



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍAS

CARRERA:

INGENIERÍA ELECTRÓNICA

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRÓNICO

TEMA:

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PROTOTIPO EN
VEHÍCULOS DE EMERGENCIA CIUDADANA PARA LA TRANSMISIÓN DE
MENSAJES DE ALERTA DE VOZ HACIA RADIO RECEPTORAS FM EN
VEHÍCULOS PÚBLICOS Y PRIVADOS MEDIANTE EL USO DE
USRP Y SOFTWARE DE CONTROL PROGRAMABLE

AUTORES:

MARTÍN LOVATO BALSECA
LENIN LUCAS JURADO

DIRECTOR:

ING. CARLOS BOSQUEZ

GUAYAQUIL, MAYO DEL 2014

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Los conceptos desarrollados, análisis realizados y conclusiones del presente trabajo, son de exclusiva responsabilidad de los autores y la propiedad intelectual es de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, Mayo del 2014

(f) _____

Martín Lovato Balseca

(f) _____

Lenin Lucas Jurado

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme permitido llegar hasta estas instancias, ya que sin él no hubiera sido posible hacer realidad mi sueño tan anhelado.

A mi papá Carlos Lucas Lucas que desde el cielo fue mi motivación diaria y más importante para poder culminar con éxito mi carrera.

A mi mamá Marivel Jurado y Hermano Carlos Lucas Jurado, que me apoyaron durante todo el proceso de titulación y me daban fuerzas para seguir adelante cuando más lo necesitaba, siendo pilares importantes en la obtención del título.

A mi Tutor, Ingeniero Carlos Bosquez quien nos brindó su apoyo para poder realizar de la mejor manera el proyecto de tesis. Al igual que el Ingeniero Víctor Huilcapi por su valiosa guía y asesoramiento a la realización de la misma.

Lenin Lucas J.

AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente a Dios, el principal guía en el camino hacia la consecución de mis objetivos, por ser quien me dio la salud, la vida y el intelecto para alcanzarlos. Porque siempre estuvo y está allí cuando más lo necesito y en cada paso que doy.

A la Blga. Sara Balseca Macías, mi Madre, por ser mi ejemplo a seguir y pilar fundamental en mi vida. Por sus enseñanzas, regaños y sabios consejos, que con absoluto amor de aquella persona que me dio la vida terrenal, supo formar en mí el criterio necesario para alcanzar cualquier meta que me propusiera.

A mi abuela, Juana Macías de Balseca, por ser mi guía espiritual y aquella persona que me enseñó agrandar a Dios con mis acciones e infundirme el precepto de que con Dios todo se puede. Por enseñarme el equilibrio que debe existir en mi vida entre lo espiritual y lo intelectual.

A mi abuelo, Alfredo Balseca Sánchez, por ser el ejemplo más grande de sencillez, bondad y humildad, valores más importantes que han regido mi forma de vivir.

A Giovanni Chasin Valencia, por ser mi instructor y formador en una de las principales etapas de mi vida, dándome el carácter necesario para luchar por todo aquello que me proponga.

A mis instructores, profesores y demás educadores en especial al Ing. Carlos Bosquez por su apoyo para lograr finalizar mi trabajo de titulación. Así mismo al Ing. Víctor Huilcapi por todo el aporte brindado en la etapa final de la universidad.

A todos mis familiares y amigos, en especial a Katerine Gómez, a todos por creer en mí y por ofrecerme ese granito de arena que me impulsa cada día a salir adelante.

Martín Lovato B.

DEDICATORIA

A Dios, por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida. Por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarlo cada día más.

A mi papá Carlos Lucas Lucas quien siempre me inculcó lo mejor para ser un hombre de bien, ahora estoy cumpliendo uno de sus sueños más anhelados, se lo dedico a él por qué a pesar de no tenerlo presente siempre guio cada uno de mis pasos para la obtención de mi título.

Lenin Lucas J.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, con el más sincero agradecimiento, a Dios. Sé que sin Él, nada en mi vida hubiese sido posible.

A toda mi familia, que han depositado toda su confianza en mí ya que jamás dudaron o dudarán que proponiéndomelo, puedo lograr cualquier objetivo que tenga en la vida y que saben que cada día puedo dar más de mí.

En especial, deseo dedicar este trabajo a mis abuelos, Juana y Eloy, quienes han sido parte fundamental en mi vida al estar siempre conmigo dándome su apoyo y consejo, pero sobre todo, siendo el más grande ejemplo de que cuando se hacen las cosas con amor y en presencia de Dios, todo en la vida tiene sentido.

Martín Lovato B.

ÍNDICE GENERAL

CARÁTULA.....	1
DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD	2
AGRADECIMIENTO	3
AGRADECIMIENTO	4
DEDICATORIA	5
DEDICATORIA	6
ÍNDICE GENERAL.....	7
ÍNDICE DE TABLAS	14
ÍNDICE DE FIGURAS.....	15
RESUMEN.....	18
ABSTRACT.....	20
INTRODUCCIÓN	21
CAPÍTULO I.....	23
1 EL PROBLEMA.....	23
1.1 Planteamiento del problema.....	23
1.2 Delimitación del Problema.....	24
1.3 Objetivos	25
1.3.1 Objetivo general	25
1.3.2 Objetivos específicos.....	26
1.4 Justificación.....	26
1.5 Hipótesis.....	27
1.6 Variables e Indicadores	27
1.7 Metodología	28
1.7.1 Métodos	28
1.7.2 Técnicas.....	28
1.7.3 Instrumentos de Investigación y Recolección de Datos	29
1.8 Población y Muestra.....	29
1.9 Descripción de la Propuesta.....	33
1.10 Beneficiarios	33
1.11 Impacto.....	34
CAPÍTULO II	35
2 MARCO TEÓRICO	35

2.1	Antecedentes	35
2.2	Radiofrecuencias	36
2.2.1	Concepto.....	36
2.2.2	Parámetros de una onda electromagnética	37
2.2.2.1	Frecuencia	37
2.2.2.2	Longitud de onda.....	38
2.2.2.3	Amplitud	39
2.2.3	Propagación de Radiofrecuencias.....	39
2.2.3.1	Concepto	39
2.2.3.2	Características de la propagación de radiofrecuencias.....	40
2.2.3.3	Efectos sobre la propagación de radiofrecuencias.	40
2.2.3.3.1	Refracción.....	40
2.2.3.3.2	Reflexión.....	41
2.2.3.3.3	Dispersión	41
2.2.3.3.4	Difracción	42
2.2.3.4	Línea de visión óptica y de radio	42
2.2.4	Las ondas de radio (RF) en el espectro electromagnético.....	43
2.3	Teorema de máxima transferencia de potencia RF.....	44
2.3.1	Generalidades	44
2.3.2	Definición.....	44
2.4	Frecuencia Modulada.....	46
2.4.1	Historia	46
2.4.2	Conceptos básicos	46
2.4.3	Representación de las señales FM.....	47
2.4.4	FM Broadcast	48
2.4.4.1	Concepto	48
2.4.4.2	Características de la transmisión FM.....	49
2.4.4.3	Estándares técnicos para la transmisión en FM en Ecuador	49
2.4.4.4	Estaciones FM operativas en la provincia del Guayas.....	50
2.5	Receptores de FM	51
2.5.1	Generalidades	51
2.5.2	Especificaciones	52
2.5.3	Parámetros de un receptor	52
2.5.3.1	Selectividad.....	52

2.5.3.2	Mejoramiento de ancho de banda	53
2.5.3.3	Sensibilidad.....	54
2.6	Transmisión de datos.....	55
2.6.1	Transmisión de datos analógicos y digitales	56
2.6.1.1	Concepto	56
2.6.1.1.1	Señales y datos analógicos y digitales	57
2.6.1.1.1.1	Concepto.....	57
2.6.1.1.2	Señal analógica	57
2.6.1.1.3	Señal digital	58
2.6.2	Transmisión de datos analógicos.....	59
2.6.3	Trasmisión de datos digitales	60
2.6.4	Dificultades en la transmisión	60
2.6.4.1	Atenuación	60
2.6.4.2	Ruido.....	61
2.6.4.2.1	Ruido Térmico	62
2.6.4.2.2	Ruido de intermodulación.....	62
2.6.4.2.3	Ruido Blanco Gaussiano.....	62
2.6.4.2.4	Distorsión.....	63
2.6.4.2.5	Interferencia electromagnética (EMI) e interferencia de la radiofrecuencia (RFI).....	63
2.6.4.2.6	Ruido impulsivo.....	63
2.6.4.2.7	Ruido de la conexión a tierra de referencia	63
2.6.4.3	Distorsión de retardo	64
2.6.4.3.1	Definición	64
2.6.4.3.2	Valores que debe cumplir	64
2.6.5	Capacidad del canal.....	64
2.6.6	Capacidad Máxima de un Canal.....	65
2.6.7	Ancho de banda de Nyquist.....	66
2.6.8	Teorema de Shannon	67
2.6.9	Cociente Eb/No	68
2.6.9.1	Diferencias entre SNR y Eb/No	69
2.6.9.2	Relación Señal/Ruido (SNR)	69
2.7	Ethernet	70
2.8	Red de Área Local.....	70

2.8.1	Concepto.....	70
2.8.2	Especificaciones gigabit Ethernet	70
2.9	Protocolo IP.....	72
2.9.1	Concepto general.....	72
2.9.2	Direcciones IP	72
2.9.2.1	Máscara de Subred	74
2.9.2.2	Puerta de enlace.....	74
2.10	Medios de transmisión usados en el proyecto.....	74
2.10.1	Concepto General	74
2.10.2	Par trenzado	75
2.10.2.1	Características físicas	75
2.10.2.2	Categorías de cable UTP	77
2.10.3	Cable coaxial.....	77
2.10.3.1	Características físicas	77
2.10.3.2	Aplicaciones	78
2.10.3.3	Características de transmisión.....	78
2.11	Conectores usados en el proyecto	79
2.11.1	Conector N Macho.....	79
2.11.1.1	Propiedades	79
2.11.1.2	Características eléctricas	79
2.11.2	Conector N Hembra	80
2.11.2.1	Características eléctricas	80
2.11.3	Conector SMA	81
2.11.3.1	Características	81
2.12	Antenas.....	82
2.12.1	Antecedentes.....	82
2.12.2	Conceptos básicos.....	82
2.12.3	Cómo funciona una antena	83
2.12.4	Parámetros de una Antena	83
2.12.4.1	Eficiencia.....	84
2.12.4.2	Ganancia Directiva y Ganancia de Potencia	84
2.12.4.3	Diagramas de radiación o patrón de radiación.....	85
2.12.4.3.1	Lóbulo principal.....	85
2.12.4.3.2	Lóbulo Menor	85

2.12.4.3.3 Lóbulos laterales	86
2.12.4.4 Ancho del haz.....	86
2.12.4.5 Impedancia de entrada.....	87
2.12.4.6 Resistencia de radiación.....	88
2.12.4.7 Polarización.....	88
2.12.4.8 Longitud eléctrica y longitud física.....	89
2.12.4.9 Ancho de banda de la antena.....	89
2.12.4.10 Frecuencia y dimensión de la antena.....	90
2.12.4.11 Directividad	90
2.12.4.11.1 Antena Yagi.....	90
2.13 Amplificador RF de Potencia.....	91
2.13.1 Concepto general	92
2.13.2 Funciones generales del amplificador de potencia RF	92
2.13.3 Partes de un amplificador RF.....	92
2.13.3.1 Puertos de entrada y salida.....	92
2.13.3.2 Redes de adaptación.....	93
2.13.3.3 Transistor	93
2.13.3.4 Red de polarización.....	93
2.13.4 Amplificador RF de potencia Mini-Circuits ZHL-50W-52-S(+)	93
2.13.4.1 Descripción	94
2.13.4.2 Características	94
2.13.4.3 Aplicaciones	95
2.13.4.4 Especificaciones Técnicas.....	95
2.14 Inversor de voltaje.....	95
2.14.1 Concepto	96
2.15 Fuente de Poder.....	96
2.16 Software LabVIEW.....	97
2.16.1 Entorno de LabView	98
2.16.2 Programación Básica	98
2.16.3 Interfaz gráfica, distribución y diseño del software LabVIEW	98
2.16.4 Depuración y manejo de errores	99
2.16.5 Tipos de datos y estructuras.....	99
2.16.6 Estructuras de ejecución	99
2.16.7 Ayuda en LabVIEW	99

2.17	NI-USRP 2920	100
2.17.1	Concepto	100
2.17.2	Esquema básico de radiotransmisión.....	101
2.17.3	Dimensiones físicas del NI-USRP-2920.....	101
2.17.4	Condiciones ambientales para el uso del NI-USRP 2920.....	102
2.17.5	Interfaces del NI-USRP 2920	102
2.17.5.1	Puerto de transmisión y recepción de RF primario.....	103
2.17.5.2	Puerto de recepción de RF secundario.....	103
2.17.5.3	Puerto de entrada para señal de referencia externa	104
2.17.5.4	Puerto de entrada para señal de referencia de tiempo	104
2.17.5.5	Puerto de Expansión MIMO	104
2.17.5.6	Puerto Gigabit Ethernet.....	104
2.17.5.7	Entrada de alimentación de poder	104
2.17.6	Indicadores de Operación	105
2.17.7	Estructura interna de un NI USRP 2920.....	106
2.17.7.1	Bloque de transmisión.....	107
2.17.7.2	Bloque de recepción.....	108
2.17.8	Especificaciones NI USRP 2920	109
2.18	SDR (software defined radio)	109
2.18.1	Introducción	109
2.18.2	Concepto de SDR.....	110
CAPÍTULO III.....		111
3 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA.....		111
3.1	Antecedentes	111
3.2	Esquema del proyecto	112
3.2.1	Diagrama técnico de proyecto.....	112
3.3	Etapas de construcción del sistema de transmisión FM.....	114
3.3.1	Etapas de alimentación eléctrica.....	114
3.3.1.1	Alimentación Inicial.....	114
3.3.1.2	Inversión del voltaje.....	114
3.3.1.3	Alimentación en DC.....	115
3.3.2	Etapas de programación y cómputo	115
3.3.2.1	Introducción	115
3.3.2.2	Conexión de área local entre el ordenador y el NI-USRP 2920	115

3.3.2.3	Desarrollo del software controlador (SDR)	119
3.3.2.3.1	Antecedentes	119
3.3.2.3.2	Programa controlador de transmisión y audio.	120
3.3.2.3.2.1	Campos de la interfaz del programa	121
3.3.2.3.2.1.1	Campos de Parámetros del USRP	121
3.3.2.3.2.1.2	Campos de Parámetros del sistema	122
3.3.2.3.2.1.3	Campos de Mensaje de Audio	123
3.3.2.3.3	Programación del controlador de transmisión y audio	125
3.3.2.3.3.1	Diagrama de Bloques.....	125
3.3.2.3.3.2	Etapas de programación de bloques del NI-USRP 2920.	126
3.3.2.3.3.3	Etapas de programación de bloques de audio.	128
3.3.2.3.3.4	Etapas de configuración de frecuencias.	130
3.3.3	Etapas de procesamiento de datos y radiofrecuencia.....	130
3.3.4	Etapas de amplificación	131
3.3.5	Etapas de Transmisión	133
3.3.6	Etapas de Recepción	134
CAPÍTULO IV		135
4	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	135
4.1	Pruebas de Laboratorio	135
4.2	Pruebas a 100 metros de distancia entre transmisor y receptor	141
4.3	Pruebas de implementación en campo	144
CONCLUSIONES		147
RECOMENDACIONES		148
BIBLIOGRAFÍA		149
ANEXOS		151

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO I

Tabla 1.8.1: Muestreo del Flujo Vehicular Avenida Quito y 9 de Octubre, Guayaquil.....	30
Tabla 1.8.2: Muestreo del Modo en el que los Autos tienen los vidrios según el Flujo Vehicular Avenida Quito y 9 de Octubre, Guayaquil.....	31
Tabla 1.8.3: Muestreo del tipo de audio que escuchan los conductores en la Av. Quito y 9 de Octubre.....	32

CAPÍTULO II

Tabla 2.2.1: Espectro electromagnético.....	43
Tabla 2.2.2: Clasificación de las frecuencias.....	43
Tabla 2.4.1: Emisoras licenciadas en FM que operan en la provincia del Guayas.....	51
Tabla 2.9.1: Clases de direcciones IP.....	73
Tabla 2.10.1: Características de transmisión de medios guiados punto-a-punto.....	75
Tabla 2.10.2: Categorías del cable UTP.....	77

CAPÍTULO IV

Tabla 4.1.1: Tabla de potencia en FM tomada desde analizador de espectro de potencia en el ambiente y potencia transmitida desde el proyecto.....	137
Tabla 4.1.2: Niveles de Ganancia emitidas por el Proyecto.....	140
Tabla 4.1.3: Comparación de Niveles de Ganancia.....	141
Tabla 4.2.1: Datos obtenidos a 100 metros.....	142
Tabla 4.2.2: Niveles de Ganancia a distancia de 100 metros.....	144

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1.8.1: Gráfico del Flujo de autos en la Av. Quito y 9 de Octubre, Guayaquil.....	30
Figura 1.8.2: Gráfico del Modo en el que los Autos tienen los vidrios según el Flujo Vehicular Avenida Quito y 9 de Octubre.....	31
Figura 1.8.3: Tipos de dispositivos que escuchan los conductores en la Av. Quito y 9 de Octubre.....	32

CAPÍTULO II

Figura 2.2.1: Dirección de propagación de una onda electromagnética	37
Figura 2.2.2: Espectro electromagnético de frecuencias.....	38
Figura 2.2.3: Representación de Longitud de Onda.....	39
Figura 2.3.1: Condición de máxima transferencia de potencia.	45
Figura 2.4.1: Espectro electromagnético FM.....	46
Figura 2.4.2: FM con una señal moduladora senoidal de banda base.....	48
Figura 2.6.1: Señalización analógica de datos analógicos.	58
Figura 2.6.2: Atenuación de señales digitales.....	58
Figura 2.6.3: Señalización digital de datos digitales.....	59
Figura 2.6.4: Atenuación de una señal respecto a la distancia de propagación.	61
Figura 2.6.5: Deterioro de una señal a causa del ruido.	61
Figura 2.6.6: Representación en el tiempo del ruido blanco gaussiano.	62
Figura 2.6.7: Representación de un canal y su ancho de banda.....	65
Figura 2.8.1: Ejemplo de configuración para Gigabit Ethernet.	71
Figura 2.9.1: Cabecera IPv4.....	72
Figura 2.10.1: Par trenzado.....	76
Figura 2.10.2: Pares de cobre de un cable par trenzado.....	76
Figura 2.10.3: Estructura cable coaxial.....	78
Figura 2.11.1: Conector N Macho	79
Figura 2.11.2: Conector N Hembra.....	80
Figura 2.11.3: Conector SMA.....	81
Figura 2.12.1: Diagrama de radiación de una antena directiva.....	86
Figura 2.12.2: Ancho de Haz.	87

Figura 2.12.3: Antena Yagi.....	91
Figura 2.13.1: Amplificador de Potencia Mini-Circuits ZHL-50W-52-S(+)......	94
Figura 2.14.1: Inversor de Voltaje utilizado en el proyecto.....	96
Figura 2.15.1: Fuente de poder utilizada en el proyecto.....	97
Figura 2.17.1: Diagrama de transmisión de radio básico usando un NI-USRP.....	101
Figura 2.17.2: NI-USRP 2920	102
Figura 2.17.3: Panel frontal del NI-USRP 2920	103
Figura 2.17.4: Esquema del panel frontal del NI-USRP 2920.....	103
Figura 2.17.5: Esquema de los indicadores de operación.	105
Figura 2.17.6: Diagrama de bloques de la estructura interna en el NI-USRP 2920.....	106
Figura 2.17.7: Esquema del diagrama de bloques de transmisión.	107
Figura 2.17.8: Esquema del diagrama de bloques de recepción.	109
Figura 2.18.1: Diagrama de bloques funcionales de SDR.	110

CAPÍTULO III

Figura 3.2.1: Esquema técnico del proyecto	112
Figura 3.2.2: Diagrama de bloques de las etapas del sistema de transmisión.....	113
Figura 3.3.1: Ubicación del controlador de red local en Windows 7.....	116
Figura 3.3.2: Ventana de propiedades de área local en Windows 7.....	117
Figura 3.3.3: Configuración del protocolo IPv4 del adaptador de red del ordenador.....	117
Figura 3.3.4: Mensaje de Ping sin respuesta desde el NI-USRP.....	118
Figura 3.3.5: Mensaje de Ping con respuesta desde el NI-USRP.	119
Vemos en la Figura 3.3.6 la existe respuesta que existe desde el NI-USRP.....	119
Figura 3.3.7: Interfaz del controlador de transmisión y audio en LabVIEW.....	120
Figura 3.3.8: Campos de parámetros del USRP en la interfaz del programa.....	121
Figura 3.3.9: Campos de parámetros del sistema en la interfaz del programa.....	122
Figura 3.3.10: Campos de audio en la interfaz del programa.	123
Figura 3.3.11: Diagrama de Bloques del sistema controlador.	125
Figura 3.3.12: niUSRP Open Tx Session VI.	126
Figura 3.3.13: IVI Logical Name.....	126
Figura 3.3.14: niUSRP Configure Signal VI.	126
Figura 3.3.15: Bloque carrier frequency.	127
Figura 3.3.16: niUSRP Write Tx Data (CDB Cluster).....	127
Figura 3.3.17: niUSRP Close Session VI	128

Figura 3.3.18: Programación de bloques de configuración de audio.....	128
Figura 3.3.19: Sound File Info VI.....	129
Figura 3.3.20: Sound File Read Open.....	129
Figura 3.3.21: Sound File Read VI.....	129
Figura 3.3.22: Diagrama de bloques para la configuración de frecuencia.....	130
Figura 3.3.23: Cable coaxial con conectores SMA.....	131
Figura 3.3.24: Amplificador de potencia RF.....	132
Figura 3.3.25: Cable coaxial con conectores SMA – N Macho.....	132
Figura 3.3.26: Antena Yagi.....	133

CAPÍTULO IV

Figura 4.1.1: Pruebas realizadas en laboratorio de telecomunicaciones.....	135
Figura 4.1.2: NI-PXI.....	136
Figura 4.1.3: Portadora de 88.9 MHz en el espectro.....	138
Figura 4.1.4: Portadoras al aire de las frecuencias en 88.9 MHz.....	139
Figura 4.1.5: Niveles de señal de portadora en ambiente y del sistema.....	139
Figura 4.1.6: Niveles de Ganancia de Emisoras de Radio en el Ambiente.....	140
Figura 4.2.1: Portadoras en 96.9 KHz.....	143
Figura 4.2.2: Portadoras en 103.3 KHz.....	143
Figura 4.3.1: Ambulancia en la que se realizaron las pruebas de campo.....	145
Figura 4.3.2: Instante de pruebas de campo.....	145
Figura 4.3.3: Grabaciones y pruebas de audio.....	146
Figura 4.3.4: Grabación del mensaje de alerta.....	146
Figura 4.3.5: Edición de mensajes de alerta en Adobe Audition.....	146

RESUMEN

AÑO	TÍTULO	ALUMNO	DIRECTOR DE TESIS	TEMA DE TESIS
2014	INGENIERO ELECTRÓNICO	LUCAS JURADO, Lenin Javier LOVATO BALSECA, Martin Adolfo	ING. CARLOS BOSQUEZ	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PROTOTIPO EN VEHÍCULOS DE EMERGENCIA CIUDADANA PARA LA TRANSMISIÓN DE MENSAJES DE ALERTA DE VOZ HACIA RADIO RECEPTORAS FM EN VEHÍCULOS PÚBLICOS Y PRIVADOS MEDIANTE EL USO DE USRP Y SOFTWARE DE CONTROL PROGRAMABLE

El siguiente proyecto trata sobre el diseño e implementación de un sistema prototipo de transmisión RF para vehículos de emergencia como ambulancias, carros de bomberos, policías entre otros, el cual tendrá como tarea única, el envío de mensajes de alerta de voz los cuales serán recibidos por radios receptores en Frecuencia Modulada (FM) de los vehículos de transporte público o privado que se movilicen dentro de un rango determinado por el alcance del sistema. Como componentes principales tenemos un dispositivo de transmisión de radiofrecuencias programable y de desarrollo llamado NI-USRP-2920 el cual permite trabajar en banda FM, adicional a esto también se usará el software LabVIEW en el cual se configuran los parámetros de la señal de interferencia. Este sistema podrá ser utilizado como una herramienta de alerta, adicional a las existentes, en los vehículos de emergencia ciudadana.

El sistema podrá ser regulado en distintos parámetros como son:

- Ganancias,
- Potencia de transmisión,
- Frecuencias,
- Directividad,
- Mensaje de Audio.

PALABRAS CLAVE:

Transmisión, Frecuencia Modulada, Banda FM, Radiofrecuencia, Potencia de Trasmisión, Receptor, Frecuencia, Directividad, Ganancia.

ABSTRACT

YEAR	THESIS TYPE	AUTHORS	ADVISOR	TITLE
2014	INGENIERO ELECTRÓNICO	LUCAS JURADO, Lenin Javier LOVATO BALSECA, Martin Adolfo	ING. CARLOS BOSQUEZ	DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A PROTOTYPE SYSTEM FOR EMERGENCY VEHICLES TO TRANSMIT ALERT VOICE MESSAGES TO RADIO RECEIVERS LOCATED IN PUBLIC AND PRIVATE VEHICLES USING USRP AND PROGRAMMABLE CONTROL SOFTWARE.

The following project is about the design and implementation of a prototype RF transmission system for emergency vehicles such as ambulances, fire trucks, police and others, which have the single task of sending voice alert messages to be received by radios in Frequency Modulation (FM) laid in public and private vehicles that transit within a range determined by the scope of the system. The main component of the system is a programmable frequencies transmitter device called NI USRP-2920, in addition to this we also use software called LabVIEW to control the carrier and message voice waves parameters. This system can be used as alert equipment, in addition to the existing in emergency vehicles.

The system could be regulated in some parameters such as gain, power transmission, frequencies, directivity, and audio messages.

KEYWORDS:

Transmission, Modulation Frequency, FM band, Radio Frequency, Gain, Power Transmission, Receiver, Frequency, Directivity.

INTRODUCCIÓN

El proyecto trata sobre el diseño e implementación de un sistema prototipo para vehículos de emergencia ciudadana para la transmisión de mensajes de alerta de voz hacia radios receptoras FM que estén en vehículos públicos y privados mediante el uso de la plataforma NI-USRP y software LabVIEW.

Dicho proyecto está enfocado en convertirse en una herramienta que incremente la eficacia y eficiencia de los vehículos de emergencia ciudadana en estado operativo o cuando se realiza el traslado de un punto a otro. Se puede implementar en cualquier tipo de vehículos de emergencia ciudadana.

La consecución de este proyecto está basada principalmente en el uso de una plataforma de hardware libre que presta las posibilidades de trabajar con radios definidos por software, esta es NI-USRP 2920 y también el software LabVIEW en el que se desarrolla la interfaz controlador del sistema.

El objetivo principal del sistema será transmitir señales de radiofrecuencia en banda FM con mensajes claros, cortos y concisos de alerta de proximidad del vehículo de emergencia a las radios de los autos particulares y privados.

En el Capítulo 1 se detallan hechos primordiales, tales como, el planteamiento del problema, metodología, técnicas, impacto del proyecto para los beneficiarios, entre otros puntos importantes obtenidos a lo largo de la investigación.

En el Capítulo 2 se realiza el marco teórico sobre los temas más importantes del proyecto ofreciendo una perspectiva amplia sobre los elementos aplicados en la consecución del proyecto. Se refuerzan también ciertos conocimientos científicos en el ámbito de las radiofrecuencias orientándose hacia la banda FM, dejando así un material complementario para consultas.

El Capítulo 3 consta de todas las etapas necesarias para la realización del proyecto además de los parámetros que en conjunto, pondrán en marcha el sistema. Se detallan

los diagramas de bloques y las conexiones que comprenden la totalidad del sistema tanto la parte física de la interfaz controladora de los parámetros del sistema.

El Capítulo 4 se documenta las pruebas realizadas en laboratorio y en campo una vez obtenido el sistema ensamblado y funcional en su totalidad. Estas pruebas constaran de tres etapas las en las que se denotarán la funcionalidad y datos recolectados.

CAPÍTULO I

1 EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

En la actualidad el parque automotriz en el Ecuador ha incrementado considerablemente tanto en transporte masivo como particular, debido a esto, el porcentaje de llegadas a tiempo de vehículos oficiales de emergencia (ambulancias, bomberos, cruz roja, etc.) hacia sus destinos ha disminuido notablemente lo cual se refleja en un aumento considerable de pérdidas humanas y materiales.

En ocasiones estos vehículos de emergencia, en estado de operación, son víctimas o causas de accidentes viales los mismos que truncan la posibilidad de llegar a tiempo y brindar la atención necesaria en momentos de urgencia.

Muchas veces los conductores de autos próximos dan caso omiso a las alertas de emergencia que actualmente se emplean como sirenas o altavoces, esto es causado en parte porque los mismos transitan con sus radios encendidas a volúmenes considerables o con ventanas cerradas impidiendo así que estas alertas sean escuchadas en su totalidad.

Estas eventualidades podrían disminuir significativamente de contarse con un sistema especializado que alerte a los vehículos que circulan próximos a los de emergencia en estado de operación, minimizando así las posibilidades de detenerse debido al flujo vehicular en el cual deben de transitar.

Dado que se conoce que los automotores que circulan por las avenidas y calles del Ecuador poseen radios receptoras de señales FM, se puede llegar a emitir señales de Radiofrecuencia interfiriendo en estas y emitiendo mensajes de alerta para los conductores que puedan escuchar los mismos.

1.2 Delimitación del Problema

El proyecto, luego de ser desarrollado y probado se implementó en la Universidad Politécnica Salesiana, en el laboratorio de telecomunicaciones para las respectivas demostraciones preliminares de funcionamiento. Se desarrolló en la ciudad de Guayaquil, Ecuador en el año 2013 y 2014 en el que se realizaron pruebas de campo en una ambulancia del Benemérito Cuerpo de Bomberos de Guayaquil. El sistema de interferencia y emisión de radiofrecuencias FM estará compuesto primordialmente por un equipo USRP 2920 de National Instruments, un amplificador de potencia, una unidad de procesamiento o cómputo, un inversor, batería para la alimentación y la respectivas antenas de transmisión. Además de esto se contará con el soporte del software LabVIEW para el desarrollo de la interfaz controladora del sistema.

El comportamiento global del sistema abarca el análisis de los parámetros óptimos de las señales radioeléctricas para el logro de los objetivos planteados, la forma de interceptación de las señales de audio emitidas por el sistema hacia las emisoras FM, análisis de potencia, radiación y frecuencias necesarias para que los mensajes se escuchen de manera clara en las receptoras FM. Además de esto es importante considerar el estudio teórico de los factores que afectan la propagación de las ondas en el medio y los estándares establecidos para la transmisión inalámbrica.

Para la realización de las pruebas finales de funcionamiento en campo, el sistema antes mencionado se instaló en una ambulancia perteneciente al Benemérito Cuerpo de Bomberos de Guayaquil de lo cual se tiene registro visual. El prototipo se probó a lo largo de la Avenida del Bombero y de la Avenida Rodríguez Benín de la ciudad de Guayaquil y su interferencia y calidad de los mensajes se analizaron en cuatro vehículos particulares dentro de los rangos de emisión establecidos en el proyecto en los cuales se pudo constatar la funcionalidad y efectividad del proyecto.

Estos mensajes emitidos por el sistema se propagan en el espectro electromagnético delimitado por la banda que va desde los 88.1 MHz hasta los 107.9 MHz referentes a FM, en una línea de vista de entre los 100 a 150 metros. El proyecto solo transmitirá hacia receptoras FM que se encuentren encendidas y no en otra función que no sea la de radio FM como cd, auxiliar o USB, entre otras.

Los mensajes a transmitirse son cortos y concisos de 2 segundos anunciando el mensaje: “Vehículo (ambulancia, patrulla, etc.) acercándose, por favor despejar el camino”; en intervalos de 2 segundos por cada mensaje emitido. Las emisoras que se interferirán serán 10 de las más escuchadas en Guayaquil según estudio previo y el modo interferencia está limitado por las capacidades de transmisión del NI-USRP. Este sistema solo estará activo cuando el vehículo de emergencia se encuentre en estado operativo.

Dadas las características del sistema y las señales que éste transmitirá, otros equipos receptores de FM podrían resultar intervenidos de igual manera, tales como radio componentes, celulares, tablets, computadores portátiles, entre otros, los mismos que solo recibirán los mensajes al tener encendida la función de radio FM. Los equipos electrónicos antes mencionados quedan fuera de estudio del proyecto.

El proyecto se limita también dentro de los márgenes de conocimientos adquiridos durante el proceso de la carrera de ingeniería en electrónica mención telecomunicaciones y el pensum académico de las materias impartidas como: Redes de Computadoras 1, 2, 3; Circuitos eléctricos, Teoría electromagnética, Propagación, Antenas, Comunicaciones Inalámbricas y demás afines a la carrera.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Interferir en el espectro de frecuencias FM en radios receptores de automotores públicos y particulares desde un sistema instalado en un vehículo de emergencia ciudadana enviando señales de radio frecuencia con mensajes claros y concisos de alerta de proximidad.

