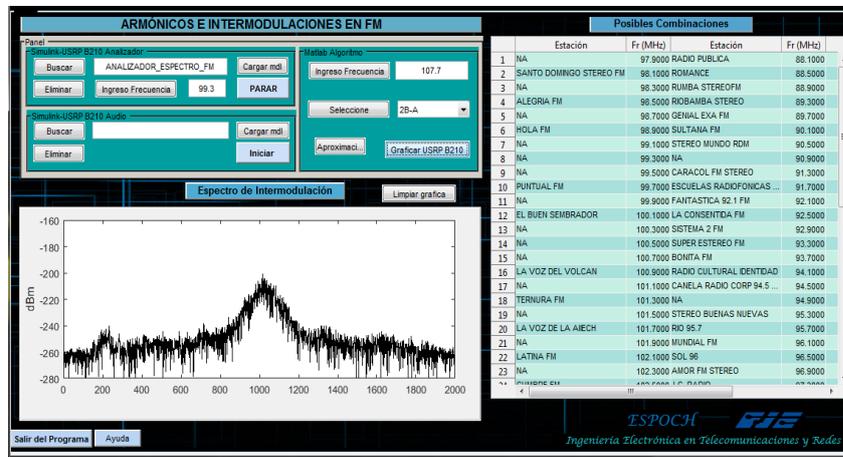


Figura 22-3: Señal fundamental en 99.3 MHz (Aplicación).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

3.3.2.2 Segundo armónico en frecuencia central 198.6 MHz.

El espectro de frecuencia central en 198.6MHz mostrado en la figura 23-3, corresponde al armónico generado por el transmisor B que trabaja en la frecuencia 99.3MHz, visto en el analizador de espectro Anritsu, cuya potencia se encuentra en -57.12dBm.

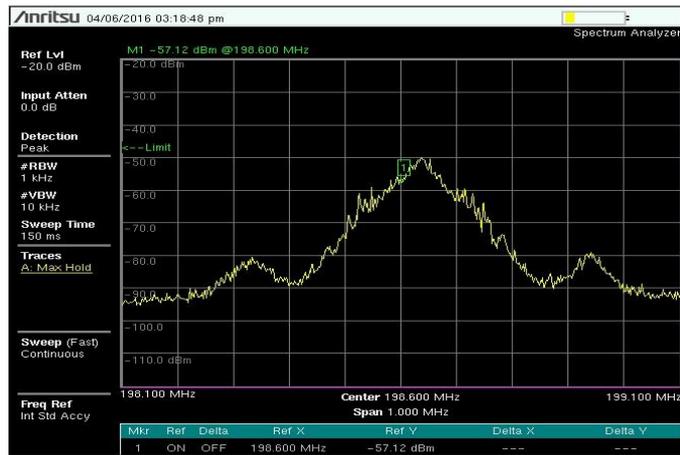


Figura 23-3: Segundo armónico en 198.6 MHz (Anritsu).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

El espectro de la señal armónica que se captó con la aplicación desarrollada y con la herramienta analizador de espectro de Simulink se encuentra en la figura 24-3, en la que se ve el segundo armónico con una potencia pico aproximada a -50dBm.

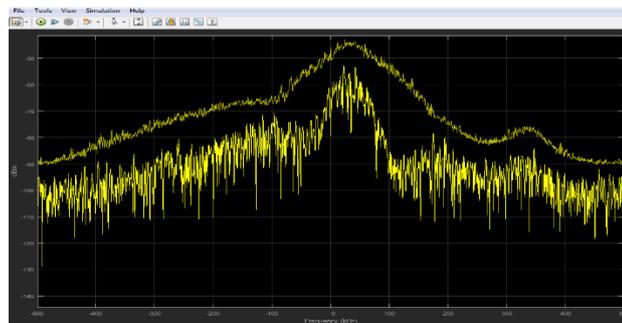


Figura 24-3: Segundo armónico en 198.6 MHz (Simulink).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

El segundo armónico generado por la frecuencia 99.3MHz, también puede ser observado en la figura 25-3, donde se muestra el espectro del armónico de frecuencia central de 198.6MHz con una potencia superior a -60dBm.

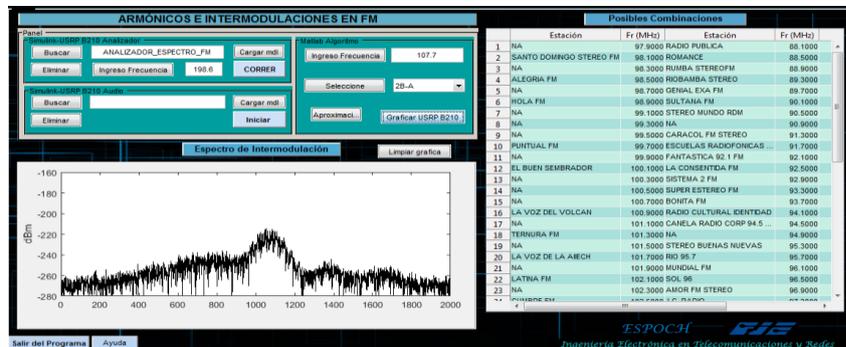


Figura 25-3: Segundo armónico en 198.6 MHz (Aplicación).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

3.3.2.3 Tercer armónico en frecuencia central 297.9 MHz.

El espectro expuesto en las figuras siguientes, corresponden al tercer armónico de la frecuencia en FM de 90.9MHz, que resulta en la frecuencia 297.9MHz. La figura 26-3, muestra la pantalla del analizador de espectro Anritsu, en donde se observa la señal armónica con una potencia de -51.42dBm.



Figura 26-3: Tercer armónico en 297.9 MHz (Anritsu).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

El espectro que se observa en la figura 27-3, pertenece al tercer armónico generado por la frecuencia fundamental de 99.3MHz visto en el analizador de espectro de Simulink, la señal armónica presenta una potencia aproximada a -60 dBm.

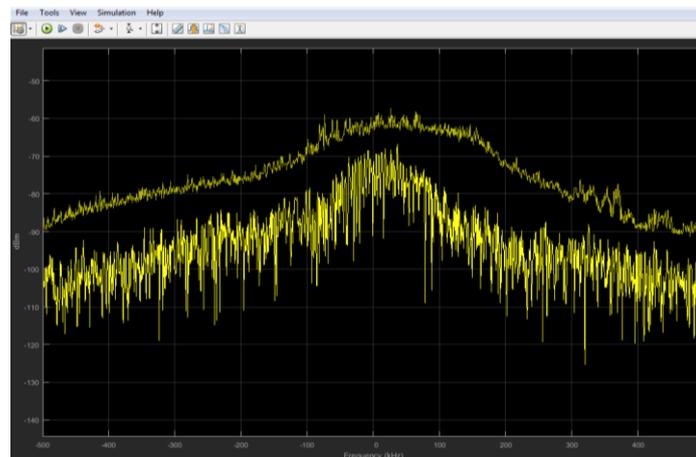


Figura 27-3: Tercer armónico en 297.9 MHz (Simulink).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

El tercer armónico en frecuencia central 297.9MHz se puede distinguir en la figura 28-3, con una potencia cercana a -60dBm, este espectro es mostrado en la ventana de la aplicación de predicción de armónicos e intermodulaciones en FM.

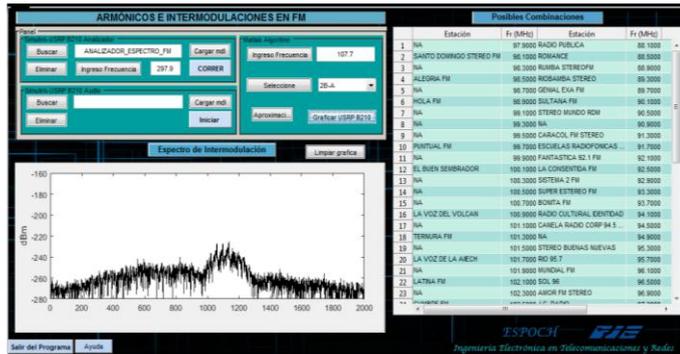


Figura 28-3: Tercer armónico en 297.9 MHz (Aplicación).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

3.3.2.4 Cuarto armónico en frecuencia central 397.2 MHz.

El armónico de cuarto orden generado por el transmisor B en frecuencia central de 99.3 MHz, tiene como frecuencia 397.2MHz, en la figura 29-3 se puede observar el armónico visto en la pantalla del analizador de espectro Anritsu con una potencia de -66.96 dBm.



Figura 29-3: Cuarto armónico en 397.2 MHz (Anritsu).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

El cuarto armónico en frecuencia central 397.2MHz generado por la señal fundamental 99.3MHz, visto en el analizador de espectro de Simulink se encuentra en la figura 30-3, en donde la potencia del armónico está alrededor de -59dBm.

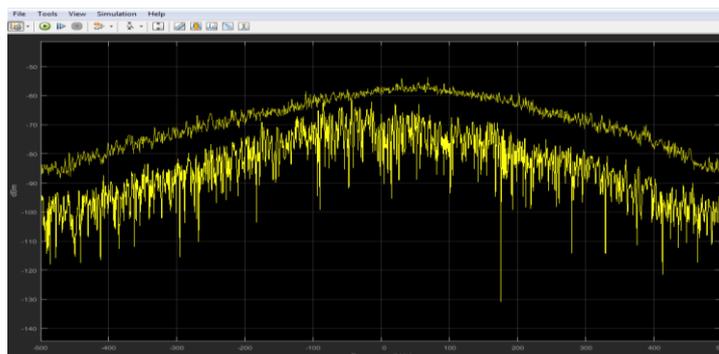


Figura 30-3: Cuarto armónico en 397.2 MHz (Simulink).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

El espectro visible en la ventana del programa para determinar armónicos e intermodulaciones en la banda FM muestra el cuarto armónico con frecuencia central 397.2MHz y una potencia menor a -60dBm, así como se observa en la figura 31-3.

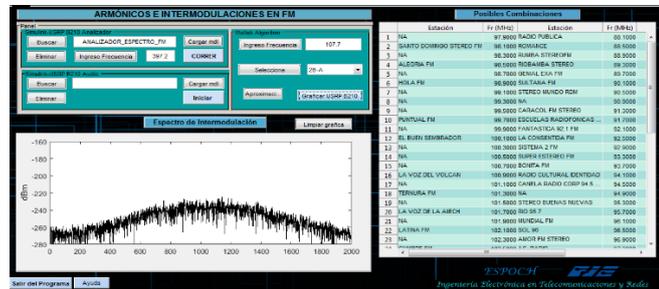


Figura 31-3: Cuarto armónico en 397.2 MHz (Aplicación).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

3.3.2.5 Quinto armónico en frecuencia central 496.5 MHz.

La figura 32-3, pertenece a la señal captada por el analizador de espectro Anritsu, la cual tiene frecuencia central en 496.5MHz, el quinto armónico de la frecuencia transmitida en 99.3MHz presenta una potencia de -60.08dBm.

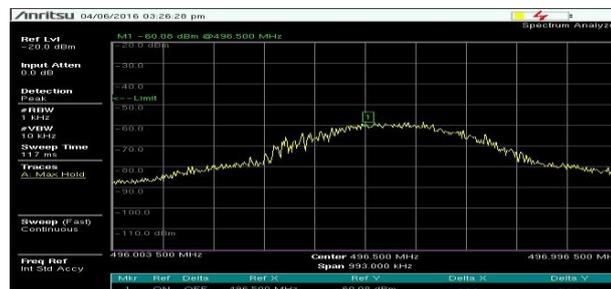


Figura 32-3: Quinto armónico en 496.5 MHz (Anritsu).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

El quinto armónico producida por la frecuencia fundamental 99.3MHz con frecuencia central 496.5MHz, presenta una potencia menor a -62dBm aproximadamente en el analizador de espectro de Simulink, como se puede divisar en la figura 33-3.

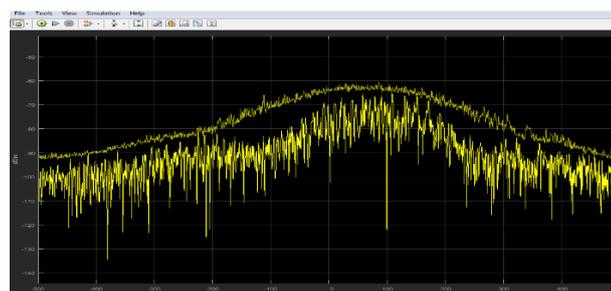


Figura 33-3: Quinto armónico en 496.5 MHz (Simulink).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016

El espectro que se distingue en la ventana de la aplicación de predicción de armónicos e intermodulaciones presentado en la figura 34-3, corresponde al quinto armónico generado por la frecuencia fundamental 99.3MHz en el que la potencia se establece por encima de -70dBm.

