

**DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS AUDIOVISUALES
INALÁMBRICOS EN UN AEROMODELO RADIO CONTROLADO**

EDUARDO FORERO PEÑA

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BUCARAMANGA**

2011

**DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS AUDIOVISUALES
INALÁMBRICOS EN UN AEROMODELO RADIO CONTROLADO**

EDUARDO FORERO PEÑA

Director de Proyecto de Grado

ALEX ALBERTO MONCLOU SALCEDO

Ingeniero Electrónico, MSc. Telecomunicaciones

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

ESCUELA DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

BUCARAMANGA

2011

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado 1

Jurado 2

Bucaramanga, 04 de mayo de 2011

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia, a mi director de proyecto, a mis profesores, amigos y compañeros, quienes siguieron conmigo el desarrollo de este proyecto y me brindaron su apoyo incondicional, factor clave en la realización de este logro. También agradezco a STUDEM COLOMBIANA LTDA por su asesoría y suministro de componentes esenciales para este proyecto, además a los señores Germán Jaramillo, Marnix Van Geert y Nicolás Sánchez, quienes me brindaron su colaboración y conocimientos en aeromodelismo para así llevar a cabo la implementación de los dispositivos diseñados en el aeromodelo.

Quiero dedicar este trabajo a mi familia, ya que fueron ellos quienes compartieron la mayor parte de mis preocupaciones, desvelos y con quienes ahora quiero compartir este momento al ver realizado aquello que comenzó como una ambiciosa idea.

GLOSARIO

AM: Amplitud modulada, este tipo de modulación se caracteriza la variación de la amplitud de la señal portadora, en función de la amplitud de la señal moduladora.

BANDA: Rango de frecuencias definido para uno o varios servicios específicos.

C-TRIM: Capacitancia variable mecánicamente.

CABLE COAXIAL: Este tipo de cable se caracteriza por la protección que otorga a las señales de alta frecuencia. Básicamente es un hilo conductor por el cual viaja la señal, recubierto por un aislante y este a su vez por una capa de material conductor conectado a la tierra del circuito.

CIRCUITO TANQUE: Circuito oscilador basado en un arreglo de inductancias y capacitancias.

dB: Unidad logarítmica con la cual se expresa la relación de una potencia con respecto a 1W.

dBm: Unidad logarítmica con la cual se expresa la relación de una potencia con respecto a 1mW.

FM: Frecuencia modulada, este tipo de modulación se caracteriza por la variación de la frecuencia de la señal portadora, en función de la amplitud de la señal moduladora.

GANANCIA: Relación de la salida con respecto a la entrada, puede darse como ganancia en potencia, en voltaje o en corriente.

ÍNDICE DE MODULACIÓN: Relación que existe entre las amplitudes de las señales moduladora y portadora.

MODULACIÓN: Proceso mediante el cual se altera un parámetro de una señal portadora en base a la amplitud de una señal moduladora, dicho parámetro a alterar puede ser amplitud, frecuencia, fase, etc.

MODULADORA: Señal de información que se desea transmitir.

PORTADORA: Señal de frecuencia muy superior a la de la moduladora, sobre la cual se realiza la modulación.

REACTANCIA: Oposición al paso de corriente alterna a través de un elemento inductor o capacitivo.

TRIMMER: Resistencia variable mecánicamente.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	14
OBJETIVOS	15
OBJETIVOS GENERALES	15
OBJETIVOS ESPECIFICOS	15
1. DESARROLLO E IMPLEMENTACION DE SISTEMAS AUDIOVISUALES INALAMBRICOS EN UN AEROMODELO RADIO CONTROLADO	16
2. DISEÑO METÓDICO	19
2.1. SELECCIÓN Y ADQUISICION DEL AEROMODELO.....	19
2.2. TRANSMISOR DE FM PARA AUDIO	21
2.2.1. MODULADOR EN FRECUENCIA	22
2.2.2. AMPLIFICADOR DE RF.....	29
2.2.3. ANTENA	34
2.2.4. FILTROS.....	36
2.3. TRANSMISOR DE AM PARA VIDEO.....	39
2.3.1. CÁMARA	39
2.3.2. MODULADOR AM PARA TELEVISION	44
2.3.3. AMPLIFICADOR DE RF.....	46
2.3.4. FILTROS.....	47
2.3.5. ANTENA	47
2.4. RECEPTOR DE FM PARA AUDIO.....	48
2.4.1. EL PARLANTE.....	51
2.4.2. FILTRO DE ENTRADA RF	54
2.4.3. OSCILADOR LOCAL	55
2.4.4. ANTENA	59
2.5. ALIMENTACION DE LOS CIRCUITOS	59
2.6. DISEÑO DE CIRCUITOS IMPRESOS	61
2.7. PROTECCIONES.....	64
2.8. ELABORACION DE INDUCTANCIAS.....	68

2.9.	CALCULO DE POTENCIA PARA RF.....	68
3.	RESULTADOS OBTENIDOS.....	69
3.1.	TRANSMISOR DE FM PARA AUDIO	69
3.2.	RECEPTOR DE FM PARA AUDIO	81
3.3.	TRANSMISOR DE AM PARA VIDEO.....	87
4.	COSTOS	96
5.	MANUAL DE USUARIO	103
5.1.	TRANSMISOR DE FM PARA AUDIO	103
5.2.	RECEPTOR DE FM PARA AUDIO	110
5.3.	TRANSMISOR DE AM PARA VIDEO.....	114
6.	SOLUCION DE FALLAS EN EL FUNCIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS	122
6.1.	TRANSMISOR DE FM PARA AUDIO	122
6.2.	TRANSMISOR DE AM PARA VIDEO.....	124
6.3.	RECEPTOR DE FM PARA AUDIO	125
7.	ANTECEDENTES	126
8.	CONCLUSIONES	127
9.	PUBLICACIONES.....	129
	BIBLIOGRAFÍA	130
	ANEXOS	132
	ANEXO 1	133
	ANEXO 2	135

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Rangos de frecuencias destinados a radio difusión de televisión en VHF.	43
Tabla 2. Valores obtenidos para la elaboración de la caja acustica.	53
Tabla 3. Valores de los elementos del modulador de FM.	69
Tabla 4. Análisis DC del modulador de FM.	69
Tabla 5. Análisis AC del modulador de FM.	70
Tabla 6. Valores de los elementos de la etapa 1 del amplificador de RF para el transmisor de FM.	71
Tabla 7. Análisis DC de la etapa 1 del amplificador de RF para el transmisor de FM.	71
Tabla 8. Análisis AC de la etapa 1 del amplificador de RF para el transmisor de FM.	72
Tabla 9. Valores de los elementos de la etapa 2 del amplificador de RF para el transmisor de FM.	72
Tabla 10. Análisis DC de la etapa 2 del amplificador de RF para el transmisor de FM.	73
Tabla 11. Análisis AC de la etapa 2 del amplificador de RF para el transmisor de FM.	73
Tabla 12. Valores de los elementos de la etapa 2 del amplificador de RF para el transmisor de FM.	73
Tabla 13. Análisis DC de la etapa 3 del amplificador de RF para el transmisor de FM.	74
Tabla 14. Análisis AC de la etapa 3 del amplificador de RF para el transmisor de FM.	74
Tabla 15. Valores para el diseño del filtro de salida del transmisor de FM.	74
Tabla 16. Análisis AC del filtro de salida del transmisor de FM.	74
Tabla 17. Características de la antena del transmisor de FM.	75
Tabla 18. Potencia del transmisor FM.	75
Tabla 19. Valores de los elementos del filtro de entrada RF del receptor de FM.	81
Tabla 20. Valores de los elementos del oscilador local para el receptor de FM.	82
Tabla 21. Frecuencias en hercios (Hz) para las notas musicales y sus correspondientes octavas. ...	87
Tabla 22. Análisis DC de la etapa 1 del amplificador de RF para el transmisor de AM.	87
Tabla 23. Valores de los elementos de la etapa 1 del amplificador de RF para el transmisor de AM.	88
Tabla 24. Análisis AC de la etapa 1 del amplificador de RF para el transmisor de AM.	88
Tabla 25. Valores de los elementos de la etapa 2 del amplificador de RF para el transmisor de AM.	89
Tabla 26. Análisis DC de la etapa 2 del amplificador de RF para el transmisor de AM.	89
Tabla 27. Análisis AC de la etapa 2 del amplificador de RF para el transmisor de AM.	90
Tabla 28. Valores de los elementos de la etapa 2 del amplificador de RF para el transmisor de AM.	90
Tabla 29. Análisis DC de la etapa 2 del amplificador de RF para el transmisor de AM.	91
Tabla 30. Análisis AC de la etapa 2 del amplificador de RF para el transmisor de AM.	91
Tabla 31. Valores para el diseño del filtro de salida del transmisor de FM.	91
Tabla 32. Análisis AC del filtro de salida del transmisor de FM.	92
Tabla 33. Características de la antena del transmisor de FM.	92
Tabla 34. Potencia del transmisor FM.	93

Tabla 35. Costo de materiales para el transmisor de FM.....	96
Tabla 36. Costo de materiales para el receptor de FM.	98
Tabla 37. Costo de materiales para el transmisor de AM para video.	100
Tabla 38. Resumen de costo de los módulos.	102

TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Helicóptero a radio control modelo ROGUE-500.....	21
Figura 2. Diseño del proyecto <i>Micrófono Inalámbrico por FM</i>	22
Figura 3. Modulador en frecuencia.....	24
Figura 4. Análisis en AC para el modulador en frecuencia.	25
Figura 5. Análisis en AC para el circuito reducido del modulador en frecuencia.	26
Figura 6. Corrientes asumidas en el análisis en AC del modulador en frecuencia.	27
Figura 7. Circuito formado entre V_x y V_{out}	29
Figura 8. Amplificador de RF clase A.	30
Figura 9. Etapas de amplificación RF en cascada.	31
Figura 10. Análisis en DC del amplificador de RF.	31
Figura 11. Análisis en AC del amplificador de RF.	33
Figura 12. Análisis en AC de la reducción del amplificador de RF.....	33
Figura 13. Patrones de radiación para una antena aterrizada.	34
Figura 14. Ondas estacionarias de voltaje y corriente para una antena aterrizada de un cuarto de onda.	35
Figura 15. Filtro pasa bajas.	36
Figura 16. Análisis AC del filtro pasa bajas.	37
Figura 17. Reducción del filtro de la figura 14 con relación entre V_{IN} y V_x	37
Figura 18. Reducción del filtro de la figura 14 con relación entre V_x y V_{OUT}	38
Figura 19. Cámara de seguridad a color modelo LB-1000.....	39
Figura 20. Secuencia de barrido para formar una imagen en una pantalla de televisión.....	40
Figura 21. Señal de video de la cámara LB-1000.	41
Figura 22. Partes de una señal de video compuesto.	42
Figura 23. Transmisor de TV doméstico.	44
Figura 24. Transmisor de TV separado en etapas.	45
Figura 25. Circuito del modulador para el transmisor de AM para video.	46
Figura 26. Patrón de radiación para una antena dipolo de media onda.....	47
Figura 27. Antena dipolo instalada en el helicóptero.	48
Figura 28. Circuito propuesto por el fabricante para el funcionamiento del TDA7000 como receptor de FM.	49
Figura 29. Diseño base para receptor de FM.....	50
Figura 30. Sección de hoja de datos del amplificador de audio LM386.	50
Figura 31. Diseño para el receptor de FM.	51
Figura 32. Parlante (a) vista posterior, (b) vista frontal.	51
Figura 33. Ondas sonoras emitidas por el parlante.	52
Figura 34. Efecto producido por la caja acústica sobre la onda sonora.....	52