1.3.2 Objetivos específicos

- Diseñar y programar una aplicación para la interfaz controladora del dispositivo de transmisión-recepción NI-USRP.
- Calcular y analizar los respectivos parámetros necesarios para la correcta transmisión y propagación de las ondas radioeléctricas.
- Ensamblar el sistema y verificar su correcto y total funcionamiento.
- Interferir en las radios receptoras en banda FM.
- Enviar un mensaje de alerta a las radios receptoras de FM de autos próximos a los de emergencia.
- Alertar a radio escuchas sobre la proximidad de los vehículos de emergencia.

1.4 Justificación

Con los conocimientos adquiridos durante el proceso de obtención del título de ingeniería en electrónica mención telecomunicaciones y con el objetivo de aportar significativamente a la disminución de una problemática que acoge actualmente al sector de la salud y en general a las emergencias ciudadanas, se analizará y diseñará la propuesta de un sistema que, una vez instalado en un vehículo de emergencia, interferirá las emisoras programadas en radio receptoras FM con la finalidad de emitir señales de radiofrecuencia para la transmisión de mensajes de audio hacia vehículos particulares o públicos que se encuentren próximos a esta unidad móvil de emergencia en una línea de vista determinada por el sistema.

Este proyecto abarca en breves rasgos el análisis de los parámetros de transmisión de radiofrecuencias necesarios para poder abarcar un área aproximada entre 100 y 150 metros, además de esto, la forma y niveles de propagación de la onda a transmitir, la integración total del sistema para lo cual, en hardware, es necesario un equipo NI-USRP y un software programable que sirva de interfaz y controle la transmisión los parámetros de la señal de radiofrecuencia.

Los mensajes de audio serán específicos y claros haciendo alusión a la proximidad del vehículo de emergencia, el tipo de emergencia que ocurre, y principalmente el

requerimiento y necesidad de brindar la posibilidad de paso libre de estos vehículos. Se debe de considerar también que dadas las características robustas, de escalabilidad y flexibilidad de los equipos que se utilizarán en este sistema, como el NI-USRP, podrán aportar a futuras investigaciones en el área de gestión telecomunicaciones o en comunicaciones móviles. El realizar el diseño y lograr el funcionamiento en campo del sistema, sería un aporte significativo a la comunidad y al área de la salud y control de riesgos, de esta manera estaríamos también aplicando los preceptos salesianos sobre ayuda comunitaria.

1.5 Hipótesis

Mediante el diseño e implementación del sistema prototipo de envío de mensajes de voz para los vehículos de emergencia ciudadana, se dará paso a la obtención de una herramienta de alerta aún más eficaz y eficiente a las ya existentes tales como sirenas, megáfonos, entre otros, para advertir a las personas que viajan en vehículos particulares y privados que posean radios receptoras de frecuencias FM, que estén encendidas, sobre la proximidad de estos vehículos de emergencia u la urgencia de los mismos en llegar de un lugar a otro, logrado así que los usuarios de estos transportes escuchen en tiempo real mensajes de voz breves y específicos indicando que se dé la oportunidad de paso a estos vehículos.

1.6 Variables e Indicadores

Variable Dependiente.- Desde la propuesta:

- Diseñar un sistema de alerta de voz para vehículos de emergencia ciudadana.

Variable Independiente.- Desde el problema:

- Los usuarios de vehículos públicos y privados, que posean radio receptoras FM, son alertados sobre la proximidad de un vehículo de emergencia mediante mensajes de voz provenientes de sus radios encendidas.

1.7 Metodología

1.7.1 Métodos

Para el desarrollo de la investigación se han utilizado los siguientes métodos:

Método experimental

Se hizo uso del método experimental al desarrollar pruebas de transmisión con el equipo NI-USRP, y así determinar el valor necesario de los parámetros para realizar la transmisión y consecuentemente la interferencia de las radios en la banda FM.

Método deductivo

Luego de un previo análisis matemático y deducción de conceptos específicos partiendo de teorías generales de las telecomunicaciones, se realiza un modelo de propagación en el cuál se incluyen todos los parámetros necesarios y obtener los valores para la transmisión de mensajes de alerta de voz en FM a de manera óptima de acuerdo a las necesidades del proyecto.

1.7.2 Técnicas

Las técnicas que se utilizaron para el desarrollo de la investigación fueron las siguientes:

Técnica de campo

Para la realización del presupuesto de enlace y transmisión del sistema se requirió la toma de muestras tales como la potencia transmitida en relación a la distancia de transmisión o la tabulación de la potencia de las frecuencias en banda FM actuales en el medio de desarrollo del proyecto.

Técnica documental

Para la compilación de resultados obtenidos del muestreo en campo se hace uso de la técnica documental para así dar sustento al funcionamiento del sistema de transmisión el mismo que se basa en conceptos teóricos de propagación y antenas.

1.7.3 Instrumentos de Investigación y Recolección de Datos

Para el desarrollo óptimo del proyecto se hizo uso de algunos instrumentos con los cuales se pudieron obtener los distintos datos para así fundamentar la investigación y el desarrollo del sistema.

Los instrumentos para la toma de datos usados en la investigación fueron los siguientes:

- Encuestas. (véase ANEXO 3)
- Tabla de radios FM con mayor rating en Guayaquil. (véase ANEXO 5)

Para la recolección de datos técnicos, fue necesaria la utilización de los siguientes elementos:

- Tablas de mediciones de potencia del sistema a distintas frecuencias y a distintas distancias mediante el uso del NI PXI

1.8 Población y Muestra

En la investigación se consideró como población al flujo de vehículos que existe en un día ordinario en la Avenida Quito de la Ciudad de Guayaquil, a distintas horas.

Para la investigación se tomaron datos sobre el flujo de autos por un lapso de tiempo de 55 segundos en la Avenida Quito y 9 de Octubre de la Ciudad de Guayaquil. Se obtuvieron los siguientes datos:

		Lunes		Miércoles		Viernes
HORA	Número de vehículos cada 55 segundos					
8:00	Muestreo 1	88		76		100
	Muestreo 2	93		85		87
	muestreo 3	117		91		76
	Promedio	99,3333333		84		87,6666667
12:30	Muestreo 1	97		106		113
	Muestreo 2	122		114		122
	Muestreo 3	117		122		103
	Promedio	112		114		112,666667
18:00	Muestreo 1	131		118		129
	Muestreo 2	125		107		136
	Muestreo 3	122		126		115
	Promedio	126		117		126,666667

Tabla 1.8.1: Muestreo del Flujo Vehicular Avenida Quito y 9 de Octubre, Guayaquil.

Fuente: Los autores.

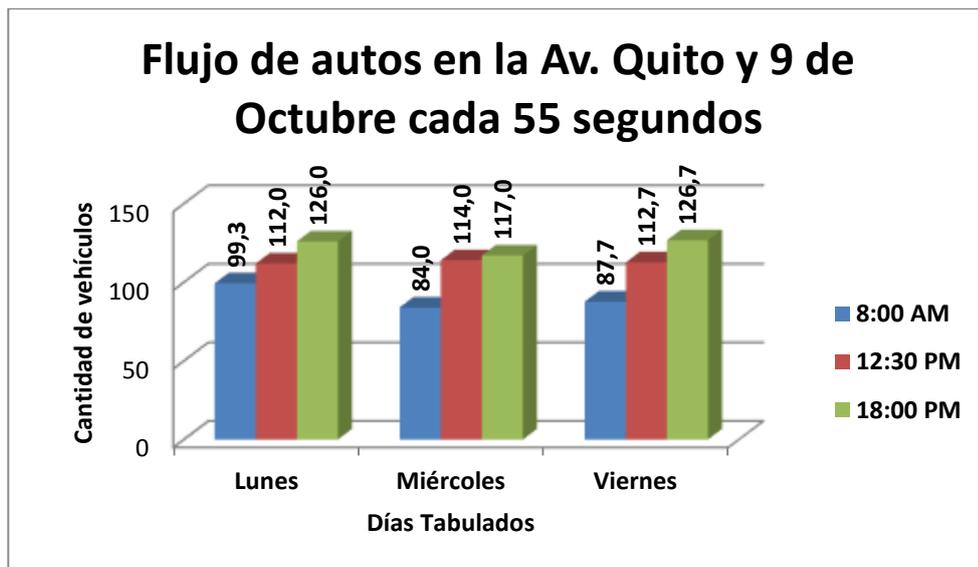


Figura 1.8.1: Gráfico del Flujo de autos en la Av. Quito y 9 de Octubre, Guayaquil.

Fuente: Los autores

Para efectos de ajustar el proyecto a la realidad de la ciudad, se realizó también la tabulación de la cantidad de vehículos que viajan con vidrios arriba o abajo por la avenida Quito y 9 de Octubre de la ciudad de Guayaquil, obtenido los siguientes datos:

HORA		Lunes		Miércoles		Viernes	
		Vidrios Arriba	Vidrios Abajo	Vidrios Arriba	Vidrios Abajo	Vidrios Arriba	Vidrios Abajo
8:00	Muestreo 1	49	39	35	41	43	57
	Muestreo 2	52	41	27	58	38	49
	muestreo 3	67	50	28	63	38	38
	Promedio	56	43,33	30	54	39,66	48
12:30	Muestreo 1	61	36	70	36	76	37
	Muestreo 2	80	42	72	42	86	36
	Muestreo 3	77	40	83	39	73	30
	Promedio	72,66	39,33	75	39	78,33	34,33
18:00	Muestreo 1	80	51	83	35	89	40
	Muestreo 2	80	45	70	37	81	55
	Muestreo 3	64	58	86	40	63	52
	Promedio	74,66	51,33	79,66	37,33	77,66	49

Tabla 1.8.2: Muestreo del Modo en el que los Autos tienen los vidrios según el Flujo Vehicular Avenida Quito y 9 de Octubre, Guayaquil.

Fuente: Los Autores

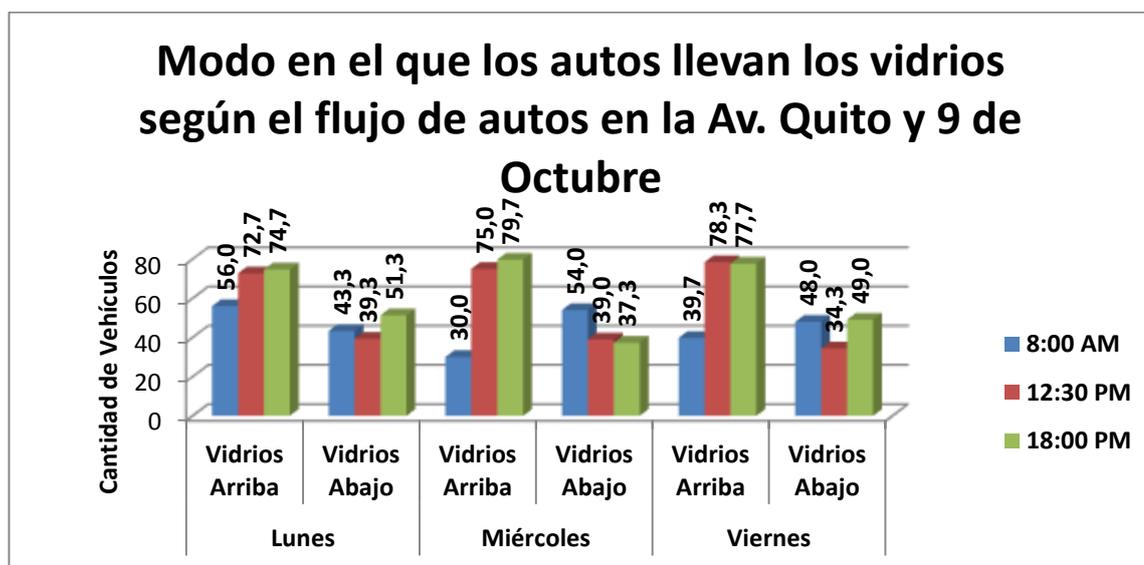


Figura 1.8.2: Gráfico del Modo en el que los Autos tienen los vidrios según el Flujo Vehicular Avenida Quito y 9 de Octubre

Fuente: Los Autores

Adicional se realizó una toma de datos a conductores en la Av. Quito y 9 de Octubre y se consultó sobre qué estaban escuchando en ese momento en sus autos. La encuesta se realizó a 100 personas diarias, durante 5 días, mientras esperaban el cambio de la luz roja a verde. Los datos son los siguientes:

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
Personas que no escuchan ningún equipo	90
Personas que escuchan radio FM	345
Personas que escuchan radio AM	10
Personas que escuchan otros dispositivos	55

Tabla 1.8.3: Muestreo del tipo de audio que escuchan los conductores en la Av. Quito y 9 de Octubre.

Fuente: Los Autores



Figura 1.8.3: Tipos de dispositivos que escuchan los conductores en la Av. Quito y 9 de Octubre.

Fuente: Los Autores

1.9 Descripción de la Propuesta

El proyecto pretende desarrollar una herramienta funcional, amigable, portable y efectiva que busca principalmente alertar a las personas que se movilizan en vehículos particulares y públicos y que estén dentro de una distancia considerada dentro del proyecto, con el fin de que estas, luego de haber escuchado un mensaje de alerta en las radios receptoras de FM ubicadas en los vehículos, adviertan sobre la proximidad de vehículos de emergencia ciudadana como ambulancias, bomberos, cruz roja, entre otros, en estado de operación, y así estos puedan tener un tránsito más rápido por las calles y avenidas y llegar en menor tiempo hacia las emergencias solicitadas.

La alarma de audio escuchada por las personas en las radios de los vehículos en los que transitan será un mensaje conciso y claro que interrumpe la transmisión normal de la emisora FM que se está escuchando. El mensaje es emitido por un sistema tecnológico ubicado en los vehículos de emergencia que consta primordialmente de un equipo para la manipulación de ondas de radio NI-USRP, de una unidad de cómputo, elementos de amplificación y antena.

1.10 Beneficiarios

Luego de la debida exposición de resultados y datos arrojados al finalizar el desarrollo y las pruebas de funcionamiento del sistema y la investigación que el mismo propone, el proyecto apunta a ser una herramienta de la que pueden hacer uso todos los vehículos de emergencia ciudadana como ambulancias, cruz roja, bomberos, policía entre otros.

La consecución del proyecto se deja abierta la posibilidad de dar paso a futuras investigaciones en el área de las telecomunicaciones haciendo uso de tecnología SDR y equipos como NI-USRP que brindan una amplia gama de posibilidades para emprender cualquier proyecto en los que se necesite la manipulación de señales radioeléctricas, redes inalámbricas o el uso de software para el manejo de las mismas.

Con la finalización, comprobación y entrega de resultados de todo el proyecto, y posterior aprobación de los miembros de calificación de tesis de grado de la Universidad Politécnica Salesiana, los alumnos que has desarrollado la misma podrán obtener el título de Ingenieros en Electrónica mención Telecomunicaciones, completando así el proceso de estudio de esta carrera en esta institución.

1.11 Impacto

Adicionar un sistema de alarma de voz en los vehículos de emergencia ciudadana, mejorará los tiempos en los que éstos llegan de un punto a otro cuando se encuentran en estado de operación haciendo que estas sean aún más eficaces en su tarea de transporte de personas en estado complicado de salud, siendo estas, directamente beneficiadas del sistema de alerta ya que podrán ser atendidas en menor tiempo. También reducirá el tiempo de reacción que tienen las personas para darse cuenta sobre la proximidad de alguno de estos vehículos de emergencia.

El proyecto puede ser aplicable a cualquier tipo de vehículo de emergencia siempre y cuando se trabaje dentro de la banda FM.

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

El concepto básico de comunicaciones es el de transmitir información de un lugar a otro, cualquiera que sea el tipo de información o datos que se quieran transmitir, siempre se realizará desde un transmisor hasta un receptor.

Teniendo este concepto como base del proyecto, se desea transmitir mensajes de alerta de voz desde vehículos de emergencia ciudadana hasta las radios receptoras en vehículos particulares o públicos haciendo uso de la modulación FM y otras técnicas de comunicación digital y analógica para cumplir con la meta de alertar a los conductores sobre la proximidad de estos vehículos.

Actualmente los vehículos de emergencia constan de sistemas de alerta de proximidad como son las sirenas, altavoces y luces.

Esta investigación propone un sistema prototipo de alerta direccionado específicamente a aquellas personas que conducen vehículos privados o públicos y que consten con radio receptoras FM que estén activas al momento que el vehículo de emergencia este en proximidad con estos y así poder recibir mensajes de voz que alerten sobre la proximidad y emergencia éstos, brindando así otro sistema de alerta adicional a los existentes y cuya cualidad principal es la direccionalidad inmediata al radio escucha de frecuencias dentro de la banda FM.

2.2 Radiofrecuencias

2.2.1 Concepto

La radiación electromagnética es un conjunto de ondas de radio en frecuencias comprendidas entre algunos hercios hasta llegar a los gigahercios. Estas ondas se propagan en el espacio dando forma a las ondas electromagnéticas las cuales están formadas de campos magnéticos y eléctricos.

Para lograr la transmisión de ondas de radio de un punto a otro Tomasi dice que,

Esto se logra convirtiendo la información original a energía electromagnética, para transmitirla a continuación a una o más estaciones receptoras, donde se convierte a su forma original. La energía electromagnética se puede propagar en forma de voltaje o corriente, a través de un conductor o hilo metálico, o bien en forma de ondas de radio emitidas hacia el espacio libre, o como ondas luminosas a través de una fibra óptica. (Tomasi, Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, 2003)

Mediante el estudio del vector de Poynting, sabemos que la trayectoria que tiene la propagación de las ondas electromagnéticas será en dirección a las variaciones entre el campo magnético y el campo eléctrico puesto que el campo magnético y el campo eléctrico son perpendiculares entre sí, o sea que forman 90° entre ellos.

En el grafico a continuación se muestra el campo magnético representado por B y perpendicularmente la componente del campo eléctrico y así mismo la dirección de propagación que en este caso es el vector de Poynting.

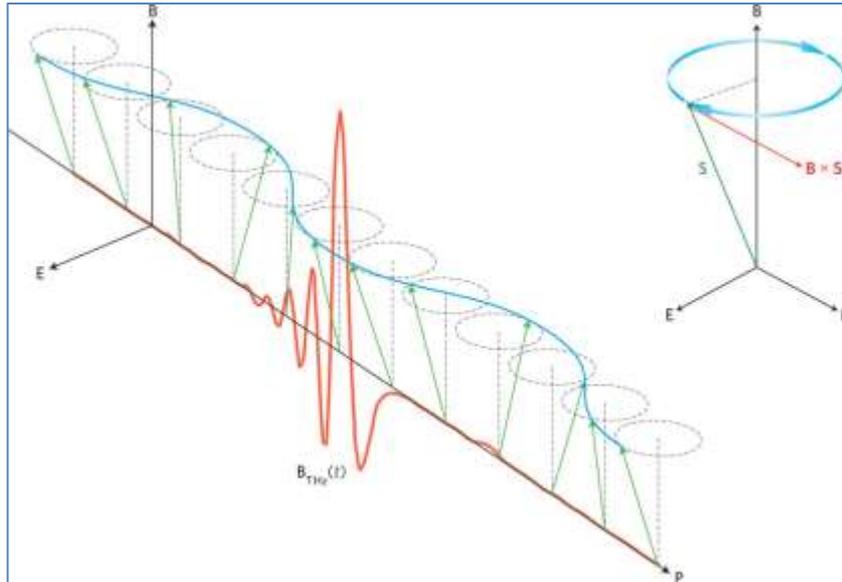


Figura 2.2.1: Dirección de propagación de una onda electromagnética

Fuente:

http://www.nature.com/nphoton/journal/v5/n1/fig_tab/nphoton.2010.288_F1.html

2.2.2 Parámetros de una onda electromagnética

2.2.2.1 Frecuencia

Según indica Tomasi,

La frecuencia no es más que la cantidad de veces que sucede un movimiento periódico, como puede ser una onda senoidal de voltaje o corriente durante determinado periodo. Cada inversión completa de la onda se llama ciclo. La unidad básica de frecuencia es el Hertz (Hz) y un Hertz es igual a un ciclo por segundo ($1 \text{ Hz} = 1 \text{ cps}$). (Tomasi, Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, 2003)

la frecuencia de una onda es la velocidad con la que se repiten las oscilaciones de una onda electromagnética en una unidad de tiempo, siendo un periodo (T) el inverso de la frecuencia. El Hertz es usado para representar a la cantidad de veces que una onda se repite por segundo.

Vemos en la figura 2.2.2 que la porción de ondas en FM o frecuencia modulada corresponde al orden de los megahercios, es de interés esta porción de frecuencias puesto que el proyecto trabaja dentro de este rango.

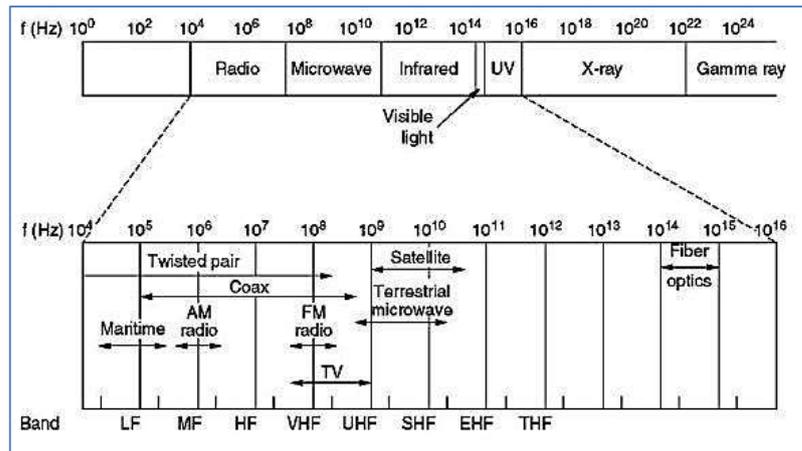


Figura 2.2.2: Espectro electromagnético de frecuencias

Fuente: <http://tutorial.galeon.com/inalambrico.htm>

Vemos en la figura anterior que la porción de ondas en FM o frecuencia modulada corresponde al orden de los megahercios, es de interés esta porción de frecuencias puesto que el proyecto trabaja dentro de este rango.

2.2.2.2 Longitud de onda

Cuando se manejan ondas de radio se acostumbra usar unidades de longitud de onda, y no de frecuencia. La longitud de onda es la distancia que ocupa en el espacio un ciclo de una onda electromagnética, es decir, la distancia entre los puntos correspondientes en una onda repetitiva. (Tomasi, Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, 2003)

Según lo que se manifiesta en el anterior apartado, la distancia que existe entre cada pico de onda o cada ciclo se denomina longitud de onda y se calcula de la siguiente manera,

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

Siendo f la frecuencia de la onda y V la velocidad de la onda que es cercana a los 3×10^8 , entonces tenemos que,

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

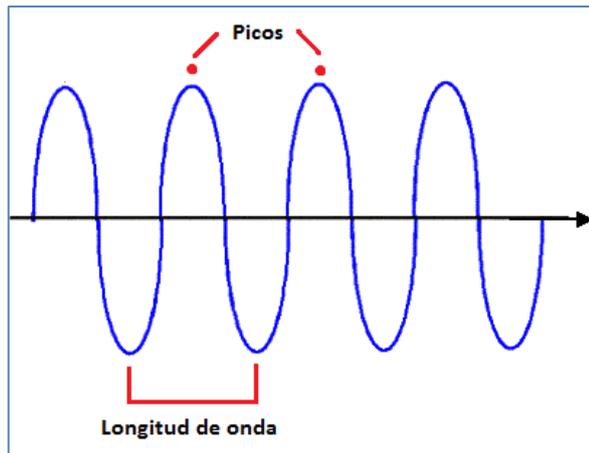


Figura 2.2.3: Representación de Longitud de Onda.

Fuente: Los autores.

Respecto a la figura anterior, es concerniente visualizar el espectro en el que se desplazan las ondas de radio respecto a las longitudes de onda es mayor a 1 mm.

2.2.2.3 Amplitud

Es la máxima distancia que hay entre un pico de la onda y el punto medio de la misma

2.2.3 Propagación de Radiofrecuencias

2.2.3.1 Concepto

Para que exista la propagación de radiofrecuencias deben existir dos elementos primordiales que son el transmisor y el receptor. Si se tienen estos dos dispositivos la comunicación de radiofrecuencias se realizará dentro del rango de los 30 kHz hasta los 300 GHz.

Dentro de este concepto, para que exista la comunicación, los dispositivos deben ser capaces de enlazarse entre ellos y para esto se requiere que la línea de vista entre el transmisor y receptor no presente obstrucciones capaces de interferir totalmente en la transmisión, puesto que puede darse el caso que existan factores que atenúen o afecten a la señal.

2.2.3.2 Características de la propagación de radiofrecuencias

Las ondas de radio son ondas electromagnéticas que poseen una componente eléctrica y una componente magnética y como tales, están expuestas a ciertos fenómenos los cuales son capaces de modificar el patrón de propagación de las ondas. En condiciones especiales y con una atmósfera uniforme, las ondas de radio tienden a desplazarse en línea recta, esto quiere decir que siempre que haya una línea de vista entre el emisor y el receptor. (UDLAP, 2005)

El párrafo anterior indica que mientras no exista interferencia alguna entre el transmisor y el receptor, se tendrá línea de vista óptima para conseguir una comunicación de calidad y que no existan pérdidas en la transmisión de datos o mensajes o que el mismo llegue distorsionado. Además de factores ambientales, se debe de tomar en cuenta la distancia a la que realizara el enlace respectivo para la propagación de la radiofrecuencia ya que si no se tienen valores adecuados de potencia de transmisión en el transmisor, también pueden existir pérdidas en la transmisión, y muchas veces es necesario adaptar un amplificador al transmisor para que cumpla con las funciones requeridas.

2.2.3.3 Efectos sobre la propagación de radiofrecuencias.

Hay que tener en cuenta que en las comunicaciones inalámbricas existen una serie de fenómenos que ocurren a causa de las características que presenta el entorno. Dentro de estos fenómenos podemos denotar la refracción, reflexión, dispersión y difracción de las ondas electromagnéticas las cuales se detallan a continuación.

2.2.3.3.1 Refracción

Según un texto educativo de la universidad de la Universidad de las Américas Puebla, sobre los conceptos de propagación dice que,

Las ondas de radio están expuestas a sufrir una desviación en su trayectoria cuando atraviesan de un medio a otro con densidad distinta, en comunicaciones este efecto sucede cuando las ondas electromagnéticas atraviesan las distintas capas de la atmósfera variando su trayectoria en un cierto ángulo (UDLAP, 2005).

El índice de refractividad será, según fórmula:

$$IR = \frac{Vp}{Vm}$$

Siendo,

IR = Índice de refractividad.

Vp = Velocidad de propagación en el espacio libre.

Vm = Velocidad de propagación en el medio

2.2.3.3.2 Reflexión

Las ondas de radio atraviesan las diversas capas de la atmósfera, desde la tropósfera hasta la ionósfera y si los índices de refractividad de cada una de estas capas son muy diferentes. Estos distintos índices pueden llegar a producir reflexión total, siendo las frecuencias de VHF y superiores las más propensas a esta desviación de trayectoria. (UDLAP, 2005)

2.2.3.3.3 Dispersión

Es interesante denotar que en un radioenlace, las condiciones atmosféricas tienen un papel importante al momento de determinar si la comunicación será óptima o no. Un ejemplo claro, es el efecto de dispersión que crean las gotas de lluvia. Si la longitud de onda es mayor al diámetro de las gotas de lluvia, la atenuación será despreciable, así como indica el párrafo siguiente,

El efecto de la dispersión ocurre cuando las ondas de radio atraviesan alguna masa de electrones o pequeñas gotas de agua en áreas suficientemente grandes. En comunicaciones de radio es importante mencionar que la dispersión de la señal generada por lluvia depende de la comparación del tamaño de la longitud de onda de la señal y el diámetro de la gota de lluvia. (UDLAP, 2005)

2.2.3.3.4 Difracción

Sobre la difracción, el párrafo siguiente nos indica que,

Se puede entender a la difracción como el esparcimiento de las ondas en los límites de una superficie, esto quiere decir que para que exista la difracción tiene que haber un obstáculo, así es como este fenómeno permite que parte de la señal llegue al otro lado del objeto. Este fenómeno es de gran utilidad para las zonas de sombra de señal que pueden ser producidas por grandes edificios o montañas. (UDLAP, 2005)

2.2.3.4 Línea de visión óptica y de radio

Si no hay obstáculos, la línea de visión óptica se puede expresar cómo:

$$d = 3,57\sqrt{h}$$

donde d es la distancia entre la antena y el horizonte en kilómetros y h es la altura de la antena en metros. La línea de visión efectiva, o de radio, se expresa como

$$d = 3,57\sqrt{Kh}$$

donde K es un factor de ajuste que tiene en cuenta la refracción. Una buena aproximación es $K = 4/3$. Así, la distancia máxima entre dos antenas siguiendo propagación LOS es

$$3,57(\sqrt{Kh_1} + \sqrt{Kh_2})$$

donde h_1 y h_2 son respectivamente las alturas de las antenas. (Stallings, Comunicaciones y Redes de Computadores, 2004)

2.2.4 Las ondas de radio (RF) en el espectro electromagnético

Las radiofrecuencias u ondas de radio se encuentran dentro del rango de todo el espectro electromagnético ocupando una pequeña parte del mismo.

Nombre de la Región Espectral	Rango de Frecuencias
Radiofrecuencia	3 KHz - 300 GHz
Infrarrojo	300 GHz - $4,3 \cdot 10^{14}$ Hz
Luz Visible	$4,3 \cdot 10^{14}$ Hz - $1 \cdot 10^{15}$ Hz
Ultravioleta	$1 \cdot 10^{15}$ Hz - $6 \cdot 10^{16}$ Hz
Rayos X	$6 \cdot 10^{16}$ Hz - $3 \cdot 10^{19}$ Hz
Rayos Gamma	$3 \cdot 10^{19}$ Hz - $5 \cdot 10^{20}$ Hz

Tabla 2.2.1: Espectro electromagnético.

Fuente: http://materias.fi.uba.ar/6679/apuntes/Espectro_radioelec_y_prop.pdf

A su vez el espectro de las radiofrecuencias se divide en varias bandas en las que se encuentran distintas frecuencias como se detalla en el siguiente cuadro.

Abreviatura	Clasificación	Rango de Frecuencias
VLF	Frecuencias muy bajas	3 a 30 KHz
LF	Frecuencias bajas	30 a 300 KHz
MF	Frecuencias medias	300 a 3000 KHz
HF	Frecuencias Altas	3 a 30 MHz
VHF	Frecuencias muy altas	30 a 300 MHz
UHF	Frecuencias ultra altas	300 a 3000 MHz
SHF	Frecuencias super altas	3 a 30 GHz
EHF	Frecuencias extremadamente altas	30 a 300 GHz

Tabla 2.2.2: Clasificación de las frecuencias.

Fuente: http://materias.fi.uba.ar/6679/apuntes/Espectro_radioelec_y_prop.pdf

2.3 Teorema de máxima transferencia de potencia RF

2.3.1 Generalidades

Debido a que en el proyecto existen gran cantidad de acoples al conectar los distintos elementos que componen el sistema transmisor de RF, como por ejemplo al momento de conectar el NI-USRP al amplificador de potencia debido a la débil potencia de salida que presenta el NI-USRP como equipo transmisor. En todos estos acoples se tendrán pérdidas que a lo largo del sistema sumaran valores significativos al momento de obtener datos reales que demuestren que el sistema es técnicamente viable en su construcción e implementación; es así como se debe realizar un correcto análisis en estos acoples para que así no existan pérdidas y se transfiera la máxima potencia en todo el recorrido del sistema hasta llegar a la emisión del mensaje de alerta sonora. El teorema de Máxima transferencia de Potencia indica las condiciones que deben existir en las adaptaciones de las impedancias para que exista la menor cantidad de pérdidas en la transmisión.

2.3.2 Definición

Un artículo relacionado con el teorema de máxima transferencia de potencia nos indica que,

Cuando se trabaja con señales que varían con el tiempo, el teorema de máxima transferencia de potencia establece que esta ocurre cuando la impedancia de carga es igual a la impedancia compleja conjugada de la impedancia del generador. Es decir cuando las partes reales de la impedancia son iguales y las partes reactivas son de igual módulo pero opuestas, de tal manera que si $R_s = R + jX$ la compleja conjugada será $R_s^ = R - jX$. Esquemáticamente en máxima transferencia de potencia. (Mata, 2002)*

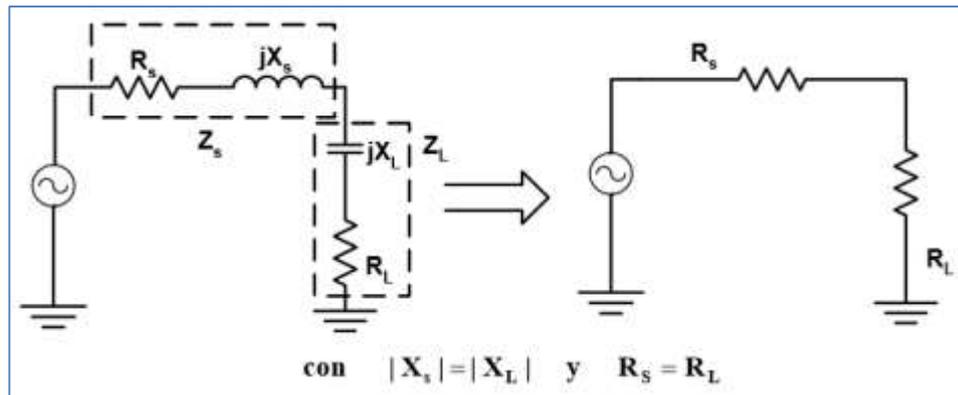


Figura 2.3.1: Condición de máxima transferencia de potencia.