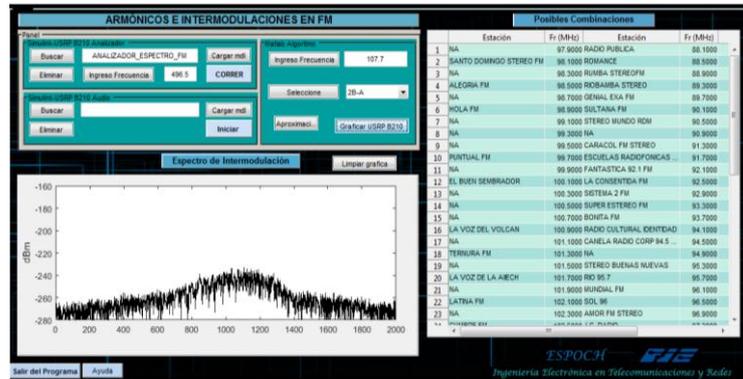


Figura 34-3: Quinto armónico en 496.5 MHz (Aplicación).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

3.4 Señales de intermodulación de la aplicación vs analizador de espectro

3.4.1 Intermodulación (IM) en 107.7 MHz de frecuencias 90.9 y 99.3 MHz

Para la primera medición se generó una intermodulación en la frecuencia 107.7MHz, este producto resulta de la mezcla de las frecuencias 90.9 y 99.3 MHz al ser colocados los transmisores contiguos; la combinación de frecuencias fue tomada de la tabla obtenida en la aplicación como se observa en la figura 35-3.

El espectro de intermodulación con frecuencia central en 107.7MHz se puede divisar en la ventana del programa de predicción de armónicos e intermodulaciones en FM, donde la potencia de la señal se halla cercana a -80dBm.

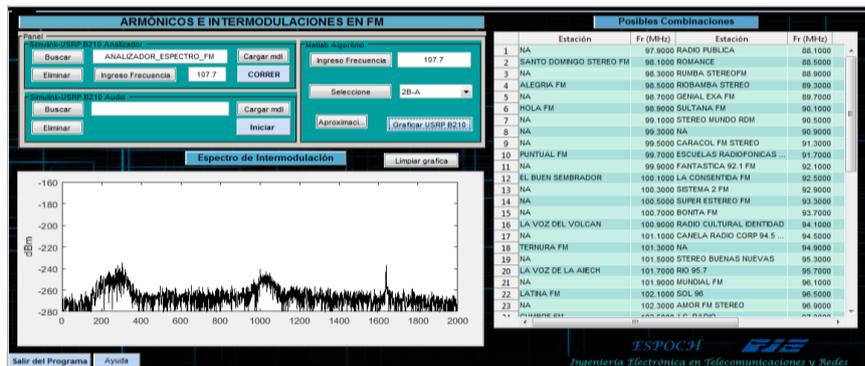


Figura 35-3: IM en 107.7 MHz de Fr. 90.9 y 99.3 MHz (Aplicación).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

Del analizador de espectro Anritsu se obtuvo la figura 36-3 en donde se ve la intermodulación que se generó en la frecuencia 107.7MHz, en donde la señal aparece con una potencia de -94.04dBm.

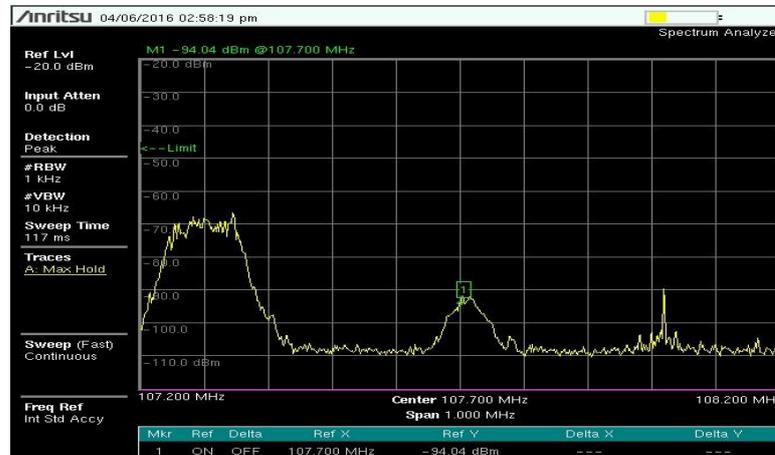


Figura 36-3: IM en 107.7 MHz de Fr. 90.9 y 99.3 MHz (Anritsu).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

En la figura 37-3 se observa el mismo caso anterior de la intermodulación con frecuencia central en 107.7MHz, mostrada en el analizador de espectro de Simulink en donde, la potencia de la señal está cercana a -70dBm.

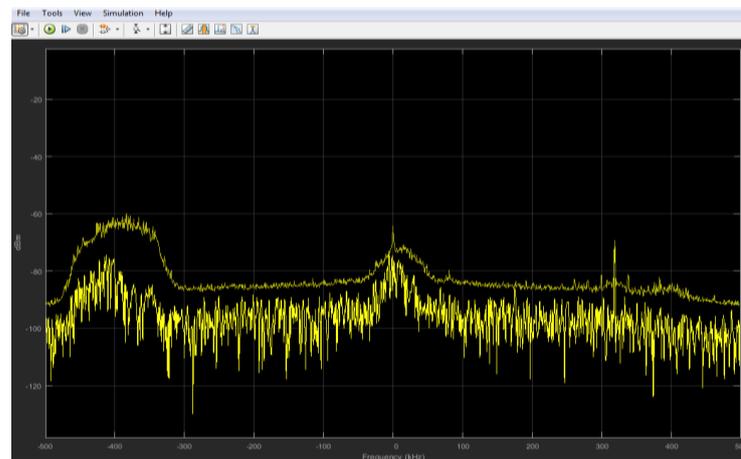


Figura 37-3: IM en 107.7 MHz de Fr. 90.9 y 99.3 MHz (Simulink).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

3.4.2 Intermodulación en 90.9 MHz de frecuencias 95.1 y 99.3 MHz

La intermodulación en la frecuencia 90.9MHz puede generarse debido a varias combinaciones de señales como se muestra en el panel derecho de la figura 38-3, para este caso se han tomado las frecuencias 95.1 y 99.3 MHz, en la zona de espectro de intermodulación se encuentra la señal

generada por la mezcla de las dos frecuencias antes mencionadas con una potencia cercana a -80dBm.

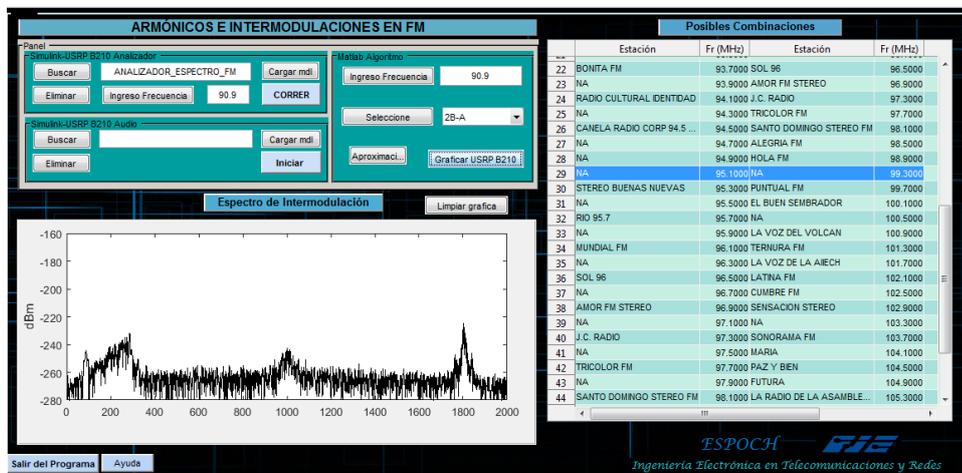


Figura 38-3: IM en 90.9 MHz de Fr. 95.1 y 99.3 MHz (Aplicación).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

El producto de intermodulación generado por las dos señales FM, tiene como frecuencia central 90.9MHz, en el analizador de espectro Anritsu se encontró el espectro como se observa en la figura 39-3; el marcador 1 indica la potencia de la intermodulación de -64.48dBm.

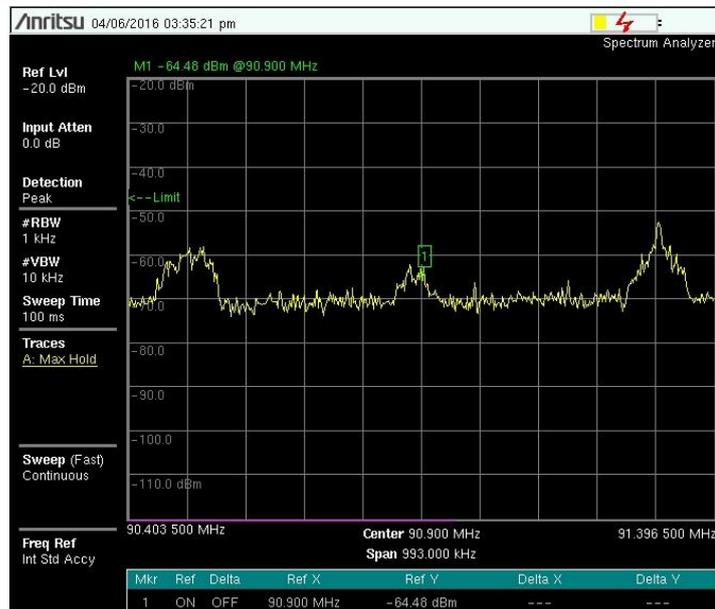


Figura 39-3: IM en 90.9 MHz de 95.1 y 99.3 MHz (Anritsu).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

Igualmente, en la figura 40-3 se despliega el mismo espectro de intermodulación con frecuencia central en 90.9MHz, con una potencia próxima a -70dBm visto en el analizador de espectro de Simulink.

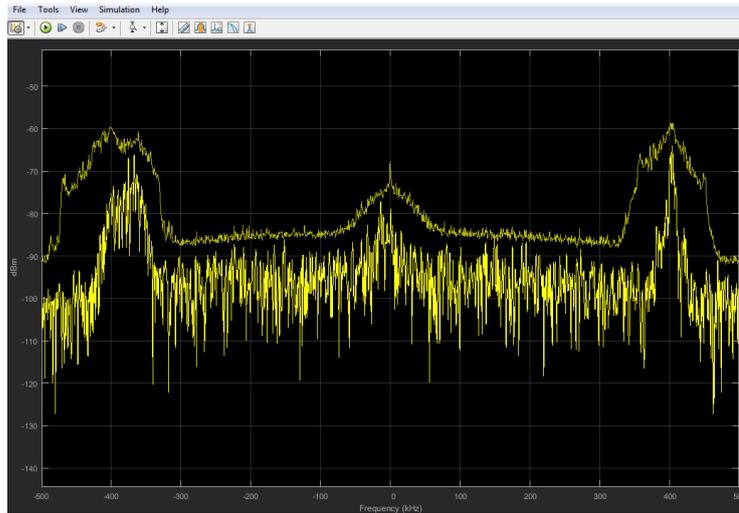


Figura 40-3: IM en 90.9 MHz de Fr. 95.1 y 99.3 MHz (Simulink).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

3.4.3 Intermodulación en 94.9 MHz de frecuencias 99.3 y 97.1 MHz.

En el área de posibles combinaciones de la aplicación para hallar armónicos e intermodulaciones en FM de la figura 41-3, se hallan las frecuencias de transmisión que genera la intermodulación en 94.9MHz. En la parte izquierda de la ventana se encuentra el espectro de intermodulación con una potencia similar a -80dBm.

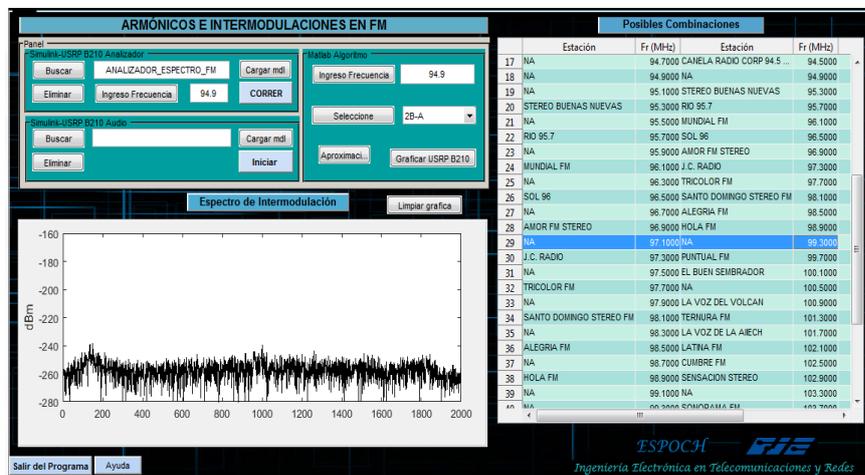


Figura 41-3: IM en 94.9 MHz de Fr. 99.3 y 97.1 MHz (Aplicación)
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

La señal generada como intermodulación en frecuencia 94.9MHz especificada por el marcador 1 en la figura 42-3, pertenece al espectro captado en el analizador de espectro Anritsu, en donde se determina una potencia de -81.89dBm.



Figura 42-3: IM en 94.9 MHz de Fr. 99.3 y 97.1 MHz (Anritsu).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016

De la misma forma se encuentra en la figura 43-3 se observa el espectro de la intermodulación producida en 94.9MHz con potencia próxima a -75dBm, captado en el analizador de espectro de Simulink.