Figura 35. Caja acústica.	53
Figura 36. Filtro pasa bajas de la entrada del receptor de FM.	54
Figura 37. Análisis AC del filtro de entrada del receptor de FM.	55
Figura 38. Oscilador local del receptor de FM.	56
Figura 39. Análisis en DC del oscilador local del receptor de FM.	56
Figura 40. Análisis en AC para el oscilador local del receptor de FM.	57
Figura 41. Curvas de descarga para baterías Lipo.....	59
Figura 42. Paquete de baterías Lipo para alimentar al transmisor de FM.	60
Figura 43. Paquete de baterías Lipo para alimentar al receptor de FM y al transmisor de AM.....	61
Figura 44. Cara superior del circuito impreso del transmisor de FM.....	62
Figura 45. Cara inferior del circuito impreso del transmisor de FM con vista de los elementos.	63
Figura 46. Cara superior del circuito impreso del receptor de FM.	63
Figura 47. Cara inferior del circuito impreso del receptor de FM con vista de los elementos.....	63
Figura 48. Cara superior del circuito impreso del transmisor de AM.	64
Figura 49. Cara inferior del circuito impreso del transmisor de AM con vista de los elementos.	64
Figura 50. Circuito impreso del transmisor de FM elaborado en fibra de vidrio.....	64
Figura 51. Circuito impreso del receptor de FM elaborado en fibra de vidrio.	65
Figura 52. Circuito impreso del transmisor de AM elaborado en fibra de vidrio.	65
Figura 53. Transmisor de FM en gabinete metálico.....	66
Figura 54. Transmisor de AM en jaula de Faraday fabricada en malla metálica.	66
Figura 55. Receptor de FM en jaula de Faraday fabricada en malla metálica.....	67
Figura 56. Selector para antena.	67
Figura 57. Dimensiones de la inductancia con núcleo de aire.....	68
Figura 58. Comportamiento general del filtro de salida del transmisor de FM.	76
Figura 59. Comportamiento del filtro de salida del transmisor de FM en las frecuencias de trabajo.	76
Figura 60. Señal portadora del transmisor de FM visualizada en el analizador de espectro.	77
Figura 61. Generador de señales ajustado a 100Hz, amplitud de 10mV y señal sinusoidal.	78
Figura 62. Visualización de señal de RF en el analizador de espectro (moduladora con frecuencia de 100Hz, amplitud de 10mV y señal sinusoidal).	78
Figura 63. Generador de señales ajustado a 750Hz, amplitud de 10mV y señal sinusoidal.	79
Figura 64. Visualización de señal de RF en el analizador de espectro (moduladora con frecuencia de 750Hz, amplitud de 10mV y señal sinusoidal)	79
Figura 65. Generador de señales ajustado a 1kHz, amplitud de 10mV y señal sinusoidal.....	80
Figura 66. Visualización de señal de RF en el analizador de espectro (moduladora con frecuencia de 1kHz, amplitud de 10mV y señal sinusoidal).	80
Figura 67. Comportamiento general del filtro de salida del transmisor de FM.	81
Figura 68. Comportamiento del filtro de entrada RF del receptor de FM en la frecuencia de trabajo.	82
Figura 69. Generador de señales ajustado a 261Hz y amplitud de 10mV.....	83

Figura 70. Señal de la figura 43 captada en el osciloscopio (TIME/DIV=1mS, VOLT/DIV = 1)	83
Figura 71. Generador de señales ajustado a 277Hz y amplitud de 30mV.....	84
Figura 72. Señal de la figura 45 captada en el osciloscopio (TIME/DIV=1mS, VOLT/DIV = 1).	84
Figura 73. Generador de señales ajustado a 783Hz y amplitud de 30mV.....	84
Figura 74. Señal de la figura 47 captada en el osciloscopio (TIME/DIV=1mS, VOLT/DIV = 1).	84
Figura 75. Generador de señales ajustado a 1,044kHz y amplitud de 30mV.	85
Figura 76. Señal de la figura 49 captada en el osciloscopio (TIME/DIV=0,2mS, VOLT/DIV = 1).	85
Figura 77. Generador de señales ajustado a 1,3050kHz y amplitud de 30mV.	85
Figura 78. Señal de la figura 51 captada en el osciloscopio (TIME/DIV=0,2mS, VOLT/DIV = 1).	85
Figura 79. Generador de señales ajustado a 1,5660kHz y amplitud de 30mV.	86
Figura 80. Señal de la figura 53 captada en el osciloscopio (TIME/DIV=0,2mS, VOLT/DIV = 1).	86
Figura 81. Comportamiento general del filtro de salida del transmisor de AM para video.....	92
Figura 82. Lectura realizada en el analizador de espectro para la señal del transmisor de AM para video.....	93
Figura 83. Transmisor de AM para video desajustado.....	94
Figura 84. Transmisor de AM para video ajustado.	94
Figura 85. Cable para conexión de batería al transmisor de FM.	103
Figura 86. Correcta instalación del conector al transmisor de FM.	103
Figura 87. Soporte para batería del transmisor de FM.	104
Figura 88. Medición de tensión en batería Lipo 4S 1C.....	104
Figura 89. Sentido correcto para conexión entre la batería y el cable de alimentación del transmisor de FM.	105
Figura 90. Batería correctamente instalada en el transmisor de FM.	105
Figura 91. Conectores correspondientes para entrada de audio.	105
Figura 92. Correcta conexión del cable a la entrada de audio	106
Figura 93. Conector para dispositivo de audio	106
Figura 94. Unidad fuente de audio (computador portátil).....	106
Figura 95. Puerto correspondiente para tomo de audio para transmisor de FM	107
Figura 96. Nivel apropiado de volumen de la unidad de audio para transmisión	107
Figura 97. Antena para el transmisor de FM	108
Figura 98. Terminal de conexión para antena del transmisor de FM	108
Figura 99. Correcta instalación de la antena en el transmisor de FM	108
Figura 100. Transmisor de FM apagado	109
Figura 101. Transmisor de FM encendido	109
Figura 102. Seleccionador de antena con interruptor dispuesto en audio.	110
Figura 103. Batería Lipo 5S 1C para alimentar al receptor de FM y al transmisor de AM.	111
Figura 104. Medición de tensión en batería Lipo 5S 1C.....	111
Figura 105. Correcta instalación de la batería Lipo 5S 1C en su correspondiente compartimento.	112
Figura 106. Seleccionador de energía dispuesto en AUDIO (LED VERDE ENCENDIDO)	112

Figura 107. Ajuste de frecuencia para el receptor de FM empleando un destornillador de pala..	113
Figura 108. Ajuste de volumen para receptor de FM empleando un destornillador de pala	113
Figura 109. Seleccionador de antena dispuesto en video.....	114
Figura 110. Seleccionador de energía dispuesto en VIDEO (LED ROJO ENCENDIDO).....	115
Figura 111. Indicador de encendido del transmisor de AM.	115
Figura 112. Antenas extendidas.....	116
Figura 113. Cable coaxial con conectores tipo F roscado.....	116
Figura 114. Conector tipo F roscado	117
Figura 115. Amplificador de señal de TV	117
Figura 116. Puerto de entrada de señal RF del televisor para VHF/UHF	117
Figura 117. Correcta conexión del cable coaxial al puerto de entrada de señal RF del televisor ..	118
Figura 118. Antena dipolo para televisión.....	118
Figura 119. Correcta instalación de la antena en la carcasa del televisor.....	119
Figura 120. Amplificador de señal RF para televisión y su correcta instalación.....	119
Figura 121. Destornilladores no metálicos.....	119
Figura 122. Imagen emitida por el transmisor de AM y captada por el televisor.	120
Figura 123. Ajuste de nivel en el transmisor de AM empleando un destornillador de pala	120
Figura 124. Ajuste de ganancia en el transmisor de AM empleando un destornillador de pala....	121

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS AUDIOVISUALES INALÁMBRICOS EN UN AEROMODELO RADIO CONTROLADO

AUTOR: EDUARDO FORERO PEÑA

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Electrónica

DIRECTOR: ALEX ALBERTO MONCLOU SALCEDO

RESUMEN

Este proyecto consiste en el diseño e implementación de dispositivos que permitan la transferencia de audio y video de forma inalámbrica entre un helicóptero a escala radio controlado y una estación en tierra, esto como propuesta de un medio alternativo de vigilancia para uso público o privado. Los dispositivos desarrollados emplean modulación en frecuencia para la transferencia de audio y modulación en amplitud para la transferencia de video. Se implementaron los dispositivos en el aeromodelo y como resultado se obtuvo: una transmisión de señal de video a color desde la aeronave hasta un televisor en tierra y una transmisión de señal de audio monofónica desde un transmisor en tierra hasta un receptor en el helicóptero. Dicho receptor cuenta con un amplificador de audio y un parlante especialmente adecuado. Gracias a ello es posible reproducir el sonido con gran intensidad y calidad, además de permitir que éste se propague a una distancia considerable.

PALABRAS

CLAVES:

AEROMODELISMO, HELICÓPTERO, TRANSFERENCIA DE AUDIO, TRANSFERENCIA DE VIDEO

Vo. Bo. DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

ALEX ALBERTO MONCLOU SALCEDO

EXECUTIVE SUMMARY

TITLE: DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF WIRELESS AUDIO VISUAL SYSTEMS IN A RADIO CONTROLLED SCALE AIRCRAFT

AUTHOR: EDUARDO FORERO PEÑA

FACULTY: Electronic Engineering Faculty

MANAGER: ALEX ALBERTO MONCLOU SALCEDO

SUMMARY

This project involves the design and implementation of devices to transfer audio and video wirelessly between a radio controlled scale helicopter and a ground station, this as propose of alternative medium for surveillance of public use or private. The developed devices use frequency modulation in audio transfer and amplitude modulation in video transfer. These devices were implemented in the scale aircraft and as result were obtained: a transfer of a color video signal from the aircraft to a TV in ground and a transfer of mono-phonic audio signal from a ground transmitter to a receiver on the helicopter. This receiver has an audio amplifier and speaker especially suitable, this make possible reproduce the sound with high intensity and quality, besides allow that it will spread to a considerable distance, despite the sound generated by the helicopter's mechanism.

KEYWORDS:

AUDIO TRANSFER, HELICÓPTER, SCALE AIRCRAFT,
VIDEO TRANSFER

Vo. Bo. PROJECT MANAGER

INTRODUCCIÓN

Desde su descubrimiento, las ondas electromagnéticas mostraron un futuro prometedor como medio para transmitir información de un punto a otro. La forma en cómo se emplea esta herramienta, ha ido evolucionando con el pasar del tiempo, dando origen a un sinnúmero de avances revolucionarios, así como aplicaciones que han ido supliendo las necesidades tecnológicas de la humanidad.

La rápida evolución de la electrónica y las telecomunicaciones, ha moldeado el mundo hasta lo que se conoce ahora, y en su afán por perfeccionarse cambian constantemente el entorno y la forma en la cual la sociedad se desarrolla, brindándole métodos y herramientas que faciliten cada vez más las tareas de la vida cotidiana. A partir de ello, no es de asombrar que las tecnologías existentes en el mercado sean reemplazadas frecuentemente por versiones mejoradas, ya que los adelantos en cuanto a métodos para el tratamiento de señales evolucionan y los dispositivos electrónicos que se fabrican son cada vez más eficientes y compactos.

Una parte de dichos adelantos se ha enfocado en el campo de la aeronáutica. Una extensión de ella, el aeromodelismo, ha surgido como una disciplina basada en el diseño, construcción y control de aeronaves a escala. Estas, junto con los adelantos en telecomunicaciones, han dado paso a una gran cantidad de aplicaciones, entre las que se destacan: seguimiento de eventos deportivos, labores de inteligencia en las fuerzas armadas, o bien como aeronaves equipadas con armamento, el cual puede programarse lanzar sobre un objetivo específico.

En este documento se desarrolla una de ellas, esta consiste en la transmisión de audio y video en tiempo real entre una aeronave radio controlada y una estación en tierra. Se explicará de forma detallada y clara el proceso llevado a cabo, de manera que el lector comprenda a plenitud el desarrollo del proyecto.

OBJETIVOS

OBJETIVOS GENERALES

Diseñar, construir, implementar y adaptar dispositivos audiovisuales inalámbricos en una aeronave radio controlada a escala, esto como propuesta de un medio alternativo de vigilancia para uso público o privado.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar el funcionamiento del aeromodelo elegido y realizar las modificaciones necesarias, a fin de implementar los sistemas que se desean sin que este pierda sus capacidades de vuelo.
- Diseñar, construir e implementar un sistema audiovisual inalámbrico, conformado por una cámara a color, un transmisor de FM para audio, un transmisor de AM para video y sus respectivos receptores.
- Implementar los dispositivos anteriormente mencionados al aeromodelo.

1. DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS AUDIOVISUALES INALÁMBRICOS EN UN AEROMODELO RADIO CONTROLADO

Las telecomunicaciones, un campo muy extenso con infinidad de aplicaciones, abren sus puertas al mundo para brindarle herramientas y soluciones que permitan una mejor calidad de vida, partiendo desde la búsqueda de la comodidad de los usuarios, pasando por el constante desarrollo de las técnicas y dispositivos que se emplean, hasta llegar a su punto de aplicación en la vida cotidiana. Sin duda, la capacidad de llevar información de un punto a otro, sea larga o corta la distancia, es una herramienta de gran utilidad y que ofrece una cantidad de aplicaciones.

Por otra parte, las necesidades de la sociedad parecieran no ser satisfechas completamente, una de ellas, es la seguridad en las ciudades. Pese a la instalación de cámaras y demás equipos de vigilancia, uso de personal para patrullajes y puntos de control, estos parecen no ser suficientes para mantener un nivel de seguridad adecuado. Además, dichas medidas representan un gasto de recursos que bien podrían ser empleados para suplir otras necesidades de la comunidad.

Tomando como ejemplo a analizar, una serie de cámaras de seguridad instaladas en postes de luz. Desde el punto de vista de funcionalidad y eficacia, estos equipos ofrecen una amplia cobertura, sin embargo, el usuario no puede ver lo que hay detrás de objetos como vehículos, árboles o vallas publicitarias, para tener conocimiento de ello tendría que instalar más cámaras que cubran dichas zonas o asistirse de un personal que inspeccione el área en determinadas circunstancias, esto representa un riesgo, ya que un criminal armado podría esconderse allí, al igual que un vehículo sospechoso o un paquete que contenga un dispositivo explosivo, de forma que peligrarían las vidas de los civiles.

Ahora bien, visto desde el punto de vista económico, cada equipo tiene un valor, a esto hay que sumarle el costo de cableado, instalación y mantenimiento periódico, implica entonces una elevada inversión si se desea instalar cierta cantidad de cámaras en un sector o en un edificio. Por otra parte, el mantenimiento y reparación de las unidades en algunas circunstancias resulta peligroso para el encargado de dicha labor, tampoco es bueno que una cámara de seguridad no

esté funcionando durante un largo periodo de tiempo, pues puede darse para actos delictivos.