Fuente:

[http://www.profesaulosuna.com/data/files/TELECOMUNICACIONES/AMPLIFICA DOR%20RF/adapt-impedancia-con-carta-smith.pdf](http://www.profesaulosuna.com/data/files/TELECOMUNICACIONES/AMPLIFICA%20DOR%20RF/adapt-impedancia-con-carta-smith.pdf)

La impedancia de fuente de señal Z_s , con una componente reactiva en serie de $+jX$ (inductor), estará excitando a una impedancia de carga compleja conjugada consistente en una reactancia $-jX$ (capacitiva) en serie con R_L . Como la componente $+jX$ de la fuente está en serie con la componente $-jX$ de la carga, por lo tanto se cancelarán una con la otra dejando solamente R_s y R_L que por el teorema de máxima transferencia son iguales. (Mata, 2002)

Técnicamente esto se demuestra en el proyecto al acoplar correctamente los conectores desde los terminales de un dispositivo a otro además de que estos tengan valores de impedancias iguales y así evitar pérdidas en los acoples. Si los conectores o cables utilizados presentan imperfecciones o son de materiales distintos, existirá una sumatoria de pérdidas tal que la transmisión a la distancia requerida por el proyecto no será posible.

2.4 Frecuencia Modulada

2.4.1 Historia

Se le atribuye a Edwin Armstrong, inventor e ingeniero electricista estadounidense, el invento de la radio en frecuencia modulada, demostrando que al modular la frecuencia de un onda de radio, podía obtener audio con mayor calidad y nitidez que la ya conocía en ese entonces, la modulación AM.

Armstrong creó otra invención significativa: la modulación de la frecuencia (FM), que fue patentada en 1933. En vez de variar la amplitud de una onda de radio para crear un sonido, el método de Armstrong variaba la frecuencia de la onda portadora. (Asimov, 1988)

2.4.2 Conceptos básicos

Como se analizó previamente, las radiofrecuencias se encuentran dentro del rango de los 3 kHz hasta los 300 GHz, pero en este caso se analizará el rango de frecuencias dentro de las cuales opera el sistema de transmisión del proyecto. Dentro de conjunto de frecuencias que conforman las frecuencias muy altas o VHF se encuentra la banda de frecuencias moduladas o FM.

A continuación se muestra un diagrama del espectro electromagnético y así mismo la porción en la que se encuentran las radiofrecuencias en FM.

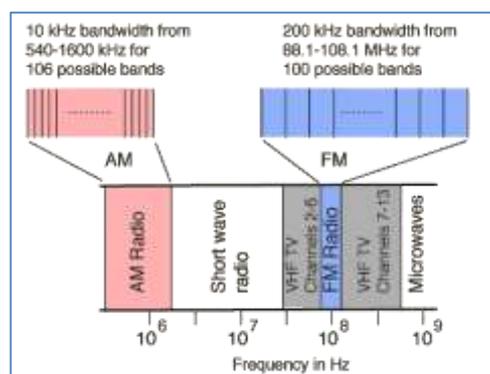


Figura 2.4.1: Espectro electromagnético FM.

Fuente: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/audio/radio.html>

Las frecuencias moduladas se obtienen mediante técnicas de modulación pasabanda en la cual la señal analógica en banda base, misma es la representación de la banda de frecuencias de una señal emitida por la fuente, es modulada dentro de una señal portadora variando su frecuencia, como lo dice COUCH,

Todas estas técnicas de señalización pasabanda consisten en la modulación de una señal de banda base analógica o digital dentro de una portadora. (Leon W. Couch, 2008)

Cuando se hace uso de señales analógicas, la frecuencia instantánea de la señal modulada es proporcional al valor instantáneo de la señal modulada.

La modulación en frecuencia es comúnmente utilizada en las radiofrecuencias por sus características de fidelidad en la transmisión de audio como la música y la voz además también de la transmisión del audio usado en la televisión analógica.

2.4.3 Representación de las señales FM

La modulación en frecuencia es uno de los casos de la señalización modulada por ángulo. La envolvente compleja para este tipo de señalización es:

$$g(t) = A_c e^{j\theta(t)}$$

A_c , que es la envolvente real, es de carácter constante, y la fase $\theta(t)$ es función lineal de la señal de modulación $m(t)$ y $g(t)$ es función no lineal de la modulación.

Entonces, tenemos que la señal modulada por ángulo es:

$$s(t) = A_c \cos[\omega_c t + \theta(t)]$$

En el esquema que a continuación se presenta, podemos observar una señal senoidal de banda base que será la señal moduladora y la frecuencia de la señal FM, también la representación de la señal en FM final.

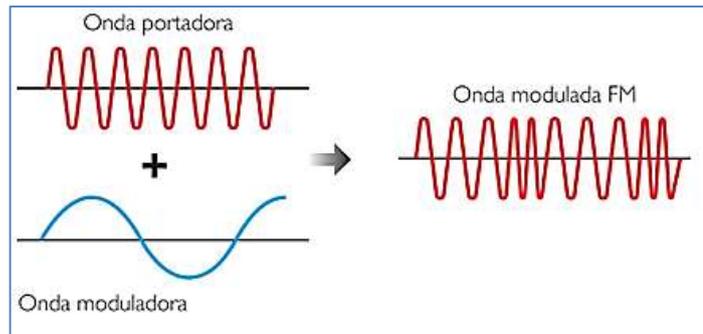


Figura 2.4.2: FM con una señal moduladora senoidal de banda base.

Fuente: (Leon W. Couch, 2008)

Vemos que la frecuencia instantánea varía de manera directamente proporcional a la señal moduladora en torno a la frecuencia de la portadora.

Se muestra también la señal Fm resultante luego de una variación de la frecuencia instantánea al inyectar una modulación senoidal.

2.4.4 FM Broadcast

2.4.4.1 Concepto

Éste es un tipo de tecnología de radiodifusión que emplea técnicas de modulación en frecuencia (FM) para brindar altos estándares de calidad y fidelidad del sonido.

Para que exista una buena calidad en la transmisión usando frecuencia modulada, es imprescindible que los receptores se encuentren dentro de los rangos de transmisión sintonizando la frecuencia FM determinada para así recibir el contenido de la información con alta calidad.

2.4.4.2 Características de la transmisión FM

Existen algunas interferencias que podrían alterar la amplitud de una onda, pero esto no afecta la información transmitida en FM, ya que en este tipo de modulación la información se obtiene en la variación de la frecuencia más no de la amplitud. Dada esta característica es que se obtienen altos niveles de fidelidad en la transmisión de sonido o imagen cuando se modula la frecuencia.

La transmisión de sonido o de otros tipos de información como imágenes o datos se logra al no verse alterada la frecuencia de la portadora al suministrar información en la misma.

Al transmitir por frecuencia modulada se producen bandas laterales por cada estación FM, esto permite producir variaciones complejas de sonido en radiodifusión.

La transmisión en Fm se realiza en la banda de frecuencias altas que va desde los 88 hasta los 108 MHz, las cuales son aptas para la transmisión de señales altas pero limitados en torno al alcance de recepción.

2.4.4.3 Estándares técnicos para la transmisión en FM en Ecuador

En Ecuador, la banda FM está dividida en 100 canales, cada uno con ancho de banda de 200 kHz.

La potencia mínima para todas las estaciones emisoras de radio en FM será de 250 W exceptuando las ciudades con un número de habitantes mayor a los 200000, en las cuales la potencia podrá ser de 500 W.

Los sistemas de radiación Fm tienen que estar a una altura máxima de 36 metros por encima de la altura promedio de la superficie de la ciudad en donde se encuentren.

Las frecuencias que se utilizarán dentro del territorio ecuatoriano para la transmisión en frecuencia modulada serán las comprendidas entre los 88 a los 108 GHz.

2.4.4.4 Estaciones FM operativas en la provincia del Guayas

Las emisoras que actualmente operan en Fm en la provincia del Guayas son las siguientes:

GUAYAS	MARIA	88,1
GUAYAS	GALAXIA STEREO	88,5
GUAYAS	DI BLU	88,9
GUAYAS	NARANJAL FM STEREO	89,1
GUAYAS	RADIO CITY	89,3
GUAYAS	ONDA TECA	89,5
GUAYAS	BURBUJA FM	89,5
GUAYAS	VEGA MEGA	89,5
GUAYAS	PUNTO ROJO FM	89,7
GUAYAS	ROMANCE FM	90,1
GUAYAS	CANELA	90,5
GUAYAS	KISS	90,9
GUAYAS	TROPICALIDA STEREO	91,3
GUAYAS	ANTENA TRES	91,7
GUAYAS	ESTRELLA	92,1
GUAYAS	CALIDAD FM	92,3
GUAYAS	FOREVER MUSIC FM	92,5
GUAYAS	COLON FM	92,9
GUAYAS	DISNEY	93,7
GUAYAS	ONDA POSITIVA	94,1
GUAYAS	PLATINUM FM	94,5
GUAYAS	LA OTRA FM	94,9
GUAYAS	SATELITAL FM	95,1
GUAYAS	CUPIDO	95,3
GUAYAS	METRO STEREO	95,7
GUAYAS	ONDA CERO FM	96,1
GUAYAS	TROPICANA FM	96,5
GUAYAS	MAS CANDELA	96,9
GUAYAS	NUEVO TIEMPO	97,3
GUAYAS	AMISTAD	97,5
GUAYAS	SONIDO X	97,5
GUAYAS	J.C. RADIO	98,5
GUAYAS	IMPACTO FM	98,9
GUAYAS	SABORMIX FM	99,3
GUAYAS	ELITE	99,7
GUAYAS	LA PRENSA SPORT 100.1 FM	100,1
GUAYAS	RSN FM STEREO	100,5
GUAYAS	LA RADIO DE LA ASAMBLEA	100,9

	NACIONAL	
GUAYAS	RADIO CENTRO	101,3
GUAYAS	TELEQUIL RADIO STEREO	101,7
GUAYAS	WQ-DOS	102,1
GUAYAS	HCJB LA VOZ Y VENTANA DE LOS ANDES	102,5
GUAYAS	ARMONIA MUSICAL	102,9
GUAYAS	JOYA STEREO	103,3
GUAYAS	SONORAMA FM	103,7
GUAYAS	ALFA STEREO	104,1
GUAYAS	RQP	104,5
GUAYAS	ONCE Q FM	104,9
GUAYAS	RADIO PUBLICA	105,3
GUAYAS	COSTA LA VOZ DE PLAYAS	105,3
GUAYAS	FABU STEREO	105,7
GUAYAS	B.B.N. 106.1 FM	106,1
GUAYAS	FUEGO	106,5
GUAYAS	FRANCISCO STEREO	106,9
GUAYAS	CADENA DIAL	107,1
GUAYAS	ARIES FM	107,1
GUAYAS	RADIO RUMBA	107,3
GUAYAS	VISIÓN FM	107,7

Tabla 2.4.1: Emisoras licenciadas en FM que operan en la provincia del Guayas.

Fuente: <http://www.regulaciontelecomunicaciones.gob.ec/biblioteca/>

2.5 Receptores de FM

2.5.1 Generalidades

Siendo las radiorreceptoras de los vehículos particulares o privados últimos componentes en el sistema de comunicaciones que se establece en el proyecto, es necesario tener en cuenta los dispositivos que recibirán los mensajes de audio transmitidos por el sistema.

Básicamente, en ciertos vehículos, se encuentra instalada una radioreceptora que cumple, entre otras funciones, con la recepción de señales FM para así demodularlas y reproducirlas en formatos audibles para las personas. A continuación se explicará cuáles son las características técnicas básicas de estos dispositivos, puesto que no son en totalidad, objetivo de estudio en el proyecto.

2.5.2 Especificaciones

En los receptores de FM, el voltaje a la salida del detector de audio es directamente proporcional a la desviación de frecuencia en su entrada. Con los receptores de PM, el voltaje a la salida del detector de audio es directamente proporcional a la desviación de fase en su entrada. Como se presentan la modulación de frecuencia y de fase al mismo tiempo con cualquiera de los sistemas de modulación angular, las señales de FM se pueden demodular con los receptores de PM, y viceversa. En consecuencia, los circuitos para demodular las señales de PM Y de FM se describen a la vez bajo el título de "Receptores de FM" (Tomasi, Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, 2003)

Para los receptores de FM en la banda comercial, la primera FI es una frecuencia relativamente alta, por ejemplo de 10.7 MHz, para tener buen rechazo de la frecuencia imagen, y la segunda FI es una frecuencia relativamente baja (muchas veces de 455 kHz) que permite tener, a los amplificadores de FI, una ganancia relativamente alta, sin ser susceptibles a la oscilación.

Con una primera FI de 10.7 MHz. la frecuencia imagen hasta para la estación de FM con frecuencia mínima (88.1 MHz) es 109,5 MHz. muy afuera de la banda de emisión de FM. (Tomasi, Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, 2003)

2.5.3 Parámetros de un receptor

2.5.3.1 Selectividad

La selectividad es un parámetro del receptor con el que se mide la capacidad de éste para aceptar una determinada banda de frecuencias y rechazar las demás. (Tomasi, Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, 2003)

Está claro que la selectividad para el receptor al final del sistema de comunicación, que en este proyecto que viene dado por las radiorreceptoras en los vehículos particulares o públicos, está delimitada por los valores de frecuencia en los que operan las emisoras Fm dentro de la ciudad de estudio, en este caso Guayaquil, y el rango de operación será entre los 88 MHz hasta los 108 MHz.

En consecuencia, se acostumbra especificar el ancho de banda en dos niveles de atenuación, por ejemplo, - 3 dB Y - 60 dB.

La relación de estos dos anchos de banda se llama factor de forma, y se define con la siguiente ecuación (Tomasi, Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, 2003)

$$SF = \frac{B_{(-60dB)}}{B_{(-3dB)}}$$

en donde,

SF = factor de forma (adimensional)

B_(-60dB) = ancho de banda de 60 dB abajo del nivel máximo de la señal.

B_(-3dB) = ancho de banda de 3 dB abajo del nivel máximo de la señal.

2.5.3.2 Mejoramiento de ancho de banda

Los valores de mejoramiento de la señal para los receptores FM estarán dados netamente por los componentes de que el fabricante haya determinado para el mismo, es así que en etapas anteriores a la recepción de la señal de alerta de audio debe ser imprescindible establecer las mejores condiciones para la transmisión de la misma, teniendo en cuenta que no se puede saber las características de todas las radiorreceptoras en los vehículos particulares o públicos, pero si se pueden generalizar características de señal óptimas para alcanzar los objetivos del proyecto.

Si se puede reducir ancho de banda, el ruido también se reducirá en la misma proporción y aumentará la relación de potencias de señal a ruido, y mejorará la eficiencia del sistema.

El límite inferior es que el ancho de banda del circuito debe ser mayor que el ancho de banda de la señal de información, porque de otro modo se reducirán la potencia de información y/o el contenido de frecuencias de la señal de información, con lo que desmerecerá el desempeño del sistema. (Tomasi, Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, 2003)

La relación de reducción de ruido alcanzada reduciendo el ancho de banda se llama mejoramiento del ancho de banda (BI, de bandwidth improvement) y se define matemáticamente como sigue

$$BI = \frac{B_{RF}}{B_{IF}}$$

en donde BI = mejoramiento del ancho de banda (adimensional)

B_{RF} = ancho de banda de RF (Hertz)

B_{IF} = ancho de banda de IF (Hertz)

La reducción correspondiente de ruido debida a la reducción de ancho de banda se llama mejoramiento de la cifra de ruido y se expresa en dB como sigue

$$NF_{\text{mejoramiento}} = 10\log BI$$

2.5.3.3 Sensibilidad

La sensibilidad de un receptor es el nivel mínimo de la señal de RF que se puede detectar a la entrada del receptor y producir una señal útil de información demodulada. Es algo arbitrario la definición de qué es una señal útil de información. En general, se usa la relación de señal a ruido y la potencia de la señal a la salida de la sección de audio, para determinar la calidad de una señal recibida, y determinar si es útil. (Tomasi, Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, 2003)

También a este parámetro de los receptores de RF se les llama umbral del receptor y se la especifica en micro voltios.

2.6 Transmisión de datos

Para que exista la transmisión de datos siempre debe existir un conductor o medio por el cual se puedan transmitir estos datos llamado medio de transmisión, el cual puede ser de tipo guiado y no guiado.

Los medios de transmisión guiados son por ejemplo cables conductores como en el caso de un cable coaxial, UTP o par trenzado entre otros. Estos conductores, que pueden ser de distintos materiales como cobre o plástico en el caso de las fibras ópticas, forman un camino por el cual viajan los datos los cuales limitan su transmisión por estos cables.

Así mismo existen medios de transmisión inalámbricos o también llamados no guiados, en las cuales las transmisiones no se ven limitadas a lo largo de un cable, sino que las ondas electromagnéticas, ondas sonoras, ondas de luz u otros, se propagaran a través del vacío, el agua, o en el caso del proyecto, en el aire.

Un medio de transmisión será de tipo punto a punto si entre un receptor y un transmisor existe una sola vía o medio y además hay un enlace directo entre ellos.

Serán medios de transmisión Punto-Multipunto en los cuales existan más de un receptor o a su vez, más de un transmisor. Eso quiere decir que en la topología de la red de comunicación existirán más de dos dispositivos.

El tipo de transmisión que se aplica al sistema usado para este proyecto será de tipo punto-Multipunto ya que el sistema realizará broadcast en FM al momento de enviar el mensaje de alerta el cual previamente es receptado por todas las radios que estén sintonizando una determinada emisora.

Los medios de transmisión pueden ser de tipo simplex para aquellos en los que el flujo de datos o la transmisión se realizan en una sola dirección, esto quiere decir desde el transmisor hasta el receptor. Así lo confirma Tomasi que dice,

Con el funcionamiento simplex, las transmisiones sólo se hacen en una dirección. A veces, a los sistemas simplex se les llama solo en un sentido, sólo recibir o solo transmitir. Una estación puede ser un transmisor o un receptor, pero no ambos a la vez. (Tomasi, Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, 2003)

Para un medio en el que la transmisión se realice en dos direcciones, pero que dicha transmisión no se realice de manera simultánea, será de tipo semi-duplex o half-duplex. En este caso ambas estaciones pueden transmitir y por consiguiente, recibir información. Esta es la explicación que da Tomasi,

Las transmisiones se pueden hacer en ambas direcciones, pero no al mismo tiempo. Una estación puede ser transmisora y receptora, pero no al mismo tiempo. (Tomasi, Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, 2003)

Si el caso requiere un tipo de transmisión simultánea entre dos o más dispositivos en los que se pueda transmitir al mismo tiempo desde dos o más estaciones, el medio de transmisión será de tipo full-duplex.

El sistema de transmisión del proyecto usará un medio de transmisión simplex puesto que solo se transmitirá en una dirección, esto quiere decir desde el transmisor del sistema hasta las radios receptoras de los vehículos particulares o privados.

2.6.1 Transmisión de datos analógicos y digitales

2.6.1.1 Concepto

Se habla de transmisión analógica, de carácter continuo, y digital, de carácter discreto, cuando se realiza el transporte de datos o señales en un medio de transmisión determinado, como lo dice Stallings,

Los términos analógico y digital corresponden respectivamente, por lo general, a continuo y discreto. (Stallings, Comunicaciones y Redes de Computadores, 2004)

La información transportada por un medio de transmisión se denomina dato. A la representación electromagnética de estos datos se llama señales, siendo la transmisión la capacidad de propagación de los datos y el proceso de señales para realizarse una respectiva comunicación.

2.6.1.1.1 Señales y datos analógicos y digitales

2.6.1.1.1.1 Concepto

Siendo el dato, la información que se transporta por un medio de transmisión, Stallings agrega que,

En un sistema de comunicaciones, los datos se propagan de un punto a otro mediante señales electromagnéticas. (Stallings, Comunicaciones y Redes de Computadores, 2004).

Esto quiere decir que los datos, en un medio de transmisión serán representados por medio de una señal electromagnética la cual se propagará logrando así la transmisión de la misma.

2.6.1.1.2 Señal analógica

Una señal analógica es una onda electromagnética que varía continuamente y que, según sea su espectro, puede propagarse a través de una serie de medios; por ejemplo, a través de un medio guiado como un par trenzado, un cable coaxial, un cable de fibra óptica, o a través de medios no guiados, como la atmósfera o el espacio. (Stallings, Comunicaciones y Redes de Computadores, 2004)

Para efectos del proyecto, y teniendo en cuenta lo que dice Stallings en el texto anterior, tendremos señales analógicas propagándose en el proyecto a través de cable coaxial y así mismo desde la antena del sistema hasta las radiorreceptoras de los vehículos, en este último caso, la propagación será en un medio no guiado, el aire.

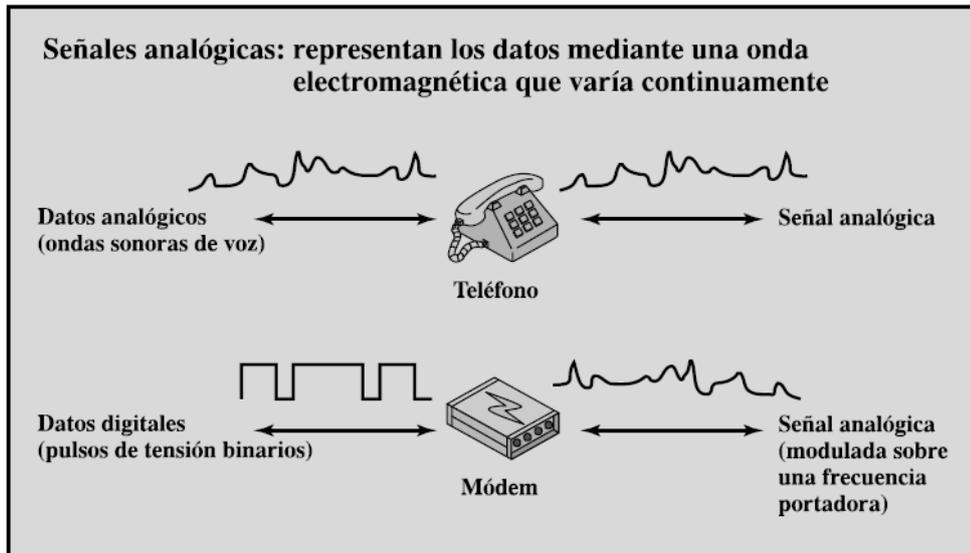


Figura 2.6.1: Señalización analógica de datos analógicos.

Fuente: (Stallings, Comunicaciones y Redes de Computadores, 2004)

2.6.1.1.3 Señal digital

Sobre las señales digitales, Stallings agrega que,

Una señal digital es una secuencia de pulsos de tensión que se puede transmitir a través de un medio conductor. (Stallings, Comunicaciones y Redes de Computadores, 2004)

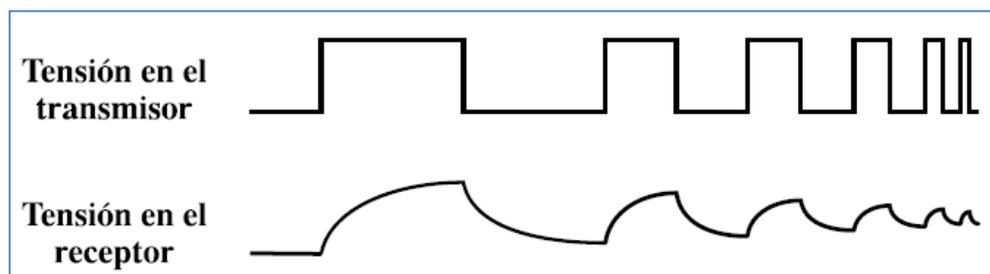


Figura 2.6.2: Atenuación de señales digitales.

Fuente: (Stallings, Comunicaciones y Redes de Computadores, 2004)

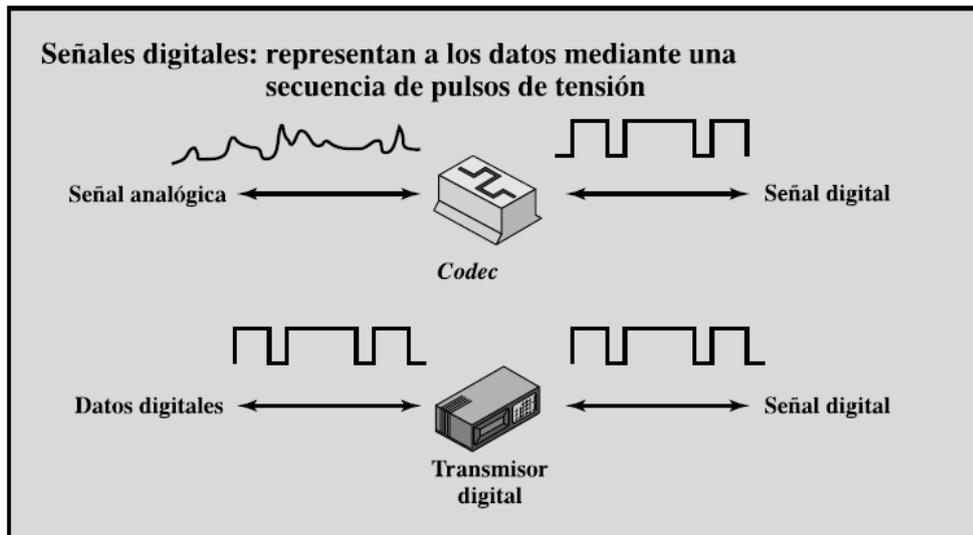


Figura 2.6.3: Señalización digital de datos digitales.

Fuente: (Stallings, Comunicaciones y Redes de Computadores, 2004)

2.6.2 Transmisión de datos analógicos

Es una forma de transmitir señales analógicas con independencia de su contenido; las señales pueden representar datos analógicos (por ejemplo, voz) o datos digitales (por ejemplo, los datos binarios modulados en un módem). En cualquier caso, la señal analógica se irá debilitando (atenuándose) con la distancia. (Stallings, Comunicaciones y Redes de Computadores, 2004)

Tal como se explica en el párrafo anterior, uno de los factores más importantes al momento de transmisión de datos analógicos es la distancia. Uno de los inconvenientes principales que se debieron analizar primordialmente en el desarrollo de este proyecto fue el de la potencia de salida del transmisor. Debido a la baja potencia en el equipo transmisor, no se lograban alcanzar las distancias de propagación de la señal analógica de acuerdo a los valores requeridos, y fue así que se tuvo que optar por añadir un amplificador de potencia. Esto resultó en que el transmisor podría propagar su señal a mayor distancia de la generada por si solo. Hay que tener en cuenta que el uso de un amplificador incrementará significativamente la calidad de la señal la cual se debe de tratar adecuadamente antes o después de su amplificación.

2.6.3 Trasmisión de datos digitales

Una señal digital sólo se puede transmitir a una distancia limitada, ya que la atenuación, el ruido y otros aspectos negativos pueden afectar a la integridad de los datos transmitidos. Para conseguir distancias mayores se usan repetidores. Un repetidor recibe la señal digital, regenera el patrón de ceros y unos, y los retransmite. De esta manera se evita la atenuación. (Stallings, Comunicaciones y Redes de Computadores, 2004).

Teniendo en cuenta la teoría que plantea Stallings, en el proyecto no tendremos que preocuparnos por problemas en la atenuación de la señal digital puesto que las distancias en las que se realizaran transmisiones digitales no serán mayormente significativas. Sabiendo que se usan cables de par trenzado de cobre para la transmisión de datos digitales, estos no se verán afectados a distancias mayores a los 100 metros y debido a esto tampoco se requerirán repetidores.

2.6.4 Dificultades en la transmisión

A lo largo de la transmisión, en el espectro, se presentan algunos parámetros que dificultan una ideal propagación de la señal electromagnética. A continuación se detallan algunos de estos parámetros para su mejor entendimiento.

2.6.4.1 Atenuación

La distancia entre el transmisor y el receptor es de mucha importancia debido a que es un factor principal causante de la atenuación en un enlace, provocando pérdidas de información, según nos dice el siguiente apartado,

Las señales de transmisión a través de largas distancias están sujetas a distorsión que es una pérdida de fuerza o amplitud de la señal (www.arqhys.com)

La atenuación es la razón principal de que el largo de las redes tenga varias restricciones. Si la señal se hace muy débil, el equipo receptor no interceptará bien o no reconocerá esta información. Esto causa errores, bajo desempeño al tener que transmitir la señal. (docente.ucol.mx, 2005)

En la figura 2.6.4 vemos como la señal se va atenuando cuando tenemos más distancia.



Figura 2.6.4: Atenuación de una señal respecto a la distancia de propagación.

Fuente: <http://docente.ucol.mx/al021593/RUIDO.htm>

Si la señal que se transmite es muy débil, el equipo receptor no reconocerá esta información. Esto causa bajo desempeño al transmitir la señal.

2.6.4.2 Ruido

Toda señal indeseada que se inserta entre el emisor y el receptor de una señal dada (docente.ucol.mx, 2005)



Figura 2.6.5: Deterioro de una señal a causa del ruido.

Fuente: <http://docente.ucol.mx/al021593/RUIDO.htm>

Según lo expuesto anterior se puede tener varios tipos de ruidos en el espectro entre el emisor y receptor. Los cuales son:

2.6.4.2.1 Ruido Térmico

Es producida por agitación térmica de electrones dentro del conductor

2.6.4.2.2 Ruido de intermodulación

Cuando distintas frecuencias comparten el mismo medio de transmisión.
(docente.ucol.mx, 2005)

2.6.4.2.3 Ruido Blanco Gaussiano.

La figura 2.6.6 muestra una señal de ruido blanco el cual es provocado por inducción de líneas eléctricas adyacentes que provocan campos magnéticos que producen ruidos en el conductor si el voltaje adyacente es muy elevado.

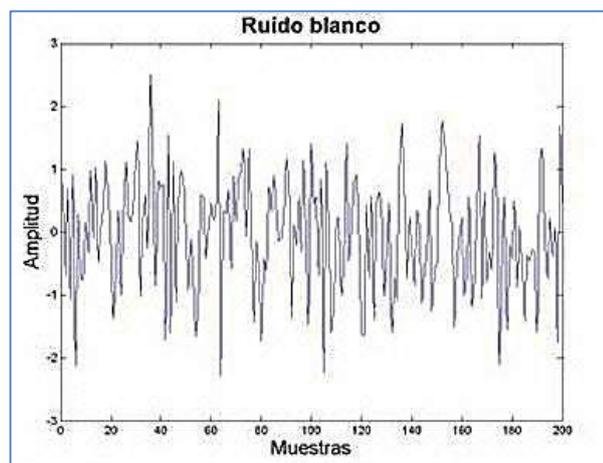


Figura 2.6.6: Representación en el tiempo del ruido blanco gaussiano.

Fuente: <http://ruido.wikispaces.com/RUIDO+EN+COMUNICACIONES>

2.6.4.2.4 Distorsión

Misma señal afectada incluso por sí misma. (wikispace, 2014)

2.6.4.2.5 Interferencia electromagnética (EMI) e interferencia de la radiofrecuencia (RFI)

Interferencias causadas por las fuentes externas de impulsos eléctricos que atacan la calidad de las señales eléctricas del cable e incluyen los sistemas de iluminación, los motores eléctricos y los sistemas de radio. Para evitarlo se puede aumentar el tamaño de los cables conductores o mejorar el tipo de material aislante empleado, otro método es el blindaje y la cancelación (wikispace, 2014)

2.6.4.2.6 Ruido impulsivo

Son pulsos discontinuos de poca duración y de gran amplitud que afectan a la señal (wikispace, 2014)

2.6.4.2.7 Ruido de la conexión a tierra de referencia

Son las interferencias en el sistema de datos debido a que el chasis de un dispositivo informático sirve como la conexión a tierra de referencia de señal y como conexión a tierra de la línea de alimentación de CA. (wikispace, 2014)

En el proyecto existen un sin número de dificultades en la transmisión como es la atenuación producida por la distancia medida que se va alejando el receptor de transmisor.

Así mismo se presentan diferentes tipos de escenas que pueden dificultar la transmisión como es el ruido térmico, que a medida que aumenta el tiempo aparece la temperatura que es directamente proporcional a la resistencia del conductor que en este caso es el cable coaxial.

Tratamos de evitar en lo máximo la interferencia electromagnética e interferencia de radio frecuencia aislando y teniendo una separación entre los cables de energía eléctrica y de radio frecuencia.

2.6.4.3 Distorsión de retardo

2.6.4.3.1 Definición

Es el fenómeno que se da cuando las distintas frecuencias que componen una señal no se propagan con la misma velocidad, lo que produce una deformación en la señal.