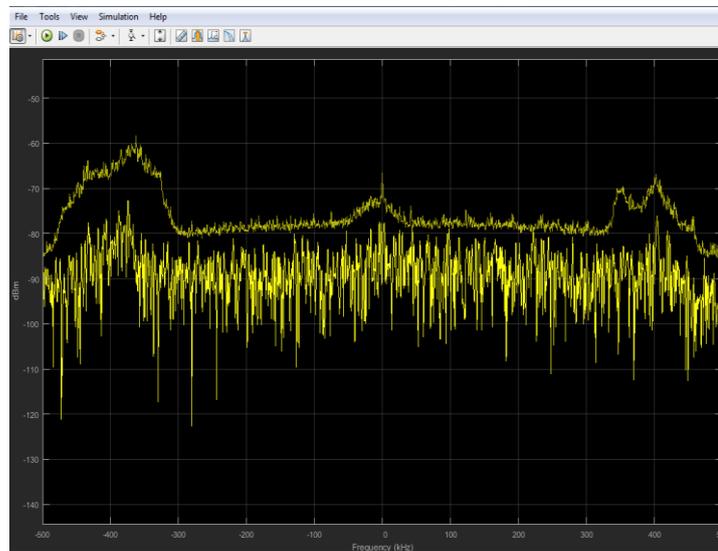


Figura 43-3: IM en 94.9 MHz de Fr. 99.3 y 97.1 MHz (Simulink).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

3.4.4 Intermodulación en 90.9 MHz de frecuencias 97.1 y 103.3 MHz

En el área de posibles combinaciones de la aplicación para hallar armónicos e intermodulaciones en FM de la figura 44-3, se especifican las frecuencias de transmisión que se tomaron para la generación de la intermodulación en 90.9MHz. En la parte izquierda de la ventana se encuentra

el espectro de intermodulación con una potencia similar a -80dBm.

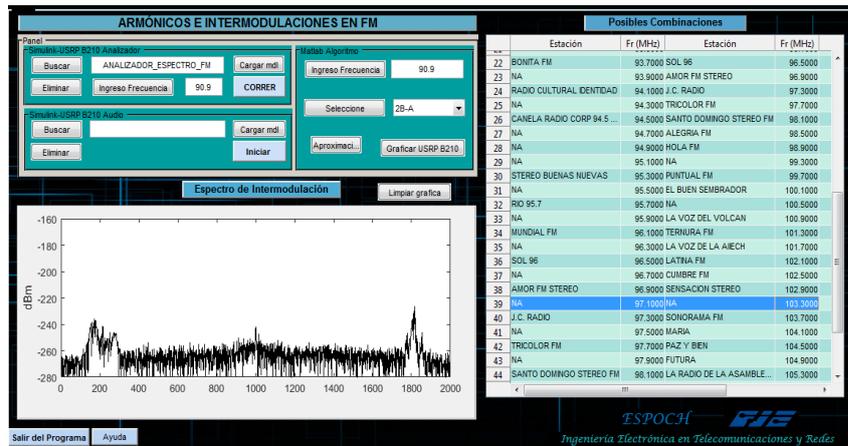


Figura 44-3: IM en 90.9 MHz de FR 97.1 y 103.3 MHz (Aplicación).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

La señal generada como intermodulación en frecuencia 90.9MHz especificada por el marcador 1 en la figura 45-3, pertenece al espectro captado en el analizador de espectro Anritsu, en donde se determina una potencia de -88.06dBm.



Figura 45-3: IM en 90.9 MHz de Fr. 97.1 y 103.3 MHz (Anritsu).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

En la figura 46-3 se encuentra también el mismo espectro de la intermodulación con frecuencia central 90.9MHz con una potencia pico próxima a -80dBm, vista en la pantalla del analizador de espectro de Simulink.

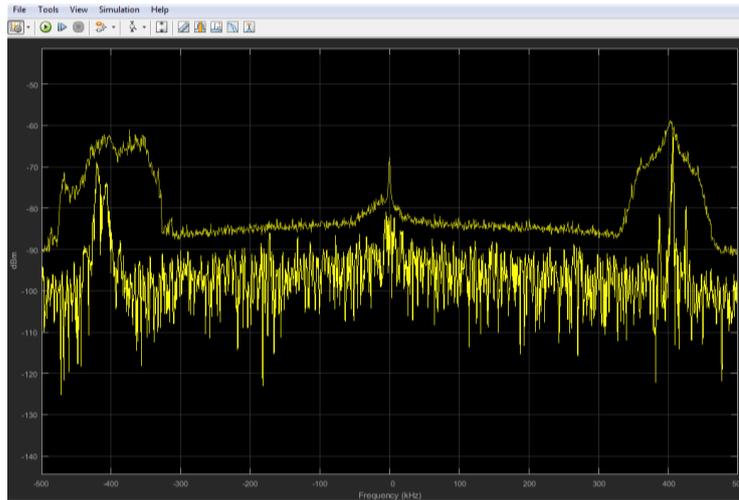


Figura 46-3: IM en 90.9 MHz de Fr. 97.1 y 103.3 MHz (Simulink).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

3.4.5 Intermodulación en 94.9 MHz de frecuencias 103.3 y 99.1 MHz

En la ventana del programa de armónicos e intermodulaciones en FM se hallaron las posibles combinaciones para la generación de la intermodulación en 94.9MHz, de donde se tomaron las especificadas, tal como se observa en la figura 47-3. La potencia del espectro de intermodulación indica alrededor de -80dBm.

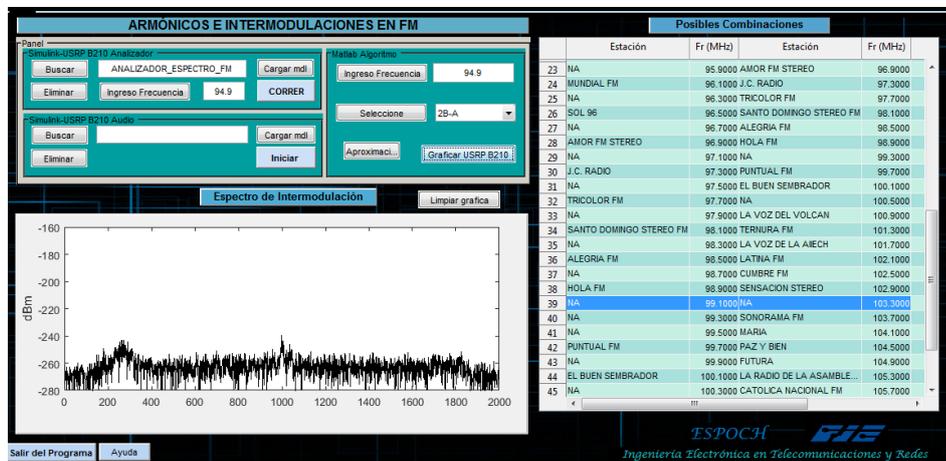


Figura 47-3: IM en 94.9 MHz de Fr. 103.3 y 99.1 MHz (Aplicación).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

El marcador 1 de la figura 48-3, muestra la intermodulación de frecuencia central 94.9MHz captada en el analizador de espectro Anritsu, donde la potencia del producto de intermodulación llegó a -71dBm.



Figura 48-3: IM en 94.9 MHz de Fr. 103.3 y 99.1 MHz (Anritsu).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

Mientras que en la figura 49-3 se observa el espectro de la misma señal producto de intermodulación obtenido en el analizador de espectro de Simulink, con una potencia pico de -75dBm aproximadamente.

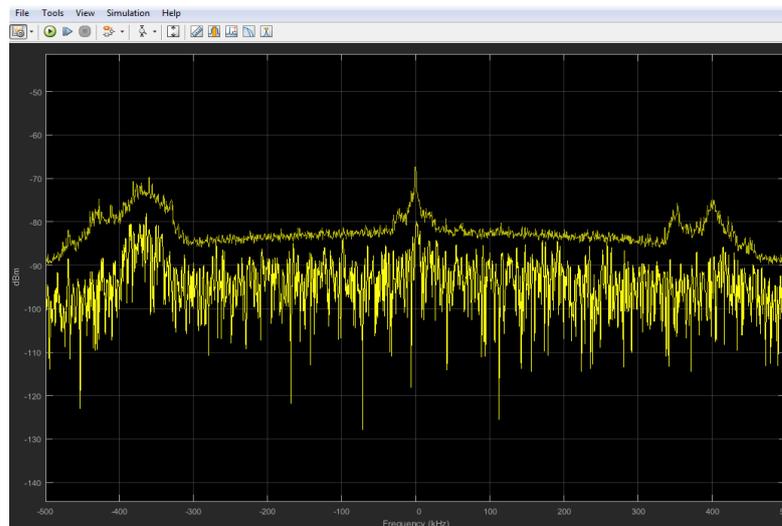


Figura 49-3: IM en 94.9 MHz de Fr. 103.3 y 99.1 MHz (Simulink).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

3.4.6 Intermodulación en 90.9 MHz de frecuencias 106.5 y 98.7 MHz

En la ventana del programa de armónicos e intermodulaciones en FM se hallaron las posibles combinaciones para la generación de la intermodulación en 90.9MHz, de donde se tomaron las especificadas, tal como se observa en la figura 50-3. La potencia del espectro de intermodulación indica alrededor de -80dBm.

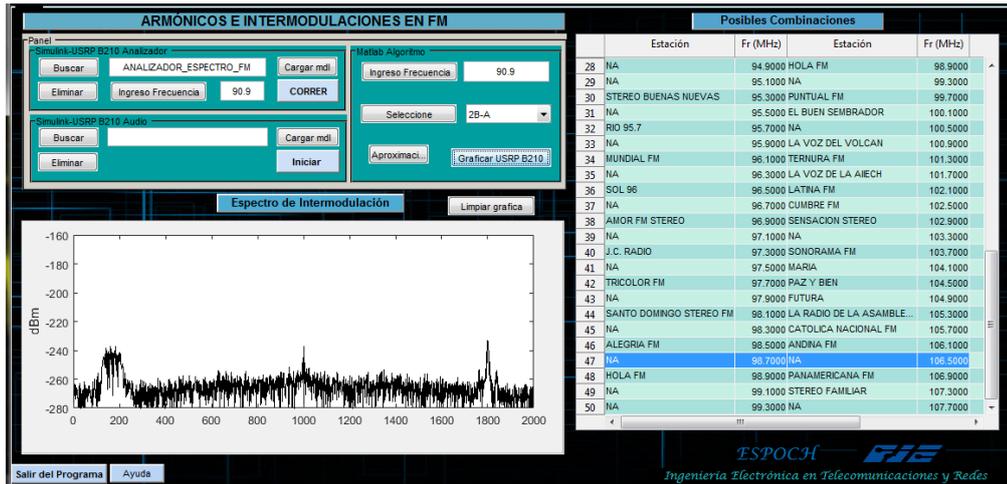


Figura 50-3: IM en 94.9 MHz de Fr. 103.3 y 99.1 MHz (Aplicación).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

El marcador 1 de la figura 51-3, muestra la intermodulación generada en la frecuencia 94.9MHz captada en el analizador de espectro Anritsu, donde la potencia del producto de intermodulación llegó a -83.78dBm.



Figura 51-3: IM en 94.9 MHz de Fr. 103.3 y 99.1 MHz (Anritsu).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

Mientras que en la figura 52-3 se observa el espectro obtenido en el analizador de espectro del mismo producto de intermodulación de frecuencia central 90.9MHz en Simulink, con una potencia de -77dBm aproximadamente.

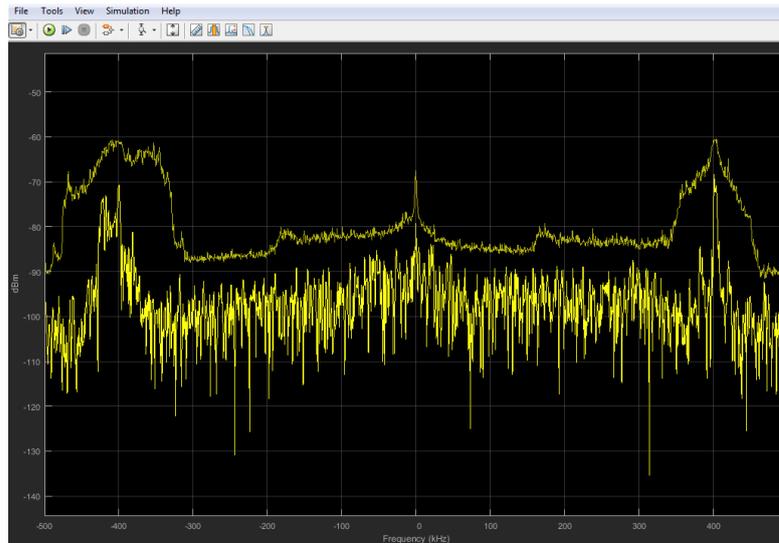


Figura 52-3: IM en 94.9 MHz de Fr. 103.3 y 99.1 MHz (Simulink).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

3.4.7 Intermodulación en 100.5 MHz de frecuencias 106.5 y 103.5 MHz

La aplicación de predicción de armónicos e intermodulaciones en FM, arrojó la lista de posibles combinaciones para la generación de intermodulación en la frecuencia 100.5MHz; tal como se ve en la figura 53-3. El espectro de intermodulación mostrado en el programa tiene una potencia de alrededor de -80dBm.