En base a lo anterior, se propuso construir una serie de unidades para la transmisión de audio y video destinados a implementarse en una aeronave radio controlada a escala, esta herramienta además tendría grandes posibilidades en otras aéreas como búsqueda y rescate. Para cumplir con ello, se realizó una apropiada investigación respecto a aeromodelismo, radio difusión sonora y radio difusión de televisión analógica.

Se analizaron algunos diseños de circuitos de radio destinados a transmisión de sonido e imágenes, estos sirvieron como punto de partida para estudiar su funcionamiento y desarrollar prototipos. Posteriormente se realizaron modificaciones a dichos diseños a fin de adecuarlos a las finalidades deseadas.

Como resultado se obtuvo una emisora de FM, esta se sitúa en tierra y puede transmitir una señal de audio proveniente de un computador u otro equipo de sonido, esto por medio de radio frecuencia. La potencia del dispositivo le permite enviar la señal hasta varios cientos de metros a la redonda. Se elaboró también un receptor de FM de alta sensibilidad, esta unidad cuenta con un amplificador de audio y un parlante acondicionado, con el fin de obtener una intensidad y calidad de sonido adecuadas para ser percibido con claridad a pesar del ruido generador por el aeromodelo en funcionamiento.

Por otra parte se elaboró una emisora de AM, la cual transmite la señal de video de una cámara a bordo hasta un televisor en tierra, donde esta es recibida, dando al usuario una vista desde el aeromodelo en tiempo real.

Las modificaciones realizadas a los diseños base obedecieron principalmente a mejorar la sintonización entre los equipos, aumentar la potencia radiada, reducir armónicos y reducir niveles de ruido.

Las unidades para recepción de audio y transmisión de video fueron instaladas en el aeromodelo, de forma tal que el peso de estas no alterará el balance de la aeronave, así como sus capacidades de vuelo.

En resumen, la aeronave equipada le da al usuario dos modalidades: una para emitir sonido que este reciba mediante FM desde el transmisor en tierra y otra que le permite observar en tiempo real lo que la cámara a bordo capta.

Gracias a esta aeronave, las autoridades o un grupo privado pueden prestar un servicio de vigilancia, con una cobertura dada por el alcance de las unidades construidas, la radio del aeromodelo, las fuentes de energía de los equipos y las condiciones del terreno.

2. DISEÑO METÓDICO

Funcionalmente el proyecto gira en torno a tres partes: aplicación, transferencia de audio y de video. Cada una de ellas compuesta a su vez por sub-etapas las cuales permiten cumplir con los requerimientos propuestos.

La aplicación consiste en la correcta instalación de los dispositivos para transmisión de video y recepción de audio en la aeronave. Una mala distribución del peso provocaría que esta volara de forma indeseable y sería propenso a accidentarse por su dificultad de control en dicha situación.

La transferencia de audio básicamente consta de un transmisor en tierra, el cual se puede conectar a alguna unidad de sonido como lo es un computador, reproductor de música o un micrófono con amplificador. A su vez un receptor situado en el helicóptero capta las señales de radio que el transmisor le envía, este reproduce el sonido mediante un parlante adecuado, de forma que proporcione una intensidad sonora lo suficientemente fuerte como para ser percibida a pesar del ruido del aeromodelo en funcionamiento.

Finalmente, la transferencia de video se basa en un transmisor de AM, el cual toma la señal de una cámara analógica y la envía al aire en forma de ondas de radio, estas son captadas por un televisor adecuado con una antena y un amplificador de señal. En él se observan en tiempo real las imágenes que percibe la cámara a bordo de la aeronave.

2.1. SELECCIÓN Y ADQUISICIÓN DEL AEROMODELO

La selección del aeromodelo fue el primer paso a seguir, ya que la máquina debía ser capaz de llevar a bordo los dispositivos que se diseñarían posteriormente, por ello, dicho modelo debía ser lo suficientemente grande y con una adecuada capacidad de sustentación para volar sin mayores inconvenientes después de instalados los dispositivos. Dada la finalidad del proyecto como equipo para vigilancia, se requirió una aeronave capaz de mantenerse estable en un punto, a partir de ello se optó por un helicóptero.

La complejidad de este modelo, tanto en su electrónica como en la física que rige su vuelo, requirió de una exhaustiva investigación, debido a que podrían verse comprometidas sus capacidades de maniobrabilidad en caso de ser instalados los dispositivos de forma inadecuada.

Para la investigación acerca de helicópteros se acudió al Club de Aerodelismo de Bucaramanga, donde se consultaron aerodelistas experimentados acerca de la complejidad de estas máquinas y su dificultad de manejo. También se consultó respecto a donde se podrían adquirir dichas aeronaves. Infortunadamente en Colombia no se consiguen fácilmente y los precios son excesivos, por lo que se acudió a la compra vía internet a la empresa Banana Hobby en Estados Unidos.

Antes de adquirir el helicóptero definitivo por este medio, se realizaron algunas pruebas de funcionamiento con un modelo de menor tamaño al requerido, esto con el fin de analizar la física que determina su vuelo. Gracias a ello se realizaron algunas observaciones y conclusiones, las cuales servirían para elegir un modelo de helicóptero adecuado para el proyecto. Esta decisión se basó en algunos parámetros tales como: tamaño, peso, tipo de aerodelo, características de la batería y radio control.

Un modelo apto para el proyecto debía ser resistente, de gran maniobrabilidad, suficientemente pesado para evitar ser arrastrado fácilmente por las corrientes de aire, con una batería de alta corriente de descarga y un radio control de suficientes mandos, de tal forma que permitieran al usuario tener el control completo de la aeronave en vuelo. La frecuencia de la radio debía ser alta para no interferirse con los dispositivos a implementar y la distancia a la cual el receptor podía recibir la señal suficiente para las pruebas de vuelo.

Con base en los requerimientos antes mencionados, se eligió el modelo de helicóptero ROGUE-500 (ver figura 1), del cual se presentan sus características a continuación:

- Diámetro del rotor principal: 800 mm
- Diámetro del rotor de cola: 177 mm
- Largo: 600 mm
- Alto: 225 mm
- Peso en vuelo (Batería incluida): 1000 grs
- Motor: Brushless 1600 kV

- Servos: 4 micro servos de alta velocidad de 17 grs marca Blitz
- Batería: Lipo 11.1 V, 2400 mAh, 20C
- Radio: 6 canales CCPM multifuncional, 2.4 GHz
- Alcance de la radio: 900 m
- Tipo de modelo: Acrobático

Figura 1. Helicóptero a radio control modelo ROGUE-500 con el equipo desarrollado instalado.
Fuente: Autor del texto.



2.2. TRANSMISOR DE FM PARA AUDIO

La radio, uno de los medios de comunicación más sobresalientes en la época de las comunicaciones analógicas, logró su reconocimiento gracias a las modulaciones en amplitud (AM) y en frecuencia (FM). Estas fueron la base para el desarrollo de la radio y su uso comercial.

Después de una investigación, dadas las ventajas y desventajas que estos dos tipos de modulación presentan, se optó por FM, debido a la calidad de la señal y eficiencia en el manejo de la potencia.

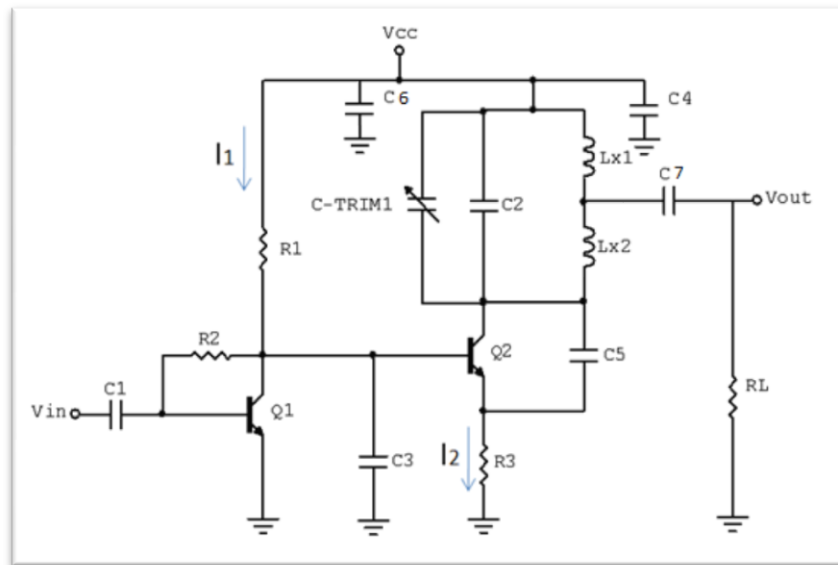
funcionamiento, dicho montaje permitió llegar a importantes conclusiones, las cuales llevaron a modificaciones en esta etapa:

- Dado que el transmisor de FM se desea conectar a una fuente de audio distinta a un micrófono, se requirió una ganancia menor en el pre amplificador.
- La frecuencia de la portadora era inestable y dependía de la alimentación del circuito. Durante la descarga de la batería cambiaba la frecuencia de la portadora, para evitar esto se instaló un regulador de tensión entre la batería y el circuito, de esta forma se mantiene un valor de tensión en la alimentación y se estabiliza la frecuencia de la portadora por un periodo de tiempo mayor.
- La potencia de salida tomada en la antena rondaba los -20dBm, lo que equivale a 10uW y un alcance de 30m. Se requirió diseñar etapas de amplificación para radiar hasta la distancia deseada.
- Fue necesario realizar el montaje sobre una tarjeta en fibra de vidrio, a fin de evitar problemas de ruido dados por otros materiales a causa de la frecuencia.
- Fue necesario calcular la inductancia del modulador, ya que el circuito LC que se formaba entre esta y la capacitancia de 12pF dependía en gran medida del valor de la inductancia, la cual es susceptible a cambios de temperatura y elementos metálicos cercanos, por lo que se reemplazó por una de menor valor inductivo. A consecuencia de ello, fue necesario aumentar el valor de la capacitancia del circuito LC, con el objetivo de mantener la frecuencia de la portadora menor a 110MHz.
- El ajuste de la frecuencia de la portadora era problemático, para solucionarlo se agregó un C-trim de bajo valor en paralelo a la capacitancia del circuito LC. Ello permite realizar ajustes menores.

La etapa de pre amplificación está unida al modulador, es decir, no hay una capacitancia de acople entre ellas, por lo que se planteó un modelo matemático en el cual se consideren todas las variables de estas dos etapas, además, se acondicionó al diseño original una capacitancia variable en paralelo al circuito tanque, de tal forma que permitiera realizar ajustes finos a la frecuencia de la

portadora, también se adicionó una capacitancia en el extremo del circuito oscilador, a fin de evitar que la vía del circuito impreso que une el circuito tanque con la alimentación fuese tomada como inductancia. (Ver figura 3).

Figura 3. Modulador en frecuencia. Fuente: Autor del texto.



2.2.1.1. ANÁLISIS EN DC

Se plantearon las ecuaciones sin señal. Las capacitancias se tomaron como circuitos abiertos y las inductancias como corto circuitos, al ser Q1 y Q2 del mismo modelo, se realizaron las aproximaciones $\beta_1 = \beta_2 = \beta$ y $V_{BE1} = V_{BE2} = V_{BE}$. Siendo así se obtiene:

$$V_{CC} - I_1 \cdot R_1 - (I_1 / \beta) \cdot R_2 - V_{BE} = 0 \quad (1)$$

Despejando I_1 de la ecuación 1 se obtiene:

$$I_1 = \beta \cdot (V_{CC} - V_{BE}) / (\beta \cdot R_1 + R_2) \quad (2)$$

$$V_{CE1} = V_{CC} - I_1 \cdot R_1 \quad (3)$$

$$V_{CE1} - V_{BE} - R_3 \cdot I_2 = 0 \quad (4)$$

Despejando I_2 de la ecuación 4:

$$I_2 = (V_{CE1} - V_{BE}) / R_3 \quad (5)$$

Reemplazando la ecuación 3 en la ecuación 5:

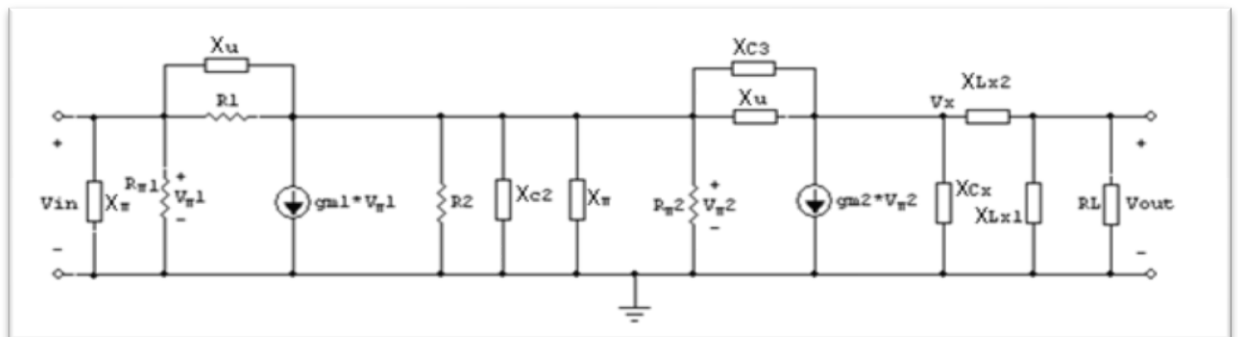
$$I_2 = (V_{CC} - I_1 * R_1 - V_{BE}) / R_3 \quad (6)$$

$$V_{CE2} = V_{CC} - I_2 * R_3 \quad (7)$$

2.2.1.2. ANÁLISIS EN AC

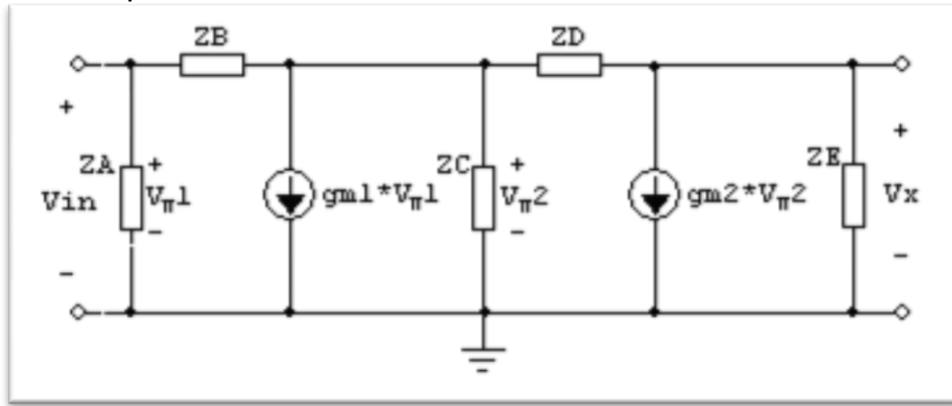
Debido a que se trabajará con una señal portadora de frecuencia máxima 110 MHz, fue necesario considerar en el análisis el efecto de las capacitancias parásitas de los transistores, se tomaron como corto circuito las capacitancias C_1 y C_7 , las capacitancias restantes, así como las inductancias, se tomaron como reactancias. Dado que la capacitancia C_2 no tiene una reactancia capacitiva lo suficientemente baja en la frecuencia de trabajo, esta no se consideró como corto circuito, algo similar se dio para las inductancias L_{X1} y L_{X2} , donde la reactancia inductiva no fue lo suficientemente alta para tomarse como circuito abierto. La capacitancia C_3 atenúa las frecuencias altas de la señal de audio que salen del pre amplificador, por último, la capacitancia C_5 es un acople para la señal RF de la portadora, por ello no se tomó como un corto circuito, ya que haría $V_{CE} = 0$ alterando drásticamente el circuito tanque y por tanto la señal de la portadora. A partir de lo anterior se planteó un modelo de circuito para pequeña señal. (Ver figura 4).

Figura 4. Análisis en AC para el modulador en frecuencia. Fuente: Autor del texto.



Dada la complejidad del anterior circuito, se realizó una reducción de este, reemplazando las resistencias en serie y paralelo por equivalentes, de esta forma se facilitaron los cálculos. (Ver figura 5).

Figura 5. Análisis en AC para el circuito reducido del modulador en frecuencia. Fuente: Autor del texto.



Dónde:

$$Z_A = X_{\pi} \parallel R_{\pi 1} \quad (8)$$

$$Z_B = R_1 \parallel X_{\mu} \quad (9)$$

$$Z_C = R_2 \parallel X_{C3} \parallel X_{\pi} \parallel R_{\pi 2} \quad (10)$$

$$Z_D = X_{C5} \parallel X_u \quad (11)$$

$$Z_E = X_{C2} \parallel (X_{LX2} + (X_{LX1} \parallel R_L)) \quad (12)$$

$$X_{\pi} = 1 / (2 * \pi * f * C_{\pi}) \quad (13)$$

$$X_{\mu} = 1 / (2 * \pi * f * C_u) \quad (14)$$

$$X_{C2} = 1 / (2 * \pi * f * C_2) \quad (15)$$

$$X_{C3} = 1 / (2 * \pi * f * C_3) \quad (16)$$

$$X_{C5} = 1 / (2 * \pi * f * C_5) \quad (17)$$

$$X_{LX1} = 2 * \pi * f * L_{X1} \quad (18)$$

$$X_{LX2} = 2 * \pi * f * L_{X2} \quad (19)$$

$$R_{\pi1} = \beta / gm_1 \quad (20)$$

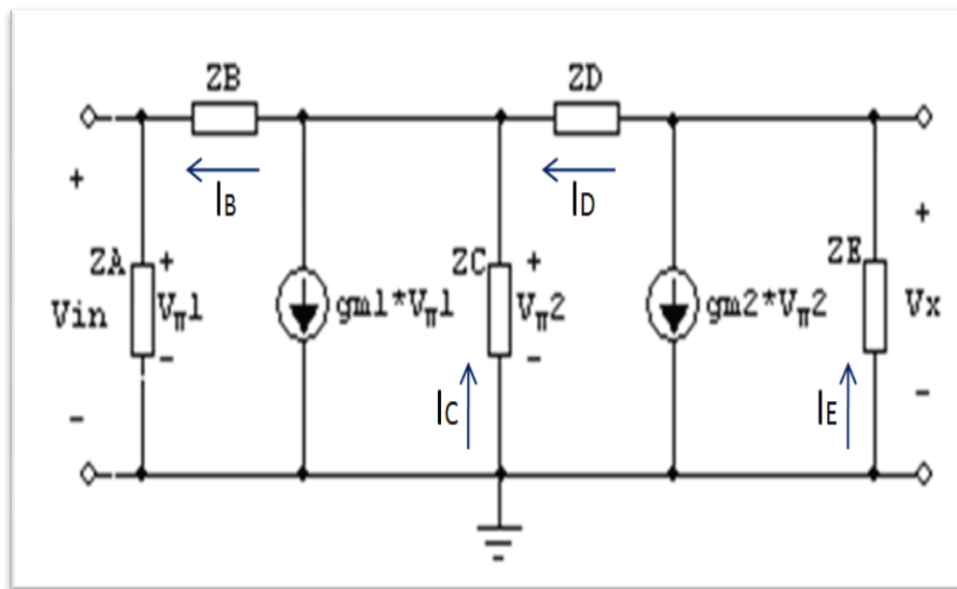
$$R_{\pi2} = \beta / gm_2 \quad (21)$$

$$gm_1 = I_1 / V_T \quad (22)$$

$$gm_2 = I_2 / V_T \quad (23)$$

A partir del anterior circuito se realizó un modelo matemático que relaciona la entrada V_{in} con el punto V_x . Para ello se plantearon las corrientes que circulan por este como se muestra en la figura 6:

Figura 6. Corrientes asumidas en el análisis en AC del modulador en frecuencia. Fuente: Autor del texto.



A partir de las corrientes asumidas, se obtuvo la siguiente serie de ecuaciones:

$$I_B = (V_{\pi2} - V_{\pi1}) / Z_B \quad (24)$$

$$I_C = - V_{\pi2} / Z_C \quad (25)$$

$$I_D = (V_x - V_{\pi2}) / Z_D \quad (26)$$

$$I_E = -V_X / Z_E \quad (27)$$

$$gm_2 * V_{\pi 2} = I_E - I_D \quad (28)$$

Reemplazando las ecuaciones 26 y 27 en la ecuación 28 se obtiene:

$$gm_2 * V_{\pi 2} = - (V_X / Z_E) - ((V_X - V_{\pi 2}) / Z_D) \quad (29)$$

Despejando $V_{\pi 2}$ de la ecuación 29:

$$V_{\pi 2} = -V_X * (Z_D + Z_E) / [Z_E * (gm_2 * Z_D - 1)] \quad (30)$$

Reemplazando la ecuación 30 en las ecuaciones 24, 25 y 26:

$$I_B = \{ [-V_X * (Z_D + Z_E)] / [Z_B * Z_E * (gm_2 * Z_D - 1)] \} - (V_{\pi 1} / Z_B) \quad (31)$$

$$I_C = V_X * (Z_D + Z_E) / [Z_C * Z_E * (gm_2 * Z_D - 1)] \quad (32)$$

$$I_D = V_X * (gm_2 * Z_E + 1) / [R_E * (gm_2 * Z_D - 1)] \quad (33)$$

$$gm_1 * V_{\pi 1} = I_C + I_D - I_B \quad (34)$$

Reemplazando las ecuaciones 31, 32 y 33 en la ecuación 34:

$$gm_1 * V_{\pi 1} = \{V_X * (Z_D + Z_E) / [Z_C * Z_E * (gm_2 * Z_D - 1)]\} + \{V_X * (gm_2 * Z_E + 1) / [Z_E * (gm_2 * Z_D - 1)]\} + \{[V_X * (Z_D + Z_E)] / [Z_B * Z_E * (gm_2 * Z_D - 1)]\} + (V_{\pi 1} / Z_B) \quad (35)$$

Despejando V_X de la ecuación 35:

$$V_X = [V_{\pi 1} * Z_C * Z_E * (Z_D * gm_2 - 1) * (Z_B * gm_1 - 1)] / \{ [Z_B * Z_C * (Z_E * gm_2 + 1)] + [(Z_D + Z_E) * (Z_B + Z_C)] \} \quad (36)$$

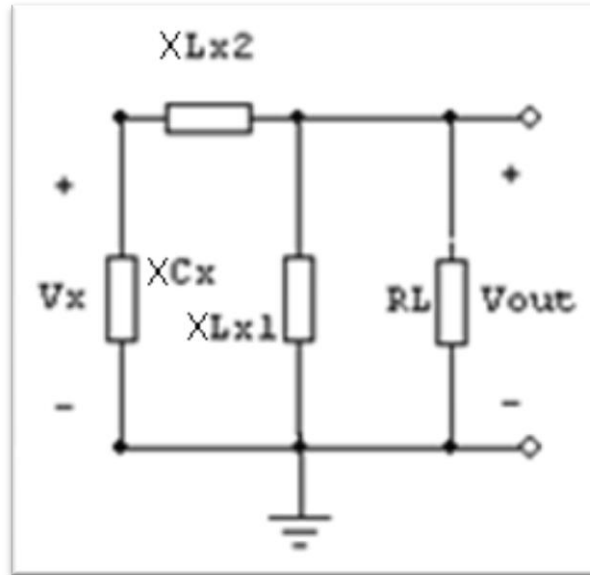
$$V_{in} = V_{\pi 1} \quad (37)$$

Reemplazando la ecuación 37 en la ecuación 36:

$$V_X = [V_{in} * Z_C * Z_E * (Z_D * gm_2 - 1) * (gm_1 * Z_B - 1)] / \{ [Z_B * Z_C * (Z_E * gm_2 + 1)] + [(Z_D + Z_E) * (Z_B + Z_C)] \} \quad (38)$$

Se planteó el siguiente circuito que relaciona V_X con V_{OUT} . (Ver figura 7).

Figura 7. Circuito formado entre V_X y V_{out} . Fuente: Autor del texto.



Como se aprecia en la figura 7, V_{OUT} se obtiene de un divisor de tensión formado entre X_{Lx2} y el paralelo de X_{Lx1} y R_L .

$$V_{OUT} = V_X * (X_{Lx1} \parallel R_L) / [X_{Lx2} + (X_{Lx1} \parallel R_L)] \quad (39)$$

Remplazando la ecuación 38 en la ecuación 39:

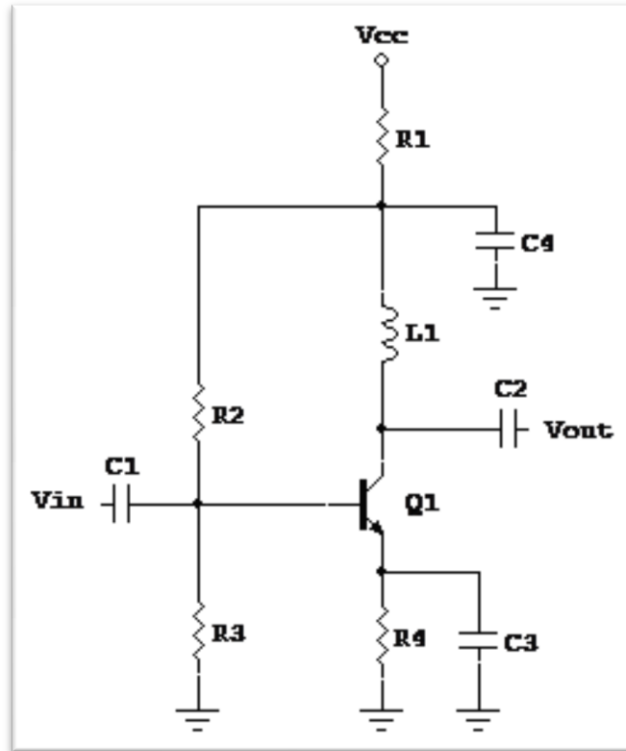
$$A_V = V_{OUT} / V_{IN} = [Z_C * Z_E * (X_{Lx1} \parallel R_L) * (Z_D * gm_2 - 1) * (gm_1 * Z_B - 1)] / ([X_{Lx2} + (X_{Lx1} \parallel R_L)] * \{ [Z_B * Z_C * (Z_E * gm_2 + 1)] + [(Z_D + Z_E) * (Z_B + Z_C)] \}) \quad (40)$$

$$A_V(\text{dB}) = 20 * \log (A_V) \quad (41)$$

2.2.2. AMPLIFICADOR DE RF

Teniendo el modulador en funcionamiento, se procedió a construir las etapas de amplificación RF, las cuales le brindarían mayor alcance a la señal al aumentar la potencia radiada. Para esto se emplearon amplificadores clase A en cascada. (Ver figura 8).