La velocidad tiende a ser mayor cerca de la frecuencia central y disminuye al acercarse a los extremos de la banda. Esta deformación es denominada distorsión de retardo. (Pozo, 2007)

2.6.4.3.2 Valores que debe cumplir

La UIT (Unión Internacional de telecomunicaciones). Determina el valor límite de los tiempos de propagación. Que están denotados de la siguiente manera:

La diferencia entre menor tiempo de propagación “t.min” de las diferentes frecuencias y el tiempo de propagación de la frecuencia más baja “t.fmin” (300Hz) no debe de ser mayor a 60ms.

$$t.min - t.fmin \leq 60ms$$

La diferencia ente “t.min” y el tiempo de propagación de la frecuencia más alta “t.fmáx”(3400Hz) no debe ser superior a los 30 ms debe de ser superior a:

$$t.mín - t.fmáx \leq 30 ms$$

(Pozo, 2007)

2.6.5 Capacidad del canal

Se llama capacidad de un canal a la velocidad, expresada en bps (bits por segundo), a la que se pueden transmitir los datos en un canal o ruta de comunicación. Cuanto mayor es el ancho de banda mayor el costo del canal. Lo deseable es conseguir la mayor velocidad posible dado un ancho de banda limitado, no superando la tasa de errores permitida. El Mayor inconveniente para conseguir esto es el ruido (Amador, 2013)

Según el párrafo anterior la capacidad de canal es la velocidad a la cual se van a transmitir los datos, para este caso las limitaciones de ancho de banda van a depender mucho del calibre del cable coaxial y de su impedancia, ya que si el mismo es de mayor calibre y acoplan las impedancias se puede evitar en lo mayor posible el ruido.

Así mismo el estado del cable influye en la capacidad del canal, este debe de estar en buen estado sin cortes y dobles, ya que disminuye sus condiciones óptimas para una normal transmisión.

2.6.6 Capacidad Máxima de un Canal

Es axiomático que la parte más importante de un sistema de telecomunicaciones la constituye el canal y su ancho de banda limita el volumen de información que puede transmitir dentro de ciertos límites de tiempo. Cualquier deficiencia afecta el volumen máximo posible de información y su exactitud; además, contribuye a que los dispositivos de las terminales sean más complejos. (Davenport)

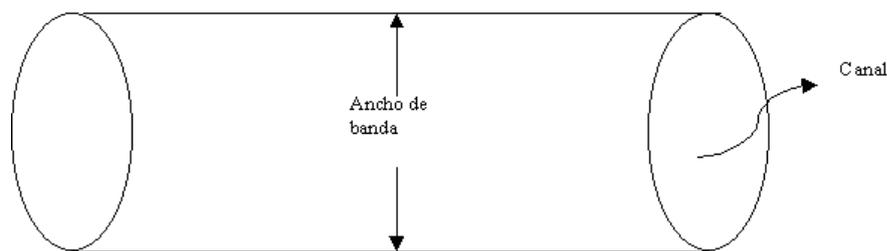


Figura 2.6.7: Representación de un canal y su ancho de banda.

Fuente: (Davenport)

Los distintos medios físicos que se usan en telecomunicaciones, varían considerablemente en sus capacidades de transmisión. Nos referimos a su capacidad en términos de anchura de banda. (Davenport)

La anchura de banda se refiere a la gama de frecuencias que puede transmitir un canal. Si la frecuencia más baja que pueda transmitir un canal es f_1 y la más alta es f_2 , entonces la anchura de banda del canal será $f_2 - f_1$.

La anchura de banda se expresa en ciclos por segundo o Hertz. La capacidad de un canal para transmitir información es proporcional a su anchura de banda. Para la transmisión de datos, mientras la banda sea más ancha, será mayor el número de bits que puedan enviarse por un canal. Sin embargo, todos los canales tienen cierta cantidad de ruido y distorsión. Mientras mayor sea la anchura de banda, será mayor la probabilidad de transmitir cierta cantidad de datos, sin errores, aunque haya ruido y distorsión.

La capacidad máxima de un canal puede describirse como la proporción máxima a la que puede enviarse información por su conducto, sin errores y para fines de transmisión de datos puede medirse en bits por segundo. (Davenport)

Según Nyquist, la capacidad del canal sin ruido es:

$$C = 2W \log_2 L$$

Dónde:

C es la capacidad del canal

W es la anchura de banda

L es el número de niveles de señal.

Entonces podrá preguntarse: ¿Cuántos niveles de señal pueden transmitirse y distinguirse separadamente en el receptor? Evidentemente, quedan restringidos por el ruido y la distorsión de la línea, las fluctuaciones de la atenuación y el límite de la energía de la señal que pueda usarse. (Amador, 2013)

2.6.7 Ancho de banda de Nyquist

Nyquist supuso en su teorema un canal exento de ruido (ideal) Por lo tanto la limitación de la velocidad de transmisión permitida en el canal, es la impuesta exclusivamente por el ancho de banda del canal además el teorema no establece el número de bits por símbolo, que depende del número de estados que se utilicen. Podemos expresar el teorema de Nyquist en forma de ecuación relacionándolo con el caudal máximo de información transmitida.

El teorema de Nyquist establece que La velocidad máxima de transmisión en bits por segundo para un canal (sin ruido) con ancho de banda B (Hz) es:

$$C=2B \log M$$

B: es el ancho de banda. M: el número de niveles o estados posibles, entonces el caudal máximo en bits por segundo. C: caudal máximo de bits por segundo (Amador, 2013)

2.6.8 Teorema de Shannon

En teoría de la información, el teorema de Shannon-Hartley es una aplicación del teorema de codificación para canales con ruido. Un caso muy frecuente es el de un canal de comunicación analógico continuo en el tiempo que presenta un ruido gaussiano.

El teorema establece la capacidad del canal de Shannon, una cota superior que establece la máxima cantidad de datos digitales que pueden ser transmitidos sin error (esto es, información) sobre dicho enlace de comunicaciones con un ancho de banda específico y que está sometido a la presencia de la interferencia del ruido. La capacidad del canal C es:

$$C = B * \log_2\left(1 + \frac{S}{N}\right)$$

Dónde:

B es el ancho de banda del canal.

C es la capacidad del canal (tasa de bits de información bit/s)

S es la potencia de la señal útil, que puede estar expresada en vatios, milivatios, etc., (W, mW, etc.)

N es la potencia del ruido presente en el canal, (mW, μ W, etc.) que trata de enmascarar a la señal útil. (Lara, 2012)

2.6.9 Cociente Eb/No

En los sistemas digitales se usa comúnmente la relación energía de bit a densidad de potencia de ruido Eb/No en lugar de SNR para indicar la calidad de la señal. Sin embargo, es indistinto usar cualquiera de los dos ya que ambos están íntimamente relacionados. Esto se demuestra en las siguientes ecuaciones:

$$Eb = STb$$

$$Eb/No = STb/No$$

$$Eb/No = STb/(N/BW) = SNR(BW/Rb)$$

Eb: Energía por bit

S: Potencia de la señal

Tb: Tiempo de bit

No: Densidad espectral de potencia de ruido

N: Potencia total de ruido

BW: Ancho de banda del canal

Rb: Tasa de bits

A pesar que la formulación de Shannon está hecha en base a la SNR, en los sistemas digitales se prefiere usar Eb/No. Aquí observamos que si SNR y BW permanecen constantes, entonces (Eb/No) Rb también será constante.

Se puede observar la relación entre los parámetros de las comunicaciones analógicas SNR y BW, y los parámetros de las comunicaciones digitales Eb/No y Rb. (Casierra, 2013)

2.6.9.1 Diferencias entre SNR y Eb/No

La relación Eb/No se mide en el receptor, y sirve para indicar qué tan fuerte es la señal.

Dependiendo de la técnica de modulación utilizada (BPSK, QPSK, etc) tenemos diferentes curvas de errores en bits x Eb/No. Estas curvas se usan de la siguiente manera:

Para una determinada señal de RF, ¿Cuál es la velocidad de bits de los errores que tengo? ¿Es esta tasa de error aceptable para mi sistema?

Considerando la ganancia que la tecnología digital tiene, entonces podemos establecer un criterio mínimo de relación señal-ruido, a fin de que cada servicio (voz/datos) funcione aceptablemente. En otras palabras, teóricamente, se puede determinar cómo sería el rendimiento del enlace digital. . (Casierra, 2013)

2.6.9.2 Relación Señal/Ruido (SNR)

El ruido se mide como tensión (Vruido) o como potencia (N). La potencia absoluta del ruido no es significativa, por ello se define el “cociente señal (S)/ruido (N)”

SNR = S/N = potencia de la señal/potencia del ruido

También se puede obtener como:

SNR = A²/σ² = (amplitud señal)²/(desviación típica ruido)²

Si SNR grande ==> la comunicación es buena

Si SNR es pequeño == > comunicación mala o imposible

Como cociente de potencia que es, se puede expresar en dB:

SNR/dB = 10 log₁₀ (S/N)

Este cociente es muy importante, en comunicaciones digitales limita la velocidad máxima de transmisión en bps.

Cbps = B log₂ (1 + SNR) Teorema de Shannon

SNR = S/N

Como Eb = STb --> S = Eb /Tb y N = NO B

SNR = (Eb/Tb) / (NOB) = (Eb/NO)(Vbps/B)

Por tanto SNR aumenta si Eb /NO aumenta. (Casierra, 2013)

2.7 Ethernet

El estándar Ethernet es aplicado a redes de área local o LAN aplicada para dispositivos o computadores con acceso al medio CSMA/CD.

Ethernet es la base del estándar IEEE 802.3 que describe los distintos estándares de transmisión para redes de computadoras.

2.8 Red de Área Local

2.8.1 Concepto

El párrafo anterior indica que existen dispositivos que se pueden interconectar y pasar datos e información no necesariamente al estar conectado directamente. Para estos casos es muy común actualmente realizar conexiones de tipo LAN. En un proyecto constará de una red local pequeña ya que se tiene un equipo de cómputo que irá conectado a un transmisor el cual tiene características de conectividad LAN mediante interfaz Ethernet.

Una LAN es una red de comunicaciones que interconecta varios dispositivos y proporciona un medio para el intercambio de información entre ellos. (Stallings, Comunicaciones y Redes de Computadores, 2004)

Una red LAN sirve para la transmisión de datos y compartir recursos e información entre usuarios conectados a esta red a velocidades relativamente altas de hasta los 1000 Mbps, en las que se pueden ejecutar también sistemas informáticos de servicios de distinto tipo.

2.8.2 Especificaciones gigabit Ethernet

Este tipo de transmisión permite enviar y recibir paquetes Ethernet a velocidades en el entorno de los gigabit por segundo (Gbps).

A continuación un ejemplo de topología utilizando una configuración Gigabit Ethernet.

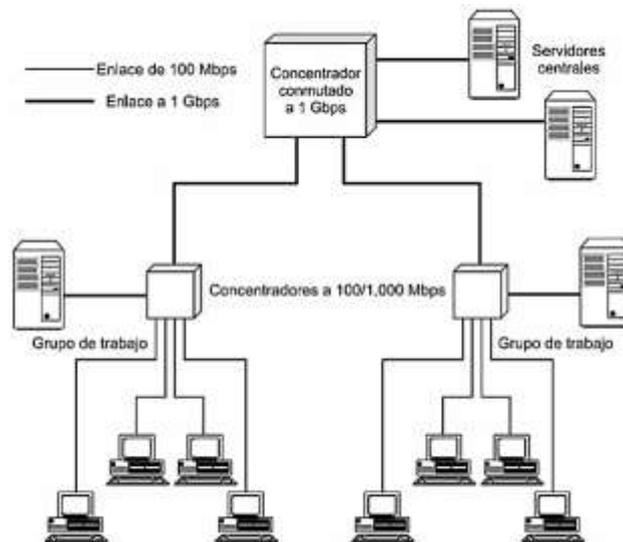


Figura 2.8.1: Ejemplo de configuración para Gigabit Ethernet.

Fuente: (Stallings, Comunicaciones y Redes de Computadores, 2004)

Este protocolo es compatible con configuraciones Ethernet (10 Mbps) y FastEthernet (100 Mbps) es así que podemos acoplar tecnologías anteriores a esta, mas no podríamos acoplar Gigabit Ethernet a dispositivos con configuraciones anteriores a esta, tal como lo explica Stallings,

La estrategia seguida en Gigabit Ethernet es la misma que la adoptada en Fast Ethernet. A pesar de que se define un nuevo medio y una especificación para la transmisión, se sigue adoptando tanto el protocolo CSMA/CD como el formato de trama de sus predecesores Ethernet a 10 Mbps y 100 Mbps. Es compatible con 100BASE-T y 10BASE-T, facilitando la migración. (Stallings, Comunicaciones y Redes de Computadores, 2004)

Cabe recalcar que el estándar Gigabit Ethernet no es el más veloz actualmente puesto que existe también el estandarte 10Gigabit-Ethernet con velocidades 10x mayores a las GigabitEthernet.

2.9 Protocolo IP

2.9.1 Concepto general

En la actualidad el protocolo IP es el protocolo de interconexión en redes de computadoras más utilizado. Este protocolo tiene como particularidad principal el uso de direcciones numeradas llamadas direcciones IP por el que se envían paquetes que contienen los datos, estos paquetes se denominan datagramas y la representación de su estructura es la siguiente.

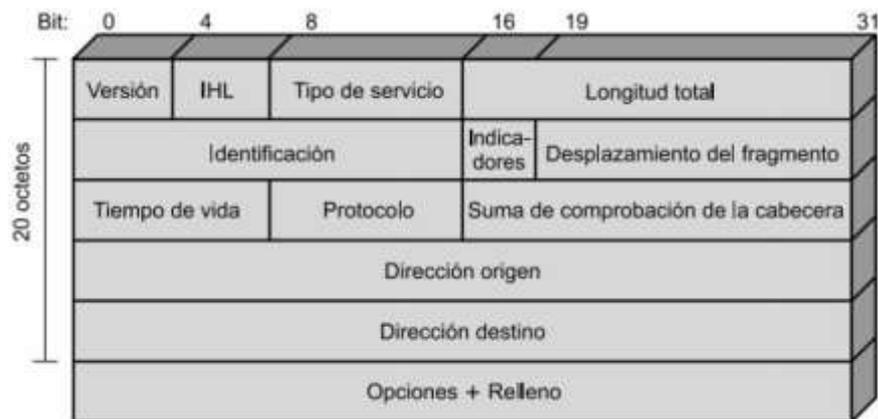


Figura 2.9.1: Cabecera IPv4.

Fuente: (Stallings, Comunicaciones y Redes de Computadores, 2004)

2.9.2 Direcciones IP

Dentro de los bloques más importantes que pudimos ver sobre la cabecera de un datagrama, se pueden observar dos campos de direcciones, la dirección destino y origen. Estas direcciones, como lo detalla Stallings, hacen referencia a las interfaces de red en los dispositivos interconectados en la red de acuerdo al protocolo de enlace que se está utilizando en la conexión. Estas direcciones son etiquetas numéricas únicas para cada equipo dentro de una red y pueden variar de acuerdo a las configuraciones que se tengan en la misma.

Los campos dirección origen y destino en la cabecera IP contienen cada uno una dirección internet global de 32 bits que, generalmente, consta de un identificador de red y un identificador de computador. (Stallings, Comunicaciones y Redes de Computadores, 2004)

En el caso de hacer uso del protocolo Ipv4, estas direcciones serán un arreglo de números binarios de 32 bits, permitiendo una cantidad de hasta 4'294.967.296 direcciones.

Los 32 bits de una dirección ipv4 se dividen en 4 octetos y el valor decimal para cada octeto está dentro del rango de 0 a 255.

Existen cinco clases de direcciones ipv4, las cuales definen características específicas para el uso de las mismas.

A continuación se muestra un cuadro de las clases de direcciones IP.

Primer octeto		Direcciones IP				
Primeros bits	Rango de valores	CLASE	Máscara de red	Red y máquina	Número de Redes	Número de máquinas o hosts
0	0-127	A	255.0.0.0	N.h.h.h	$2^7=128$	16.777.214
10	128-191	B	255.255.0.0	N.N.h.h	$2^{14}=16.384$	65.534
110	192-223	C	255.255.255.0	N.N.N.h	$2^{21}=2.097.152$	254
1110	224-239	D	No aplicable	Reservado	No aplicable	No aplicable
1111	240-255	E	No aplicable	Reservado	No aplicable	No aplicable

Tabla 2.9.1: Clases de direcciones IP.

Fuente: <http://consulteath.com.ar/Publicacion.asp?codGrupo=58>

Para el caso del proyecto se hará uso de las direcciones de clase C, puesto que están dentro de la porción de direcciones IP privadas y que usaremos para interconectar los equipos con interfaces Gigabit Ethernet.

2.9.2.1 Máscara de Subred

La máscara de subred o subnetting señala qué bytes (o qué porción) de su dirección es el identificador de la red. La máscara consiste en una secuencia de unos seguidos de una secuencia de ceros escrita de la misma manera que una dirección IP, por ejemplo, una máscara de 20 bits se escribiría 255.255.240.0, es decir una dirección IP con 20 bits en 1 seguidos por 12 bits en 0, pero separada en bloques de a 8 bits escritos en decimal. La máscara determina todos los parámetros de una subred: dirección de red, dirección de difusión (broadcast) y direcciones asignables a nodos de red (hosts).

Los routers constituyen los límites entre las subredes. La comunicación desde y hasta otras subredes es hecha mediante un puerto específico de un router específico, por lo menos momentáneamente. (Wikipedia.org, 2014)

2.9.2.2 Puerta de enlace

Cuando estamos configurando una dirección IP en un equipo que posea una interfaz de red Ethernet para conexión de área local, tenemos que tener en cuenta un parámetro importante, en cuál será la puerta de enlace. La puerta de enlace es una dirección IP de un dispositivo que realiza la tarea de interconexión de los demás equipos dentro de una red. El mismo puede realizar tareas adicionales de verificación y distribución del flujo de datos, acceso a internet, reglas y excepciones, entre otras. El equipo que hace las veces de puerta de enlace dentro de una red puede ser un servidor, router o modem.

2.10 Medios de transmisión usados en el proyecto

2.10.1 Concepto General

Dentro de los medio de transmisión usados para el proyecto tenemos los Guiados, en los cuales los parámetros de transmisión como las velocidades o el ancho de banda de los mismos depende mucho de la longitud o el material que se esté usando, así mismo como la topología en la que se estén utilizando.

A continuación, Stallings muestra una tabla en la que se detallan ciertas características importantes de los medios de transmisión guiados que se utilizarán en el proyecto, y otros adicionales. Más adelante se detallan cada uno de ellos.

	Rango de frecuencias	Atenuación típica	Retardo típico	Separación entre repetidores
Par trenzado (con carga)	0 para 3,5 kHz	0,2 dB/km @ 1 kHz	50 μ s/km	2 km
Pares trenzados (cables multi-pares)	0 para 1 MHz	3 dB/km @ 1 kHz	5 μ s/km	2 km
Cable coaxial	0 para 500 MHz	7 dB/km @ 10 MHz	4 μ s/km	1 a 9 km
Fibra óptica	180 para 370 THz	0,2 a 0,5 dB/km	5 μ s/km	40 km

THz = Terahercios = 10^{12} Hz.

Tabla 2.10.1: Características de transmisión de medios guiados punto-a-punto.

Fuente: (Stallings, Comunicaciones y Redes de Computadores, 2004)

2.10.2 Par trenzado

El medio de transmisión guiado más utilizado en redes locales de computadoras o telefonía es el par trenzado puesto que presenta características de transmisión de datos acordes a las necesidades de transmisión actuales además del bajo costo del mismo y la facilidad de instalación tal como lo dice Stallings,

El par trenzado es el medio guiado más económico y, a la vez, es el más usado (Stallings, Comunicaciones y Redes de Computadores, 2004)

2.10.2.1 Características físicas

El par trenzado consiste en dos cables de cobre embutidos en un aislante, entrecruzados en forma de bucle espiral. Cada par de cables constituye un enlace de comunicación. (Stallings, Comunicaciones y Redes de Computadores, 2004)

Complementando lo que Stallings dice en el párrafo anterior, el par trenzado está compuesto de dos cables de cobre recubiertos por materiales aislantes, estos cables están entrelazados de forma espiral. El trenzado que se le da al cable es debido a que de esta manera se reduce la diafonía que son interferencias electromagnéticas entre los mismos cables que forman el par trenzado.

El uso del trenzado tiende a reducir las interferencias electromagnéticas (diafonía) entre los pares adyacentes dentro de una misma envoltura.

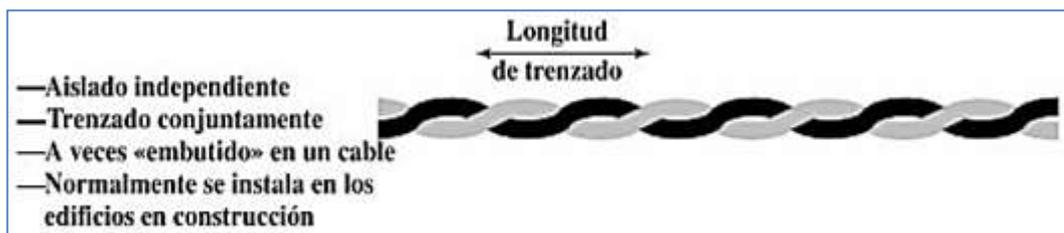


Figura 2.10.1: Par trenzado.

Fuente: (Stallings, Comunicaciones y Redes de Computadores, 2004)

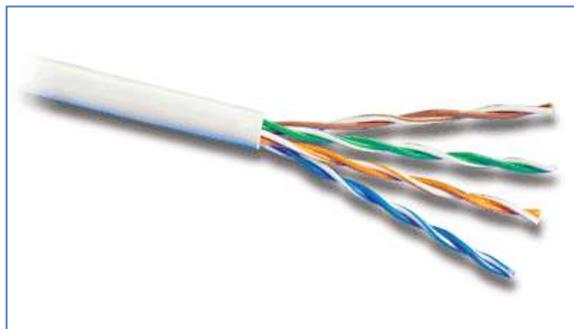


Figura 2.10.2: Pares de cobre de un cable par trenzado.

Fuente:

http://www.roblesystems.com/shop/popup_image.php?pID=30&osCsid=b5623ede0f4586d6d25edd637a9e6822

2.10.2.2 Categorías de cable UTP

A continuación algunas categorías de cable UTP y sus características más importantes.

Categoría	Ancho de Banda	Velocidad de Transmisión	Aplicaciones
Categoría 3	16 MHz	16 Mbps	Telefonía, Redes LAN Ethernet (10base-T)
Categoría 5	100 MHz	100 Mbps	Redes LAN FastEthernet (100base-T)
Categoría 5E	100 MHz	1 Gbps	Redes LAN GigabitEthernet (1000base-T)
Categoría 6	200 MHz	1 Gbps	Redes LAN GigabitEthernet (1000base-T), Aplicaciones de alta velocidad en banda ancha
Categoría 6E	500 MHz	10 Gbps	Redes LAN 10 GigabitEthernet (10Gbase-T)
Categoría 7	600 MHz	10 Gbps	Redes LAN 10 GigabitEthernet (10Gbase-T), Transmisión de video alta calidad.

Tabla 2.10.2: Categorías del cable UTP.

Fuente: <http://www.slideshare.net/sghalsan/cable-par-trenzado-14886425>

En proyecto usa un cable UTP categoría 5e, el cual realizará la conexión entre la unidad de cómputo y el transmisor NI-USRP. Se determinó el uso de este cable debido a que cumple con el requerimiento de velocidades de transmisión de datos que se necesitan en el sistema.

2.10.3 Cable coaxial

2.10.3.1 Características físicas

Es un cable que está constituido por dos conductores. El conductor interno, es un cable de cobre cilíndrico recubierto de un material aislante, el conductor externo está recubierto de una funda protectora, así lo indica Stallings,

Consiste en un conductor cilíndrico externo que rodea a un cable conductor interior. El conductor interior se mantiene a lo largo del eje axial mediante una serie de anillos aislantes regularmente espaciados, o bien mediante un material sólido dieléctrico. El conductor exterior se protege con una cubierta o funda. El cable coaxial tiene un diámetro aproximado entre 1 cm y 2,5 cm. (Stallings, Comunicaciones y Redes de Computadores, 2004)

Debido a esta protección, el cable coaxial es menos propenso a atenuaciones o pérdidas en la transmisión.

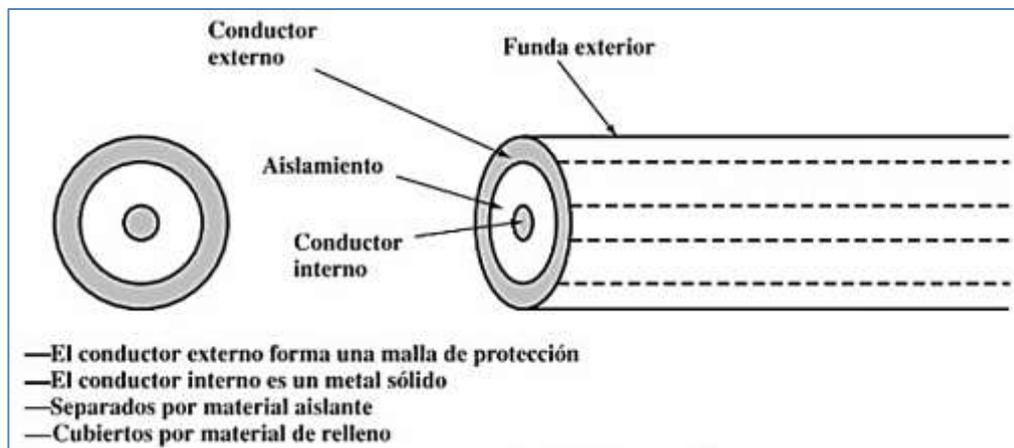


Figura 2.10.3: Estructura cable coaxial.

Fuente: (Stallings, Comunicaciones y Redes de Computadores, 2004)

2.10.3.2 Aplicaciones

El cable coaxial es quizá el medio de transmisión más versátil, por lo que se está utilizando cada vez más en una gran variedad de aplicaciones. Las más importantes son:

La distribución de televisión.

La telefonía a larga distancia.

Los enlaces en computadores a corta distancia.

Las redes de área local. (Stallings, Comunicaciones y Redes de Computadores, 2004)

2.10.3.3 Características de transmisión

Stallings dice que,

El cable coaxial se usa para transmitir tanto señales analógicas como digitales. (Stallings, Comunicaciones y Redes de Computadores, 2004)

Una de las principales ventajas que presenta el uso de cable coaxial, es que se pueden lograr mayores distancias de transmisión entre repetidoras es por eso que se utiliza para transmisiones de telefonía, televisión, enlaces de computadoras y redes locales ya que este puede transmitir alrededor de 10000 canales de voz de forma simultánea.

2.11 Conectores usados en el proyecto

En este proyecto se usaron varios tipos de conectores como interfaces físicas de comunicación entre equipos y antena transmisora, los cuales son:

Conector N Macho

Conector N Hembra

Conector SMA

2.11.1 Conector N Macho

2.11.1.1 Propiedades

Este tipo de conectores tienen un amplio rango de cables coaxiales, medios y miniatura. Existe en grado comercial, industrial y militar y dos tipos: estándar y corrugado. Existen versiones de conectores rectos y en ángulo, aéreos y de panel.



Figura 2.11.1: Conector N Macho

Fuente: <http://www.comudisa.com>

2.11.1.2 Características eléctricas

- Impedancia: 50 Ω
- Frecuencia: 0 hasta 11 GHz
- Voltaje pico: 1500 Voltios

Este tipo de conector se lo usa en el proyecto para conectar el NI-USRP con la antena transmisora.

2.11.2 Conector N Hembra

Al igual que el conector H Macho este conector se adapta a un amplio rango de cables coaxiales. Existen en grado comercial, industrial, militar y dos tipos: estándar y corrugados.

Generalmente estos conectores vienen conectorizados en los terminales de equipos de comunicación y antenas



Figura 2.11.2: Conector N Hembra

Fuente: <http://www.ondaradio.es/productos/buscar.aspx?cat=573>

2.11.2.1 Características eléctricas

- Impedancia: 50 Ω
- Frecuencia: 0 hasta 11 GHz
- Voltaje pico: 1500 Voltios

2.11.3 Conector SMA

2.11.3.1 Características

Los conectores SMA son una alternativa relativamente económica a los conectores APC-3.5 (3,5 mm). Tienen una impedancia característica de 50 Ω , llegando a una relación de onda estacionaria (VSWR) tan baja como 1:1.5

El conector SMA utiliza un dieléctrico de politetrafluoretileno (PTFE) que centra la parte interior a lo largo del plano de acoplamiento. Aunque es habitual que lleven un acabado en oro para evitar la oxidación también es conveniente la inspección y limpieza. (Wikipedia, 2013)

En este proyecto el conector se lo usa como interfaz de comunicación física entre el NI-USRP y el amplificador de potencia.



Figura 2.11.3: Conector SMA

Fuente: <http://www.seguridadwireless.net/hwagm/galeria-conectores.html>

Así mismo se lo usa como como interfaz de comunicación física entre el amplificador de potencia y la antena transmisora.

2.12 Antenas

2.12.1 Antecedentes

Para que exista la comunicación inalámbrica entre dispositivos transmisores y receptores, debe haber un elemento que capte las distintas señales que puedan encontrarse en el ambiente y que esté regulado en las diferentes frecuencias existentes en la actualidad, para así lograr el tipo de comunicación requerido inalámbricamente.

2.12.2 Conceptos básicos

Una antena está formada por uno o varios conductores eléctricos que pueden ser un tubo, hilo o barra utilizados para captar o transmitir señales electromagnéticas en el ambiente.

Se requiere de un equipo transmisor para proporcionar la energía eléctrica necesaria para emitir señales las cuales, al pasar por la antena serán radiadas como energía electromagnética. A su vez, para receptar una señal electromagnética se requiere de un equipo receptor que realice el proceso contrario, tomando la energía electromagnética y convirtiéndola en eléctrica.

Una antena percibirá o emitirá señales electromagnéticas en todas direcciones, pero dependiendo del tipo de antena o del arreglo de sus componentes, lo hará con mayor o menor proporción en direcciones determinadas.

Las ondas radiadas por unas antenas se pueden graficar en un diagrama llamado diagrama de radiación en el que se encuentran los distintos parámetros que rigen la estructura de la antena y la dirección en las que una antena irradia.

Cuando la antena se la aplica para radiar ondas electromagnéticas, se denomina antena emisora o transmisora y cuando se utiliza para interceptar o capturar ondas que se propagan en el espacio y convertirlas en energía útil para un equipo receptor, cumple la función de antena receptora.

2.12.3 Cómo funciona una antena

La transmisión de energía debe poseer la menor pérdida posible, de tal manera que exista un acoplamiento óptimo entre las impedancias de los diversos elementos del sistema. Por el contrario si existiese una gran cantidad de pérdidas, una parte importante de la energía recibida o transmitida se muestra en la línea de transmisión dando lugar a ondas estacionarias que no favorecen a la energía útil.

Una antena es eficiente, cuando irradia la mayor parte de la energía que se le proporcione, o que transmita al receptor la mayor parte de la energía que capture, sus dimensiones deben ser del orden de una longitud de onda, λ . Si sus dimensiones son mucho menores su eficiencia disminuye. Para transmitir una señal se utiliza una línea de transmisión o se puede guiar los campos eléctricos y magnéticos que varían dependiendo de la frecuencia, desde el generador de señales, hasta el receptor que puede estar a una distancia mucho mayor que la longitud de la onda.

2.12.4 Parámetros de una Antena

Las antenas se identifican por una serie de parámetros, siendo estas las más habituales detallados a continuación:

- Eficiencia.
- Ganancia Directiva y Ganancia de Potencia.
- Diagrama de radiación o patrón de radiación.
- Ancho del haz.
- Impedancia de entrada.
- Polarización.
- Campo Cercano y Lejano.
- Ancho de Banda.

2.12.4.1 Eficiencia

La eficiencia de la antena viene dada por la relación entre la potencia radiada sobre la suma entre la potencia entregada. A la potencia entregada se toma en consideración la potencia disipada en la antena. Estos valores se los multiplica por 100 para obtener el valor en porcentaje.

$$n = \frac{P_{rad}}{Prad + Pdis}$$
$$Prad + Pdis = Pentre$$
$$n = \frac{P_{rad}}{Pentre} \times 100\%$$

2.12.4.2 Ganancia Directiva y Ganancia de Potencia

Según Wayne Tomasi, en su libro de Sistemas de Comunicaciones Electrónicas dice que:

La ganancia directiva es la relación de la densidad de potencia radiada en dirección particular con la densidad de potencia radiada al mismo punto por una antena de referencia, suponiendo que ambas antenas irradian la misma cantidad de potencia. La máxima ganancia directiva se llama directividad. (Tomasi, Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, 2003)

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

Dónde:

D = Directividad

P = Densidad de Potencia de una antena en un punto determinado
 $\left(\frac{\text{watt}}{\text{m}^2}\right)$

P_{ref} = Densidad de Potencia de referencia en el mismo punto
 $\left(\frac{\text{watt}}{\text{m}^2}\right)$

La ganancia de potencia es igual a la ganancia directiva excepto que se utiliza el total de la potencia que alimenta a la antena, es decir que se toma en cuenta la eficiencia de la antena, se supone que la antena indicada y la antena de referencia tiene la misma potencia de entrada y que la antena de referencia no tiene pérdidas, la ganancia de potencia es:

$$Ap = Dn$$

La EIRP (La potencia radiada isotrópica efectiva) está dada por el producto de la potencia radiada y la ganancia directiva de la antena. Representa la densidad de potencia máxima que tiene que emitir una antena isotrópica en la dirección de máxima ganancia de la antena.

$$EIRP = P_{Rad} * A_t$$

Dónde:

P_{Rad}: Potencia de Radiación (w)

A_t: Ganancia de la antena transmisora(sin unidades)

Para determinar una la densidad de potencia en un punto determinado se aplica: (Tomasi, Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, 2003)

$$P = \frac{P_{Rad} * A_t}{4\pi r^2}$$

2.12.4.3 Diagramas de radiación o patrón de radiación

El diagrama de radiación o patrón de radiación está basada en la representación gráfica de la intensidad de los campos o densidad de potencia en diferentes posiciones angulares de la antena que se quiere medir. Si el patrón de radiación se grafica basándose en las intensidades del campo o las intensidades de potencia se lo denomina como patrón de radiación absoluta y si se grafica la intensidad de campo o la densidad de potencia dependiendo de un punto específico se llama patrón de radiación relativo. Las partes de un patrón de radiación son:

2.12.4.3.1 Lóbulo principal

Es el lóbulo que contiene la máxima intensidad de radiación. Para la antena yagi usada en el proyecto, el lóbulo principal está en dirección a la armadura y perpendicular a los dipolos.