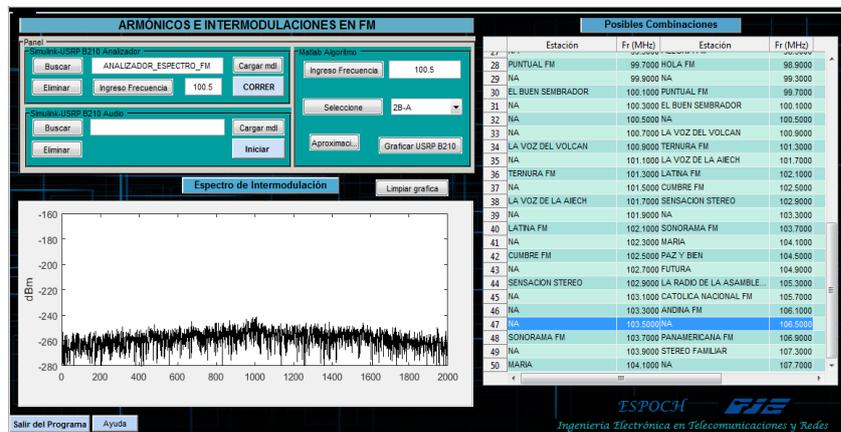


Figura 53-3: IM en 100.5 MHz de Fr. 106.5 y 103.5 MHz (Aplicación).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

El marcador 1 de la figura 54-3, muestra la intermodulación captada con el equipo analizador de espectro Anritsu, donde la potencia del producto de intermodulación generado en la frecuencia 100.5MHz llegó a -65.03 dBm.

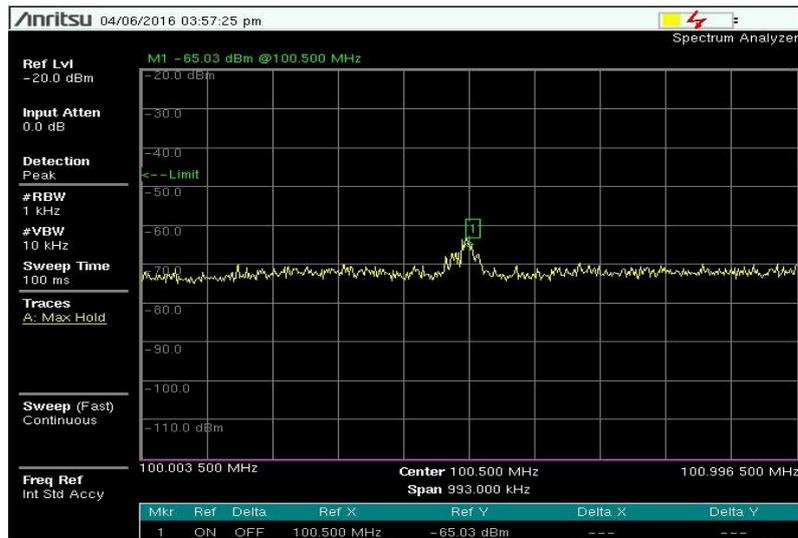


Figura 54-3: IM en 100.5 MHz de Fr.106.5 y 103.5 MHz (Anritsu).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

Mientras que en la figura 55-3 se observa el espectro del mismo producto de intermodulación en frecuencia central 100.5MHz obtenido en el analizador de espectro de Simulink, con una potencia pico cercana a -74dBm.

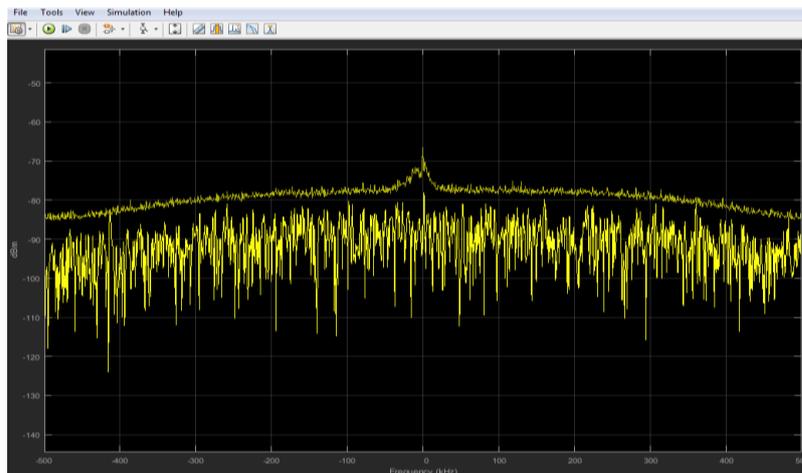


Figura 55-3: IM en 100.5 MHz de Fr. 106.5 y 103.5 MHz (Simulink).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

3.4.8 Intermodulación en 107.7 MHz de frecuencias 99.3 y 103.5 MHz

La lista de posibles combinaciones de frecuencias que forman una intermodulación en 107.7MHz se halla en la ventana de la aplicación de armónico e intermodulaciones en FM mostrada en la figura 56-3, el espectro de intermodulación visible en la misma figura indica una potencia próxima de -80dBm.

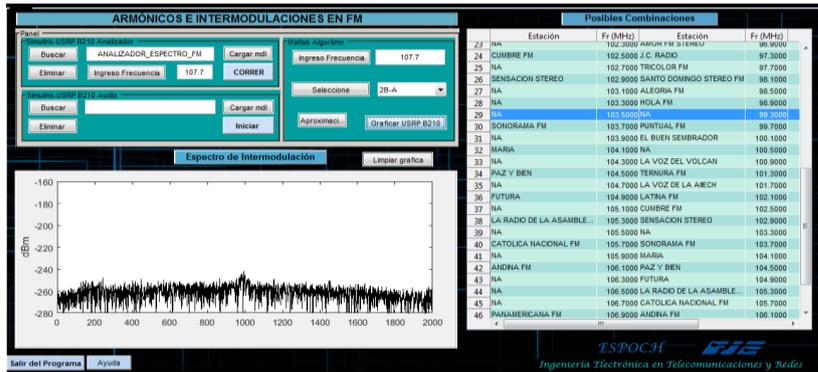


Figura 56-3: IM en 100.5 MHz de Fr. 106.5 y 103.5 MHz (Simulink).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

La señal conseguida por el analizador de espectro Anritsu es mostrada en la figura 57-3 que pertenece a la intermodulación generada en frecuencia central 107.7MHz señalada con el marcador 1, con una potencia de -75.26dBm.



Figura 57-3: IM en 100.5 MHz de Fr. 106.5 y 103.5 MHz (Simulink).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

La potencia pico alcanzada por el mismo producto de intermodulación de frecuencia 100.5MHz vista en el analizador de espectro de Simulink se halló por los -70dBm, tal como se puede apreciar en la figura 58-3.

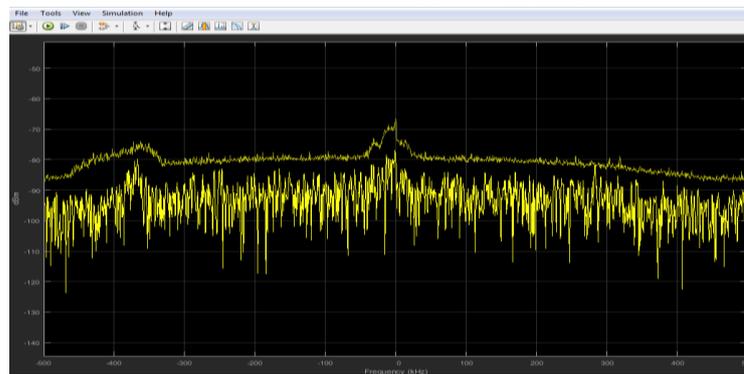


Figura 58-3: IM en 100.5 MHz de Fr. 106.5 y 103.5 MHz (Simulink).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

3.4.9 Intermodulación en 106.5 MHz de frecuencias 100.5 y 103.5 MHz.

La sección posibles combinaciones de la aplicación armónicos e intermodulaciones en FM, muestra las frecuencias elegidas para la generación de la intermodulación en 106.5MHz, como se distingue en la figura 59-3 y donde el espectro de intermodulación visible tiene una potencia cercana a -80dBm.

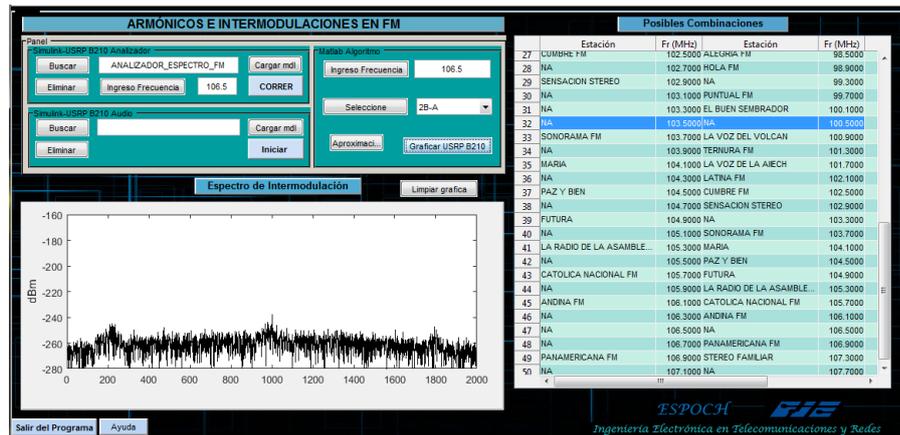


Figura 59-3: IM en 106.5 MHz de Fr. 100.5 y 103.5 MHz (Aplicación).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

La intermodulación que fue generada en la frecuencia 106.5MHz señalada con el marcador 1 en la figura 60-3 aparece con una potencia de -77.08dBm, corresponde a la señal captada por el analizador de espectro Anritsu.

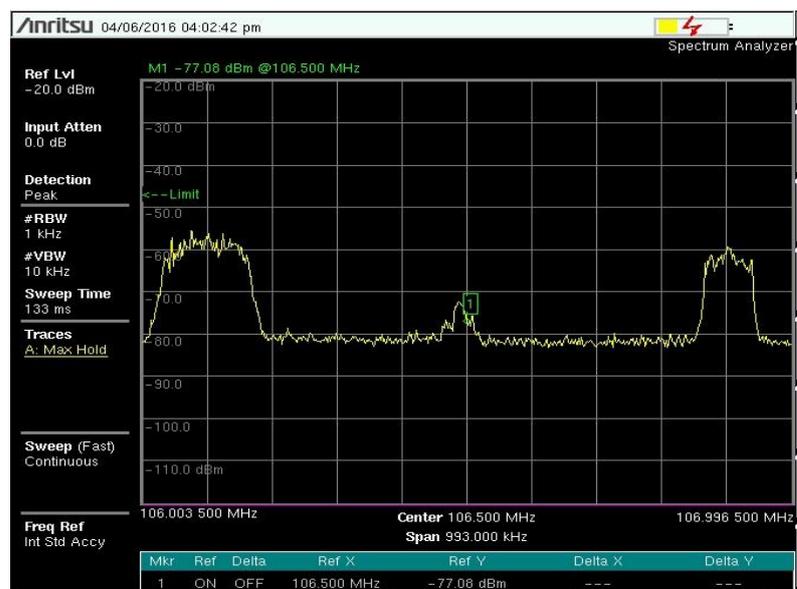


Figura 60-3: IM en 106.5 MHz de Fr. 100.5 y 103.5 MHz (Anritsu).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

Análogamente se obtuvo el espectro de intermodulación con frecuencia central en 106.5MHz con una potencia pico de casi -72dBm expuesto en la figura 61-3 que pertenece a la pantalla del analizador de espectro de Simulink.

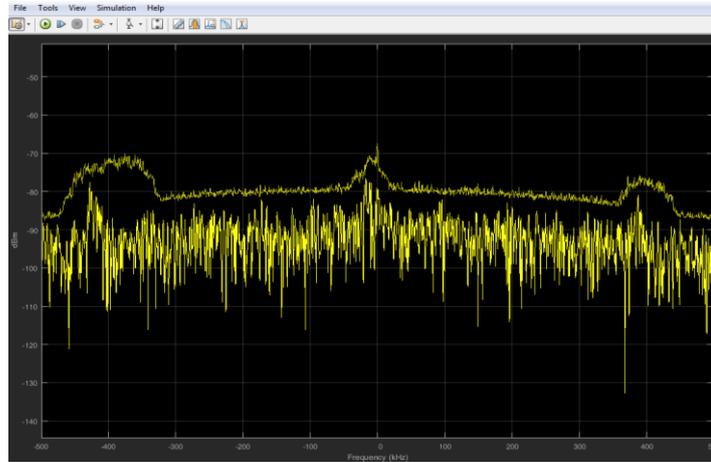


Figura 61-3: IM en 106.5 MHz de 100.5 y 103.5 MHz (Simulink).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

3.4.10 Intermodulación en 99.3 MHz de frecuencias 95.1 y 90.9 MHz.

Las frecuencias que generaron la intermodulación en 99.3MHz fueron halladas en la lista de posibles combinaciones que se encuentra visible en la figura 62-3, el espectro de intermodulación está expuesto en la misma figura, en donde se observa la intermodulación con una potencia cercana a -80dBm.