Figura 8. Amplificador de RF clase A. Fuente: Proyecto de grado "Transmisor didáctico de FM en la banda de 88 a 108MHz" presentado a la UPB Bucaramanga en 2006.



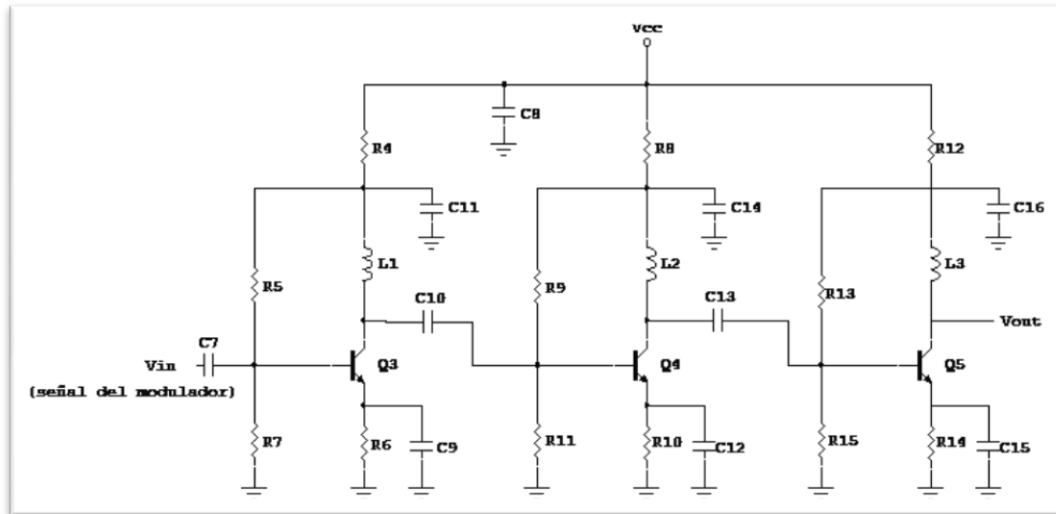
El diseño expuesto anteriormente presenta una limitación en cuanto a ganancia, esta es de 10dBm para el modelo de transistor empleado en el diseño original, el cual es un 2N4427.

Para este diseño se empleó el modelo de transistor con referencia 2N2369, este dispositivo opera a una frecuencia máxima de 500MHz, soporta una corriente de colector de 200mA y posee un encapsulado metálico del tipo TO-18. La elevada frecuencia a la cual puede operar el dispositivo es adecuada, debido a que al trabajar con una frecuencia de portadora 110MHz, los primeros armónicos se dan aproximadamente en 220MHz y 330MHz, por lo que no representan mayor riesgo para sobrecargar el transistor.

La potencia máxima que disipa el dispositivo es de 360mW, sin embargo, por seguridad no se le exigió dicha cantidad. Por otra parte, este modelo de transistor a comparación del 2N4427 no entrega la misma potencia, ya que para el 2N2369 la ganancia en potencia (G_p) está alrededor de los 6dB, sin embargo, este modelo es más sencillo de conseguir en el mercado que su contra parte. Para lograr una

cobertura suficiente de la señal se plantea diseñar tres etapas de amplificación en cascada, cada una con ganancia de 6dB. (Ver figura 9).

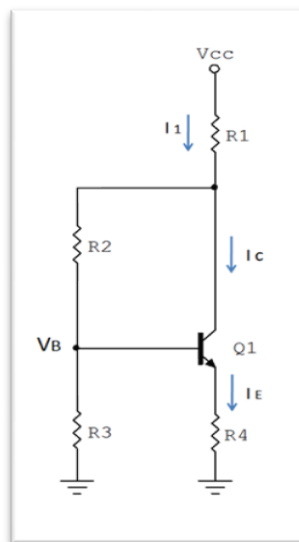
Figura 9. Etapas de amplificación RF en cascada. Fuente: Autor del texto.



2.2.2.1. ANÁLISIS EN DC

Se disponen las capacitancias como circuitos abiertos y las inductancias como cortos circuitos. (Ver figura 10).

Figura 10. Análisis en DC del amplificador de RF. Fuente: Autor del texto.



$$V_{CC} - I_C * R_1 - I_E * R_4 = V_{CE} \quad (42)$$

$$I_C \approx I_E \quad (43)$$

Reemplazando la ecuación 43 en la ecuación 42:

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C * (R_1 + R_4) \quad (44)$$

$$I_1 \approx I_C \quad (45)$$

$$V_B = (V_{CC} - I_1 * R_1) * R_3 / (R_2 + R_3) \quad (46)$$

Reemplazando la ecuación 45 en la ecuación 46:

$$V_B = (V_{CC} - I_C * R_1) * R_3 / (R_2 + R_3) \quad (47)$$

$$V_B - V_{BE} - I_E * R_4 = 0 \quad (48)$$

Reemplazando la ecuación 43 en la ecuación 48:

$$V_B - V_{BE} - I_C * R_4 = 0 \quad (49)$$

$$I_C = (V_B - V_{BE}) / R_4 \quad (50)$$

Reemplazando la ecuación 47 en la ecuación 50:

$$I_C = (V_{CC} * R_3 - V_{BE} * (R_2 - R_3)) / (R_4 * (R_2 + R_3) + R_1 * R_3) \quad (51)$$

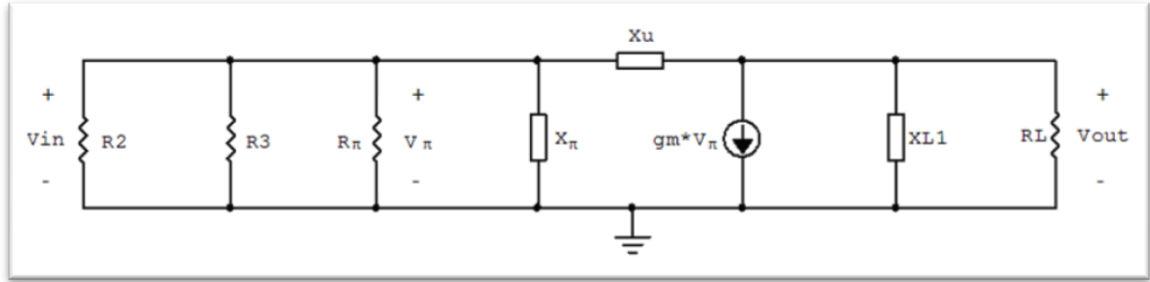
Reemplazando la ecuación 51 en la ecuación 44:

$$V_{CE} = V_{CC} - (R_1 + R_4) * ((V_{CC} * R_3 - V_{BE} * (R_2 + R_3)) / (R_4 * (R_2 + R_3) + R_1 * R_3)) \quad (52)$$

2.2.2.2. ANÁLISIS EN AC

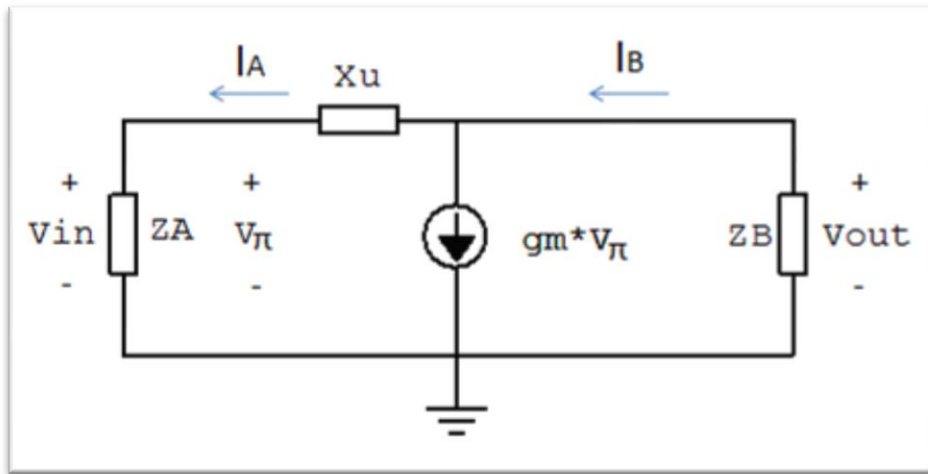
Para este análisis se tomaron como corto circuitos las capacitancias de acople, la inductancia como una reactancia, al igual que las capacitancias internas del transistor. (Ver figura 11).

Figura 11. Análisis en AC del amplificador de RF. Fuente: Autor del texto.



Dada la extensión del circuito, se realizó una reducción reemplazando las resistencias en paralelo por equivalentes. (Ver figura 12).

Figura 12. Análisis en AC de la reducción del amplificador de RF. Fuente: Autor del texto.



$$Z_A = R_2 \parallel R_3 \parallel R_{\pi} \parallel X_{\pi} \quad (53)$$

$$Z_A = R_2 * R_3 * R_{\pi} * X_{\pi} / (R_2 * R_3 * (R_{\pi} + X_{\pi}) + R_{\pi} * X_{\pi} * (R_2 + R_3)) \quad (54)$$

$$Z_B = R_L \parallel Z_{L1} \quad (55)$$

$$Z_B = R_L * Z_{L1} / (R_L + Z_{L1}) \quad (56)$$

$$X_{L1} = 2 * \pi * L_1 * f \quad (57)$$

$$X_{\mu} = 1 / (2 * \pi * C_{\mu} * f) \quad (58)$$

$$X_{\pi} = 1 / (2 * \pi * C_{\pi} * f) \quad (59)$$

$$R_{\pi} = \beta / g_m \quad (60)$$

$$V_{\pi} = V_{IN} \quad (61)$$

$$g_m = I_C / V_T \quad (62)$$

$$I_A = (V_{OUT} - V_{IN}) / X_{\mu} \quad (63)$$

$$g_m * V_{\pi} = I_B - I_A \quad (64)$$

$$I_B = - V_{OUT} / Z_B \quad (65)$$

$$V_{OUT} / V_{IN} = - Z_B * (g_m * X_{\mu} - 1) / (X_{\mu} + Z_B) = A_V \quad (66)$$

$$A_V = Z_B * (2 * \pi * C_{\mu} * f - g_m) / (2 * \pi * C_{\mu} * f * Z_B + 1) \quad (67)$$

2.2.3. ANTENA

Este dispositivo tiene como función transformar las señales del transmisor en ondas electromagnéticas que viajan al medio. Dado que el módulo del transmisor de FM opera en tierra, pudo emplearse un tipo de antena que aprovechara dicha cualidad para que el tamaño de esta no fuese excesivo. Con base en lo anterior se empleó una antena mono-polo vertical (ver figura 13), esta es una antena aterrizada, ya que esta se encuentra formada básicamente por un elemento perpendicular al plano terrestre. Dicho plano es tomado como reflejo de tal forma que se crea el elemento complementario de la antena. (Ver figura 14).

Figura 13. Patrones de radiación para una antena aterrizada. Fuente: SISTEMAS DE COMUNICACIONES ELECTRÓNICAS de Wayne Tomasi, 4ta edición.

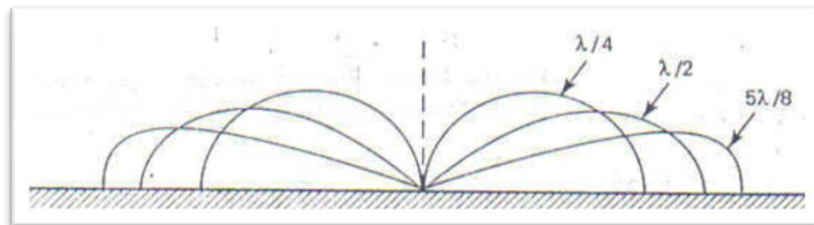
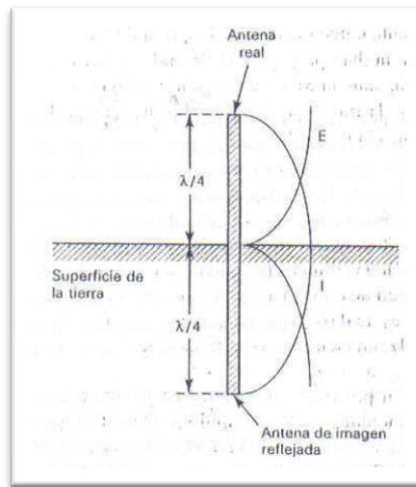


Figura 14. Ondas estacionarias de voltaje y corriente para una antena aterrizada de un cuarto de onda. Fuente: SISTEMAS DE COMUNICACIONES ELECTRÓNICAS de Wayne Tomasi, 4ta edición.