2.12.4.3.2 Lóbulo Menor

Se llama lóbulo menor a aquel que representa radiación en direcciones no deseadas. Para el caso de la antena yagi usada en el proyecto existirán lóbulos menores hacia los costados o secundarios y hacia la parte posterior del lóbulo principal llamados lóbulos traseros.

2.12.4.3.3 Lóbulos laterales

Ninguna antena es capaz de radiar la energía en su totalidad en una sola dirección deseada. Ineludiblemente una parte de esta energía es radiada en otras direcciones, esos picos más pequeños son denominados lóbulos laterales, definidos comúnmente en dB por debajo del lóbulo principal.

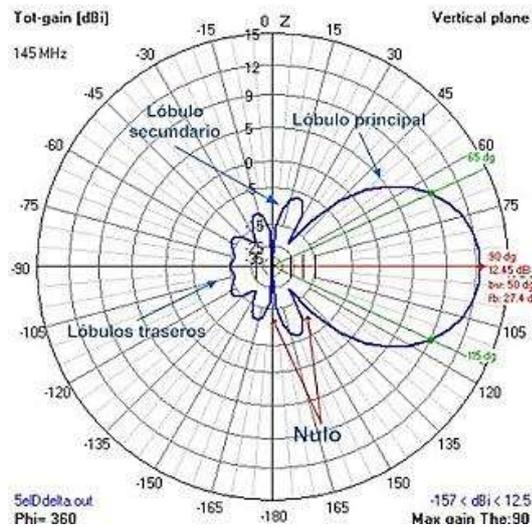


Figura 2.12.1: Diagrama de radiación de una antena direccional.

Fuente: <http://kilamo.blogspot.com/2012/02/diagramas-de-radiacion-de-una-antena.html>

2.12.4.4 Ancho del haz

El ancho del haz es un parámetro de las antenas ligado al patrón de radiación que representa la distancia entre los dos puntos de la mitad de potencia en el lóbulo mayor del diagrama de radiación, en decibeles es (-3dB).

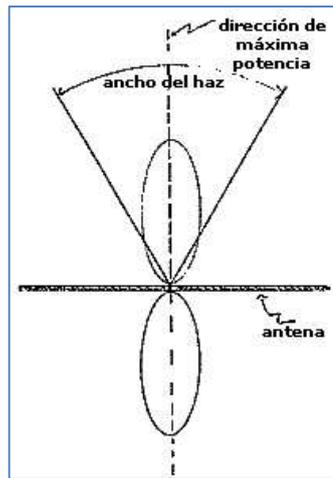


Figura 2.12.2: Ancho de Haz.

Fuente:

http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/112/htm/sec_19.htm

2.12.4.5 Impedancia de entrada

La impedancia de entrada se mide en los terminales. Es el cociente entre el voltaje o la tensión y la corriente de entrada. Esta impedancia se la expresa en números complejos, donde la parte real es la resistencia de antena y donde la parte imaginaria es la reactancia. (Tomasi, Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, 2003)

$$Z = \frac{V_i}{I_i}$$

Si el punto de alimentación se encuentra en un máximo de corriente y no hay componente reactiva, la impedancia de entrada es igual a la suma de la impedancia de radiación y la impedancia efectiva. (Tomasi, Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, 2003)”

2.12.4.6 Resistencia de radiación

La resistencia de radiación es un valor “imaginario” ya que parte de la energía suministrada a la antena se convierte en calor y se disipa, este valor no se puede calcular directamente. Matemáticamente la resistencia de radiación es el resultado de dividir la potencia radiada de la antena para la corriente de la antena alimentada.

$$R_r = \frac{W}{I^2}$$

2.12.4.7 Polarización

La polarización se define como la orientación del campo eléctrico de una onda electromagnética. En general, la polarización se describe por una elipse. Hay dos casos especiales de la polarización elíptica: la polarización lineal y la polarización circular.

Con la polarización lineal, el vector del campo eléctrico se mantiene en el mismo plano del eje de la antena todo el tiempo. El campo eléctrico puede posicionarse a la antena en una orientación vertical, horizontal o en algún ángulo intermedio entre los dos.

La radiación en una antena polarizada verticalmente se ve ligeramente menos afectada por las reflexiones en el camino de transmisión. Las antenas omnidireccionales siempre tienen una polarización vertical.

Con la antena en polarización horizontal, tales reflexiones causan variaciones en la intensidad de la señal recibida. Las antenas horizontales tienen menos probabilidad de captar interferencias generadas por el hombre que las normalmente polarizadas verticalmente.

En la polarización circular el vector del campo eléctrico aparece rotando con un movimiento circular en la dirección de la propagación, haciendo una vuelta completa para cada ciclo de RF. Esta rotación puede ser hacia la derecha o hacia la izquierda.

2.12.4.8 Longitud eléctrica y longitud física

La longitud de onda en una línea de transmisión es menor que la longitud de onda en espacio libre por el cambio de la velocidad de propagación de la onda respecto al espacio libre o vacío. De manera similar, una antena tendrá su propia longitud de onda física que será menor a la longitud de onda eléctrica que opera en el espacio libre, provocada por su cercanía con suelo y otros medios conductores, también los soportes y la torre de contención que introducen capacitancias que afectan la velocidad de la onda en la antena. También si el área transversal del conductor de la antena aumenta, también lo hace su permeabilidad relativa $r \mu$ y por tanto la velocidad de la onda disminuye. Solamente si el espesor es despreciable y el conductor se encuentra aislado en el espacio libre, las velocidades tienden a igualarse.

La longitud física es la longitud real que debe tener la antena y es menor que la longitud eléctrica en el espacio libre. Este acortamiento se conoce en la práctica como efecto de borde (end effect).

2.12.4.9 Ancho de banda de la antena.

Es el intervalo de frecuencias en la cual debe funcionar satisfactoriamente la antena, dentro de las normas técnicas vigentes a su aplicación. Puede ser descripto en términos de porcentaje respecto a la frecuencia central de la banda:

$$\text{Ancho de Banda [\%]} = 100 \frac{f_H - f_L}{f_c}$$

f_H es la frecuencia más alta de la banda, f_L es la frecuencia más baja, y f_C es la frecuencia central. De esta forma, el ancho de banda porcentual es constante respecto a la frecuencia central. Los diferentes tipos de antenas tienen variadas limitaciones de ancho de banda.

2.12.4.10 Frecuencia y dimensión de la antena

Las antenas utilizadas para HF son diferentes de las antenas utilizadas para VHF, las cuales también son diferentes de las antenas para microondas. La longitud de onda es diferente para diferentes frecuencias, por lo tanto las antenas deben ser diferentes en tamaño para radiar señales a la correcta longitud de onda.

En este caso estamos particularmente interesados en las antenas que trabajan en el rango de las microondas, especialmente en las frecuencias de los 2,4 GHz y 5, GHz.

A los 2400 MHz la longitud de onda es 12,5 cm, mientras que a los 5000 MHz es de 6 cm.

2.12.4.11 Directividad

Las antenas pueden ser omnidireccionales, sectoriales o directivas. El proyecto se enfoca en las antenas directivas. Con énfasis en la antena Yagi.

2.12.4.11.1 Antena Yagi

Está formada por un elemento alimentado (conectado al emisor o al receptor) formado por un simple dipolo o un dipolo doblado llamado también "radiador". Además de ese elemento, la antena tiene uno o varios elementos aislados llamados elementos parásitos. Éstos pueden estar situados delante del elemento alimentado, refuerzan el campo hacia adelante y se llaman directores. Los elementos situados detrás se llaman reflectores.



Figura 2.12.3: Antena Yagi.

Fuente: <http://antenasulat2012.blogspot.com/p/funcionamiento-de-la-antena-yagi.html>

Su funcionamiento se basa en una corriente que circula en el elemento alimentado irradiando un campo electromagnético, el cual induce corrientes en los "elementos parásitos" de la antena. Las corrientes inducidas en esos elementos irradian también campos electromagnéticos que a su vez inducen corrientes en los demás. Finalmente la corriente que circula en cada uno de los elementos es el resultado de la interacción entre todos los elementos. La fase y la amplitud de la corriente que circula en el elemento parásito dependerán de la distancia entre los dos elementos y de la longitud y diámetro de este último.

2.13 Amplificador RF de Potencia

Debido a que en la etapa de transmisión, el equipo NI-USRP el cual es el dispositivo que realizará la tarea de transmitir la señal de voz, no posee la suficiente potencia para alcanzar la distancia de transmisión requerida para el proyecto, se ha previsto la utilización de un amplificador de potencia el cual amplifique la señal RF pudiendo así emitir la señal a la distancia óptima.

2.13.1 Concepto general

Un apunte de la Universitat de les Illes Balears, indica que,

El amplificador de potencia (PA) es la última etapa del emisor. Tiene la misión de amplificar la potencia de la señal (no necesariamente la tensión) y transmitirla a la antena con la máxima eficiencia. En eso se parecen a los amplificadores de baja frecuencia, pero aquí la distorsión o falta de linealidad puede no ser importante. (Universitat de les Illes Balears, 2014)

Referenciando el párrafo anterior al proyecto, se ha acoplado un amplificador de potencia a la salida del transmisor, siendo esta la etapa previa a la emisión por medio de la antena. El amplificador dará la potencia necesaria de la señal que arroja el NI-NI-USRP para que esta pueda ser emitida de manera eficiente consiguiendo así lograr que la señal se propague a la distancia requerida por el proyecto.

2.13.2 Funciones generales del amplificador de potencia RF

El amplificador elevará, efectivamente, el nivel de potencia que emita el transmisor, de esta manera y para efectos del proyecto se conseguirá que la señal emitida en FM pueda interrumpir la señal en FM de la emisora original que trabaje en la frecuencia a la que se envíen los mensajes ya que la señal RF enviada por el proyecto tendrá una mayor potencia.

Además de esto y como ya se ha mencionado antes, la señal se podrá propagar a mayor distancia de la que resultaría sin usar un amplificador.

2.13.3 Partes de un amplificador RF

2.13.3.1 Puertos de entrada y salida

Estos son la impedancia de entrada, que es la impedancia del generador, la cual tiene un valor típico de $Z_s=50\Omega$; y la impedancia de salida, que es representada por la impedancia de la carga, en la cual también se utiliza un valor de $Z_L=50\Omega$. (Ramírez, Blanco, Puentes, & Noriega, 2013)

2.13.3.2 Redes de adaptación

Estas redes se encargan de convertir (adaptar) una impedancia específica a otra y por lo general son sin pérdidas, es decir, no tiene elementos disipativos. En el caso de la red de adaptación de salida (OMN, por sus siglas en inglés) se convierte una impedancia que se observa en la salida del transistor a la impedancia de la carga. En los amplificadores de múltiples etapas existen redes de adaptación de interetapa las cuales adaptan la salida con la entrada de los transistores. (Ramírez, Blanco, Puentes, & Noriega, 2013)

2.13.3.3 Transistor

Los amplificadores lineales (pequeña señal) utilizan un transistor operando en modo lineal (modo activo para BJT, saturación para FET), a bajas frecuencias se utiliza el modelo de pequeña señal, pero en frecuencias de RF y microondas aparecen elementos parásitos que hacen más complejo el análisis con este modelo, por esta razón se utilizan los parámetros S del transistor que permiten un análisis más simple y exacto (Ramírez, Blanco, Puentes, & Noriega, 2013)

2.13.3.4 Red de polarización

Se encarga de mantener fijo el punto de operación en DC del transistor. La red de polarización puede ser activa o pasiva, es importante mencionar que los parámetros S del transistor están en función del punto de operación en DC, y por lo tanto, los parámetros S son válidos solamente para las condiciones de polarización en las cuales fueron medidos. Es por esta razón que la red de polarización debe mantener fijo el punto de operación en DC. (Ramírez, Blanco, Puentes, & Noriega, 2013)

2.13.4 Amplificador RF de potencia Mini-Circuits ZHL-50W-52-S(+)

Para el proyecto se ha adquirido un amplificador de potencia de la marca Mini-Circuits el mismo que presenta características necesarias para la transmisión de la señal en FM con la potencia y eficiencia que se requiere. A continuación se detallan todas las características del mismo.

2.13.4.1 Descripción

El amplificador de potencia RF que se usará en este proyecto será un modelo ZHL-50W-52-S(+) de la marca Mini-Circuits.



Figura 2.13.1: Amplificador de Potencia Mini-Circuits ZHL-50W-52-S(+).

Fuente: Los autores.

2.13.4.2 Características

- *High power, 50 Watt*
- *Excellent IP3, +55 dBm typ.*
- *Class A amplifier, usable up to 75W*
- *Shuts off when base plate temperature exceeds +100°C*
- *Good gain flatness, ±1.0 dB typ.*
- *Internal power regulator (current remains constant over 22 to 28V)*
- *Overvoltage protection, shut off above 29V*
- *Protected by US Patent 7,348,854 (Minicircuits.com)*

Dentro de estas características es importante destacar la potencia de salida que tenemos en el amplificador, esta es de máximo 50 W, suficientes para emitir una señal de radio en FM a la distancia requerida de entre 100 a 150 metros y sobreponerse a la señal en FM de las de las estaciones que existan en la ciudad de Guayaquil.

2.13.4.3 Aplicaciones

- *VHF/UHF transmitters*
- *Defense*
- *Amateur radio, FM, TV*
- *Laboratory use (Minicircuits.com)*

Una de las características importantes que presenta Mini-Circuits en el data sheet de este amplificador es que es capaz de usar en aplicaciones de radio FM y usarlo como amplificador de señales en esta banda, además de esto, hace referencia sobre su uso de manera experimental o en laboratorios; es importante denotar esta característica debido a la naturaleza educativa que tiene el proyecto.

2.13.4.4 Especificaciones Técnicas

Las especificaciones eléctricas, datos de desempeño, curvas de rendimiento y dimensiones físicas se denotan en el ANEXO 2.

2.14 Inversor de voltaje

Debido a que el sistema estará instalado en vehículos de emergencia, se tiene que considerar que la fuente de alimentación para todo el sistema será la batería que poseen los mismos. Esta batería genera corriente continua en voltajes que van desde los 12 a los 24 voltios los cuales no son aptos para alimentar ciertos componentes del sistema como son la unidad de cómputo y el transmisor NI-USRP que funcionan con un voltaje de 110 V.

Es así que para efectos del correcto funcionamiento del proyecto se ha considerado la implementación de un inversor de voltaje el cual convierta los 12 o 24 voltios continuos de la batería que alimenta eléctricamente a un vehículo de emergencia a 110 V alternos precisos para hacer funcionar varios dispositivos que conforman el sistema transmisor.



Figura 2.14.1: Inversor de Voltaje utilizado en el proyecto.

Fuente: Los autores

2.14.1 Concepto

La función principal del inversor de voltaje es convertir el voltaje DC, de alimentación, en voltaje AC. Teniendo en cuenta esta premisa, en el proyecto, el voltaje de entrada de corriente continua será administrado por la batería que se encuentra en el vehículo de emergencia, la misma que será convertida a un voltaje de salida de corriente alterna de alrededor de 110 voltios y así alimentar los dispositivos electrónicos que componen el sistema.

2.15 Fuente de Poder

Una fuente de poder es un dispositivo que provee de energía necesaria para la alimentación de distintos equipos eléctricos o electrónicos.

De acuerdo a los requerimientos del usuario, una fuente de poder puede tener distintas salidas y entradas.

Para el caso del proyecto se utilizará una fuente de poder la cual proveerá de la corriente continua de 24 voltios y 10 amperios necesarios para la alimentación del amplificador de potencia.

La entrada de la fuente de poder sera de 110 voltios alternos los cuales provendran de un inversor de corriente el cual estará alimentado a su vez por la batería del vehículo de emergencia en donde se instale el sistema.

Este tipo de fuentes de poder presenta integrado un switch, el cual sirve de selector al momento de querer convertir 220 voltios o 110 voltios de acuerdo a los requerimientos para obtener así una salida de 24 voltios 10 amperios, por lo cual es importante tener en cuenta la dirección del switch de selección del voltaje de entrada para así evitar cualquier daño en el sistema.



Figura 2.15.1: Fuente de poder utilizada en el proyecto.

Fuente: Los autores

2.16 Software LabVIEW

Dado que el proyecto a implementar es de carácter educativo y que se requiere de un SDR para que así se puedan regular los parámetros de las señales de radiofrecuencia a emitir, además del diseño de cómputo del sistema y programación del mismo, se ha optado por el uso del software LabVIEW para esta tarea.

Las características de programación gráfica y de interfaces amigables para el desarrollo de sistemas y en este caso del SDR han sido una herramienta clave en el desarrollo del software controlador del proyecto.

A continuación se detallan algunas de las características más importantes del software LabVIEW.

2.16.1 Entorno de LabView

El software NI LabVIEW es un entorno de programación gráfica (G) que utiliza íconos, terminales y cables en lugar de texto para ayudarle a programar de la misma manera en que usted piensa. Tal como aprender cualquier software de programación nuevo, aprender cómo programar en LabVIEW requiere saber cómo navegar en el entorno. (ni.com, Conceptos Básicos de LabVIEW, 2012)

La programación en el software LabVIEW no se realiza a modo textual y esto permite visualizar mucho mejor el sistema de control que se está programando. La interfaz gráfica de LabVIEW consta principalmente de bloques y conectores los cuales en un ambiente educativo ayudan a visualizar mucho mejor la presentación y armado de un sistema determinado.

2.16.2 Programación Básica

En un lenguaje de programación gráfica como NI LabVIEW, el mouse es la manera principal de interactuar con el entorno de programación. Dicho esto, el cursor del mouse debe ser capaz de completar diferentes tareas, como seleccionar, cablear, resaltar texto y demás. (ni.com, Conceptos Básicos de LabVIEW, 2012)

2.16.3 Interfaz gráfica, distribución y diseño del software LabVIEW

La interfaz gráfica así como demás componentes básicos del software LabVIEW se muestran en el ANEXO 4.

2.16.4 Depuración y manejo de errores

El software NI LabVIEW contiene potentes herramientas de depuración para ayudarle a identificar las áreas problemáticas en su código y poder realizar los cambios adecuados. Puede encontrar dos tipos generales de bugs de software: aquellos que impiden que el programa se ejecute y aquellos que generan malos resultados o comportamiento incorrecto. (ni.com, Conceptos Básicos de LabVIEW, 2012)

2.16.5 Tipos de datos y estructuras

Al igual que otros lenguajes de programación, el software NI LabVIEW tiene diferentes tipos de datos y maneras de organizarlos. Estos datos pueden ser distinguidos por color y decoración y cada uno es usado por razones específicas. (ni.com, Conceptos Básicos de LabVIEW, 2012)

2.16.6 Estructuras de ejecución

Las estructuras de ejecución contienen secciones de código gráfico que controlan cómo y cuándo se ejecuta el código. Las estructuras de ejecución más comunes son Ciclos While, Ciclos For y Estructuras de Casos. Con estas estructuras, usted puede ejecutar secciones de código varias veces o ejecutar una sección diferente del código en base a una condición. (ni.com, Conceptos Básicos de LabVIEW, 2012)

2.16.7 Ayuda en LabVIEW

El entorno de NI LabVIEW ofrece herramientas útiles que ayudan a explicar conceptos. Este módulo cubre cómo usar el NI Example Finder para implementar VI's pre construidos, la Ventana Context Help para tener acceso a una descripción rápida de una función y otras opciones disponibles de LabVIEW Help. (ni.com, Conceptos Básicos de LabVIEW, 2012)

2.17 NI-USRP 2920

2.17.1 Concepto

Un concepto general que nos presenta el fabricante es el siguiente.

National Instruments nos dice que, NI USRP™ (Universal Software Radio Peripheral) es un radio flexible y rentable que transforma una PC estándar en una plataforma de generación de prototipos inalámbrica. Combinado con el software NI LabVIEW, los transceptores NI USRP ofrecen un sistema potente. (ni.com, usrp, 2012).

Como lo indica su nombre, por sus siglas en inglés Universal Software Radio Peripheral, es un dispositivo periférico utilizado en variados campos de las telecomunicaciones principalmente en las radiofrecuencias para el desarrollo, investigación e implementación de sistemas inalámbricos de comunicación relacionados a los SDR (Software Defined Radio), con los CR (Cognitive Radio) y demás sistemas de comunicación digital.

Este dispositivo permite, el procesamiento de señales de radiofrecuencia que van desde los 50 MHz hasta los 2.2 GHz mediante el uso conjunto de un sistema cómputo que en algunos modelos de NI-USRP se encuentran de manera embebida y que para este proyecto se recurrirá a un computador personal en la etapa de procesamiento y en la que se aloja el SDR desarrollado en el software educativo LabVIEW.

Para el proyecto se hace uso de un transceptor NI-USRP 2920 de National Instrument, el cual en conjunto con el software LabView, ofrece una visión académica para la construcción de un sistema prototipo para el procesamiento de señales de radiofrecuencia en banda base de frecuencia modulada.

2.17.2 Esquema básico de radiotransmisión

Un esquema básico de aplicación de un sistema de radiotransmisión constituido principalmente por el NI-USRP como transceptor sería la siguiente:

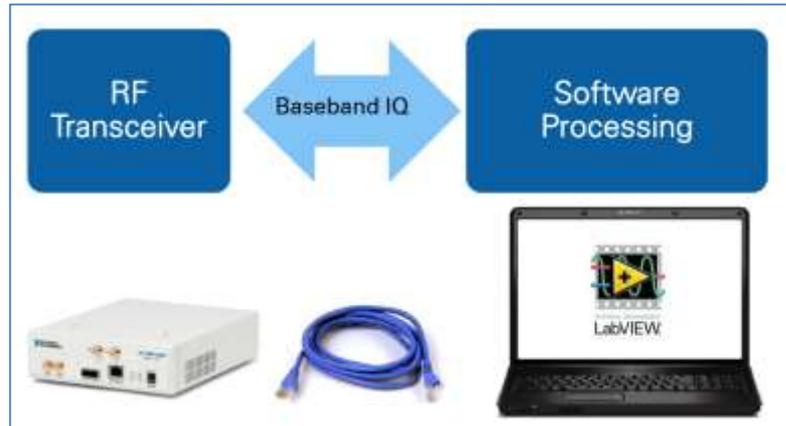


Figura 2.17.1: Diagrama de transmisión de radio básico usando un NI-USRP

Fuente: <http://eetac.upc.edu/ca/fitxers/Presentacion%20RF.pdf>

En el gráfico anterior vemos que mediante el uso del NI-USRP y con la ayuda de un computador, podemos realizar un SRD y así empezar un sistema básico de transmisión de radio a baja potencia.

2.17.3 Dimensiones físicas del NI-USRP-2920

Las dimensiones físicas del NI-USRP 2920 son las siguientes:

- Ancho: 15.875 cm
- Alto: 4.826 cm
- Largo: 21.209 cm
- Peso: 1.193 kg - 2.63 lb



Figura 2.17.2: NI-USRP 2920

Fuente: Los autores

2.17.4 Condiciones ambientales para el uso del NI-USRP 2920

Este equipo trabaja bajo la modalidad indoor, o para interiores, y trabaja a una altitud máxima de 2000 metros a 25 °C temperatura en ambientes con rangos de humedad del 10% al 90%. El rango de temperatura óptima para su operación es de 23 °C +- 5 °C.

2.17.5 Interfaces del NI-USRP 2920

El NI-USRP consta principalmente de una tarjeta madre en la cual se alojan puertos de comunicación de diferente tipo y que se muestran en la parte frontal del dispositivo, estos puertos son los siguientes:

- Puerto de Transmisión y Recepción de RF primario
- Puerto de Recepción RF secundario
- Puerto de entrada para señal de referencia externa
- Puerto de entrada para señal de referencia de tiempo
- Expansión MIMO para múltiples salidas o entradas
- Puerto Gigabit Ethernet para conectores RJ-45
- Entrada de alimentación de poder
- Adicional, leds indicadores de operación.

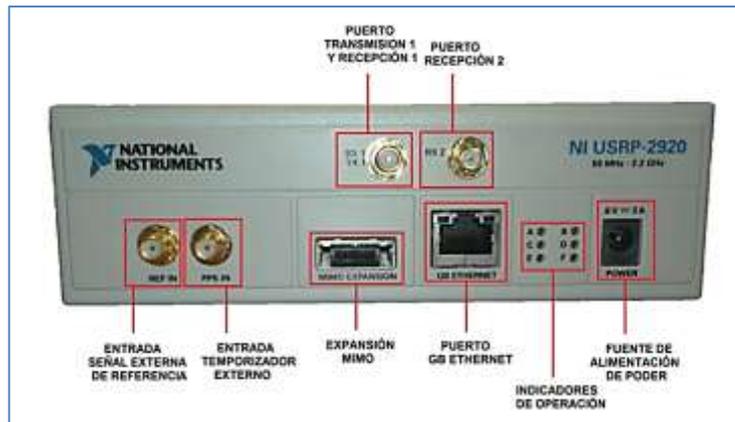


Figura 2.17.3: Panel frontal del NI-USRP 2920

Fuente: Los autores

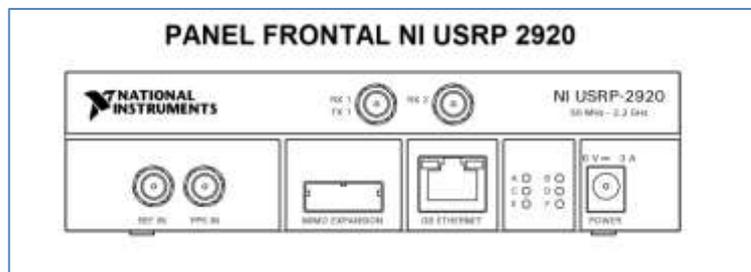


Figura 2.17.4: Esquema del panel frontal del NI-USRP 2920

Fuente: http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/373380A-01/usrphelp/2920_front_panel/

2.17.5.1 Puerto de transmisión y recepción de RF primario

Este puerto es utilizado para la transmisión y recepción de señales de radiofrecuencia. Posee un conector SMA (hembra), el cual es un conector tipo rosca para cable coaxial con impedancia de 50 ohm y es un puerto de salida o entrada para un canal individual el cual permite trabajar con frecuencias de hasta 30 GHz, pero dada las limitaciones del NI-USRP 2920, solo podrá usarse hasta los 2.2 GHz.

2.17.5.2 Puerto de recepción de RF secundario

Este puerto es un terminal únicamente para la entrada de señales de radiofrecuencia el cual a su vez está compuesto también por un conector SMA (hembra) con una impedancia característica de 50 ohm para la entrada de un canal individual.

2.17.5.3 Puerto de entrada para señal de referencia externa

Es un terminal de entrada para una señal externa usada por el oscilador que posee internamente el NI-USRP 2920. Se usa esta señal como referencia externa. Este terminal está compuesto por un conector SMA (hembra) de 50 ohm de impedancia y acepta una entrada de una señal individual de referencia. Acepta señales dentro del rango de los 10 MHz desde 0 dBm hasta 15 dBm.

2.17.5.4 Puerto de entrada para señal de referencia de tiempo

Es un terminal de entrada para señales de temporización de pulsos por segundo (PPS). Este terminal está compuesto por un conector SMA (hembra) de 50 ohm de impedancia y acepta una entrada de una señal individual. En este puerto admite voltajes desde los 0 V hasta los 3.3 V TTL y señales de 0 V a 5V TTL.

2.17.5.5 Puerto de Expansión MIMO

Por sus siglas, múltiples entradas y múltiples salidas, es un puerto asignado para realizar la conexión de dos o más dispositivos NI-USRP, el cual actúa como un switch usando un cable MIMO compatible para este tipo de conectividad.

2.17.5.6 Puerto Gigabit Ethernet

Este puerto es el responsable de la conexión entre un computador y el NI-USRP. Es un puerto que acepta conectores RJ-45 y cables de par trenzado compatibles con gigabit Ethernet desde la categoría 5 hasta la 6. La tasa de transmisión es de 10, 100, o 100 Mbps.

2.17.5.7 Entrada de alimentación de poder

La entrada de alimentación de poder para el NI-USRP es de tipo DC y acepta 6 V y 3 A. La potencia total de operación típica es de máximo 18 W.

2.17.6 Indicadores de Operación

En el panel frontal del NI-USRP 2920 encontramos un arreglo de diodos led de color verde, los cuales informan sobre el modo de operación y estado del equipo, los cuales son:

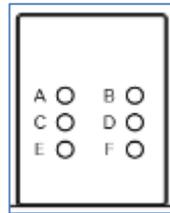


Figura 2.17.5: Esquema de los indicadores de operación.

Fuente: http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/373380A-01/usrphelp/2920_front_panel/

A: indica el estado de operación del transmisor en el NI USRP 2920.

- Encendido: el USRP se encuentra transmitiendo datos.
- Apagado: el USRP no se encuentra transmitiendo datos.

B: indica el estado de operación del cable conector MIMO en el NI USRP 2920.

- Encendido: el USRP se encuentra conectado vía cable MIMO.
- Apagado: el USRP no se encuentra conectado vía cable MIMO.

C: indica el estado de operación del receptor en el NI USRP 2920.

- Encendido: el USRP se encuentra conectado vía cable MIMO.
- Apagado: el USRP no se encuentra conectado vía cable MIMO.

D: indica el estado en el que se encuentra el firmware del NI USRP 2920.

- Encendido: el firmware del USRP ha sido cargado.
- Apagado: el firmware del USRP no ha sido cargado.

E: indica el estado del oscilador local en el NI USRP 2920.

- Encendido: no se encuentra una señal de referencia o el oscilador local no está acoplado a una señal de referencia.
- Parpadeando: el oscilador local no está acoplado a una señal de referencia.
- Apagado: el oscilador local está acoplado a una señal de referencia.

F: indica el estado de operación del NI USRP 2920.

- Encendido: el dispositivo se encuentra encendido.
- Apagado: el dispositivo está apagado.

2.17.7 Estructura interna de un NI USRP 2920

El NI USRP 2920 posee distintos modos de operatividad el cual pueden ser configurados como transmisor o receptor. Esta estructura interna para cada modo de operación se demuestra en el siguiente diagrama.

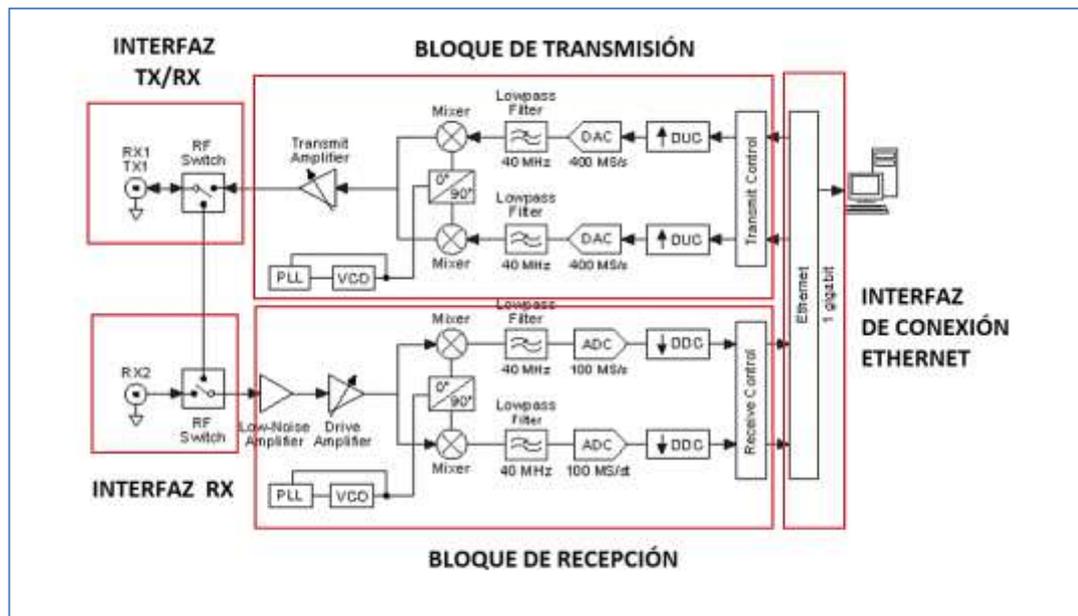


Figura 2.17.6: Diagrama de bloques de la estructura interna en el NI-USRP 2920.

Fuente: http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/373380A-01/usrphelp/2920_block_diagram/

En este diagrama podemos detectar claramente que la estructura interna del NI USRP 2920 está compuesta por 5 segmentos en los que encontramos en la parte superior central la etapa de transmisión, en la parte inferior central la etapa de recepción, a la derecha vemos la interfaz de conexión Ethernet y luego vemos en la parte izquierda superior la interfaz de TX/RX y así mismo en la parte inferior izquierda la interfaz RX.