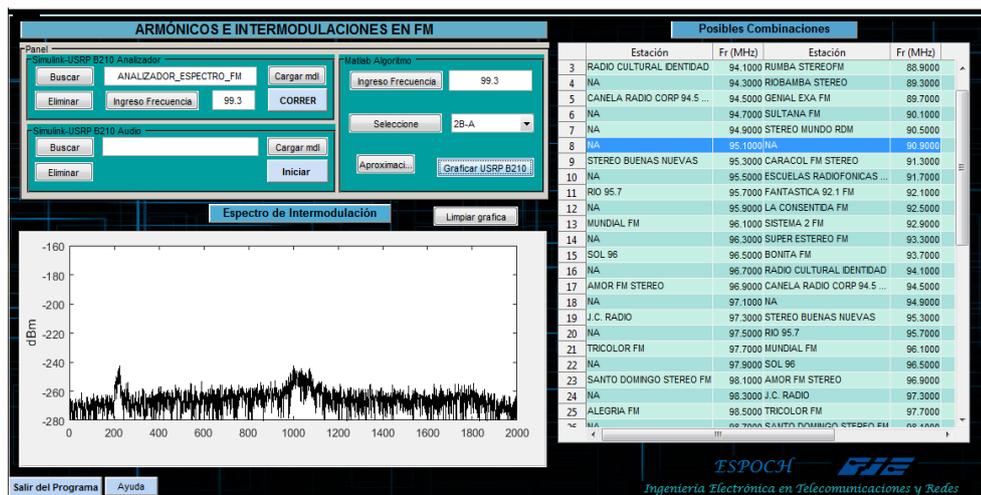


Figura 62-3: IM en 99.3 MHz de Fr. 95.1 y 90.9 MHz (Aplicación).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

El producto de intermodulación que fue generado en la frecuencia 99.3MHz se distingue en la figura 63-3, en donde la señal muestra una potencia de -78.20dBm captada por el analizador de espectro Anritsu.



Figura 63-3: IM en 99.3 MHz de Fr. 95.1 y 90.9 MHz (Anritsu).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

La misma intermodulación con frecuencia central en 99.3MHz se puede observar también desde el analizador de espectro de Simulink, con una potencia pico menor a -75dBm como se ve en la figura 64-3.

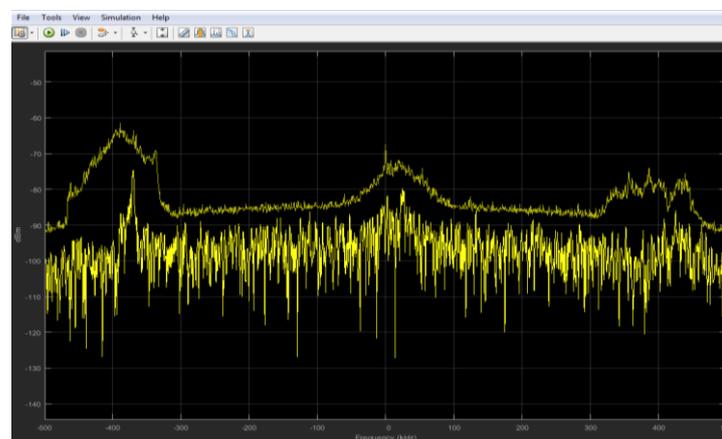


Figura 64-3: IM en 99.3 MHz de Fr. 95.1 y 90.9 MHz (Simulink).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

3.4.11 Intermodulación en 103.3 MHz de frecuencias 97.1 y 90.9 MHz

La lista de posibles combinaciones de frecuencias que forman la intermodulación en 103.3MHz se halla en la ventana de la aplicación de armónicos e intermodulaciones en FM mostrada en la figura 65-3, el espectro de intermodulación visible en la misma figura indica una potencia próxima de -80dBm.

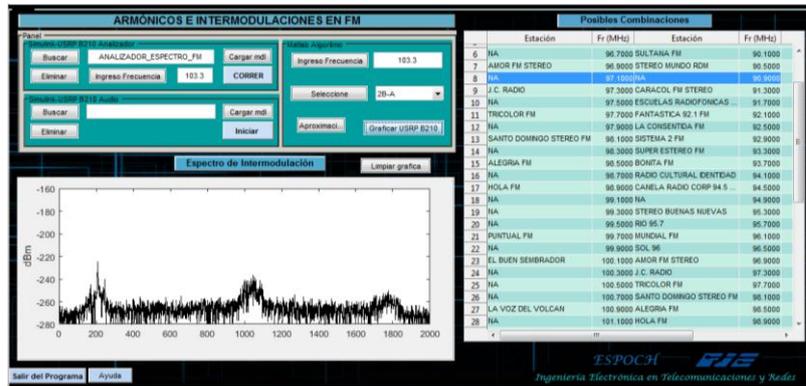


Figura 65-3: IM en 103.3 MHz de Fr. 97.1 y 90.9 MHz (Aplicación).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

La intermodulación que se produjo en la frecuencia 103.3MHz señalada con el marcador 1 en la figura 66-3, aparece con una potencia de -81.13dBm captada por el analizador de espectro Anritsu.



Figura 66-3: IM en 103.3 MHz de Fr. 97.1 y 90.9 MHz (Anritsu).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

Análogamente se obtuvo el mismo espectro de intermodulación en 103.3MHz con el analizador de espectro de Simulink, en donde la señal puede verse con potencia pico de casi -70dBm expuesto en la figura 67-3.

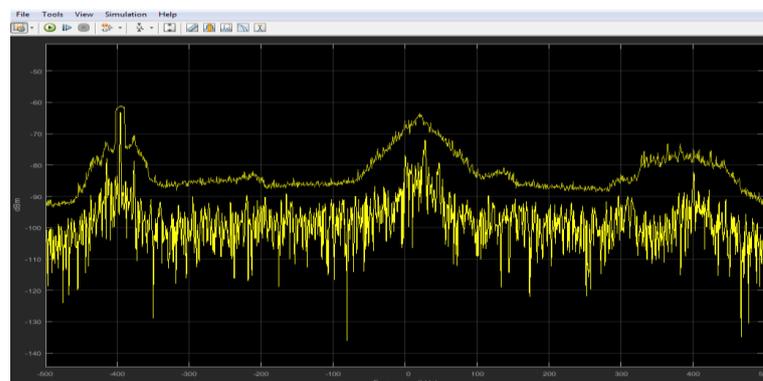


Figura 67-3: IM en 103.3 MHz de Fr. 97.1 y 90.9 MHz (Simulink).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

3.4.12 Intermodulación en 106.5 MHz de frecuencias 98.7 y 90.9 MHz.

Para la generación de la intermodulación en la frecuencia 106.5MHz se tomaron las dos frecuencias señaladas de la lista de posibles combinaciones del programa de Armónicos e Intermodulaciones en FM, tal como se observa en la figura 68-3. El espectro de intermodulación de la misma figura alcanza una potencia cercana a -80dBm.

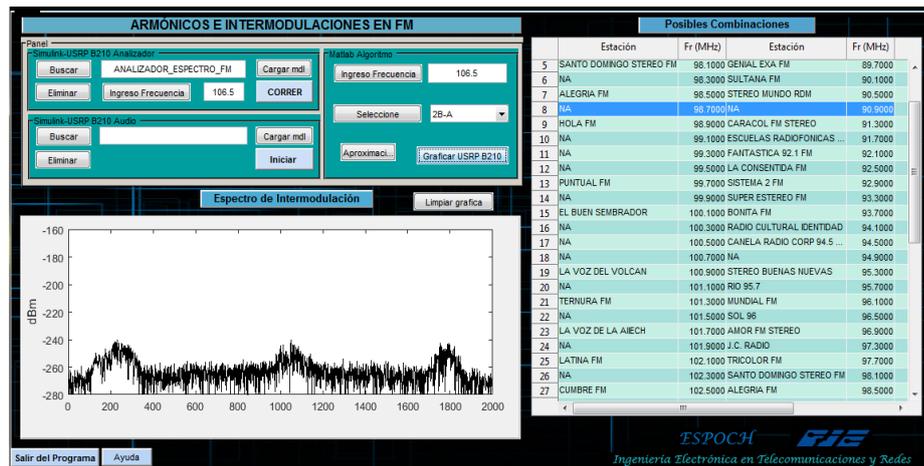


Figura 68-3: IM en 106.5 MHz de Fr. 98.7 y 90.9 MHz (Aplicación).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

La intermodulación que se produjo en la frecuencia 106.5MHz señalada con el marcador 1 en la figura 69-3, tiene una potencia de -83.96dBm captada por el equipo analizador de espectro Anritsu.



Figura 69-3: IM en 106.5 MHz de Fr. 98.7 y 90.9 MHz (Anritsu).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

Análogamente se obtuvo el espectro de la señal producto de intermodulación que se generó en la frecuencia 106.5MHz visto en el analizador de espectro de Simulink con una potencia pico menor

a -74dBm expuesto en la figura 70-3.

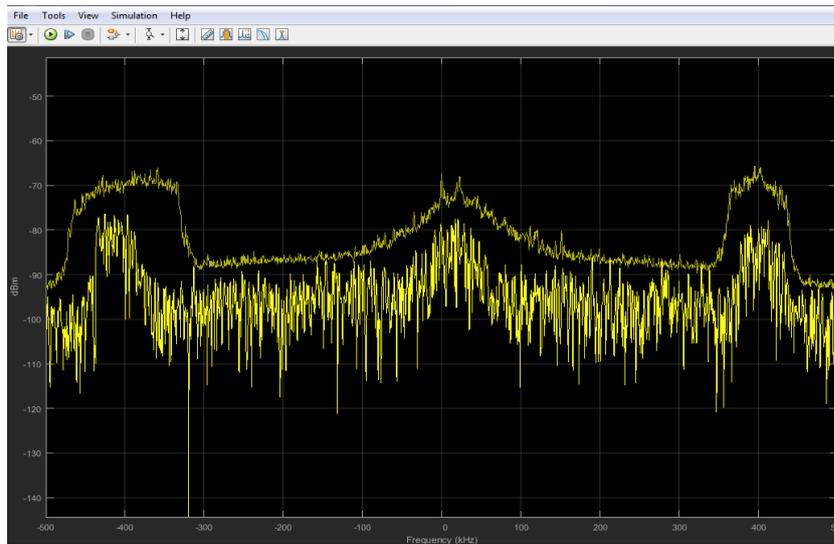


Figura 70-3: IM en 106.5 MHz de Fr. 98.7 y 90.9 MHz (Simulink).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

3.4.13 Intermodulación en 106.5 MHz de frecuencias 100.7 y 94.9 MHz.

La aplicación de predicción de armónicos e intermodulaciones en FM, proyectó la lista de posibles combinaciones para la generación de la intermodulación en la frecuencia 106.5MHz; tal como se ve en la figura 71-3. El espectro de intermodulación mostrado en el programa tiene una potencia de alrededor de -80dBm.

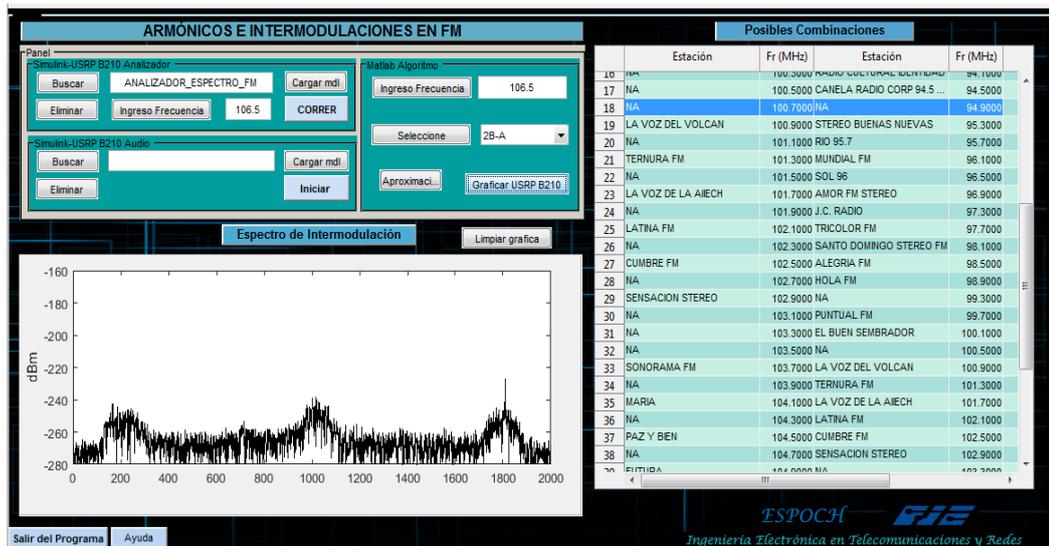


Figura 71-3: IM en 106.5 MHz de Fr. 100.7 y 94.9 MHz (Aplicación).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

El producto de intermodulación que se generó en la frecuencia 106.5MHz se distingue en la figura

72-3, donde se tiene una potencia de -77.76dBm captada por el analizador de espectro Anritsu.



Figura 72-3: IM en 106.5 MHz de Fr. 100.7 y 94.9 MHz (Anritsu).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

La misma intermodulación generada en la frecuencia central 106.5Mhz se puede observar también desde el analizador de espectro de Simulink, con una potencia pico menor a -71dBm como se ve en la figura 73-3.

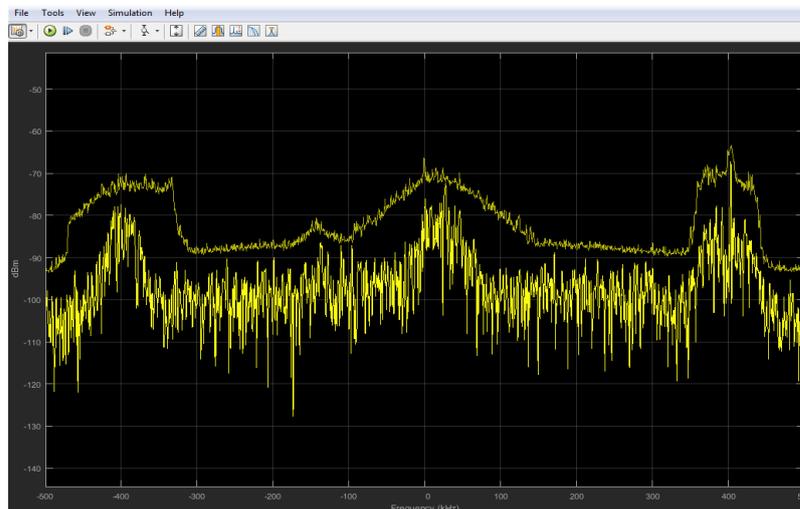


Figura 73-3: IM en 106.5 MHz de Fr. 100.7 y 94.9 MHz (Simulink).
Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

3.5 Análisis de resultados

Los armónicos vistos desde el analizador de espectro presentaron el mismo espectro de señal que se pudo obtener en la aplicación de predicción de armónicos e intermodulaciones en las distintas

frecuencias analizadas, lo que implica que el sistema está apto para el reconocimiento de armónicos en tiempo real.