Este tipo de antena posee una impedancia de 36Ω y una ganancia mayor a la del dipolo, experimentalmente esta se encuentra entre 3dBi y 17dBi. Tanto el mono polo como el dipolo tienen la ventaja de ser omnidireccionales, ello significa que las ondas radiadas salen en todas las direcciones. Para este proyecto resulta muy conveniente dicha característica, ya que la aeronave estará en desplazamiento constante y una antena directiva no sería cómoda para el usuario, debido a que requeriría un dispositivo mecánico o un asistente encargado de apuntar al aeromodelo con ella para no perder señal.

La antena empleada posee una longitud de cuarto de onda, por lo que se puede calcular empleando la ecuación 68.

$$L = \lambda / 4 \tag{68}$$

Pero:

$$\lambda = c / f \tag{69}$$

Dónde:

- L = Longitud de la antena (m)
- λ = Longitud de onda (m)
- c = Velocidad de la luz (3×10^8 m / s)
- f = Frecuencia (Hz)

Reemplazando la ecuación 69 en la 68 se obtiene:

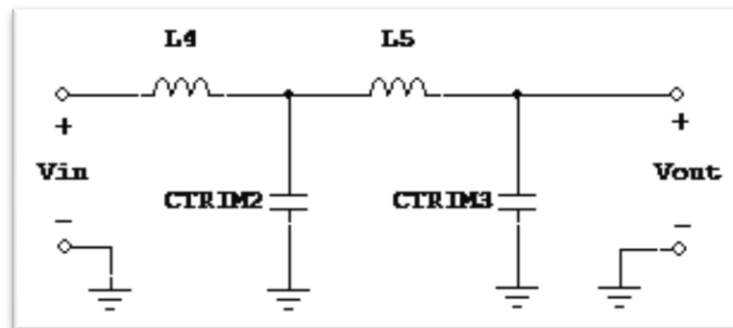
$$L = c / (4 * f) \quad (70)$$

2.2.4. FILTROS

Existen señales indeseadas generadas por el dispositivo, estas poseen frecuencias múltiplo de la portadora y se conocen como armónicos. Fue necesario atenuarlos adecuadamente antes que pudiesen llegar a la antena, ya que de no hacerlo, serían radiados al medio y podrían interferir con otros equipos de comunicaciones.

Dado que la frecuencia de la portadora es excesiva para emplear filtros activos, se diseñó un filtro pasa bajas de segundo grado. (Ver figura 15).

Figura 15. Filtro pasa bajas. Fuente: Autor del texto.



2.2.4.1. ANÁLISIS EN AC

Para este análisis se consideraron como reactancias las inductancias y capacitancias. Además, debió considerarse la impedancia de la antena (ver figura 16). Sin embargo, para hallar la relación entre V_{IN} y V_{OUT} se realizó una reducción de los arreglos de reactancias e impedancias a fin de facilitar los cálculos (ver figura 17) donde Z_{EQ} resulta de la ecuación 71, desarrollándola resulta la ecuación 72.

$$Z_{EQ} = [X_{L5} + (Z_{ANT} \parallel X_{CTRIM3})] \parallel X_{CTRIM2} \quad (71)$$

$$Z_{EQ} = X_{CTRIM2} * [X_{L5} * (Z_{ANT} + X_{CTRIM3}) + Z_{ANT} * X_{CTRIM3}] / [(X_{CTRIM2} + X_{L5}) * (Z_{ANT} + X_{CTRIM3}) + Z_{ANT} * X_{CTRIM3}] \quad (72)$$

Figura 16. Análisis AC del filtro pasa bajas. Fuente: Autor del texto.

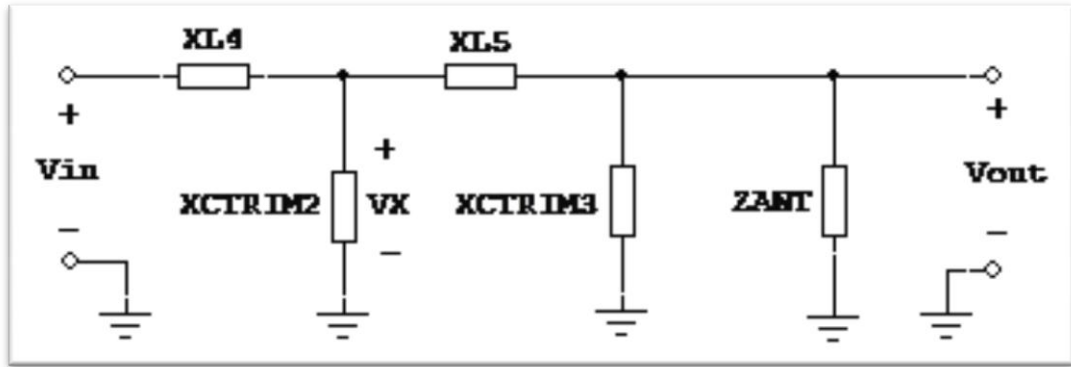
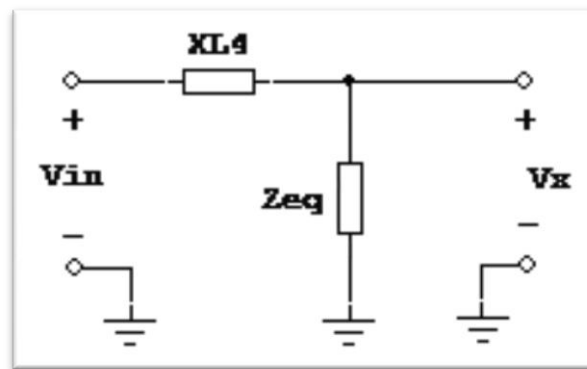


Figura 17. Reducción del filtro de la figura 14 con relación entre V_{in} y V_x . Fuente: Autor del texto.



Las reactancias de la figura 17 se calcularon mediante las siguientes ecuaciones:

$$X_{L4} = 2 * \pi * f * L_4 \quad (73)$$

$$X_{L5} = 2 * \pi * f * L_5 \quad (74)$$

$$X_{CTRIM2} = 1 / (2 * \pi * f * C_{TRIM2}) \quad (75)$$

$$X_{CTRIM3} = 1 / (2 * \pi * f * C_{TRIM3}) \quad (76)$$

Para el circuito de la figura 15 la relación entre V_{IN} y V_X se halló a partir de un divisor de tensión:

$$V_X / V_{IN} = Z_{EQ} / (X_{L4} + Z_{EQ}) \quad (77)$$

Reemplazando la ecuación 72 en la 77 se obtuvo:

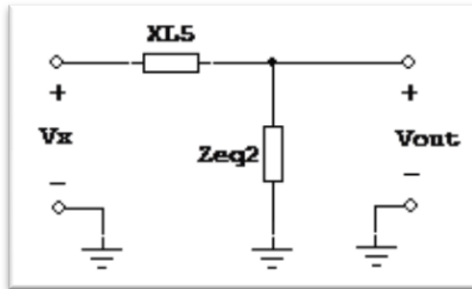
$$\begin{aligned} V_X / V_{IN} = & X_{CTRM2} * [X_{L5} * (Z_{ANT} + X_{CTRM3}) + Z_{ANT} * X_{CTRM3}] / \\ & \{X_{L4} * [(X_{CTRM2} + X_{L5}) * (Z_{ANT} + X_{CTRM3}) + Z_{ANT} * X_{CTRM3}] + \\ & X_{CTRM2} * [X_{L5} * (Z_{ANT} + X_{CTRM3}) + Z_{ANT} * X_{CTRM3}]\} \end{aligned} \quad (78)$$

Para obtener la relación entre V_X y V_{OUT} se empleó el circuito de la figura 18, donde Z_{EQ2} se obtiene mediante la ecuación 79.

$$Z_{EQ2} = X_{CTRM3} \parallel Z_{ANT} \quad (79)$$

$$Z_{EQ2} = X_{CTRM3} * Z_{ANT} / (X_{CTRM3} + Z_{ANT}) \quad (80)$$

Figura 18. Reducción del filtro de la figura 14 con relación entre V_X y V_{OUT} . Fuente: Autor del texto.



Se obtuvo V_{OUT} / V_X mediante la ecuación 81:

$$V_{OUT} / V_X = Z_{EQ2} / (Z_{EQ2} + X_{L5}) \quad (81)$$

$$V_{OUT} / V_X = Z_{ANT} * X_{CTRM3} / [X_{L5} * (X_{CTRM3} + Z_{ANT}) + Z_{ANT} * X_{CTRM3}] \quad (82)$$

Finalmente, se realizó el producto entre las ecuaciones 78 y 82 a fin de obtener la relación V_{OUT} / V_{IN} resultando la ecuación 76:

$$\begin{aligned} V_{OUT} / V_{IN} = & X_{CTRM2} * [X_{L5} * (Z_{ANT} + X_{CTRM3}) + Z_{ANT} * X_{CTRM3}] * Z_{ANT} * X_{CTRM3} / \\ & (\{ X_{L4} * [(X_{CTRM2} + X_{L5}) * (Z_{ANT} + X_{CTRM3}) + Z_{ANT} * X_{CTRM3}] + \\ & X_{CTRM2} * [X_{L5} * (Z_{ANT} + X_{CTRM3}) + Z_{ANT} * X_{CTRM3}] \} * \\ & [X_{L5} * (X_{CTRM3} + Z_{ANT}) + Z_{ANT} * X_{CTRM3}]) \end{aligned} \quad (83)$$

2.3. TRANSMISOR DE AM PARA VIDEO

Este dispositivo es el responsable de enviar por medio de radiofrecuencia la señal de video procedente de una cámara hasta un receptor en tierra. Antes de entrar en mayor detalle a lo que respecta al diseño de dicho módulo, es conveniente examinar las características de la cámara empleada y analizar la señal que ella arroja a su salida.

2.3.1. CÁMARA

El modelo empleado fue una cámara de seguridad CMOS modelo LB-1000 (ver figura 19). Dicho dispositivo cuenta con las siguientes características:

Tamaño: 4cm x 4cm x 1.5cm, carcasa metálica.

Sistema: PAL / CCIR NTSC / EIA.

Resolución: 380 líneas.

Píxeles efectivos: PAL: 628*582 NTSC / EIA.

Frecuencia de escaneo: PAL / CCIR: 50 Hz – NTSC / EIA: 60 Hz.

Iluminación mínima: 0.2 LUX.

Sensibilidad: +18dB – AGCON – OFF.

Peso: 70 grs.

Consumo: 200mW.

Alimentación: 6VDC – 12VDC.

Temperatura de funcionamiento: 10 – 45 °C.

Sensor de imagen: 0,85 cm CMOS, 1 lux.

Salidas: RCA, video (cable amarillo) y audio (cable blanco).

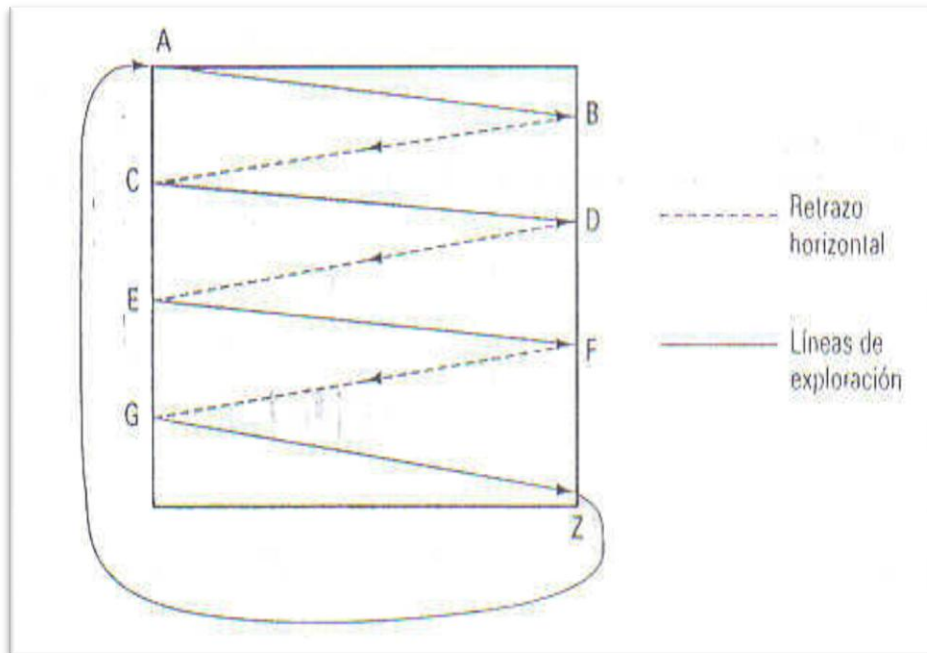
Figura 19. Cámara de seguridad a color modelo LB-1000. Fuente: Autor del texto.



Como se aprecia en las características antes mencionadas, este modelo tiene por salida señales analógicas para audio y video. Ya que el dispositivo se encontraría ubicado muy cerca del motor del helicóptero, la intensidad del ruido de la máquina le impediría captar claramente el audio de eventos cercanos. Por dicha razón, resulta ineficaz transmitir el audio proveniente del micrófono en la cámara del helicóptero.