2.17.7.1 Bloque de transmisión

El bloque de transmisión de la estructura interna del NI USRP 2920 está compuesto por dos convertidores digitales a análogo (DAC) los cuales soportan una resolución de 16 bits con una tasa de muestro de 25 Ms/seg°. Los DAC reciben señales provenientes de la computadora mediante la interfaz gigabit Ethernet y los interpolan a 400 Ms/seg usando un proceso llamado Digital UPCONVERSION el cual consiste en un sistema en cascada de tres filtros de interpolación y un oscilador los cuales en conjunto convierten la señal en una frecuencia pasa-banda. A continuación se muestra el diagrama de bloques de un sistema DUC.

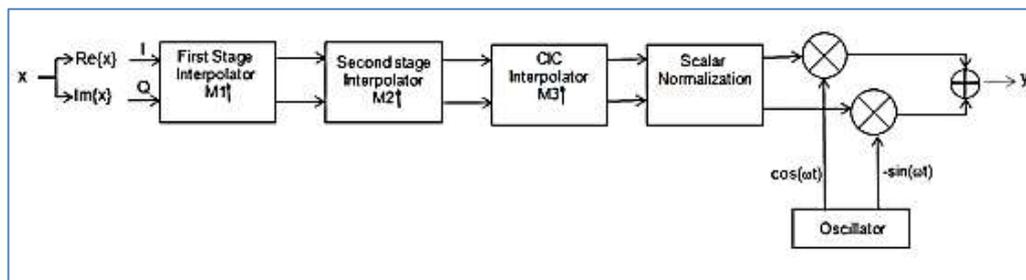


Figura 2.17.7: Esquema del diagrama de bloques de transmisión.

Fuente: <http://www.mathworks.com/help/dsp/examples/digital-up-and-down-conversion-for-family-radio-service.html>

La tarea específica de los DAC de 16 bits que posee el NI USRP 2920 es la conversión de la señal digital en analógica, en el caso del proyecto, en radio frecuencias ya que después de esta conversión éstas señales serán enviadas a un amplificador previo procesamiento en filtros pasa bajo de 40 MHz. Luego de pasar por los filtros, las señales pasaran por mezcladores (mixer) los cuales las convierten en señales de radiofrecuencia especificadas por el usuario.

Encontramos así también en la etapa de transmisión un Oscilador de Voltaje Controlado (VCO) el cual es regulado en voltaje por un Acoplador de Fase (PLL). Por medio de la regulación del VCO, el reloj interno y el oscilador local (LO) pueden ser acoplados en frecuencia a una señal externa de referencia.

Al final de esta etapa de transmisión la señal se enviara a la interfaz de salida TX/RX en la que se encuentra un switch que hará el envío de la señal respectivamente de acuerdo a la modalidad en la que se encuentre el dispositivo.

2.17.7.2 Bloque de recepción

En la etapa de recepción encontramos en primer lugar la interfaz de entrada de la señal, el puerto en donde el cable SMA irá conectado a la USRP 2920. Este puerto está conectado a un switch el cual realiza la tarea de recepción de señales de los puertos RX1 y RX2 respectivamente de acuerdo al diseño del usuario.

Un amplificador de bajo nivel (LNA), en conjunto con un amplificador excitador, será quien amplifique la señal que previamente ha sido capturada, para el caso de estudio del proyecto, por una antena Yagi. También es usado para reducir los niveles de ruido provenientes de la señal externa.

Posteriormente la señal llega a un mezclador el cual la convierte en una señal con componentes en fase y cuadratura (I/Q).

Filtros pasa-bajo, quitará el ruido remanente en la señal y potenciarán componentes de frecuencia en la misma.

Los componentes I/Q de la señal serán digitalizados posteriormente por un conversor Análogo-Digital (ADC).

Adicionalmente, en el proceso de recepción, tenemos un conversor digital (DDC) el cual filtra y mezcla la señal para poder ser adaptada de acuerdo a parámetros especificados por el usuario. Un DDC consiste en un oscilador el cual convierte la señal de entrada de cualquier frecuencia hasta llegar a una señal de frecuencia 0 Hz. Esto lo logra mediante un arreglo en cascada de tres filtros como se muestra en la siguiente imagen.

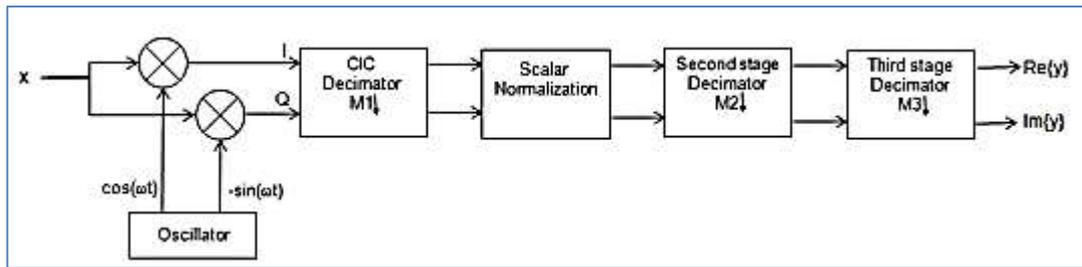


Figura 2.17.8: Esquema del diagrama de bloques de recepción.

Fuente: <http://www.mathworks.com/help/dsp/examples/digital-up-and-down-conversion-for-family-radio-service.html>

Finalmente las muestras de las señales son enviadas al computador mediante la interfaz gigabit Ethernet.

2.17.8 Especificaciones NI USRP 2920

A continuación se detalla la comparación de características propias del NI USRP 2920 con respecto a otros USRP de National Instrument y así mismo las características que comparten los mismos. Demás características técnicas del equipo NI-USRP 2920, usado en el proyecto, se muestran en el ANEXO 1

2.18 SDR (software defined radio)

2.18.1 Introducción

De acuerdo a un artículo de la Universidad de Sevilla, dice que,

Un sistema Software Defined Radio (SDR) es un sistema de radiocomunicación donde la mayor parte de los componentes necesarios se implementan en software en lugar de en hardware.
(Universidad de Sevilla)

Para efectos del proyecto el SDR se desarrollara en el software LabVIEW. En el mismo se programan los parámetros que tendrá la señal de radiofrecuencia que será emitida por el sistema como las frecuencias, banda, potencia, ganancia, entre otras.

Esta característica aporta gran flexibilidad al sistema puesto que se puede variar la configuración del mismo de acuerdo a las necesidades y requerimientos del usuario. El mismo será el nexo entre el hardware que se utilizará en el sistema y además dará la representación gráfica del mensaje a emitirse.

2.18.2 Concepto de SDR

El concepto SDR ha ido evolucionando con los años pero se siguen basando en el esquema básico que se muestra en la Figura 1-1, compuesta por tres bloques funcionales: sección de RF, sección de IF y sección Banda Base. La parte de RF e IF se implementan en hardware mientras que la sección de Banda Base en software. (Universidad de Sevilla)

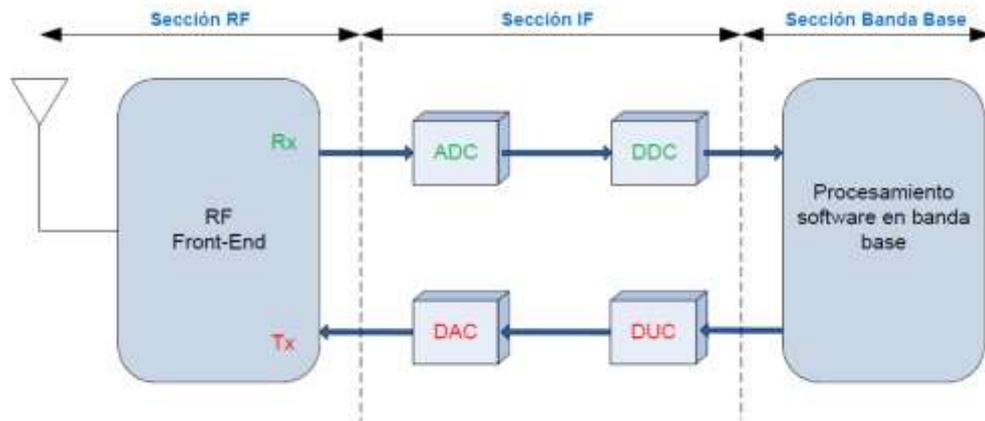


Figura 2.18.1: Diagrama de bloques funcionales de SDR.

Fuente:

http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11984/fichero/Volumen+2_Introducci%F3n%252FIntroducci%F3n.pdf

CAPÍTULO III

3 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

3.1 Antecedentes

El proyecto plantea el desarrollo de un sistema transmisor de ondas de radio en frecuencia modulada con el cual se logre interferir con un mensaje de alerta de proximidad a las radios receptoras de los vehículos públicos y privados. Para esto se ha requerido la utilización primordial de un dispositivo que realice el trabajo correspondiente a la transmisión de la información que se desee. El equipo NI-USRP cumple con funciones dedicadas para la transmisión de radiofrecuencias, en este caso FM, además de la ventaja que presenta en términos de portabilidad debido a sus dimensiones físicas, escalabilidad y características de expansión al desarrollo de diversos sistemas que requieren el procesamiento de señales RF y del cómputo respectivo. Tomando al NI-USRP como dispositivo central del proyecto, se han requerido de otros equipos electrónicos que realicen funciones específicas adicionales a la de transmisión, como son el cómputo de los parámetros que tendrá la señal RF con el mensaje, la amplificación de la misma, la alimentación del sistema, entre otras.

3.2 Esquema del proyecto

3.2.1 Diagrama técnico de proyecto

A continuación se detalla el esquema del sistema transmisor de mensajes de alerta en FM.

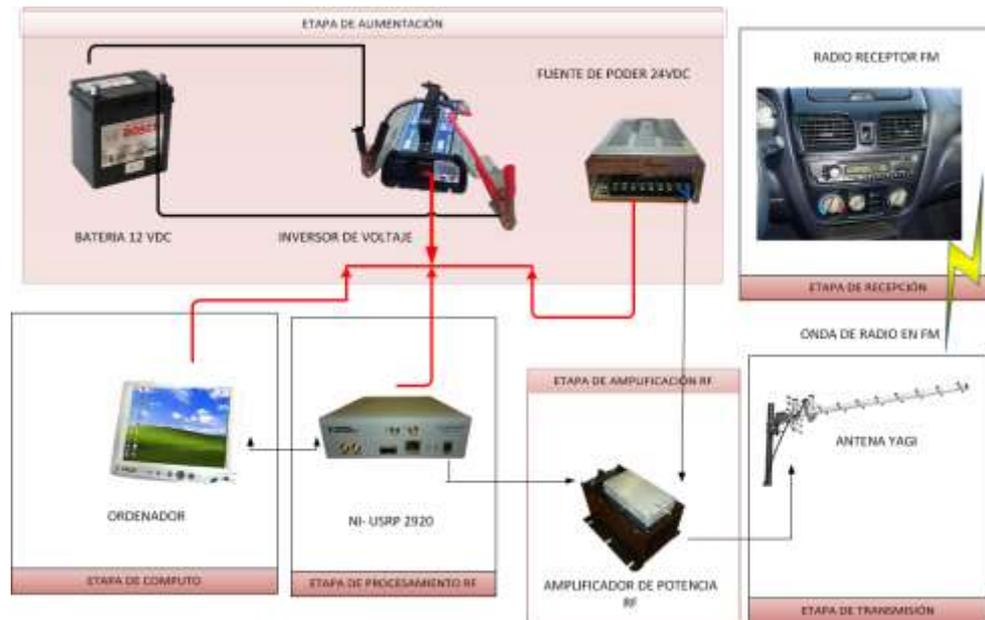


Figura 3.2.1: Esquema técnico del proyecto

Fuente: Los Autores

En el diagrama del proyecto se pueden observar los distintos dispositivos y elementos de conexión y transmisión de datos que se utilizan en el mismo, los cuales están distribuidos en 6 etapas principales. El detalle de las etapas y de la distribución e interconexión de los elementos que conforman la totalidad del sistema se explicará más adelante. Estas etapas son:

- Etapa de alimentación
- Etapa de programación y cómputo
- Etapa de procesamiento de datos y radiofrecuencia
- Etapa de amplificación
- Etapa de Transmisión
- Etapa de Recepción

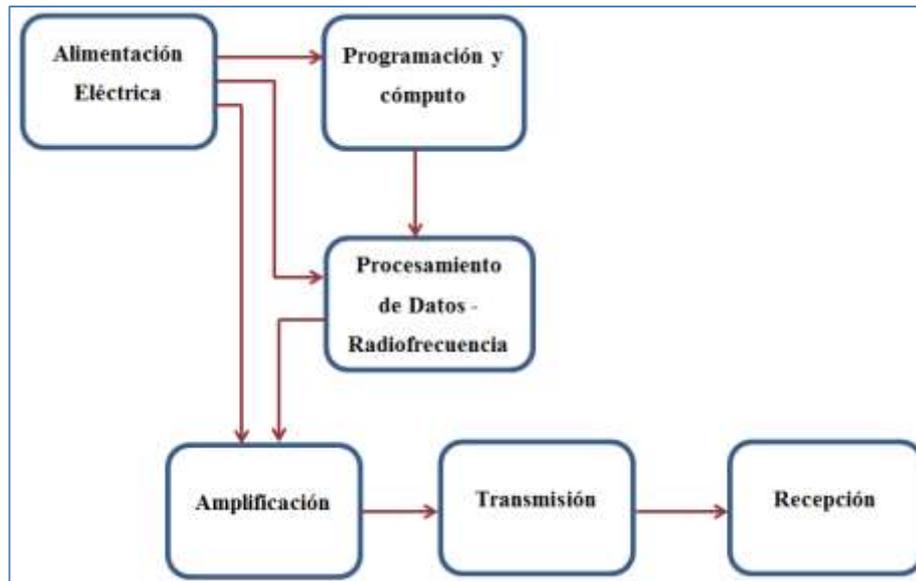


Figura 3.2.2: Diagrama de bloques de las etapas del sistema de transmisión.

Fuente: Los autores.

En la figura se ve la conexión que existe entre los bloques que conforman las etapas del sistema.

A breves rasgos podemos decir que la etapa inicial del sistema es la de alimentación eléctrica que provee la energía necesaria a los dispositivos que se encuentran en las demás etapas. En la implementación del sistema, esta etapa estará conformada principalmente de la batería del vehículo de emergencia, un inversor de voltaje y una fuente de poder de 24 voltios DC. Las etapas de cómputo en la que se encuentra el ordenador que aloja el SDR, de procesamiento de datos y radiofrecuencia conformado por el NI-USRP y la de amplificación, en la que se encuentra el amplificador de potencia, son las etapas siguientes a la de alimentación eléctrica.

Cabe reconocer que la etapa de procesamiento de datos y radiofrecuencia recibirá la información de los parámetros de la señal a emitir de la etapa de programación y cómputo, para luego enviar la señal parametrizada hacia la etapa de amplificación previa la final transmisión desde una antena Yagi hasta llegar al receptor, al término de las etapas.

3.3 Etapas de construcción del sistema de transmisión FM

3.3.1 Etapa de alimentación eléctrica

Debido a que el sistema consta de equipos electrónicos, se requiere de una alimentación para cada uno de los componentes del mismo y dado a que los equipos funcionan con distintos niveles de voltaje hemos separado las formas de alimentación eléctrica que se encuentran en el proyecto.

3.3.1.1 Alimentación Inicial

Al inicio del sistema encontramos como componente principal, la batería que posee el vehículo de emergencia la cual puede ser de 12 o 24 voltios DC. El vehículo de emergencia en el que instaló el proyecto fue una ambulancia en la que se encontraba instalada una batería de 12 V DC y 65 A, los cuales dan una potencia de 780 W según la siguiente formula,

$$P = V * A = 12 * 65 = 780 W$$

Mediante pruebas realizadas en campo, se calculó un consumo de 6.5 W/h. Se midió el voltaje inicial de la batería respecto del voltaje al final de la prueba y la diferencia fue de -0.1 V.

3.3.1.2 Inversión del voltaje

La batería del vehículo de emergencia se conecta directamente a un inversor de voltaje mediante cable eléctrico de cobre calibre 16. El inversor de voltaje, transforma los 12 V DC de la batería en 110 V AC a necesarios para alimentar al equipo de cómputo (el prototipo usa un ordenador portátil), el transmisor NI-USRP y una fuente de poder la misma que a su vez alimentará al amplificador de potencia RF.

La alimentación eléctrica al NI-USRP 2920 usado en el proyecto será mediante un conector eléctrico que tiene un transformador de 110 V AC para así alimentar finalmente al NI-USRP con 6 V DC a 3 A.

3.3.1.3 Alimentación en DC

Debido a que en el sistema se hace uso de un amplificador de potencia en cual funciona a 24 V DC, se adaptó una fuente con voltaje de entrada de 110 V AC y salida de 24 V DC necesarios para la alimentación del amplificador.

Un cable gemelo flexible eléctrico 2*16 conecta el inversor de voltaje a la fuente de poder, y un cable eléctrico 2*12 conecta la fuente de poder al amplificador de potencia debido a que se maneja una potencia de 25 W nominales aumentando la resistencia eléctrica y por ende la temperatura en el conductor.

3.3.2 Etapa de programación y cómputo

3.3.2.1 Introducción

El programa o SDR que controlará los parámetros de la señal de audio a transmitir por el sistema está alojado en un ordenador portátil necesario para la programación y computo del mismo. Dados los requerimientos que se necesitan para que el software LabVIEW se ejecute de manera correcta se usa un computador con procesador Intel Core I3, 4 Gb de memoria Ram, 500 Gb de disco duro y sistema operativo Windows 7 como características principales.

3.3.2.2 Conexión de área local entre el ordenador y el NI-USRP 2920

Teniendo en cuenta que se usa un equipo NI-USRP como transmisor, la unidad de computo u ordenador portátil posee un puerto Gigabit Ethernet para conexiones de área local necesarias para el acople, mediante cable UTP de categoría 5e o superiores, con el NI-USRP 2920 y así enviar los datos digitales con los parámetros de la señal de RF del mensaje final a emitir.

El equipo NI-USRP 2920 no se conectará ni receptorá información de un ordenador o unidad de computo que no posee una interfaz Gb Ethernet, debido a sus características intrínsecas.

La conectividad se realiza mediante el protocolo IP. El NI-USRP tiene como dirección IP por defecto 192.168.10.2, es así que se configura la tarjeta de red del ordenador con una dirección IP que debe pertenecer a la misma red en este caso se configura con la dirección 192.168.10.1. Es preciso denotar que las direcciones IP utilizadas para el enlace de red local son de clase C correspondientes a un pool de direcciones IP privadas.

Para realizar esta configuración en el sistema operativo Windows 7, basta con configurar el controlador con la respectiva dirección IP desde la siguiente ventana:

Panel de control\Redes e Internet\Conexiones de red.



Figura 3.3.1: Ubicación del controlador de red local en Windows 7

Fuente: Los autores

Entramos a las propiedades del controlador de red LAN

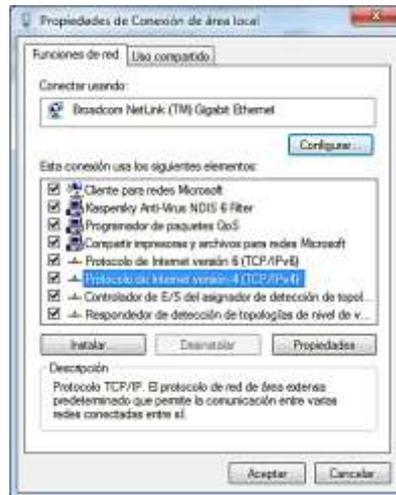


Figura 3.3.2: Ventana de propiedades de área local en Windows 7

Fuente: Los autores

Luego se procede a realizar la siguiente configuración del protocolo IPv4.

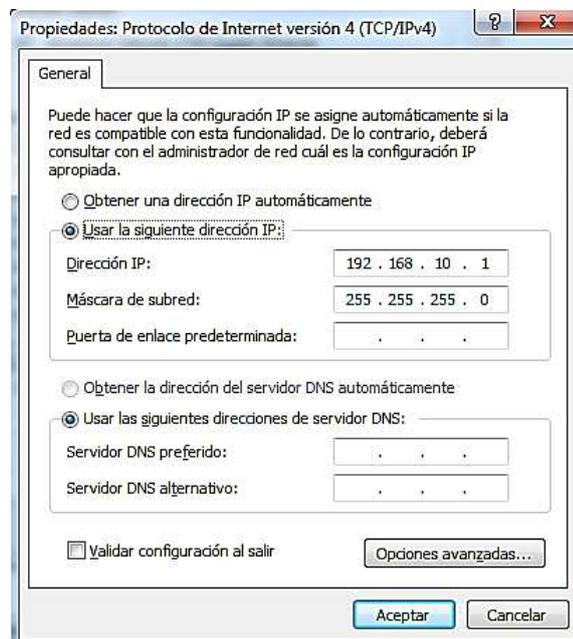


Figura 3.3.3: Configuración del protocolo IPv4 del adaptador de red del ordenador.

Fuente: Los autores

Como se observa en la figura 3.3.3, solo es necesaria la configuración de dos parámetros dentro de las propiedades del protocolo IPv4 del adaptador de red de área local y son la dirección IP que es 192.168.10.1 y la máscara de subred que es 255.255.255.0.

Luego de configurado el adaptador de red de área local del ordenador, procedemos a conectar el mismo al NI-USRP 2920, previamente encendido, mediante un cable UTP categoría 5e con configuración T568-B o cruzada en los terminales RJ-45.

Para asegurar que exista conexión y correcto flujo de datos entre el ordenador y el NI-USRP, se procede a enviar un mensaje de ping desde el ordenador, en la ventana de símbolo del sistema, hacia la dirección IP 192.168.10.2 correspondiente al NI-USRP.

De no existir comunicación entre estos dos equipos, tendremos como resultado lo siguiente:



```
C:\Windows\system32\cmd.exe - ping 192.168.10.2 -t
Microsoft Windows [Versión 6.1.7601]
Copyright (c) 2009 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

C:\Users\Martin>ping 192.168.10.2 -t

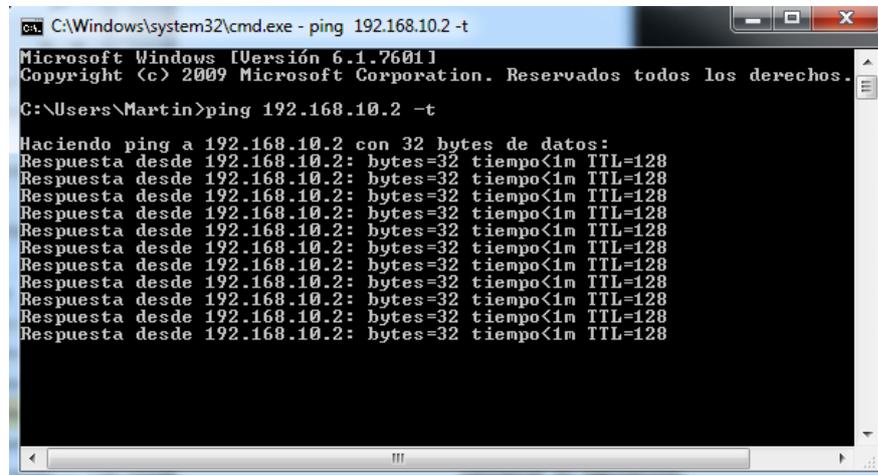
Haciendo ping a 192.168.10.2 con 32 bytes de datos:
Tiempo de espera agotado para esta solicitud.
```

Figura 3.3.4: Mensaje de Ping sin respuesta desde el NI-USRP

Fuente: Los autores

Observamos que la respuesta desde el NI-USRP es negativa, por lo que debemos proceder a revisar el estado del cable usado para la conexión, la dirección IP del controlador de red en el ordenador y que esta funcione correctamente o que el NI-USRP se encuentre en estado operativo.

De no haber ningún inconveniente en la conexión entre el ordenador y el NI-USRP, se obtiene lo siguiente.



```
C:\Windows\system32\cmd.exe - ping 192.168.10.2 -t
Microsoft Windows [Versión 6.1.7601]
Copyright (c) 2009 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

C:\Users\Martin>ping 192.168.10.2 -t

Haciendo ping a 192.168.10.2 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.10.2: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
```

Figura 3.3.5: Mensaje de Ping con respuesta desde el NI-USRP.

Fuente: Los autores

Vemos en la Figura 3.3.6 la existe respuesta que existe desde el NI-USRP.

3.3.2.3 Desarrollo del software controlador (SDR)

3.3.2.3.1 Antecedentes

El sistema usa un SDR o radio definido por software a modo de interfaz gráfica en la cual se configuran todos los parámetros necesarios para que el mensaje pueda transmitirse de manera nítida y eficaz. La interfaz es un programa desarrollado en el software LabVIEW debido a las características amigables de programación gráfica y educativa para el desarrollo de programas o controladores de sistemas. Se ha utilizado la versión LabVIEW 2012 de 32 bits para la programación del SDR y adicional a esto, puesto que se utiliza un NI-USRP, se instala el toolkit NI MODULATION en el cual encontramos los drivers necesarios para el manejo del NI-USRP por medio de LabVIEW. Más adelante se analizara más a fondo los respectivos VI's a utilizarse en la programación del SDR así como el desarrollo completo del programa controlador del sistema.

3.3.2.3.2 Programa controlador de transmisión y audio.

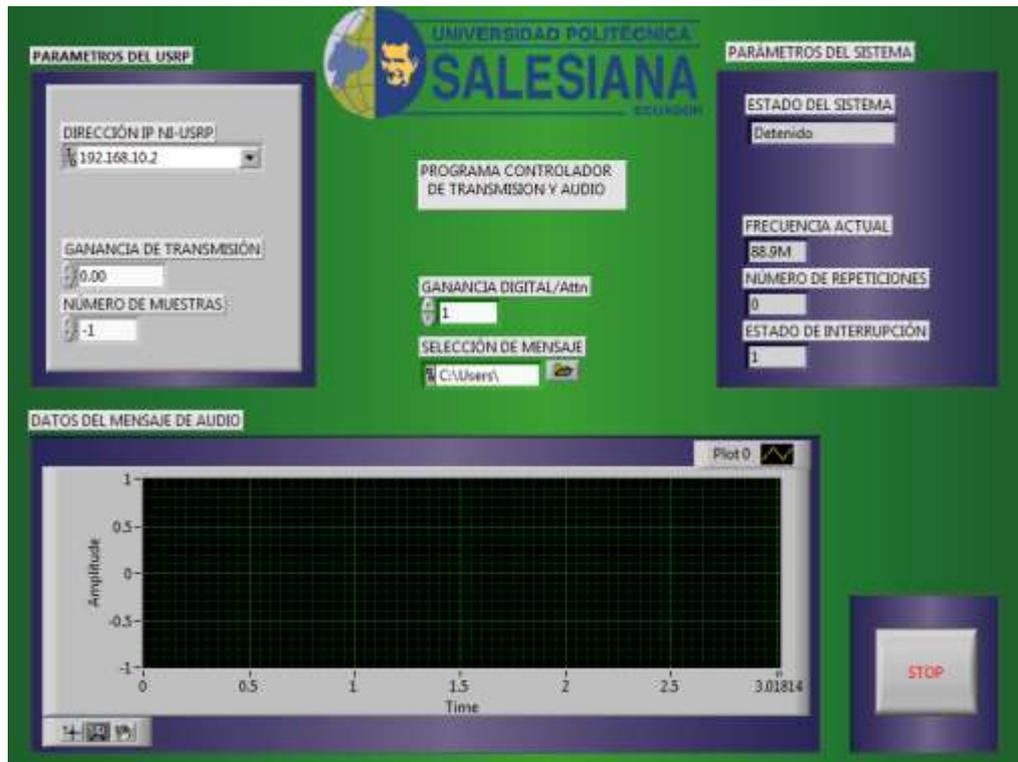


Figura 3.3.7: Interfaz del controlador de transmisión y audio en LabVIEW.

Fuente: Los autores

En el esquema de la interfaz del controlador de transmisión y audio se pueden apreciar los distintos bloques que conforman los parámetros que se deberán de configurar para lograr el envío de la señal de radiofrecuencia en FM.

3.3.2.3.2.1 Campos de la interfaz del programa

3.3.2.3.2.1.1 Campos de Parámetros del USRP

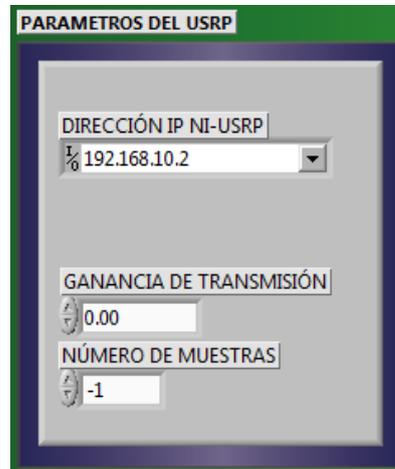


Figura 3.3.8: Campos de parámetros del USRP en la interfaz del programa.

Fuente: Los Autores

Como se observa en la figura anterior, tenemos un campo en el que se debe configurar la dirección IP del NI-USRP que por defecto es 192.168.10.2. En el proyecto esta dirección IP no ha cambiado.

El campo ganancia de transmisión se configura la ganancia de salida de transmisión de la señal que se transmitirá desde el NI-USRP. Representa a la ganancia de la portadora. Y para el proyecto, para conseguir la calidad óptima de señal de acuerdo a los demás parámetros del sistema, este campo será de 0.

El campo Número de Muestras, especifica el número de muestras por canal para leer desde el archivo de audio.

La programación de estos campos será explicará más adelante en el diagrama de bloques del software LabView.

3.3.2.3.2.1.2 Campos de Parámetros del sistema



Figura 3.3.9: Campos de parámetros del sistema en la interfaz del programa.

Fuente: Los autores

También se observa un bloque denominado PARÁMETROS DEL SISTEMA en el cual, en primer lugar, encontramos el estado del sistema, esto indica si el programa está ejecutándose.

Un mensaje de “Detenido” indica que no se está emitiendo ninguna clase de señal, y así mismo al empezar las transmisiones, se mostrará un mensaje de “Generando”.

La frecuencia de operación en FM la podemos observar en el campo de FRECUENCIA ACTUAL. Este campo se configura desde el diagrama de bloques en el software LabVIEW y se explicará más adelante.

El campo NUMERO DE REPETICIONES señala la cantidad de veces que se ha repetido el mensaje desde que el sistema se ha encendido.

Debido a que los mensajes se envían hacia las radiorreceptoras con un lapso de repetición de 2 segundos por cada frecuencia en Fm configurada en el programa, el campo ESTADO DE INTERRUPCIÓN muestra, con un indicador numérico de 1, que el mensaje se está enviando en la frecuencia observada en el campo de FRECUENCIA ACTUAL, así mismo un indicador numérico 0 indica que no se está enviando mensaje en la frecuencia actual.

3.3.2.3.2.1.3 Campos de Mensaje de Audio

Se observan también tres campos correspondientes al mensaje de audio a emitir.

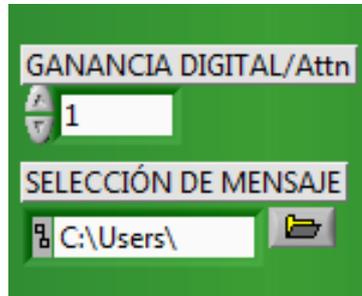


Figura 3.3.10: Campos de audio en la interfaz del programa.

Fuente: Los Autores.

En el campo de Ganancia Digital/Attn se configura el valor de la ganancia que tendrá el mensaje. Este valor de acuerdo a pruebas realizadas será de 1 dB para obtener una calidad de señal de audio nítida a una distancia de 100 a 150 metros. Mas adelante se explicará la disposición de este campo en el diagrama de bloques en la programación del sistema.

En el campo de selección del mensaje se procederá a elegir el mensaje que de audio que se emitirá. Este mensaje de audio debe tener extensión .wav, el cual es un formato digital de audio, debido a que los módulos selectores de sonido en LabVIEW aceptan este formato para su procesamiento. Para el proyecto se grabaron mensajes de audio en el Laboratorio de Radio de la carrera de Comunicación Social de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil. Luego estos mensajes de audio fueron editados y transformados a formato .wav en el programa Adobe Audition.

En el botón con forma de carpeta se selecciona la ruta en donde se encuentra el mensaje en el ordenador.

El mensaje utilizado por el proyecto tiene una duración de 2 segundos y un tamaño de 456 KB (467,328 bytes) y el mensaje que se escucha es: “Ambulancia acercándose, por favor despejar el camino”.

La programación en LabVIEW de este campo se explicará más adelante.

En el campo datos de Audio se muestra la generación de la señal de audio que se está emitiendo y las características que esta tiene.