Las pruebas de demodulación de audio permitieron identificar las señales vistas en las pantallas de tanto el analizador de espectro como la aplicación, teniendo como resultado que el sonido podía ser asertivamente determinado en cuanto a su fuente de origen al igual que del audio demodulado en el analizador de espectro; sin embargo, como se esperaba la señal armónica iba decreciendo en potencia a medida que aumentaba el orden, por tanto, la señal demodulada para el quinto orden presentaba menor amplitud y mayor ruido.

Los armónicos obtenidos en la aplicación en comparación con los que se obtuvieron en el analizador de espectro presentaron espectros en la misma frecuencia central con mínimas diferencias de potencia, debido a que la señal que es procesada en tiempo real varía en función del tiempo.

En la tabla 1-3 se puede encontrar los niveles de potencia de las señales armónicas.

Tabla 1-3: Niveles de potencia recibida de Armónicos

Frecuencia (MHz)	Equipo	
	Analizador de espectro(dBm)	Aplicación (dBm)
90.9	-34.54	-30
181.8	-58.98	-40
272.7	-64.78	-50
363.6	-60.82	-45
454.5	-67.71	-70
99.3	-59.09	-45
198.6	-57.12	-50
297.9	-51.42	-60
397.2	-66.96	-59
496.5	-60.08	-62

Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016.

Las intermodulaciones vistas en el analizador de espectro Anritsu y en la aplicación fueron con amplitudes menores al de una frecuencia fundamental en transmisión, debido a que estas intermodulaciones se forman por la suma y resta de señales armónicas y señales fundamentales, las intermodulaciones generadas por los transmisores FM de corto alcance fueron del orden tres $2f_2 - f_1$ y $2f_1 - f_2$ debido a la baja potencia de los transmisores para generar estas intermodulaciones.

Las intermodulaciones generadas en los transmisores FM de corto alcance fueron detectados tanto en el analizador de espectro Anritsu como en la aplicación de forma similar en espectro y con pequeñas variaciones de potencia como se puede observar en la tabla 2-3, además por medio de

la demodulación de audio de la señal emitida por los transmisores se comprobó el origen de los armónicos que generaban la intermodulación.

Tabla 2-3: Niveles de potencia recibida de Intermodulación

Frecuencia de armónicos		Frecuencia de intermodulación	Equipo	
A (MHz)	B (MHz)	F _{IM} (MHz)	Analizador de espectro(dBm)	Aplicación (dBm)
90.9	99.3	107.7	-94.04	-70
95.1	99.3	90.9	-64.48	-70
99.3	97.1	94.9	-81.89	-75
97.1	103.3	90.9	-88.06	-78
103.3	99.1	94.9	-71	-75
106.5	98.7	90.9	-83.78	-77
106.5	103.5	100.5	-65.03	-74
99.3	103.5	107.7	-75.26	-70
100.5	103.5	106.5	-77.08	-72
95.1	90.9	99.3	-78.20	-75
97.1	90.9	103.3	-81.13	-70
98.7	90.9	106.5	-83.96	-74
100.7	94.9	106.5	-77.76	-71

Realizado por: GAIBOR Marlid y JAMI Edwin, 2016

La aplicación desarrollada para la predicción de armónicos e intermodulaciones FM viene a reemplazar al analizador de espectro para Banda de radiodifusión FM, sin embargo, se puede utilizar fuera de la Banda FM si así lo requiere el usuario por ser un sistema óptimo para ver señales fundamentales, señales armónicas y de intermodulación, así como la demodulación de audio.

3.6 Consideraciones

- La integración de las tarjetas USRP B210 bajo el sistema operativo Windows no presenta problemas al trabajar con versiones de Windows 7 y 8 a diferencia de la versión más reciente Windows 10 la que no contiene los drivers necesarios para el reconocimiento de la tarjeta.
- Las tarjetas USRP B210 necesitan de paquetes adicionales para que funcionen independientemente del sistema operativo en el que se trabaje, los mismos que se puede obtener desde los sitios oficiales, para el software Matlab se puede instalar directamente desde el mismo programa. La versión de la tarjeta USRP B210 se integra con Matlab 2014 (b) y Matlab 2015 (a y b).
- La tarjeta USRP B210 se debe conectar al puerto de conexión USB 3.0 del ordenador para obtener una mayor velocidad de transporte de datos.

- Las mediciones realizadas están hechas en una sola área de trabajo debido a que el cambio de zona geográfica altera las potencias recibidas.
- Si se requiere medir intermodulaciones estas serán mejor identificadas cuando los transmisores están cerca del dispositivo con el que se mida debido a que las señales no están dispersas y presentan mayor potencia. Si se requiere generar intermodulaciones en un ambiente controlado es necesario que los transmisores estén cerca uno del otro
- Los archivos complementarios de la aplicación con extensión .mdl funcionan independientemente, por lo tanto, se debe correr un programa a la vez mas no los dos juntos, esto se debe a uno de los bloques de cada archivo busca el número de serie de la tarjeta que puede estar en uso uno a la vez, sin embargo, si no se dispone de las tarjetas USRP B210 y solo requiere calcular posibles combinaciones no es necesario cargar los archivos de Simulink.
- Si se requiere obtener datos de la intermodulación generada por bloques de Simulink es necesario parar la simulación del analizador de datos para posteriormente a esto pulsar el botón Graficar USRP B210, es recomendable cada vez que se vaya a graficar pulsar el botón limpiar gráfica de esta manera se elimina el almacenamiento de los datos de la última gráfica

CONCLUSIONES

- Las mediciones realizadas aproximadamente a un kilómetro del Cerro Cacha en el cantón Riobamba, permitieron constatar la existencia de distintos problemas de interferencia en la Banda de Radiodifusión FM, entre las que se encontró armónicos e intermodulaciones que generaban señales no deseadas que fueron captadas en el analizador de espectro y demoduladas con el propósito de identificar las estaciones causantes.
- La mayoría de las intermodulaciones se dan porque los transmisores de las estaciones radiodifusoras comparten la misma torre y caseta de equipos, pero también existen otros factores como la no linealidad de circuitos que hacen que a la salida del amplificador generen intermodulaciones o en casos excepcionales se da por elementos pasivos tales como los cables, conectores, distribuidor de potencia y antenas, cuando estos están flojos o deteriorados.
- Las señales de intermodulación y armónicos generados en la transmisión de señales FM, son originadas por la suma o resta de frecuencias provocadas en su gran mayoría por dispositivos no lineales, de donde se tiene diferente orden de intermodulación siendo los de tercer orden $2f_2 - f_1$ y $2f_1 - f_2$ los más importantes debido a que caen en la misma banda de radiodifusión FM, a través del análisis matemático realizado se consideró hasta el quinto grado para el desarrollo del algoritmo.
- Después de la selección del sistema operativo y la evaluación del software existente para la programación del algoritmo, de acuerdo a los requerimientos: lenguaje de programación de alto nivel, interfaz gráfica, amplia gama de herramientas y principalmente la integración con las tarjetas USRP, se eligió a Matlab-Simulink, para el desarrollo de la aplicación creada.
- Las pruebas de la aplicación se realizaron en un ambiente controlado mediante un muestreo no probabilístico de las frecuencias FM, para lo cual se seleccionó frecuencias libres en la banda FM en Riobamba, con la utilización de transmisores de corto alcance se generó armónicos e intermodulaciones que mediante el uso de la tarjeta USRP B210 se obtuvo el espectro de la señal en tiempo real, así como la demodulación del audio.
- La aplicación muestra varias combinaciones de frecuencias que al ser generadas en los transmisores de corto alcance permitieron comprobar que la frecuencia de intermodulación

originada en el espectro radioelctrico corresponde a la misma frecuencia predicha por la aplicacin, las seales obtenidas en el analizador de espectro Anritsu en comparacin con la aplicacin acoplada con la tarjeta USRP B210 revelaron seales de radiofrecuencia con potencias similares adem s de identificar el audio de la intermodulacin que fue emitido por los transmisores FM de corto alcance.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda incorporar nuevas bandas de frecuencias tales como AM, TV etc., dentro la aplicación para poder así determinar un mayor número de intermodulaciones que podrían generarse y afectar a los diferentes sistemas de telecomunicaciones.
- Utilizar la tarjeta USRP no solo como analizador de espectro o demodulador de audio en la banda FM sino para otros campos de procesamiento de señales en el ámbito de las telecomunicaciones como difusión de TV, celular, wifi, transmisión y recepción de frecuencias en general, dentro de los límites permitidos por la tarjeta.
- Explorar el uso de las USRP bajo el Sistema Operativo GNU Linux es recomendable por ser de código abierto lo que permite a que más desarrolladores den mayor soporte a usuarios iniciales con libertad de uso y distribución gratis de programas compatibles con la plataforma USRP.
- El trabajo realizado se puede ampliar incorporando nuevas funcionalidades como análisis de intensidad de campo, mediante la cual se podría ayudar a determinar las interferencias que existan.
- Se recomienda investigar el manejo de las tarjetas USRP B210 a fin de tener una base de conocimiento que permita desarrollar nuevos algoritmos ventajosos gracias a sus altas prestaciones y bajo costo empleando tecnologías como MIMO.
- Se recomienda que la presente aplicación para predicción de armónicos e intermodulaciones sea tomada en cuenta por ARCOTEL para el control de radiodifusión FM, para de esta manera tener una señal óptima en los radioescuchas.

BIBLIOGRAFÍA

ALBORNOZ Belén, & AGUERO, Aileen. Estado de la banda ancha en el Ecuador

[En línea] (TESIS). Flacso Ecuador 2011. p. 10

[Consulta: 2015-07-24].

Disponible en: <http://dirsi.net/sites/default/files/El%20estado%20de%20la%20Banda%20Ancha>.

ÁLVAREZ Alejandro. *Radio World*. [web]. 2015. El Problema de la Intermodulación.

[Consulta: 10 agosto 2016].

Disponible en: <http://www.radioworld.com/article/el-problema-de-la-intermodulaci%C3%B3n-en-fm/271236>

ARCILA José. *Armónicos en sistemas eléctricos* [pdf]. Análisis de Fourier. 2014.

[Consulta: 31 mayo 2016]. pp. 2-3.

Disponible en: http://ingenieros.es/files/proyectos/Armonicos_en_sistemas_electricos.pdf

ARCOTEL. *Espectro Radioeléctrico* [pdf]. Banda de frecuencias de radiodifusión. 2015.

[Consulta: 20 septiembre 2015]. pp. 27-28.

Disponible en: <http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/06/PlanNacionaldeFrecuencias.pdf>

ARCOTEL. *Espectro Radioeléctrico* [web]. Distribución de Frecuencias (76-117,975) MHz. 2015.

[Consulta: 20 septiembre 2015].

Disponible en: <http://www.arcotel.gob.ec/>

ARCOTEL. *Espectro Radioeléctrico* [web]. Plan Nacional de Frecuencia. 2016.

[Consulta: 12 Julio 2015].

Disponible en: <http://www.arcotel.gob.ec/espectro-radioelectrico-2/>

ARCOTEL. *Información Técnica* [web]. Radiodifusión. 2015

[Consulta: 20 diciembre 2015].

Disponible en:

http://controlenlinea.arcotel.gob.ec/wps/portal/informacion/informaciontecnica/radio_difusion/

ARCOTEL. *Normativa Jurídica de Ecuador* [web]. Norma Técnica para el servicio de radiodifusión sonora en frecuencia modulada analógica. 2015

[Consulta: 20 septiembre 2015].

Disponible en: <http://www.oficial.ec/resolucion-arcotel-2015-000061-apruebase-actualizacion-norma-tecnica-servicio-radiodifusion-sonora>

ARCOTEL. Radiodifusión Sonora FM [web]. Radiodifusión. 2014. [Consulta: 20 agosto 2015].

Disponible en: <http://www.arcotel.gob.ec/page/2/?s=radiodifusion>

ARIAS Sandra, & VILLAFUERTE Fernando. Estudio para determinar sitios de transmisión que ofrezcan mejor cobertura para estaciones del servicio de radiodifusión sonora FM en las provincias de el oro y sucumbíos, para la superintendencia de telecomunicaciones [En línea](**TESIS**). (Maestría) Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador. 2013. pp. 19-26

[Consulta: 2016-02-21].

Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10601/1/CD-6278.pdf>

AUDIO-TECHNICA [web]. Canadá: mayo del 2012. Tipos de Interferencia.

[Consulta: 20 agosto 2016].

Disponible en: <http://www.audio-technica.com/cms/site/26971e97bf9429d3/>

CARVAJAL, Edwin. *Física* [blog]. 2015. Ondas y Electromagnetismo.

[Consulta: 29 abril 2016].