Para televisión, cada cuadro del video se forma de líneas que contienen la información de luminancia para cada pixel, la imagen se forma realizando un barrido horizontal y uno vertical. (Ver figura 20).

Figura 20. Secuencia de barrido para formar una imagen en una pantalla de televisión. Fuente: SISTEMAS DE COMUNICACIONES ELECTRÓNICAS de Wayne Tomasi, 4ta edición.



La señal de esta cámara es video compuesto, ella se conforma de tres partes, las cuales son:

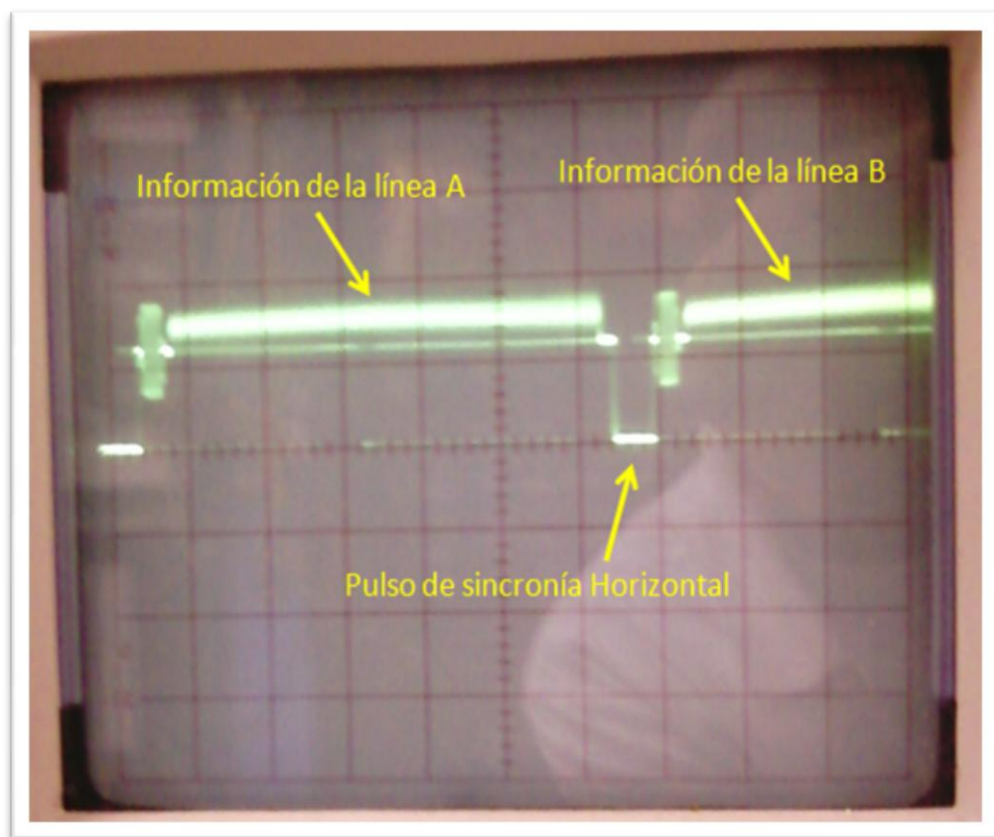
- Pulsos de sincronía
- Señal de luminancia
- Pulsos de blanqueo

Los pulsos de sincronía separan la información entre una y otra línea, a su vez le indican al dispositivo encargado de reconstruir la imagen que la línea ha terminado y que debe ir al inicio de la siguiente para realizar el barrido de esta. Algo similar

ocurre cuando el barrido vertical termina, ya que un pulso de blanqueo le indica al dispositivo que el cuadro ha terminado y que debe retornar a la posición inicial de la pantalla para realizar el barrido de un nuevo cuadro, este pulso tiene una duración mayor al de sincronía, ya que debe darle el tiempo suficiente al dispositivo para realizar la acción de retorno.

La señal de la cámara se analizó empleando un osciloscopio. (Ver figura 21).

Figura 21. Señal de video de la cámara LB-1000. Fuente: Autor del texto.



La anterior imagen corresponde a la señal de video de la cámara, se aprecia la información de aproximadamente dos líneas (A y B) que forman parte de un cuadro de imagen, nótese el pulso cuadrado que las separa, este es de sincronía, el cual tiene una duración de $10\mu\text{S}$.

Una señal con índice de modulación de 1, lo que equivale a 100%, tiene una amplitud de $1 V_{p-p}$, la diferencia entre el límite superior y el inferior es de 160 unidades IEEE, por lo que cada unidad equivale a $6,25\text{mV}$.

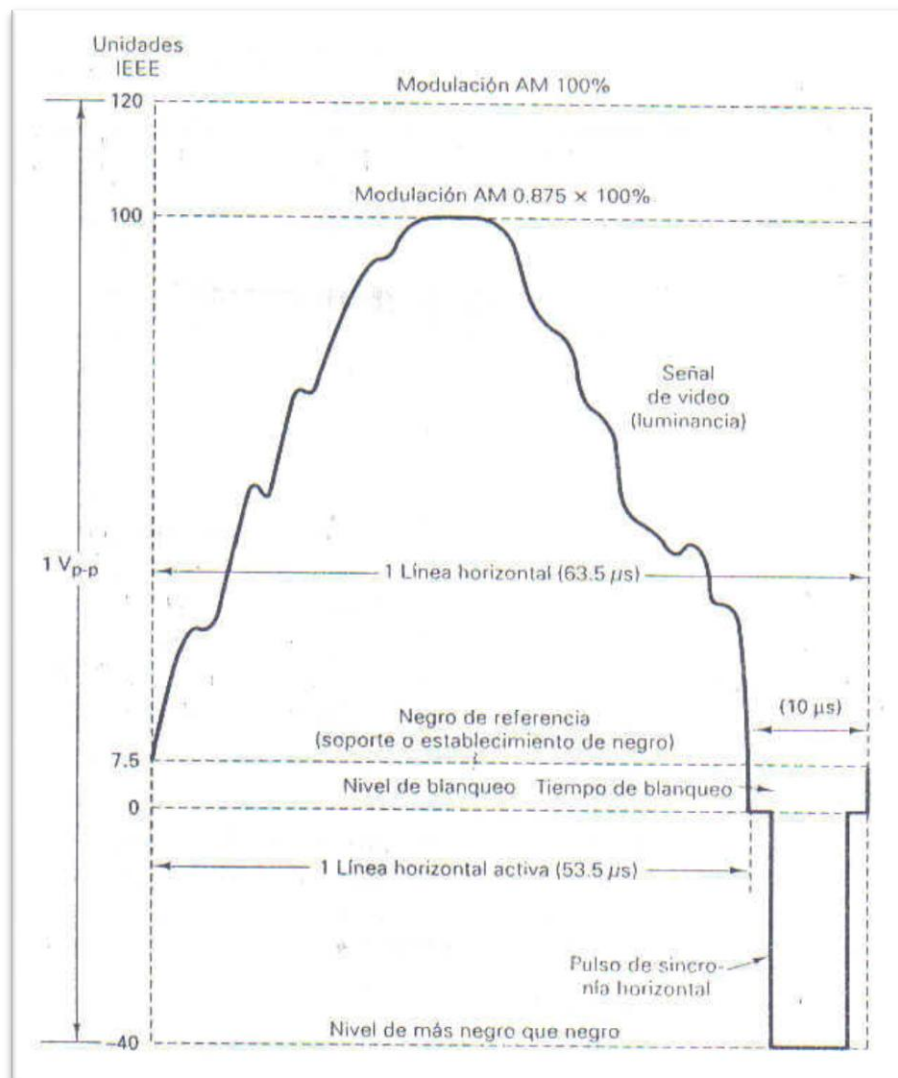
En base a esto, fue posible hallar el índice de modulación para la señal de video de la cámara en base a la señal de la figura 21:

$$\text{Amplitud} = 1,7 * 0,5 \text{ V} = 0,85 \text{ V} = 850\text{mV}$$

$$M = 0,85\text{V} / 1\text{V} = 0,85 = 85\%$$

La información en la señal de luminancia en video compuesto tiene la estructura mostrada en la figura 22.

Figura 22. Partes de una señal de video compuesto. Fuente: SISTEMAS DE COMUNICACIONES ELECTRÓNICAS de Wayne Tomasi, 4ta edición.



Frecuencia apta para la portadora cuando se realizara la modulaci3n:

$$T = TSL + TPS \quad (84)$$

D3nde:

T = Tiempo periodo de l3nea.

TSL = Tiempo que dura la se1al de luminancia para la l3nea activa.

TPS = Tiempo que dura el pulso de sincron3a horizontal.

$$T = 53,5\mu S + 10\mu s = 63,5\mu S$$

Empleando el valor de T calculado anteriormente, pudo calcularse un valor de frecuencia de la siguiente forma:

$$F_T = 1 / T \quad (85)$$

$$F_T = 1 / (63,5\mu S)$$

$$F_T = 15,75\text{kHz}$$

El valor de F_T corresponde a la frecuencia que tendr3a una se1al peri3dica con tiempo periodo T.

La transmisi3n realizada es de se1al de televisi3n, se requiri3 que la frecuencia de la portadora coincidiera con una de las establecidas para canal de televisi3n en VHF. El anexo 3 corresponde al cuadro de atribuci3n de bandas de frecuencias para el espectro radioel3ctrico, obs3rvase la secci3n de VHF, all3 se encuentran tres bandas para radio difusi3n de televisi3n. (Ver tabla 1).

Tabla 1. Rangos de frecuencias destinados a radio difusi3n de televisi3n en VHF.

	MHz	MHz
BANDA 1 (Canales 2,3 y 4)	54	72
BANDA 2 (Canales	76	88
BANDA 3	174	216

Para seleccionar entonces la banda a utilizar se toma en cuenta que la frecuencia no debe ser superior a 150MHz, debido a problemas de estabilidad del oscilador local, por otra parte, es recomendable que la frecuencia de la portadora sea lo m3s alta posible, ya que la longitud de onda es inversamente proporcional a la frecuencia de la portadora y una se1al de baja frecuencia requerir3 una antena larga.

Se seleccionó en la banda 2, en el canal 6 (83.25MHz). Para saber que tan fiel es la forma de la señal modulada con respecto a la señal de la cámara, se calcula cuantas veces oscila la señal portadora en el tiempo que dura la señal de luminancia activa.

$$N_{osc} = T_{SL} * f_c \tag{86}$$

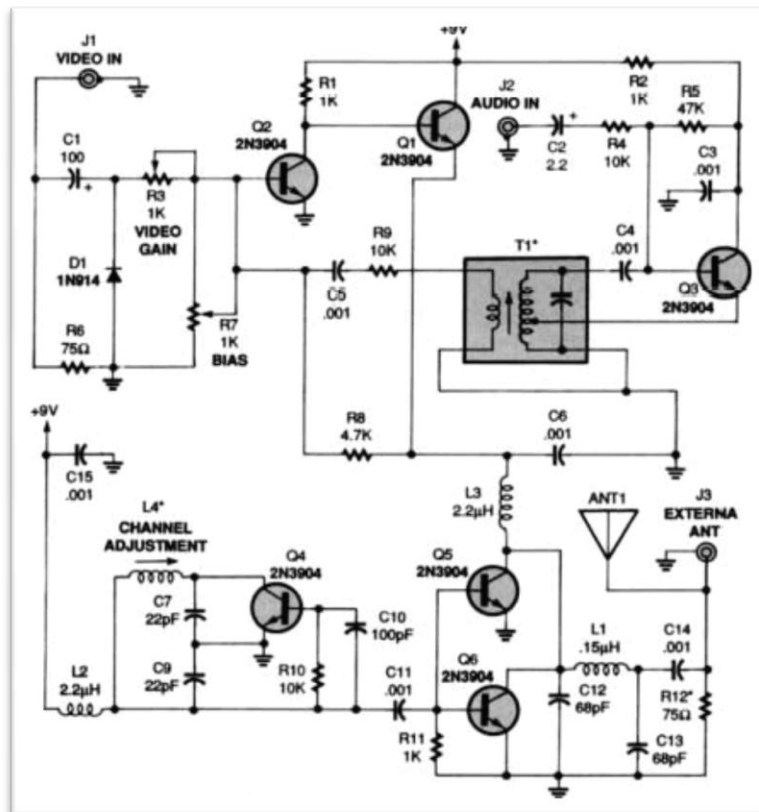
$$N_{osc} = 53.5 \mu S * 83.25 \text{ MHz} = 4507.4 \text{ veces}$$

Este valor indica que la fidelidad en la forma de la señal es adecuada, pues son aproximadamente 4507 puntos representando la señal de la cámara.