3.3.2.3.3 Programación del controlador de transmisión y audio

3.3.2.3.3.1 Diagrama de Bloques

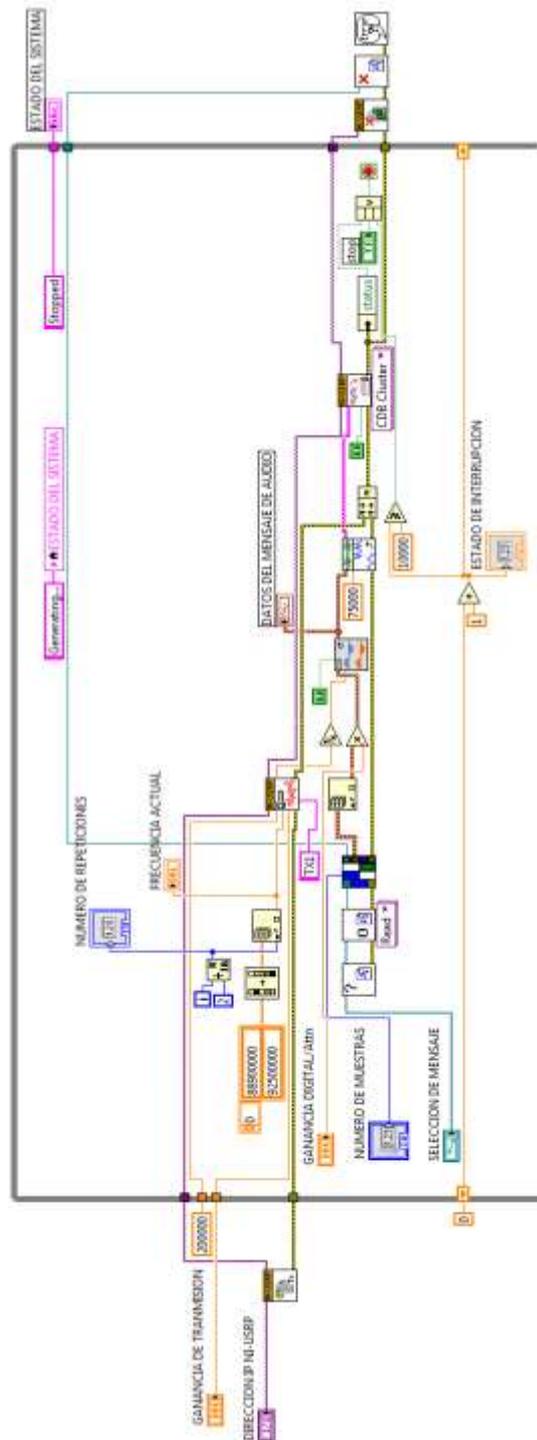


Figura 3.3.11: Diagrama de Bloques del sistema controlador.

Fuente: Los Autores.

Para una mejor explicación del diagrama de bloques se dividirá el mismo en etapas.

3.3.2.3.2 Etapa de programación de bloques del NI-USRP 2920.

Para el reconocimiento inicial del NI-USRP 2920 se usa el Vi de Apertura de sesión.

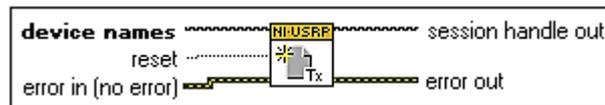


Figura 3.3.12: niUSRP Open Tx Session VI.

Fuente: Software LabVIEW.

Es este bloque especificamos la dirección IP del USRP mediante un bloque para nombre lógico.

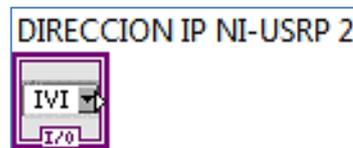


Figura 3.3.13: IVI Logical Name

Fuente: Software LabVIEW

El siguiente bloque es el VI de configuración de señal para NI-USRP

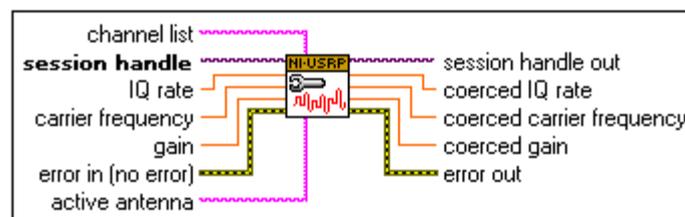


Figura 3.3.14: niUSRP Configure Signal VI.

Fuente: Software LabVIEW.

La línea de sesión handle se conecta a la línea de sesión handle out del bloque niUSRP Open Tx Session VI y así mismo la línea de error in.

Es importante identificar que la línea active antenna expresa la interfaz física en la que se conectará la antena. Para el caso del proyecto se configura este parámetro con TX1 puesto que se usará la interfaz de transmisión de transmisión del NI-USRP.

El valor de IQ rate será de 20000 según nos indica por default el bloque.

El valor de carrier frequency viene dado por medio de la siguiente configuración:

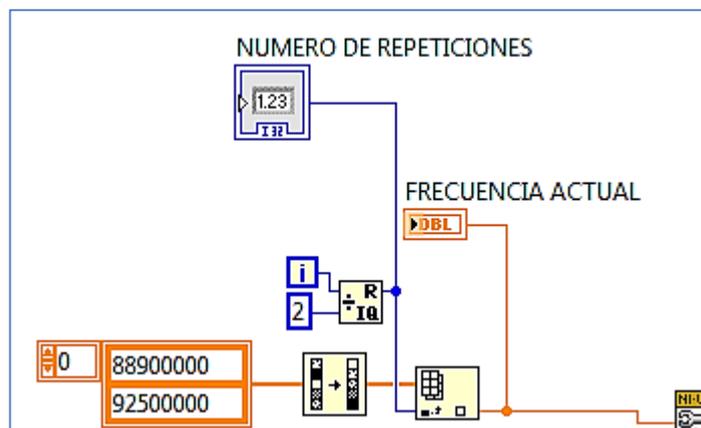


Figura 3.3.15: Bloque carrier frequency.

Fuente: Los autores.

Este bloque especifica la frecuencia de la portadora en Hz, en este caso en FM, de la señal RF.

Luego de esto tenemos el bloque de escritura de datos para la transmisión:

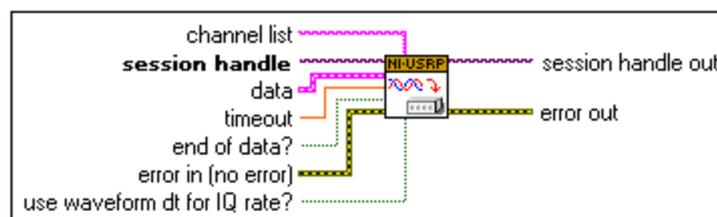


Figura 3.3.16: niUSRP Write Tx Data (CDB Cluster).

Fuente: Software LabVIEW.

El mismo estará conectado principalmente a la línea de datos el cual especifica las muestras en banda base para transmitir como datos complejos de punto flotante de doble precisión los cuales incluyen también información de muestreo.

Estos datos provienen del conjunto de bloques del mensaje que se explicará más adelante.

Por ultimo tenemos el bloque de cierre de sesión:

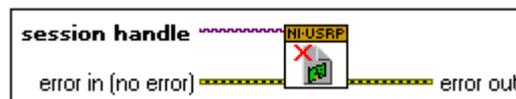


Figura 3.3.17: niUSRP Close Session VI

Fuente: Software LabVIEW

Este bloque identifica si la sesión que se está ejecutando es de tipo TX o RX

3.3.2.3.3.3 Etapa de programación de bloques de audio.

La programación para el mensaje de audio del controlador es la siguiente:

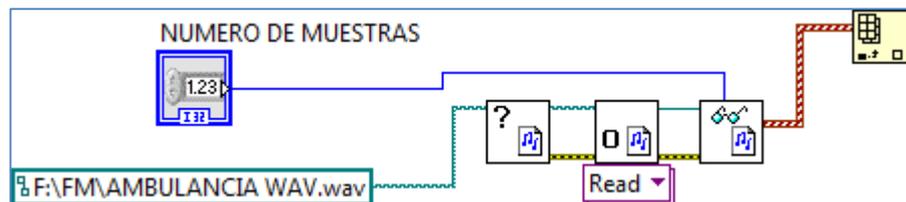


Figura 3.3.18: Programación de bloques de configuración de audio.

Fuente: Los autores

Como podemos observar en primer lugar tenemos la ruta del archivo de audio que tengamos previamente en el ordenador.

Este archivo de audio está conectado al bloque de Información de Archivo de Sonido, el cual es:

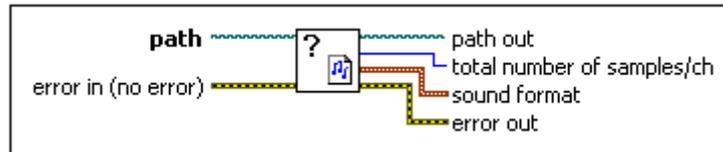


Figura 3.3.19: Sound File Info VI.

Fuente: Software LabVIEW.

Obtiene toda la información del archivo de audio .wav. En este se especifican la ruta del archivo de audio; si la ruta no es correcta el programa arroja error. Tenemos a la salida la información de la ruta y de los errores encontrados.

A continuación se tiene el bloque de Apertura del Archivo de audio:

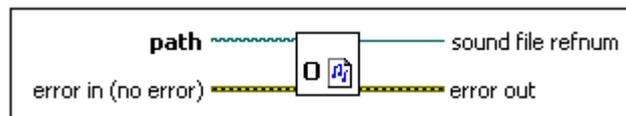


Figura 3.3.20: Sound File Read Open.

Fuente: Software LabVIEW.

Este bloque procede a leer el archivo de audio .wav. Tenemos como entrada de este bloque la información del archivo de audio.

Al final del bloque de programación del mensaje de audio se coloca el bloque de Lectura del Archivo de Sonido.

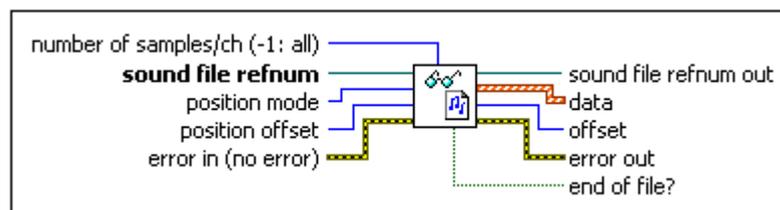


Figura 3.3.21: Sound File Read VI.

Fuente: Software LabVIEW.

Este bloque lee los datos obtenidos de la señal de audio .wav.

3.3.2.3.3.4 Etapa de configuración de frecuencias.

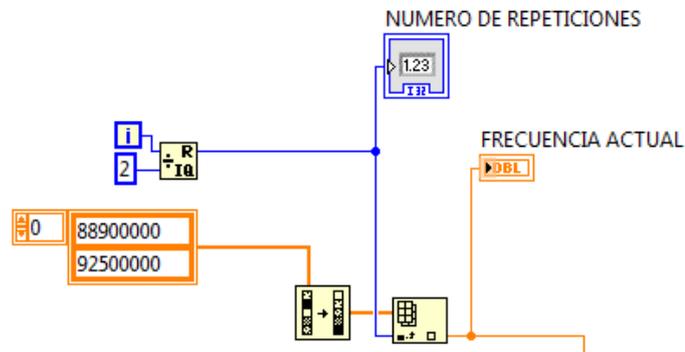


Figura 3.3.22: Diagrama de bloques para la configuración de frecuencia.

Fuente: Los autores.

En la figura anterior se observa una matriz en la que se configuran las frecuencias en FM a las que se quiera interferir con el sistema. Tenemos un display de la frecuencia en operación y el número de repeticiones del mensaje de audio en cada frecuencia desde el inicio de ejecución del sistema.

3.3.3 Etapa de procesamiento de datos y radiofrecuencia

Para que los datos y los NI Modulation Toolkit puedan ser reconocidos en el sistema es necesario primero la conexión de los mismos por lo que se procede a conectar la fuente de poder de 6 VDC, 3 A hacia la salida de voltaje del inversor a 110 VAC.

Proseguimos a conectar el cable UTP GB ETHERNET en la salida de datos del USRP. Del otro extremo conectamos la unidad de cómputo. Teniendo en cuenta las direcciones IP que se les asigna a ambos equipos, generando una puerta de enlace de comunicación entre ambas.

Es esta etapa es donde se procesan los datos ya programados en el NI-USRP, como las frecuencias de transmisión en FM, los niveles de ganancia y atenuación que se van a propagar en el espectro.

Teniendo muy en cuenta que los niveles la relación señal ruido (SNR) deben de estar equiparados, ya que si tenemos un bajo nivel de SNR la transmisión va a ser de muy poca calidad o nula.

Luego de haber realizado los pasos de conexión debemos de verificar en el panel de indicadores led de estados debe de estar:

Led D encendido que indica el firmware ha sido cargado.

Led F que indica que el equipo esta encendido.

Led A parpadeando que indica el estado de transmisión.

3.3.4 Etapa de amplificación

Debido a que el Ni-USRP transmite a una baja potencia (50mW a 100mW) que no son suficientes para el objetivo del proyecto, es necesario el uso de un amplificador de potencia para RF para con este poder que aumenta su potencia a 25W nominal y así poder alcanzar una mayor distancia de propagación de la señal.

En esta etapa se procede conectar cable coaxial que tiene conectores SMA en ambos extremos, enroscamos con precaución un extremo en la etapa de TX del NI – USRP hasta que quede firme y con precaución de que no se realicen dobles en el cable coaxial.



Figura 3.3.23: Cable coaxial con conectores SMA

Fuente: <http://es.rs-online.com/web/generalDisplay.html?id=conectores-industriales&file=Conectores-RF-Conectores-SMA.html>

Luego de realizar la conexión en el NI-USRP se procede a conectar en otro extremo hacia en la entrada del amplificador de potencia que es el que se encargará posteriormente de amplificar la señal a una potencia necesaria.



Figura 3.3.24: Amplificador de potencia RF.

Fuente: Los autores.

Se verifica que esté bien enroscados los conectores SMA y que el cable coaxial no presente curvas cerradas que puedan dificultar la amplificación normal o total.

Luego de esto se procede a la conectar el cable coaxial que de un extremo tiene un conector SMA y del otro un conector N- Macho.



Figura 3.3.25: Cable coaxial con conectores SMA – N Macho.

Fuente:

http://www.pccomponentes.com/tp_link_tl_ant24pt3_pigtail_rp_sma_n_macho_3m.html.

Enroscamos el extremo del conector SMA hacia la salida del amplificador de potencia. Luego procedemos a enroscar el extremo que tiene conector N-Macho hacia la entrada de la entrada Yagi que tiene conector N-Hembra.

Debemos de tener en cuenta las que impedancias de conectores y cable coaxial coincidan, para este proyecto se usa conectores y cable con 50 ohmios de impedancia.

Tenemos así mismo una perdida distancia de cable. Este este caso usamos un cable coaxial LMR-200 con una pérdida de 0.542 dB por cada metro, en el proyecto la pérdida producida por la longitud de este conductor es casi es despreciable ya que no se necesita el uso de una gran cantidad de cable por ser un sistema con equipos cercanos.

Así mismo tenemos las perdidas en los conectores se tiene una pérdida de 0.15 dB por inserción que sumada la perdida de esta etapa llegamos a 0.45 dB que es menor de 1 dB.

3.3.5 Etapa de Transmisión

Luego de la etapa de amplificación viene la etapa de transmisión, que se encarga de propagar ondas electromagnéticas en FM ya amplificadas al espectro a una distancia de 100 a 150 metros óptimas para el desarrollo del proyecto.



Figura 3.3.26: Antena Yagi

Fuente: <http://x.net.au/wifi-antenna-types/>

3.3.6 Etapa de Recepción

En esta etapa se obtienen los resultados del proyecto, las radios receptoras en FM reciben la señal enviada desde la etapa de transmisión ya amplificada el cual es un mensaje de voz de alerta de proximidad de un vehículo de emergencia en estado operativo indicando que despejen el camino de circulación. Este mensaje es receptado por la antena, que generalmente es una antena monopolo de $\frac{1}{4}$ de onda y de una impedancia de 50 ohm con características omnidireccionales, y será enviada a los demoduladores (radios) mediante un cable coaxial. Los valores de sensibilidad de las antenas, que por lo general presentan instaladas los vehículos, son óptimos para la recepción de la señal emitida por el sistema, ya que la portadora que se emite desde el sistema del proyecto posee mayor ganancia de potencia que la que se encuentra en el ambiente. Esto se demostrará en los datos obtenidos según pruebas realizadas en campo y el laboratorio.

Luego de que el vehículo de emergencia en estado operativo rebasa el auto que le envió la alerta el mensaje automáticamente desaparecerá por motivos que estamos usando transmisión directiva.

En esta etapa debemos de tener muy en cuenta el fenómeno de dispersión de la señal que es producida cuando las ondas de radios emitidas atraviesas alguna masa de electrones o gotas de agua.

Es por eso que en climas lluviosos podemos presentar una mayor cantidad de perdida y el receptor no recibirá la señal semejante a la original sino una con ruidos debido a la atenuación de la señal en el espectro.

CAPÍTULO IV

4 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Para la presentación de resultados, el proyecto se sometió a 3 pruebas de propagación de la señal las cuales arrojaron resultados que se reflejaban en potencias a medida de que se aumentaba la distancia de TX y RX.

Estas pruebas se las realizaron en:

- Laboratorio de telecomunicaciones de la UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA sede Guayaquil.
- Pruebas a 100 metros de distancia entre transmisor y receptor en la UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.
- Pruebas de implementación en campo

4.1 Pruebas de Laboratorio

Prueba en Laboratorio de telecomunicaciones de la UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA sede Guayaquil.

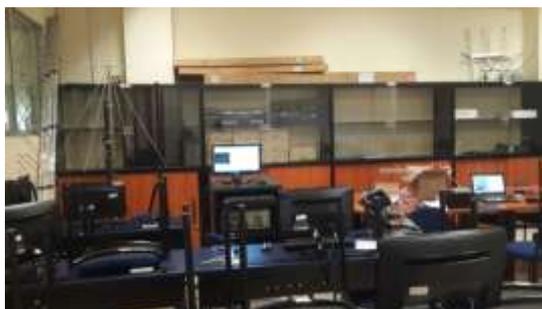


Figura 4.1.1: Pruebas realizadas en laboratorio de telecomunicaciones.

Fuente: Los autores.

En esta prueba y toma de datos reales se utilizó el equipo PXI de National Instruments en la sección de analizador de espectro tomando como referencia de muestreo las frecuencias en Fm centradas en el plano por cada portadora emitida.



Figura 4.1.2: NI-PXI.

Fuente: Los autores.

Para la recepción de la señal se utilizó una antena omnidireccional para recibir las frecuencias emitidas desde el USRP con la antena directiva.

En estas pruebas en laboratorio se tomaron muestras de todas las frecuencias operativas en FM.

Nombre de emisora	Frecuencia	Longitud TX-RX (Metros)	Potencia en el ambiente dbm (-)	Potencia de Interferencia dbm (-)
DI BLU	88,9	3	58,83	31,13
RADIO CITY	89,3	3	41,71	30,93
PUNTO ROJO FM	89,7	3	45,05	33,53
ROMANCE FM	90,1	3	43,74	30,02
CANELA	90,5	3	58,69	32,29
KISS	90,9	3	49,28	34,79
TROPICALIDA STEREO	91,3	3	77,32	34,18
ANTENA TRES	91,7	3	50,33	34,40
ESTRELLA	92,1	3	60,17	38,61
FOREVER MUSIC FM	92,5	3	64,12	39,97
COLON FM	92,9	3	67,90	43,46
RADIO AMERICA	93,3	3	67,75	46,69
DISNEY	93,7	3	80,16	39,92
ONDA POSITIVA	94,1	3	65,58	41,62
PLATINUM FM	94,5	3	74,44	44,13
LA OTRA FM	94,9	3	64,94	40,87
CUPIDO	95,3	3	70,08	37,73
METRO STEREO	95,7	3	67,11	35,29
ONDA CERO FM	96,1	3	74,00	31,67
TROPICANA FM	96,5	3	53,86	29,54
MAS CANDELA	96,9	3	57,20	28,22

NUEVO TIEMPO	97,3	3	58.02	27.83
J.C. RADIO	98,5	3	53.95	26.81
IMPACTO FM	98,9	3	69.51	26.58
SABORMIX FM	99,3	3	74.08	26.52
ELITE	99,7	3	69.20	26.21
RADIO LA PRENSA	100,1	3	64.27	31.87
RSN FM STEREO	100,5	3	72.74	30.75
LA RADIO DE LA ASAMBLEA NACIONAL	100,9	3	47.25	29.63
101.3 LA ESTACION MUSICAL	101,3	3	44.50	29.25
TELEQUIL RADIO STEREO	101,7	3	46.16	29.85
WQ-DOS	102,1	3	56.12	29.38
HCJB LA VOZ Y VENTANA DE LOS ANDES	102,5	3	67.68	30.20
ARMONÍA MUSICAL	102,9	3	no	no
JOYA STEREO	103,3	3	51.16	29.95
ALFA STEREO	104,1	3	57.77	30.97
104.5 CORAZÓN	104,5	3	52.78	31.72
ONCE Q FM	104,9	3	74.73	32.86
RADIO PUBLICA	105,3	3	53.87	32.32
FABU STEREO	105,7	3	71.78	31.70
B.B.N. 106.1 FM	106,1	3	70.81	30.66
FUEGO	106,5	3	56.32	30.76
RADIO RUMBA	107,3	3	52.31	29.80
VISIÓN FM	107,7	3	53.39	28.19

Tabla 4.1.1: Tabla de potencia en FM tomada desde analizador de espectro de potencia en el ambiente y potencia transmitida desde el proyecto.

Fuente: Los autores

Los datos que fueron tomados de pruebas realizadas en laboratorio de telecomunicaciones se lo dividieron en varias secciones haciendo primero énfasis a las emisoras más escuchadas según datos tomados por los autores en encuestas a conductores de la ciudad de Guayaquil, de color amarillo. Las emisoras secundarias más escuchadas están marcadas con color azul.

La tabla de datos de rating se encuentra en el ANEXO 5.

En la figura 4.1.3 se muestra la portadora de la frecuencia 88.9 MHz tomadas en laboratorio en el espectro con niveles recepción de -58.83 dBm desde el centro de referencia fijada en cero.

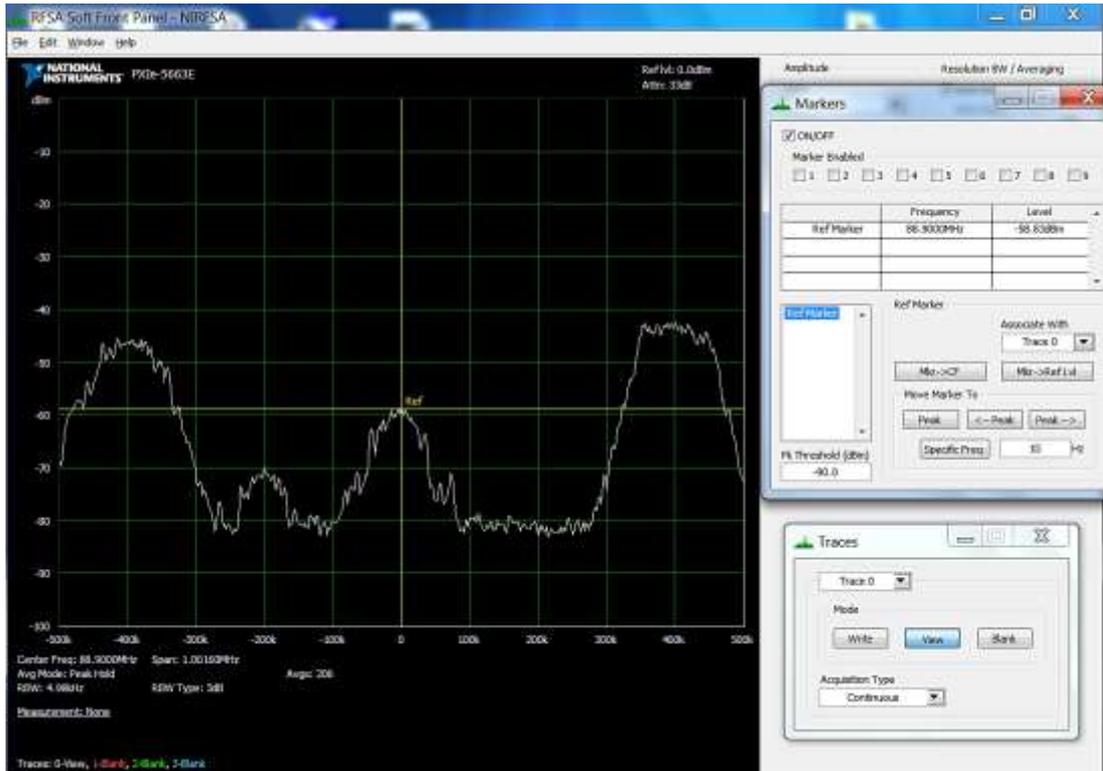


Figura 4.1.3: Portadora de 88.9 MHz en el espectro.

Fuente: Los autores.

A los costados de esta portadora se ven las portadoras cercanas que están en el espectro al aire que son 88.5 MHz y 89.3 MHz.

En este caso se va a dejar congelada la imagen de la portadora receptada en el analizador de espectro para poner a transmitir la portadora de la frecuencia 88.9 MHz desde el NI-PXI para así poder verificar la diferencia de niveles de señal y potencia entre la frecuencia del espectro libre y la portadora emitida por el sistema.

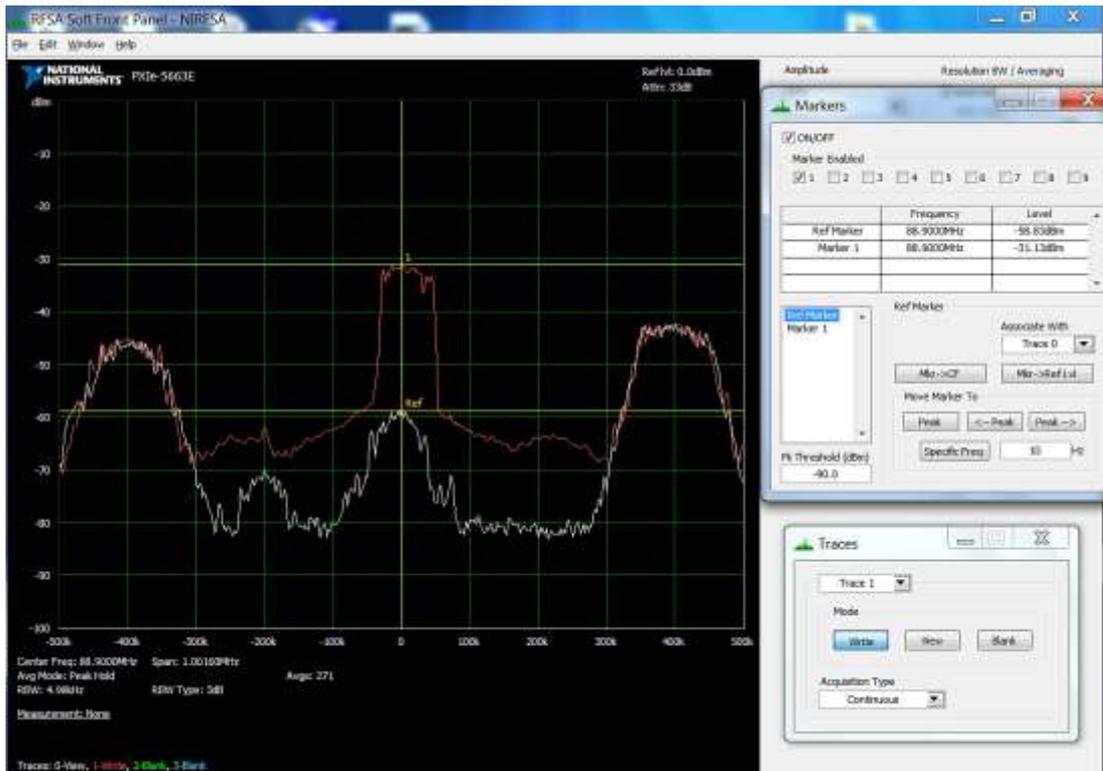


Figura 4.1.4: Portadoras al aire de las frecuencias en 88.9 MHz.

Fuente: Los autores.

En la imagen anterior vemos como la portadora enviada desde el USRP en frecuencia de 88.9 MHz, en este caso de color rojo, se interpone sobre la portadora que esta en el aire a la misma frecuencia y así modulamos el mensaje de voz transmitido.

En este caso tenemos niveles de transmisión de -31.13 dBm y conjuntamente con los valores de Ganancia, volumen frecuencia y a las perdidas que tengamos vamos a recibir en los vehículos.

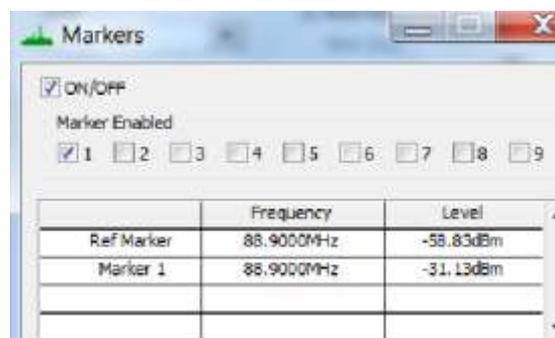


Figura 4.1.5: Niveles de señal de portadora en ambiente y del sistema.

Fuente: Los autores.

A continuación se muestran las curvas resultantes de las tomas de datos en las pruebas realizadas en el laboratorio.

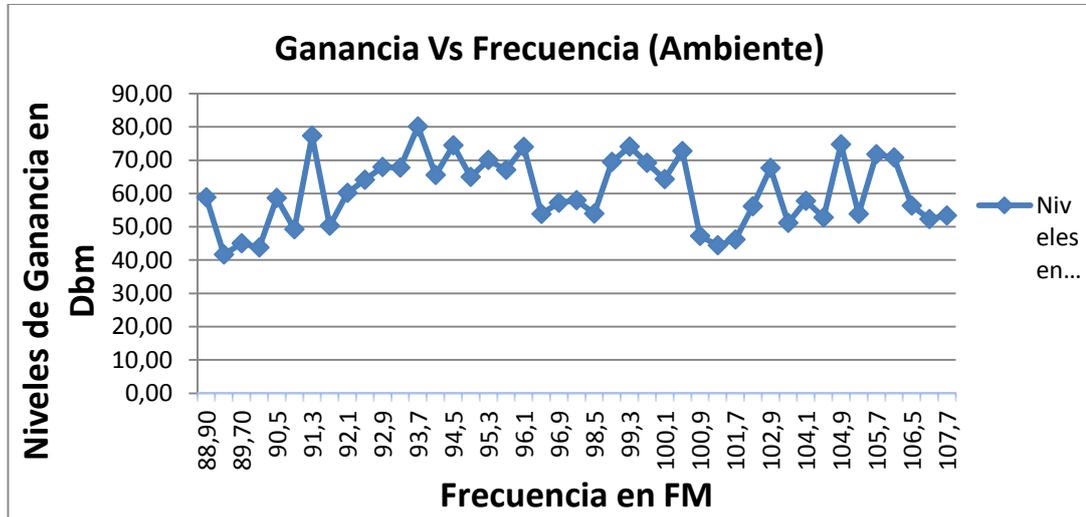


Figura 4.1.6: Niveles de Ganancia de Emisoras de Radio en el Ambiente.

Fuente: Los autores.

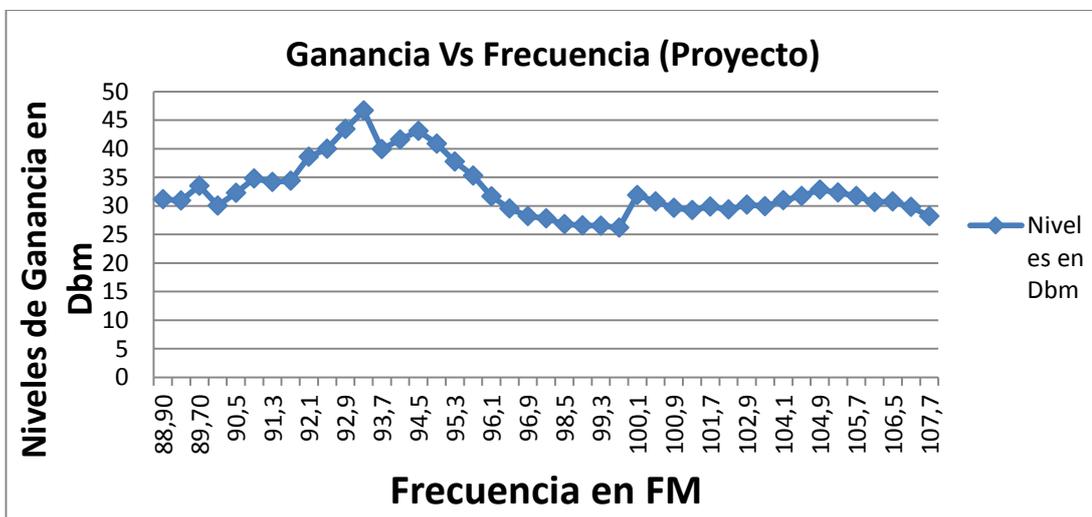


Tabla 4.1.2: Niveles de Ganancia emitidas por el Proyecto.

Fuente: Los autores.