Disponible en: <http://edwicarval.wix.com/fisicaondasyelectro#!difraccion/c4wf>

CHERREZ, Eduardo. Análisis del espectro radioeléctrico, modificación, asignación y optimización durante la transición de televisión analógica a digital terrestre en el Ecuador. [En línea] (**TESIS**). (Maestría) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador. 2014. pp. 47.

[Consulta: 2015-07-25].

Disponible en: <https://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3239/1/98T00041.pdf>

CIRCUTOR *Efectos de los armónicos.* [web]. 2016. Técnicas de compensación y filtrado de perturbaciones armónicas

[Consulta: 31 mayo 2016].

Disponible en: <http://circuitor.es/es/formacion/armonicos-electricos>

CONATEL. *Plan Nacional de Frecuencias* [pdf]. 2012. Espectro Radioeléctrico de Ecuador. p. 13. [Consulta: 20 Julio 2015].

Disponible en: http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/plan_nacional_frecuencias_2012.pdf

CRAWLABILITY. *Engine Optimization* [web]. 2016. Comunidad de Electrónicos, Foros de Electrónica.

[Consulta: 18 marzo 2016].

Disponible en:

<http://www.forosdeelectronica.com/upload/EinSoldiatFiles/Transmisordiagrama.jpg>

DIARIO LOS ANDES. “Ecuador lanzará concurso para concesión de más de mil frecuencias de radio y tv para democratizar espectro radioeléctrico”. Artículo 106 - Distribución equitativa de frecuencias. [artículo], 2016, (Ecuador).

[Consulta: 4 mayo 2016].

Disponible en: <http://www.andes.info.ec/es/noticias/ecuador-lanzara-concurso-concesion-mas-mil-frecuencias-radio-tv-democratizar-espectro>

ELVIRA. *Anritsu MS2724C* [web]. Moscú: 2015.

[Consulta: 15 noviembre 2015].

Disponible en: http://www.elvira.ru/import/spectrum_analyzer/anritsu_ms2724c.html

ETTUS. *National Instruments* [web]. Santa Clara, California: julio 2015. USRP™ B200/B210 Bus Series. [Consulta: 27 septiembre 2015].

Disponible en: www.ettus.com

EXPLORABLE [web]. Mayo del 2009. Muestreo no probabilístico.

[Consulta: 23 abril 2016].

Disponible en: <https://explorable.com/es/muestreo-no-probabilistico>

FERNÁNDEZ José. Diseño e implementación de un laboratorio virtual en DSP para comunicaciones usando Matlab y Simulink [En línea](proyecto). Universidad de Costa Rica, Costa Rica. 2007. p. 34

[Consulta: 2016-03-12].

Disponible en: <http://eie.ucr.ac.cr/uploads/file/proybach/pb0708t.pdf>

GARCÍA José. *Programa de Estadística del ISEI* [web]. Mayo del 2012. Concepto de Muestra. [Consulta: 23 abril 2016].

Disponible en: <http://colposfesz.galeon.com/est501/suma/sumahtml/conceptos/estadistica.htm>

GONZÁLEZ Anais. *Investigación Educativa* [blog]. JUDIBANA: 15 de junio 2012.

[Consulta: 22 abril 2016].

Disponible en: <http://investigacioneducativaparaguana.blogspot.com/2012/06/investigacion-de-cam-po-descriptiva.html>

IBARRA Chano. *Metodología de Investigación* [blog]. 26 de octubre 2011.

[Consulta: 22 abril 2016].

Disponible en: <http://metodologadelainvestigacinsiis.blogspot.com/2011/10/tipos-de-investigacion-exploratoria.html>

IBROAD. *Filtros FM.* [web]. 2016. Filtros de FM.

[Consulta: 31 mayo 2016].

Disponible en: <http://ibroad.es/Nuestros-productos/Filtros-FM/>

ITU-R. *Recomendación P.452* [web]. RECOMENDACIÓN UIT-R P.452.

[Consulta: 28 abril 2016].

Disponible en: <https://www.xirio-online.com/help/es/rec452.html>

ITU-R. Definición y medición de los productos de intermodulación en transmisores que utilizan técnicas de modulación de frecuencia, de fase o compleja. [pdf]. 2000 pp. 2-6.

[Consulta: 26 abril 2016].

Disponible en: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/sm/R-REC-SM.1446-0-200004-I!!PDF-S.pdf

LOGROÑO Marcelo, & PAREDES Eduardo. Diseño e implementación de un sistema inteligente para detección de interferencias electromagnéticas en la banda de frecuencia modulada [En línea] (TESIS). (Maestría) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba. 2014. pp. 17-18. [Consulta: 2015-07-12].

Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3588>

LOGROÑO Marcelo, & PAREDES Eduardo. Diseño e implementación de un sistema inteligente para detección de interferencias electromagnéticas en la banda de frecuencia modulada [En línea] (TESIS). (Maestría) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba. 2014. pp. 98-104. [Consulta: 2015-07-12].

Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3588>

MAESTRO Daniel. Diseño y caracterización de sistemas de transmisión y recepción para aplicaciones docentes [En línea](TESIS).(Maestría) Universidad de Rovira | Virgili ,Tarragona. 2014. pp. 40-42

[Consulta: 2016-02-26].

Disponible en: <http://deeea.urv.cat/public/PROPOSTES/pub/pdf/2192pub.pdf>

MATHWORKS. *Matlab* [web]. 2015. Lenguaje de Cálculo Técnico y Programación.

[Consulta: 15 septiembre 2015].

Disponible en: <http://www.mathworks.com/products/matlab/>

MATHWORKS. *Matlab Soporte* [web]. 2016. Documentation Abs.

[Consulta: 16 marzo 2016].

Disponible en: <http://www.mathworks.com/help/simulink/slref/abs.html>

MICROLEASE. *Plc* [web]. 16 de julio 2015. Función del analizador de espectro.

[Consulta: 20 septiembre 2015].

Disponible en: https://www.microlease.com/latin_es/products/anritsu/analizadores-de-espectro-rf/m_s2724c?basemodelid=5472

ORELLANA César. Análisis de distorsión armónica en redes de distribución de energía eléctrica utilizando Matlab [En línea](TESIS). Universidad San Carlos de Guatemala, Guatemala. 2011. p. 90 [Consulta: 2016-05-31].

Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0770_EA.pdf

PACHECO Sandro & ÁLVAREZ Edgar. *Estudio de factibilidad* [web]. Cuenca: 2008. Tecnología LMDS. [Consulta: 27 Julio 2015].

Disponible en: <http://www.cepes.org.pe/apc-aa/archivos-aa/.../>

PHIROSIBERIA. *Ondas de Radio* [web]. Propiedades de la Ionósfera. [Consulta: 15 abril 2016].

Disponible en:

<http://recursostic.educacion.es/secundaria/edad/1esobiologia/1quincena5/paginas/radio.htm>

RAMIREZ, Luz. *Sistemas de radiocomunicaciones* [web]. Madrid, España: 2015. Paraninfo. [Consulta: 21 Julio 2015].

Disponible en: <http://www.paraninfo.es/catalogo/9788497324489/sistemas-de-radiocomunicaciones->

REASA. *Filtrado de armónicos* [web]. México: 2014. Reasa Power Quality. [Consulta: 21 Julio 2015].

Disponible en: <http://www.reasa.com.mx/>

SIRA. *FM Bandpass filter* [pdf]. CFM4-0.6. 2014.

[Consulta: 2 de junio 2016]. p. 1.

Disponible en: <http://www.sira.mi.it/es/products/broadcasting/8/fm-filters/281>

UNAD. *Módulo de Antenas y Propagación* [web]. 2015. Propagación Terrestre de las Ondas Electromagnéticas. [Consulta: 25 enero 2016].

Disponible en:

http://datateca.unad.edu.co/contenidos/208019/MODULO%20ANTENAS%20Y%20PROPAGACION-2011/leccin_22_propagacin_terrestre_de_las_ondas_electromagnticas.html

UNIVERSO FÓRMULAS [web]. Octubre 2015. Tipos de muestreo no probabilístico. [Consulta: 23 abril 2016].

Disponible en: <http://www.universoformulas.com/estadistica/inferencia/muestreo-no-probabilistico/>

VIMESA. *Filtro Paso Banda F.M* [pdf]. Especificaciones Eléctricas. 2013.

[Consulta: 31 mayo 2016]. p. 1.

Disponible en:

<http://www.vimesa.es/sites/default/files/FILTRO%20FM%20%20rev08%202013.pdf>

WIGODSKI Jacqueline. *Metodología de Investigación* [blog]. 14 de junio 2012.

[Consulta: 23 abril 2016].

Disponible en: <http://metodologiaeninvestigacion.blogspot.com/2010/07/poblacion-y-muestra.html>

WORDPRESS. *Amazon* [web]. 2016. Portal ideal.

[Consulta: 15 febrero 2016].

Disponible en: <http://www.portalideal.com/tienda/categoria-producto/mp3>

ANEXOS

Anexo A: Algoritmo.fig

```
function varargout = entornogui(varargin)
% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',    mfilename, ...
                  'gui_Singleton', gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @entornogui_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn', @entornogui_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn', [], ...
                  'gui_Callback', []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end
if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT
% --- Executes just before entornogui is made visible.
function entornogui_OpeningFcn(hObject,~, handles, varargin)
axes(handles.axes4);
[p,mapa]=imread('fondo.jpg','jpg');
image(p, colormap(mapa), axis off, hold on
axes(handles.axes5);
[p,mapa]=imread('fie.png','png');
image(p, colormap(mapa), axis off, hold on
handles.output = hObject;
% Update handles structure
guidata(hObject, handles);
% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = entornogui_OutputFcn(~,~, handles)
varargout{1} = handles.output;
function edit1_Callback(hObject, ~, ~)
global fi;
global A;
global B;
global C;
global D;
global FM;
global FM2;
global FM3;
global FM4;
global n;
global alldata;
global RADIO;
global evaluar;
global I;
global aprox;
fi= str2double(get(hObject,'String'));
% fi= round(fi,1);
fi=round(fi,2);
entero=fix(fi);
decimal=fi-fix(fi);
mul=round(decimal*100,0);
mul2=round(decimal*10,0);
res=round(rem(mul,10),0);
evaluar=0;
if res~=0
```

```

if (4 < mul)&&(mul <= 16)
    I=fi;
    fi=entero+0.1;
    evaluar=1;
elseif (24 < mul)&&(mul <= 36)
    I=fi;
    fi=entero+0.3;
    evaluar=1;
elseif (44 < mul)&&(mul <= 56)
    I=fi;
    fi=entero+0.5;
    evaluar=1;
elseif (64 < mul)&&(mul <= 76)
    I=fi;
    fi=entero+0.7;
    evaluar=1;
    elseif (84 < mul)&&(mul <= 96)
        I=fi;
        fi=entero+0.9;
        evaluar=1;
else
    msgbox('No existe Intermodulación producida por FM','mensaje');
%     disp ('por definir aproximacion superior o inferior')
    fi=0;
end
elseif res==0
if round(rem(mul2,2),0)==0
    msgbox('No existe Intermodulación producida por FM','mensaje');
% %     disp ('por definir aproximacion superior o inferior')
    fi=0;
else
    fi;
end
end
[FM,RADIO,alldata]=xlsread('basecompleto.xlsx');
% if (fi<60)|(fi>115)
%     msgbox('Ingrese una frecuencia entre (60-115)','mensaje');
%
% else
%
FM=FM';
n=length(FM);
FM2=FM*2;
FM3=FM*3;
FM4=FM*4;
A=zeros(n,n);
for j=1: n
    for i=1: n
        A(i,j)=-FM(j)+FM2(i);
    end
end
A=round(A,2);
B=zeros(n,n);
for j=1: n
    for i=1: n
        B(i,j)=-FM2(j)+FM3(i);
    end
end
B=round(B,2);
C=zeros(n,n);
for j=1: n
    for i=1: n
        C(i,j)=FM4(i)-FM3(j);
    end
end
C=round(C,2);
D=zeros(n,n,n);

```

```

for j=1: n
    for i=1: n
        for k=1: n
            D(i,j,k)=FM4(i)-FM2(j)-FM(k);
        end
    end
end
end
D=round(D,2);
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit1_CreateFcn(hObject, ~,~)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
% --- Executes on button press in pushbutton1.
% --- Executes on button press in pushbutton2.
function pushbutton2_Callback(~, ~, ~)
function edit2_Callback(~, ~, ~)

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit2_CreateFcn(hObject, ~, ~)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function edit3_Callback(~, ~, ~)
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit3_CreateFcn(hObject, ~, ~)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function pushbutton3_Callback(~, ~, ~)
function pushbutton4_Callback(~, ~, ~)
function pushbutton5_Callback(~, ~, ~)
function listbox2_Callback(~, ~, ~)
function listbox2_CreateFcn(hObject, ~, ~)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function uitable1_CellEditCallback(~, ~, ~)
function popupmenu1_Callback(hObject, ~, handles)
contenido=get(hObject,'String');
a=get(hObject,'Value');
texto=contenido(a);
switch cell2mat(texto)
    case '2B-A'
        [FM,RADIO,alldata]=xlsread('basecompleto.xlsx');
        global fi;
        global A;
        global B;
        global C;
        global D;
        global evaluar;
        global FM;
        global I;
        global RADIO;
        global aprox;
        [x,y]=find (A==fi);
        Posicion=[x,y];
        Pos=Posicion(:,1);
        [~, unicos] = unique(Pos);
        repetidos = setdiff(1:length(Pos), unicos);
        if repetidos~=0
            Posicion(repetidos,:)=[];
            m=length(unicos);
        else
            m=length(x);
        end
end

```

```

if evaluar==1
    aprox=cell(m,8);
end
datos=cell(m,4);
if m~=0
    for k=1: m
        w=Posicion(k,1);
        z=Posicion(k,2);
        if evaluar ==1
            FRA=round((2*FM(w)-I),3);
            FRB=round((I+FM(z))/2,3);
            aprox(k,:)=[RADIO(w,1),alldata(w,2),RADIO(z,1),alldata(z,2),alldata(w,2),FRA,FRB,alldata(z,2)];
            datos(k,:)=[alldata(w,:),alldata(z,:)];
        else
            datos(k,:)=[alldata(w,:),alldata(z,:)];
        end
    end
    datos;
end
case '3C-2B'
[~,~,alldata]=xlsread('basecompleto.xlsx');
global fi;
global A;
global B;
global C;
global D;
global evaluar;
global FM;
global I;
global RADIO;
global alldata;
global aprox;
[x,y]=find (B==fi);
Posicion=[x,y];
Pos=Posicion(:,1);
[valuni, unicos] = unique(Pos);
repetidos = setdiff(1:length(Pos), unicos);
if repetidos~=0
    Posicion(repetidos,:)=[];
    m=length(unicos);
else
    m=length(x);
end
if evaluar == 1
    aprox=cell(m,8);
end
datos=cell(m,4);
if m ~= 0
    for k=1: m
        w=Posicion(k,1);
        z=Posicion(k,2);
        if evaluar ==1
            FRB=round((3*FM(w)-I)/2,3);
            FRC=round((I+2*FM(z))/3,3);
            aprox(k,:)=[RADIO(w,1),alldata(w,2),RADIO(z,1),alldata(z,2),alldata(w,2),FRB,FRC,alldata(z,2)];
            datos(k,:)=[alldata(w,:),alldata(z,:)];
        else
            datos(k,:)=[alldata(w,:),alldata(z,:)];
        end
    end
    datos;
end
case '4D-3C'
[FM,RADIO,alldata]=xlsread('basecompleto.xlsx');
global fi;
global A;
global B;

```

```

global C;
global D;
global evaluar;
global FM;
global I;
global RADIO;
global alldata;
global aprox;
[x,y]=find (C==fi);
Posicion=[x,y];
Pos=Posicion(:,1)+Posicion(:,2);
[valuni, unicos] = unique(Pos);
repetidos = setdiff(1:length(Pos), unicos);
if repetidos~=0
    Posicion(repetidos,:)=[];
    m=length(unicos);
else
    m=length(x);
end
if evaluar==1
    aprox=cell(m,8);
end
datos=cell(m,4);
if m ~= 0
    for k=1: m
        w=Posicion(k,1);
        z=Posicion(k,2);
        if evaluar ==1
            FRC=round((4*FM(w)-I)/3,4);
            FRD=round((I+3*FM(z))/4,4);
            aprox(k,:)=[RADIO(w,1),alldata(w,2),RADIO(z,1),alldata(z,2),alldata(w,2),FRC,FRD,alldata(z,2)];
            datos(k,:)=[alldata(w,:),alldata(z,:)];
        else
            datos(k,:)=[alldata(w,:),alldata(z,:)];
        end
    end
end
datos;
end
case '4D-2B-A'
[FM,RADIO,alldata]=xlsread('basecompleto.xlsx');
global fi;
global A;
global B;
global C;
global D;
global evaluar;
global FM;
global I;
global RADIO;
global alldata;
global aprox;
[x,y,v]= ind2sub(size(D),find (D==fi));
Posicion=[x,y,v];
% Posicion=ceil(Posicion);
Pos=Posicion(:,1);
[valuni, unicos] = unique(Pos);
repetidos = setdiff(1:length(Pos), unicos);
if repetidos~=0
    Posicion(repetidos,:)=[];
    m=length(unicos);
else
    m=length(x);
end
datos=cell(m,6);
if m ~= 0
    for k=1: m
        w=Posicion(k,1);

```

```

        z=Posicion(k,2);
        q=Posicion(k,3);
        datos(k,:)=[alldata(w,:),alldata(z,:),alldata(q,:)];
    end
    datos
end

end
    set(handles.uitable1,'data',datos);
function popupmenu1_CreateFcn(hObject,~,~)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function edit4_Callback(hObject,~,~)
fr= str2double(get(hObject,'String'));
function edit4_CreateFcn(hObject,~,~)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function pushbutton6_Callback(~,~,~)
function axes4_CreateFcn(~,~,~)
function axes2_CreateFcn(~,~,~)
function pushbutton7_Callback(~,~,handles)
axes(handles.axes2);
function pushbutton8_Callback(~,~,handles)
axes(handles.axes3);
global a;
global salida;
if isempty(a)
    errorDlg('Iniciar Simulink-USRP B210 Analizador para poder graficar','Mensaje');
else
    scope
a=salida.getElement('var').Values.data;
a=10*log(a);
[x,z]=size(a);
i=1;
j=1;
    while i < z
        if a(:,i)==0
            i=i+1;
        else
            b(:,j)=a(:,i);
            j=j+1;
            i=i+1;
        end
    end
j=j-1;
for i=1 : j
    k=1;
    l=(x/2)+1;
    while k <= x/2
        c(k,:,i)=b(l,:,i);
        k=k+1;
        l=l+1;
    end
end
for i=1 : j
    k=1;
    l=(x/2)+1;
    while k <= x/2
        c(l,:,i)=b(k,:,i);
        k=k+1;
        l=l+1;
    end
end
for i=1 : j
    plot(c(:,i),k')

```

```

        axis([0 2000 -280 -160])
ylabel('dBm')
    end
    end
function pushbutton_simbrowse_Callback(hObject, ~, handles)
[input_file,pathname] = uigetfile( ...
    {'*.mdl','mdl Files (*.mdl)';...
    '*.*', 'All Files (*.*)'}, ...
    'Select files', ...
    'MultiSelect', 'on');
if pathname == 0
    return
end
inputfile= fullfile(pathname,input_file);
current_folder=strcat(cd,'\');
mdlname=strrep(inputfile,current_folder,"");
mdlname=strrep(mdlname,'.mdl','');
set(handles.edit_simfile,'String',mdlname);
guidata(hObject, handles);
function edit_simfile_Callback(~, ~, ~)
function edit_simfile_CreateFcn(hObject, ~, ~)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function pushbutton_simremove_Callback(hObject, ~, ~)
handles=guidata(hObject);
set(handles.edit_simfile,'String','');
guidata(hObject, handles);
function pushbutton_loadmodel_Callback(hObject, ~, handles)
modelname=get(handles.edit_simfile,'string');
if isempty(modelname)
    errordlg('You have not input the model name');
end
checkload=~isempty(find_system('type','block_diagram','name',modelname));
if checkload==0
    try
        load_system(modelname);
    catch
    end
end
block_sinewave=sprintf('%s/sinewave',modelname);
freq=get_param(block_sinewave,'value');%b
set(handles.edit_freq,'string',num2str(freq));
handles.modelname=modelname;
handles.block_sinewave=block_sinewave;
guidata(hObject,handles)
function pushbutton_run_Callback(hObject, ~, handles)
flag=get(hObject,'string');
if strcmp(flag,'CORRER')==1
set_param(handles.modelname,'SimulationCommand','Start');
set(hObject,'string','PARAR');
else
set_param(handles.modelname,'SimulationCommand','Stop');
set(hObject,'string','CORRER');
end
guidata(hObject,handles);
function slider_freq_CreateFcn(hObject, ~, ~)
if isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor',[.9 .9 .9]);
end
function edit_freq_Callback(hObject, ~, ~)
handles=guidata(hObject);
val=get(hObject,'string');
set_param(handles.block_sinewave,'value',val);%b
guidata(hObject,handles);
function edit_freq_CreateFcn(hObject, ~, ~)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))

```

```

    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function pushbutton14_Callback(~, ~, ~)
function pushbutton15_Callback(~, ~, ~)
function pushbutton16_Callback(~, ~, ~)
function pushbutton21_Callback(~, ~, ~)
function edit_archivosimulink_Callback(~, ~, ~)
function edit_archivosimulink_CreateFcn(hObject, ~, ~)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function boton_buscar_Callback(hObject, ~, handles)
[input_file,pathname] = uigetfile( ...
    {'*.mdl','mdl Files (*.mdl)';...
    '*. *', 'All Files (*.*)'}, ...
    'Select files', ...
    'MultiSelect', 'on');
if pathname == 0
    return
end
inputfile= fullfile(pathname,input_file);
current_folder=strcat(cd,'\');
mdlname=strrep(inputfile,current_folder,"");
mdlname=strrep(mdlname,'.mdl','');
set(handles.edit_archivosimulink,'String',mdlname);
guidata(hObject, handles);
function boton_eliminar_Callback(hObject, ~,~)
handles=guidata(hObject);
set(handles.edit_archivosimulink,'String','');
guidata(hObject, handles);
function boton_cargar_Callback(hObject, ~, handles)
modelname=get(handles.edit_archivosimulink,'string');
if isempty(modelname)
    errorDlg('You have not input the model name');
end
checkload=~isempty(find_system('type','block_diagram','name',modelname));
if checkload==0
    try
        load_system(modelname);
    catch
    end
end
block_sinewave=sprintf('%s/sinewave',modelname);
freq=get_param(block_sinewave,'value');%b
set(handles.edit_freq,'string',num2str(freq));
handles.modelname=modelname;
handles.block_sinewave=block_sinewave;
guidata(hObject,handles)
function boton_correr_Callback(hObject, ~, handles)
flag=get(hObject,'string');
if strcmp(flag,'CORRER')==1
set_param(handles.modelname,'SimulationCommand','Start');
set(hObject,'string','PARAR');
else
set_param(handles.modelname,'SimulationCommand','Stop');
set(hObject,'string','CORRER');
end
guidata(hObject,handles);
function edit10_Callback(~, ~, ~)
function edit10_CreateFcn(hObject, ~, ~)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function edit12_Callback(hObject, ~, ~)
handles=guidata(hObject);
val=get(hObject,'string');
function edit12_CreateFcn(hObject, ~, ~)

```

```
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function pushbutton22_Callback(~, ~, ~)
function pushbutton1_ButtonDownFcn(~, ~, ~)
function pushbutton24_Callback(~, ~, ~)
opcion=questdlg('¿DESEA CERRAR EL PROGRAMA?',...
    'SALIR','Si','No','No');
if strcmp(opcion,'No')
    return
else
    strcmp(opcion,'Si')
    clear,clc,close all
end
function pushbutton25_Callback(~, ~, ~)
winopen('ayuda.pdf')
function pushbutton27_Callback(~, ~, handles)
axes(handles.axes3);
cla reset
function pushbutton28_Callback(hObject, eventdata, handles)
global aprox;
ventanados
```

Anexo B: Datosespectro.m

```
global a;
global salida;
a=salida.getElement('var').Values.data;
[x,y,z]=size(a);
i=1;
j=1;
while i < z
    if a(:, :, i)==0
        %           z=z-1;
            i=i+1;
    else
        b(:, :, j)=a(:, :, i);
        j=j+1;
        i=i+1;
    end
end

j=j-1;

for i=1 : j
    k=1;
    l=(x/2)+1;
    while k <= x/2
        c(k, :, i)=b(l, :, i);
        k=k+1;
        l=l+1;
    end
end

for i=1 : j
    k=1;
    l=(x/2)+1;
    while k <= x/2
        c(l, :, i)=b(k, :, i);
        k=k+1;
        l=l+1;
    end
end

for i=1 : j
    plot(c(:, :, i), 'k')
end
```

Anexo C: Ventanados.m

```
function pushbutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)
global aprox;
set(handles.uitable2,'data',aprox);
function edit1_Callback(hObject, eventdata, handles)
global aa;
aa= str2double(get(hObject,'String'))
function edit1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function edit2_Callback(hObject, eventdata, handles)
global bb;
bb= str2double(get(hObject,'String'))
function edit3_Callback(hObject, eventdata, handles)
global cc;
cc= str2double(get(hObject,'String'))
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function edit4_Callback(hObject, eventdata, handles)
global dd;
dd= str2double(get(hObject,'String'))
function popuptext1_Callback(hObject, eventdata, handles)
contenido=get(hObject,'String');
val=get(hObject,'Value');
texto=contenido(val);
global aa;
global bb;
global cc;
global dd;
global r;
switch cell2mat(texto)
    case '2B-A'
        r =2*bb-aa;

    case '3C-2B'
        r=3*cc-2*bb;
    case '4D-3C'
        r=4*dd-3*cc;
    case '4D-2B-A'
        r=4*dd-2*bb-aa;
end
set(handles.text5,'String',r);
function pushbutton4_Callback(hObject, eventdata, handles)
global aa;
global bb;
global cc;
global dd;
global r;
clear aa;
clear bb;
clear cc;
clear dd;
clear r;
set(handles.edit1,'String','');
set(handles.edit2,'String','');
set(handles.edit3,'String','');
set(handles.edit4,'String','');
set(handles.text5,'String','');
function pushbutton5_Callback(hObject, eventdata, handles)
function pushbutton6_Callback(hObject, eventdata, handles)
opcion=questdlg('¿DESEA CERRAR EL PROGRAMA?',...
```

```
'SALIR','Si','No','No');  
if strcmp(opcion,'No')  
    return  
else  
    strcmp(opcion,'Si')  
    clear,clc,close all  
end
```