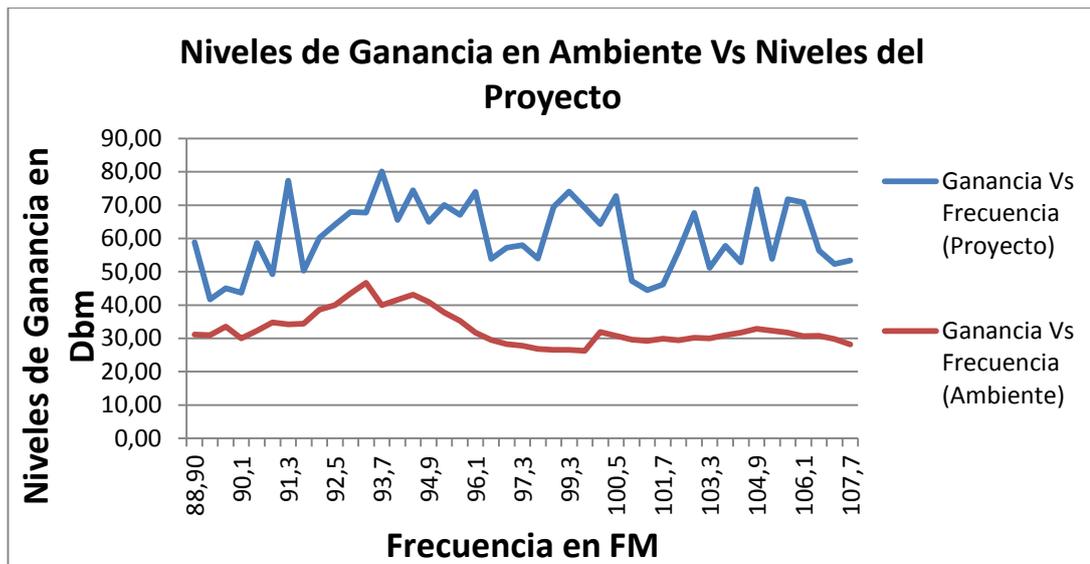


Tabla 4.1.3: Comparación de Niveles de Ganancia.

Fuente: Los autores.

Claramente se puede observar el predominio de los niveles de ganancia del proyecto sobre los niveles de ganancia en el ambiente de las emisoras de radio local en condiciones de pérdidas por distancia o clima casi despreciables.

4.2 Pruebas a 100 metros de distancia entre transmisor y receptor

Esta toma de datos de recepción de las señales de radios se las realizó a una distancia de 100 metros además de tomar como referencia las emisoras más escuchadas en Guayaquil.

Estas pruebas, al igual que la anterior, se las realizó utilizando como analizador de espectro el equipo PXi para captar los datos y tomar muestras de los niveles y potencias de cada señal a esta distancia.

Se utilizó la misma antena omnidireccional para recibir la señal emitida desde el NI-USRP en la etapa de TX.

Nombre de emisora	Frecuencia	Longitud TX-RX	Potencia en el ambiente dbm (-) a 100 metros	Potencia de interferencia dbm (-) a 100 metros
DI BLU	88,9	100	54,70	52,62
RADIO CITY	89,3	100	44,64	42,84
PUNTO ROJO FM	89,7	100	45,00	41,03
CANELA	90,5	100	53,41	50,46
ANTENA TRES	91,7	100	49,68	47,94
COLON FM	92,9	100	69,27	66,33
RADIO AMERICA	93,3	100	70,38	64,24
DISNEY	93,7	100	83,4	76,9
ONDA POSITIVA	94,1	100	59,65	59,31
LA OTRA FM	94,9	100	65,68	55,08
METRO STEREO	95,7	100	56,34	50,03
ONDA CERO FM	96,1	100	58,87	55,19
TROPICANA FM	96,5	100	46,73	46,35
MAS CANDELA	96,9	100	55,57	54,96
NUEVO TIEMPO	97,3	100	62,72	58,6
J.C. RADIO	98,5	100	47,9	46,75
IMPACTO FM	98,9	100	61,54	59,81
ELITE	99,7	100	59,63	53,05
WQ-DOS	102,1	100	56,25	53,28
ALFA STEREO	104,1	100	50,35	48,84
ONCE Q FM	104,9	100	63,25	62,4
FABU STEREO	105,7	100	64,42	64,64
RADIO RUMBA	107,3	100	44,86	46,26

Tabla 4.2.1: Datos obtenidos a 100 metros.

Fuente: Los Autores

Como vemos en la tabla anterior, a diferencia entre los niveles de señal en tomados en laboratorio son mucho más cercanos entre frecuencias.

Este fenómeno de pérdida por distancia se lo ve con más énfasis en medida a que la frecuencia aumenta.

Las gráficas 4.1.6 y 4.1.7 muestran dos frecuencias intervenidas por el proyecto y los niveles respectivos de ganancia.

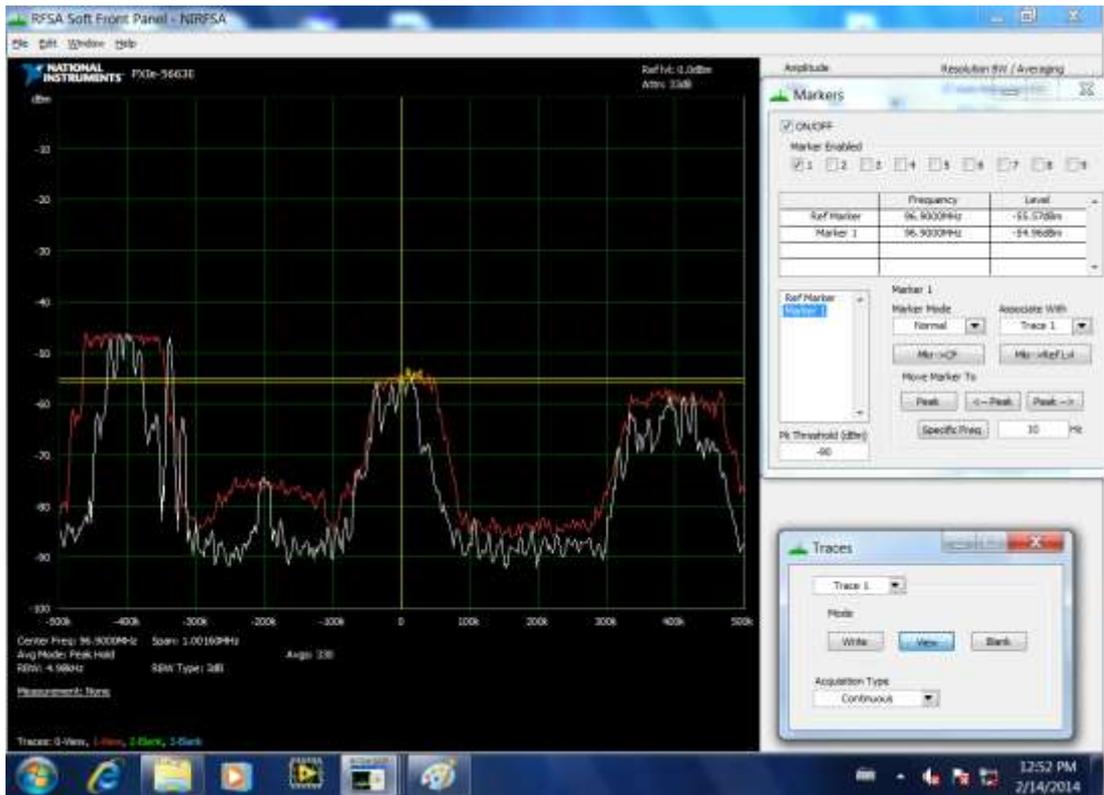


Figura 4.2.1: Portadoras en 96.9 KHz.

Fuente: Los autores.

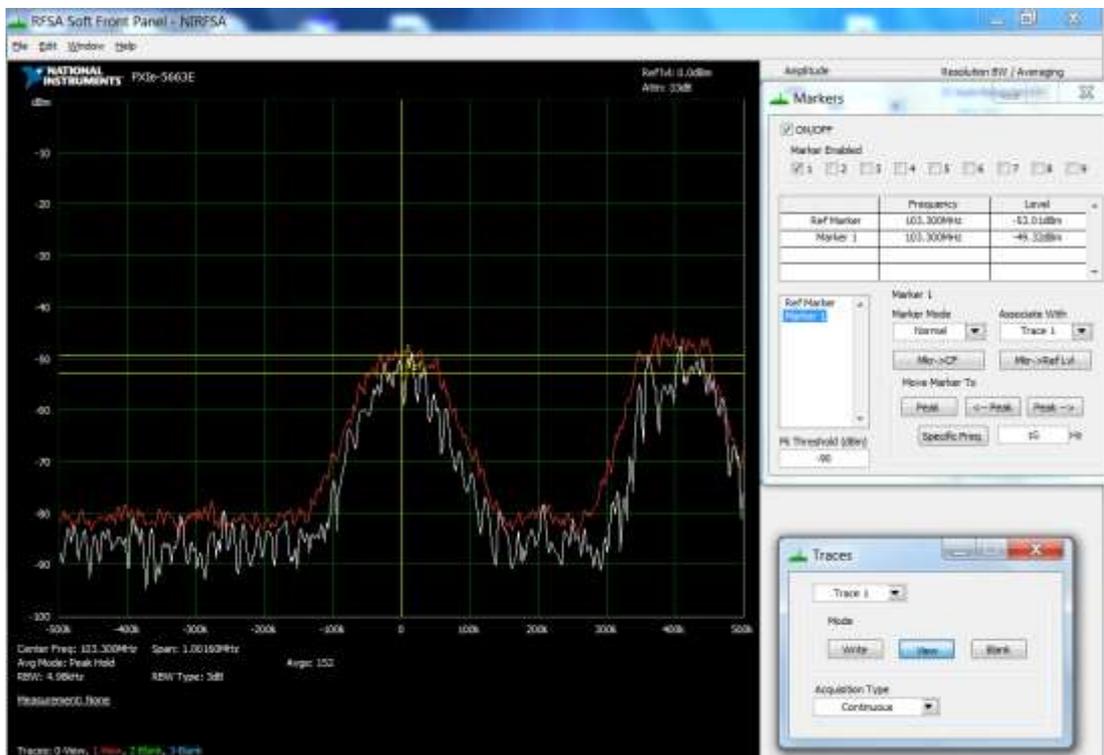


Figura 4.2.2: Portadoras en 103.3 KHz.

Fuente: Los autores.

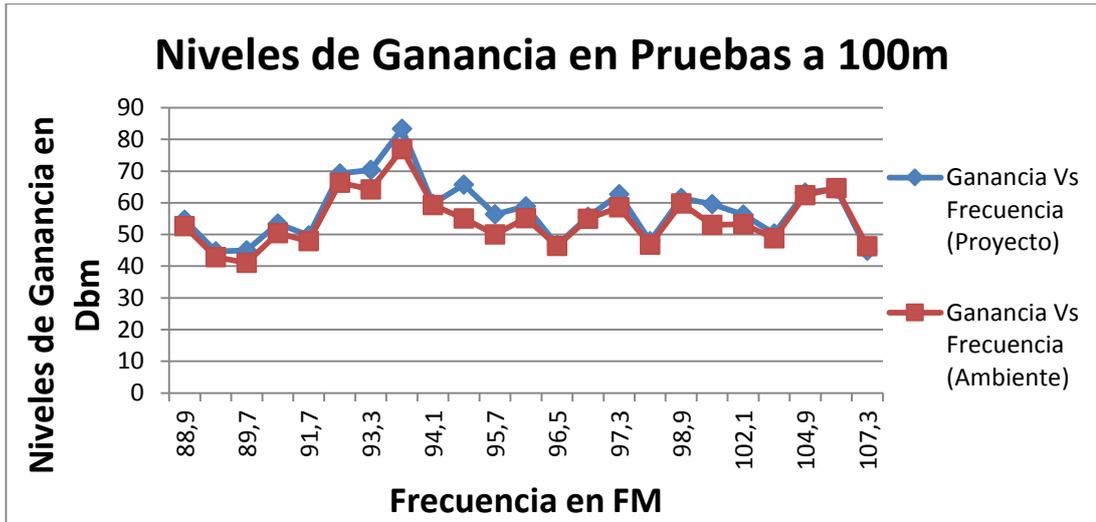


Tabla 4.2.2: Niveles de Ganancia a distancia de 100 metros.

Fuente: Los autores.

Algo muy curioso ocurre al obtener los datos de ganancias de la señal a una distancia de 100 metros y es que la diferencia entre los niveles que poseen las señales de radio de las emisoras locales y la señal de radio emitida por el proyecto es cada vez menor debido a las pérdidas por distancia.

4.3 Pruebas de implementación en campo

Esta prueba de campo se realizó en la ciudad de Guayaquil en una ambulancia del Benemérito Cuerpo de Bomberos en movimiento y en tráfico a lo largo de la Av. Del Bombero y Av. Rodríguez Bonín.

Las pruebas fueron realizadas con el vehículo de emergencia en movimiento y con los equipos instalados en lugares fijos del mismo.



Figura 4.3.1: Ambulancia en la que se realizaron las pruebas de campo.

Fuente: Los autores

Se procedió a encender la Sirena audible y el sistema en simultáneo. El sistema cumplió con lo considerado dentro de los parámetros de transmisión, enviando las señales desde el NI-USRP a diferentes frecuencias de radios en FM encachándose el mensaje de alerta de proximidad en los carros que iban delante del vehículo de emergencia.

Estas pruebas fueron documentadas por docentes y estudiantes de la carrera de comunicación social de la UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL Y CUENCA.



Figura 4.3.2: Instante de pruebas de campo.

Fuente: Los autores

Las grabaciones del audio del mensaje que se emite se los realizaron en laboratorios de radio y acústica de la UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL.



Figura 4.3.3: Grabaciones y pruebas de audio.

Fuente: Los autores.



Figura 4.3.4: Grabación del mensaje de alerta.

Fuente: Los autores.



Figura 4.3.5: Edición de mensajes de alerta en Adobe Audition.

Fuente: Los autores.

CONCLUSIONES

Al término de la construcción y pruebas realizadas en laboratorio y campo del sistema prototipo, se demuestra que es técnicamente viable la implementación del proyecto en vehículos de emergencia ciudadana dentro de todo el espectro de la banda FM y para cualquier lugar del mundo.

Pero es concerniente el análisis de costos que conlleva dicha implementación debido al uso de dispositivos que se han usado en el mismo. Uno de estos es el NI-USRP, equipo con características específicas de radiotransmisión que en conjunto con las herramientas de programación en el software LabVIEW ayudaron a la consecución del proyecto mediante con conjunción de la teoría expuesta de carácter académico y el desarrollo práctico del sistema prototipo.

Si bien es cierto se logró de manera óptima la interferencia sobre las radiorreceptoras en vehículos particulares a una distancia de prueba de hasta 100 metros, el sistema pierde potencia a medida que aumenta la distancia.

Adicional a la consecución de interferencia en la banda FM, no existe actualmente ninguna regulación de carácter legal en el país que permita la utilización del prototipo teniendo en cuenta las ventajas y aportes en el ámbito de la salud.

Por último, el desarrollo de este proyecto ayudó a ampliar y aplicar los conocimientos obtenidos durante el curso de toda la carrera de Electrónica mención en telecomunicaciones.

RECOMENDACIONES

Los autores del proyecto recomiendan futuras investigaciones ya que el mismo puede reducir sus costos de operatividad de manera considerable si se utilizan dispositivos para la etapa de transmisión de radiofrecuencia de carácter embebido, esto quiere decir que en un mismo equipo tendríamos la etapa de cómputo y programación y la de transmisión.

Recomendamos también la revisión y constatación de todas las conexiones y acoples que se realicen, debido a que pueden existir pérdidas por atenuación.

También es preciso revisar y asegurar que los dispositivos utilizados funcionen con los parámetros requeridos por el sistema ya que algunos dispositivos, como el en caso de la fuente de poder utilizada en el proyecto, el switch selector del voltaje de alimentación presentaba los valores de voltaje de 110 V y 220 V cambiados de lugar, lo cual pudo haber generado el deterioro o daño total de uno o varios componentes del sistema.

BIBLIOGRAFÍA

- Universitat de les Illes Balears*. (2014). Obtenido de http://www.uib.es/depart/dfs/GTE/education/telematica/sis_ele_comunicacio/Apuntes/Capitulo%207.pdf
- Amador, J. P. (Febrero de 2013). *Capacidad de canal en comunicaciones digitales*. Obtenido de <http://www.buenastareas.com/ensayos/Capacidad-De-Canal-En-Comunicaciones-Digitales/7313036.html>
- antenna-theory.com. (2009-2011). *Friis*. Obtenido de <http://www.antenna-theory.com/basics/friis.php>
- Asimov, I. (Marzo de 1988). *Enciclopedia biográfica de ciencia y tecnología: la vida y la obra de 1197 grandes científicos desde la antigüedad hasta nuestros días*. Alianza Editorial Mexicana. Obtenido de http://es.wikipedia.org/wiki/Edwin_Armstrong
- Casierra, K. (Abil de 2013). *Karolcasierra*. Obtenido de <http://karolcasierra.blogspot.com/2013/04/ebe0-y-snr.html>
- Davenport, W. P. (s.f.). Comunicación moderna de datos. En W. P. Davenport.
- docente.ucol.mx. (2005). *Docente*. Obtenido de Ruido: <http://docente.ucol.mx/al021593/RUIDO.htm>
- Facultad de Ingeniería de la UBA. (s.f.). *Espectro Radio Electrico y Propagacion*. Obtenido de Facultad de Ingeniería de la UBA: http://materias.fi.uba.ar/6679/apuntes/Espectro_radioelec_y_prop.pdf
- <http://www.fi.uba.ar>. (s.f.). Obtenido de http://materias.fi.uba.ar/6679/apuntes/Espectro_radioelec_y_prop.pdf
- Lara, M. (24 de Agosto de 2012). *Teorema de Shannon*. Obtenido de moiseslara565.blogspot.com/2012/08/25-teorema-de-shannon.html
- Leon W. Couch, I. (2008). *Sistemas de comunicación digitales y analógicos*. Mexico: PEARSON EDUCACIÓN.
- Mata, I. N. (2002). *Adaptación de Impedancia*. Obtenido de <http://www.profesaulosuna.com/data/files/TELECOMUNICACIONES/AMPLIFICADOR%20RF/adapt-impedancia-con-carta-smith.pdf>
- Minicircuits.com. (s.f.). *ZHL-50W-52*. Obtenido de <http://www.minicircuits.com/pdfs/ZHL-50W-52.pdf>
- ni.com. (2012). *Conceptos Básicos de LabVIEW*. Obtenido de <http://www.ni.com/academic/students/learnlabview/esa/basics.htm>
- ni.com. (2012). *usrp*. Obtenido de <http://www.ni.com/usrp/whatis/esa/>

- Pozo, J. D. (2007). Distorsión de retardo. En J. D. Pozo, *Sistemas de telefonía* (pág. 48). Paraninfo.
- Ramírez, A., Blanco, A., Puentes, E., & Noriega, M. (enero de 2013). Amplificadores. Caracas, Venezuela. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos100/amplificadores/amplificadores.shtml>
- Stallings, W. (2004). *Comunicaciones y Redes de Computadores*. Madrid: Pearson Educación.
- Tomasi, W. (2003). *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*. Mexico: Pearson Educación.
- UDLAP. (23 de febrero de 2005). *Propagación RF*. Obtenido de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/peredo_a_s/capitulo1.pdf
- Universidad de Sevilla, B. d. (s.f.). *Software Defined Radio: USRP y GNU Radio*. Obtenido de http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11984/fichero/Volumen+2_Introducci%F3n%252FIntroducci%F3n.pdf
- Wikipedia. (12 de Junio de 2013). *SMA*. Obtenido de http://es.wikipedia.org/wiki/SMA_%28conector%29
- Wikipedia.org. (2014). *Subred*. Obtenido de <http://es.wikipedia.org/wiki/Subred>
- wikispace. (2014). *ruido.wikispaces*. Obtenido de Ruido en comunicaciones: <http://ruido.wikispaces.com/RUIDO+EN+COMUNICACIONES>
- www.arqhys.com. (s.f.). *Cableado Atenuacion*. Obtenido de Arqhys: <http://www.arqhys.com/arquitectura/cableado-atenuacion.html>

ANEXOS

Anexo 1 Datasheet ni-USRP 2920

Transmitter

Frequency range	50 MHz to 2.2 GHz
Frequency step	<1 kHz
Maximum Output Power (P_{out})	
. 50 MHz to 1.2 GHz	50 mW to 100 mW (17 dBm to 20 dBm)
. 1.2 GHz to 2.2 GHz	30 mW to 70 mW (15 dBm to 18 dBm)
Gain range ¹	0 dB to 31 dB
Gain step	1.0 dB
Frequency accuracy ²	2.5 ppm
Maximum instantaneous real-time bandwidth ³	
. 16-bit sample width	20 MHz
. 8-bit sample width	40 MHz
Maximum I/Q sampling rate ⁴	
. 16-bit sample width	25 MS/s
. 8-bit sample width	50 MS/s
DAC	2 channels, 400 MS/s, 16 bit
DAC SFDR	80 dB

Fuente: <http://www.ni.com/pdf/manuals/375839a.pdf>

Anexo 2 Datasheet Amplificador de Potencia Mini-Circuits ZHL-50W-52-S(+)

Features

- High power, 50 Watt
- Excellent IP3, +55 dBm typ.
- Class A amplifier, usable up to 75W
- Shuts off when base plate temperature exceeds +100°C
- Good gain flatness, ±1.0 dB typ.
- Internal power regulator (current remains constant over 22 to 28V)
- Over voltage protection, shut off above 29V
- Protected by US Patent 7,348,854

Applications

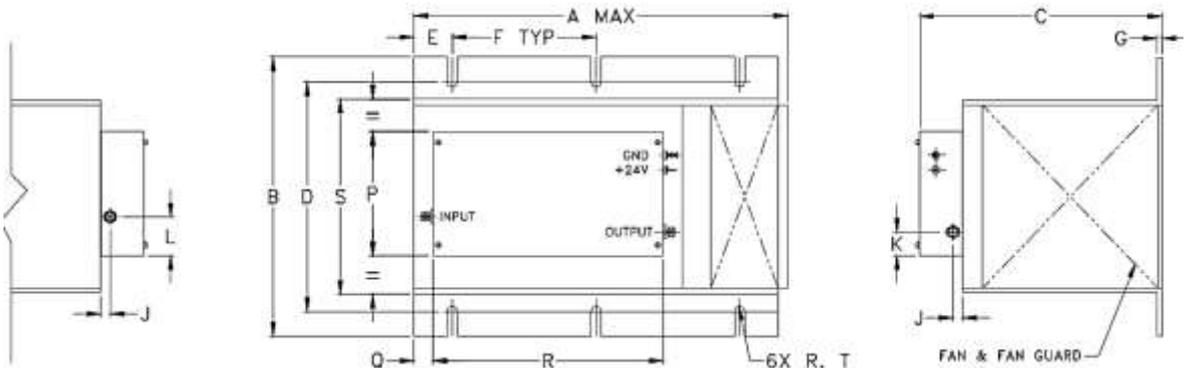
- VHF/UHF transmitters
- Defense
- Amateur radio, FM, TV
- Laboratory use

Electrical Specifications¹ at 25°C

Parameter	Frequency (MHz)	ZHL-50W-52(+)			ZHL-30W-50W-52X(+)*			Units
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
Frequency Range		50		500	50		500	MHz
Gain	100 500	47 46	50 50		47 46	50 50		dB
Gain Flatness			±2.0	±2.8		±2.0	±2.8	dB
Output Power at 1dB compression	120-260 50-500	+45.5 +43	+48 +45		+45.5 +43	+48 +45		dBm
Saturated Output Power at 3dB compression	120-260 50-500	+47 +45	+48 +48		+47 +45	+48 +48		dBm
Noise Figure			6.0	8.0		6.0	8.0	dB
Output third order intercept point			+55			+55		dBm
Input VSWR			1.6			1.6		:1
Output VSWR			2.0			2.0		:1
DC Supply Voltage			24	25		24	25	V
Supply Current				9.3			9.0	A

¹ All specifications are for a single input CW signal.
At nominal output load, 24V nominal supply voltage.
An open or a short load is not recommended potentially can cause damage.

* Heat sink and fan not included. Alternative heat sinking and heat removal must be provided by the user to limit maximum base-plate temperature to 85°C, in order to ensure proper performance. For reference, this requires thermal resistance of user's external heat sink to be 0.06°C/W max.



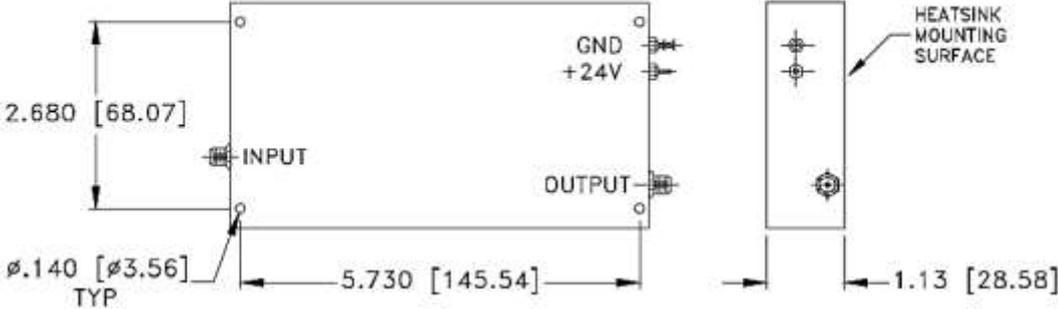
Outline Dimensions (inch mm)

A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L
9.85	7.3	6.3	6.00	1.00	3.75	.13	—	.25	.63	1.03
250.19	185.42	160.02	152.40	25.40	95.25	3.30	—	6.35	16.00	26.16

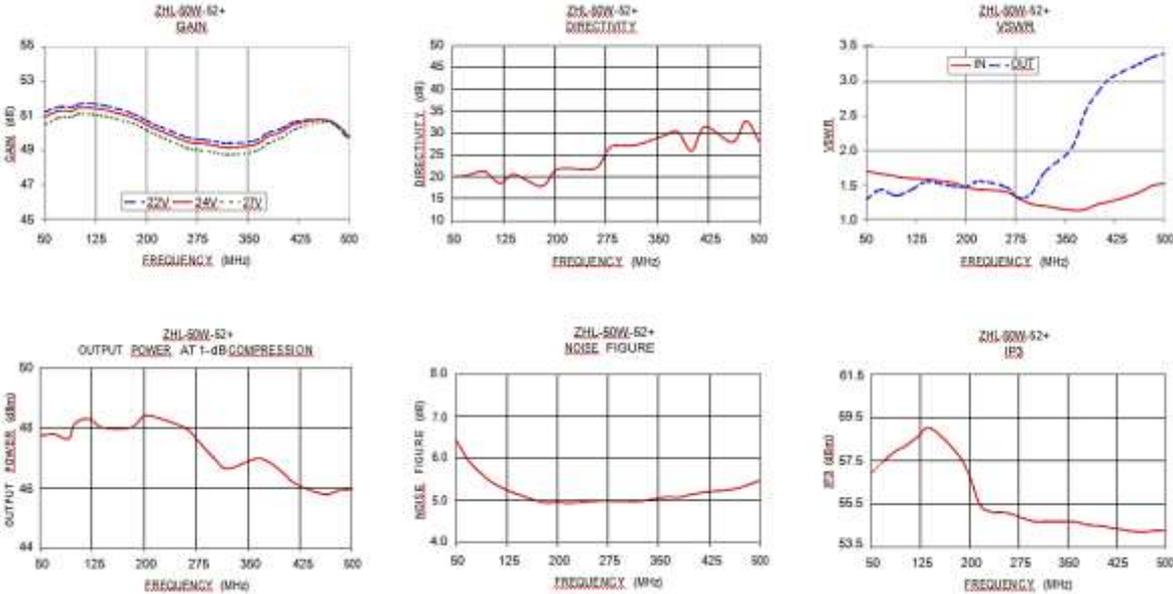
M	N	P	Q	R	S	T	wt
—	—	3.25	.5	6.00	5.1	.135	grams*
—	—	82.55	12.70	152.40	129.54	3.43	4185

*500 grams without heatsink

MOUNTING INFORMATION FOR MODELS WITHOUT HEATSINK.



Fuente: <http://www.minicircuits.com/pdfs/ZHL-50W-52.pdf>



Fuente: <http://www.minicircuits.com/pdfs/ZHL-50W-52.pdf>

Anexo 3 Imágenes de encuestas realizadas en campo



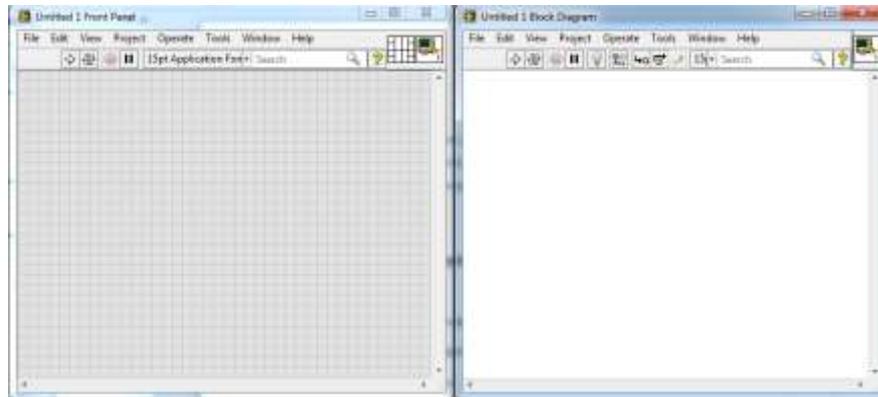
Fuente: Los autores.



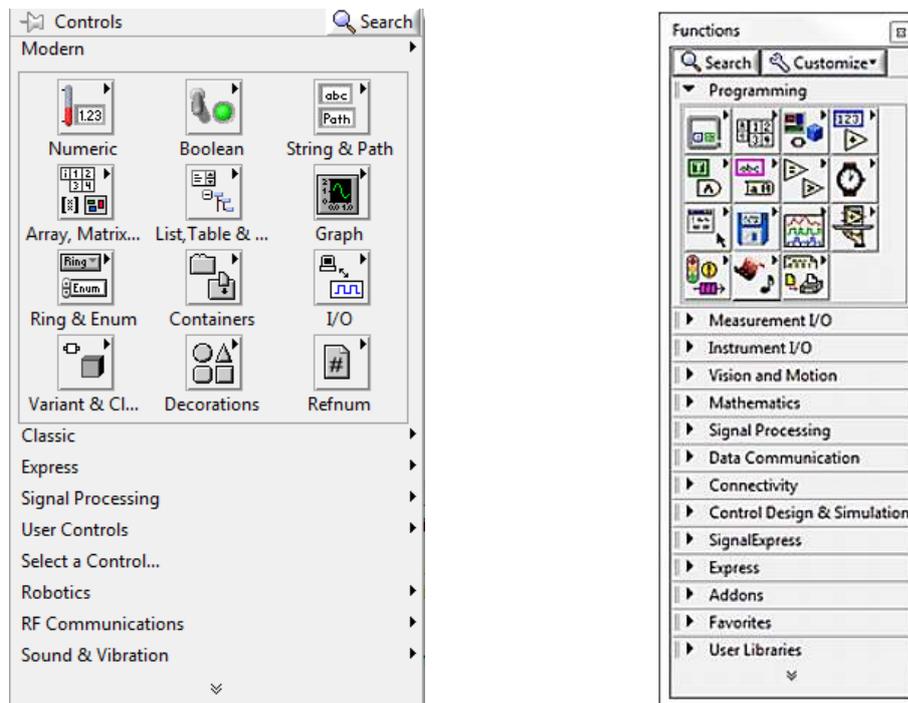
Fuente: Los autores.

Anexo 4 Partes básicas de la interfaz gráfica de LabVIEW

Paneles frontales



Paleta de controles y de funciones



Fuente: Software LabVIEW.

Anexo 5 Tabla de datos de ranking de audiencia según encuestas realizadas por los autores a conductores en la Avenida Quito y 9 de Octubre, Guayaquil.

Escucha Radio				
Si	No	Otros	Banda	Emisora
1			FM	90.5
1			FM	96.9
1			FM	88.9
1			FM	94.9
1			FM	93.3
1			FM	94.9
		1		
1			FM	107.3
	1			
1			FM	92.9
	1			
1			FM	99.7
1			FM	89.7
	1			
	1			
	1			
1			FM	94.1
		1		
1			FM	93.7
1			FM	104.1
1			FM	90.5
1			FM	88.9
1			FM	97.3
	1			
1			FM	88.9
1			FM	94.9
1			FM	90.5
1			FM	89.3
1			FM	93.7
1			FM	90.5
1			FM	90.5
	1			
	1			
1			FM	90.5
1			FM	104.9
1			FM	90.5
1			FM	91.7

		1		
		1		
	1			
	1			
1			FM	88.9
			AM	
1			FM	93.7
	1			
	1			
1			FM	96.1
1			FM	104.9
1			FM	96.9
1			FM	88.9
1			FM	90.5
		1		
	1		FM	99.7
		1		
		1		
1			FM	107.3
1			FM	94.9
1			FM	88.9
	1			
1			FM	88.9
	1			
	1			
1			FM	95.7
1			FM	104.1
1			FM	94.1
	1			
	1			
	1			
	1			
1			FM	93.7
	1			
		1		
1			FM	88.9
	1			
1			FM	96.5
1			FM	96.1
1			FM	97.3
1			FM	89.3
1			FM	88.9
1			FM	90.5
		1		
1			FM	90.5

1			FM	95.7
	1			
	1			
1			FM	99.7
	1			
1			FM	90.5
1			FM	90.5
1			FM	93.7
			AM	
1			FM	98.5
1			FM	88.9
1			FM	96.1
	1			
1			FM	93.7
		1		
	1		FM	93.7
	1		FM	90.5
	1		FM	98.9

Fuente: Los autores.