2.3.2. MODULADOR AM PARA TELEVISIÓN

Para la construcción del modulador en amplitud se partió de un diseño del sitio web www.pablin.com.ar del proyecto *TRANSMISOR DE TV DOMÉSTICO*. (Ver Figura 23)

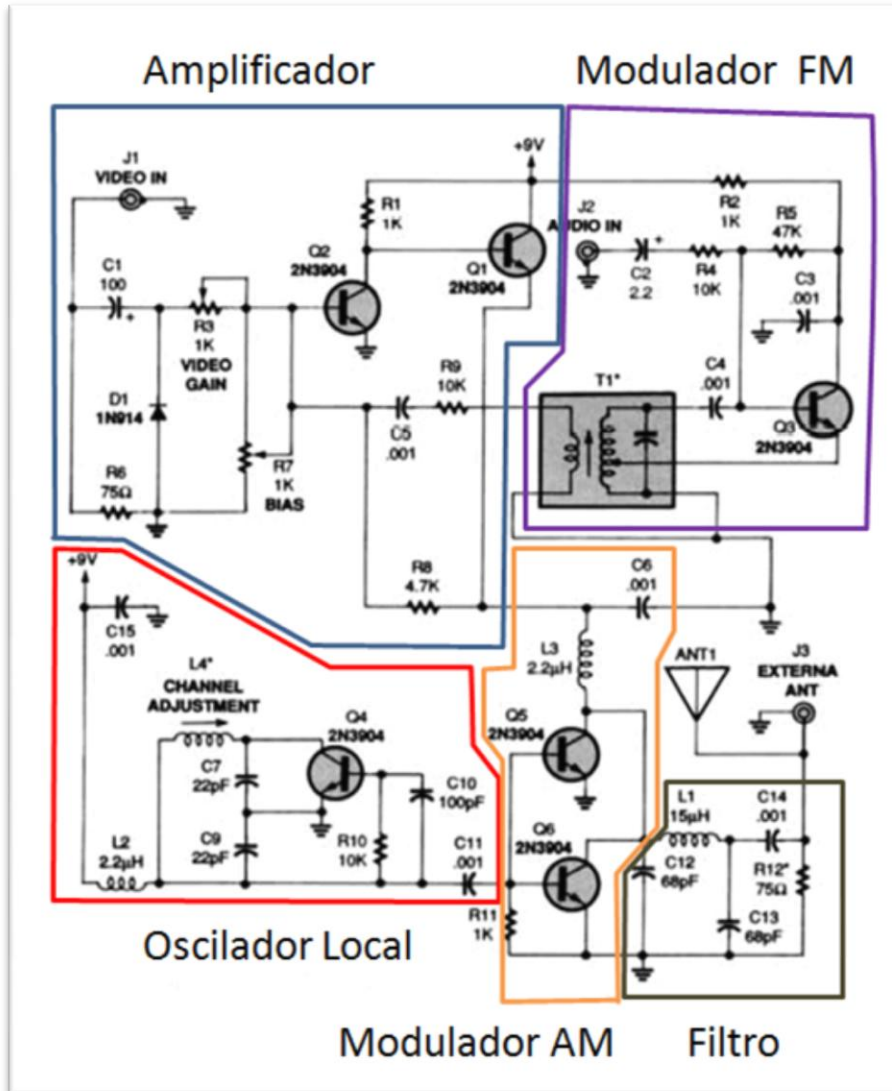
Figura 23. Transmisor de TV doméstico. Fuente: <http://www.pablin.com.ar/electron/circuito/video/tvtx2/index.html>



En dicho diseño las etapas son fácilmente reconocibles, sin embargo, se marcarán para mejor comprensión del lector. (Ver figura 24).

Figura 24. Transmisor de TV separado en etapas.

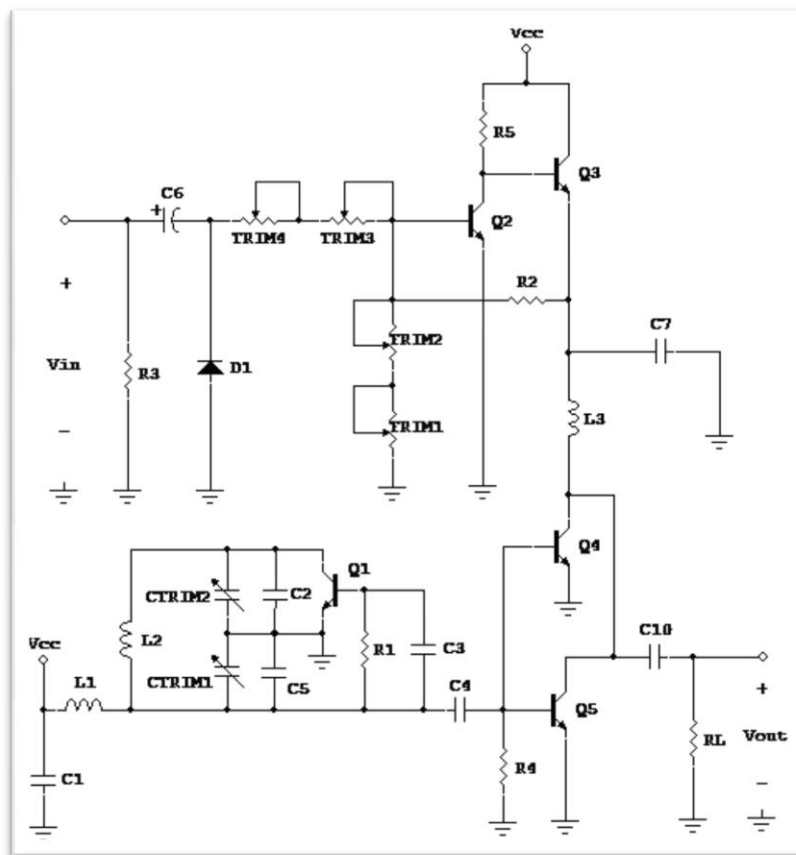
Fuente: <http://www.pablin.com.ar/electron/circuito/video/tvtx2/index.html>



Como se observó en la figura anterior, el circuito del transmisor fue separado en etapas, de allí se puede definir qué secciones se emplearán para el transmisor de AM para video. Según se definió anteriormente, enviar el audio que capta el micrófono de la cámara resulta innecesario, debido a que este percibirá con mayor intensidad el ruido del helicóptero en funcionamiento, por lo que se descarta entonces la etapa del modulador FM. El filtro no se requiere, ya que en la salida de los transistores del modulador AM, se

instalarán etapas de amplificación para darle mayor potencia a la señal que sale del modulador. Siendo así se conservarán entonces el modulador AM, el oscilador local y el amplificador de la señal de video. (Ver figura 25). Debido a que el circuito se encuentra diseñado en base a los parámetros que el televisor requiere para captar la señal de video, resulta innecesario realizar los cálculos de este, pues se corre el riesgo de tratar la señal de forma inadecuada, lo que resultaría como ruido visto en el televisor.

Figura 25. Circuito del modulador para el transmisor de AM para video. Fuente: Autor del texto.



2.3.3. AMPLIFICADOR DE RF

Para esta etapa se emplearon los circuitos y ecuaciones del transmisor de FM para audio, ya que la frecuencia de operación es cercana a la del transmisor de AM para video, por lo que se pudieron emplear las mismas ecuaciones para los cálculos.

2.3.4. FILTROS

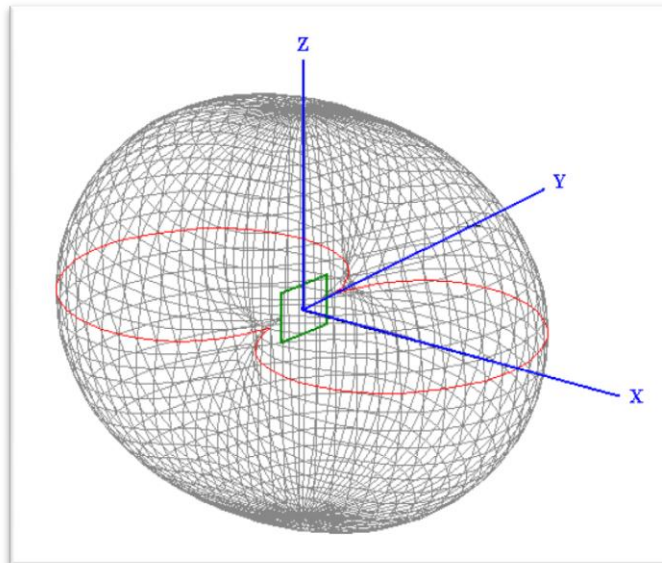
Esta etapa es idéntica a la del transmisor FM, por lo que al igual que la etapa de amplificación se emplearon las ecuaciones del anterior transmisor para los cálculos de esta.

2.3.5. ANTENA

Para la antena de este transmisor se empleó un dipolo de media onda, ya que este dispositivo opera instalado en la aeronave, por lo tanto, un dipolo es adecuado, ya que la antena debe ser omnidireccional y un mono polo requeriría un plano artificial difícil de instalar en el aeromodelo, puesto que provocaría una pérdida en el equilibrio de este y sería mucho más difícil de compensar en comparación a un dipolo. Este último al ser instalado no afectaría el balance de la máquina, puesto que de ubicarse en el centro de gravedad de esta los polos se extenderían a lado y lado, manteniendo así el equilibrio.

Este tipo de antena posee una impedancia de 73Ω y una ganancia alrededor de 2,2dBi. A diferencia de la antena del transmisor de FM, esta posee regiones en su patrón de radiación donde la señal no se radia de la forma esperada. (Ver figura 26).

Figura 26. Patrón de radiación para una antena dipolo de media onda. Fuente: <http://www.radioaficion.com/HamNews/articles/1521-antenas-de-onda-completa.html>



Como se observó en la anterior figura, la antena dipolo paralela al eje Y no radia a lo largo de él, ello implica que durante la transmisión de imágenes, pueden presentarse pérdidas de la señal en el instante en que la estación receptora se encuentre alineada transversalmente con la antena. Por otra parte, en dirección del eje X la señal presenta un mayor alcance. A partir de este análisis se instaló la antena perpendicular al eje del rotor principal y a la nariz del helicóptero, ello le permite al piloto maniobrar de forma más cómoda, ya que podrá dirigirlo sabiendo que puede volar en línea desde la estación hasta el punto deseado sin perder señal de video, considerando claro, que este se encuentre dentro de los límites de cobertura de la señal. (Ver figura 27).

Figura 27. Antena dipolo instalada en el helicóptero. Fuente: Autor del texto.



Para el cálculo de la longitud de la antena se emplea la ecuación 69 reemplazándola en la siguiente ecuación.

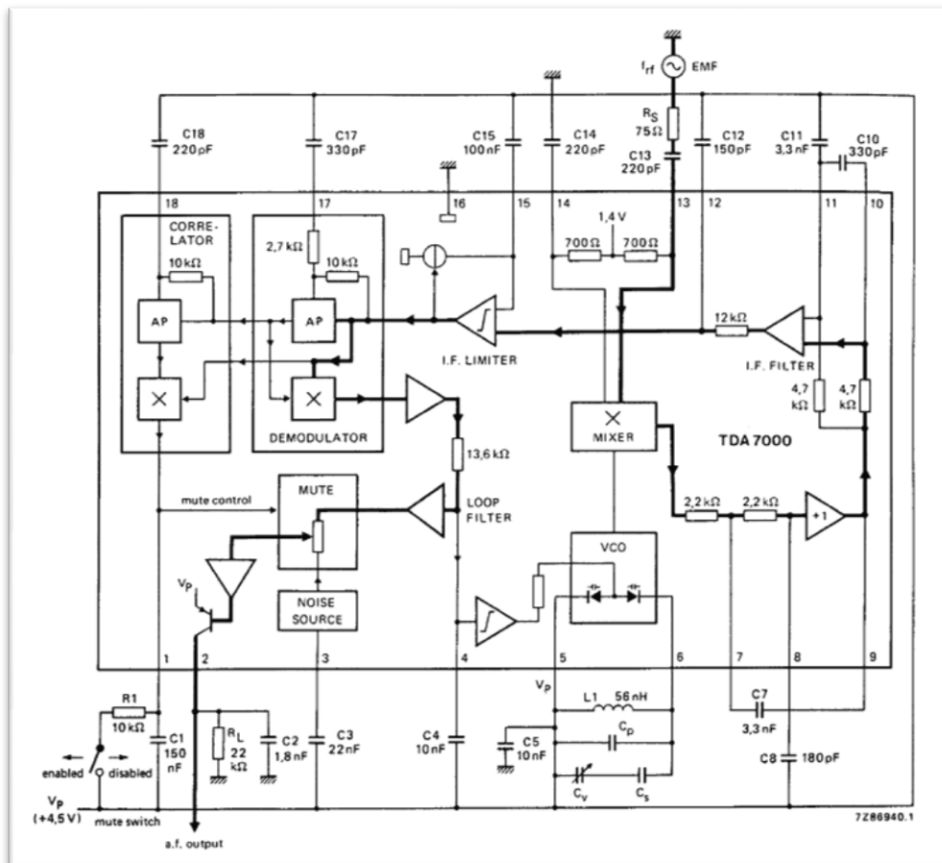
$$L = \lambda / 2 \quad (87)$$

2.4.RECEPTOR DE FM PARA AUDIO

Este dispositivo tiene como función extraer la información contenida en una onda electromagnética, la cual es captada por la antena adosada a él. Dicha información se encuentra modulada en frecuencia y en una señal modulada con frecuencia definida. Dado que el dispositivo debe mantenerse enganchado a la frecuencia deseada, fue necesario implementar el circuito basado en un integrado de recepción FM con PLL incorporado.

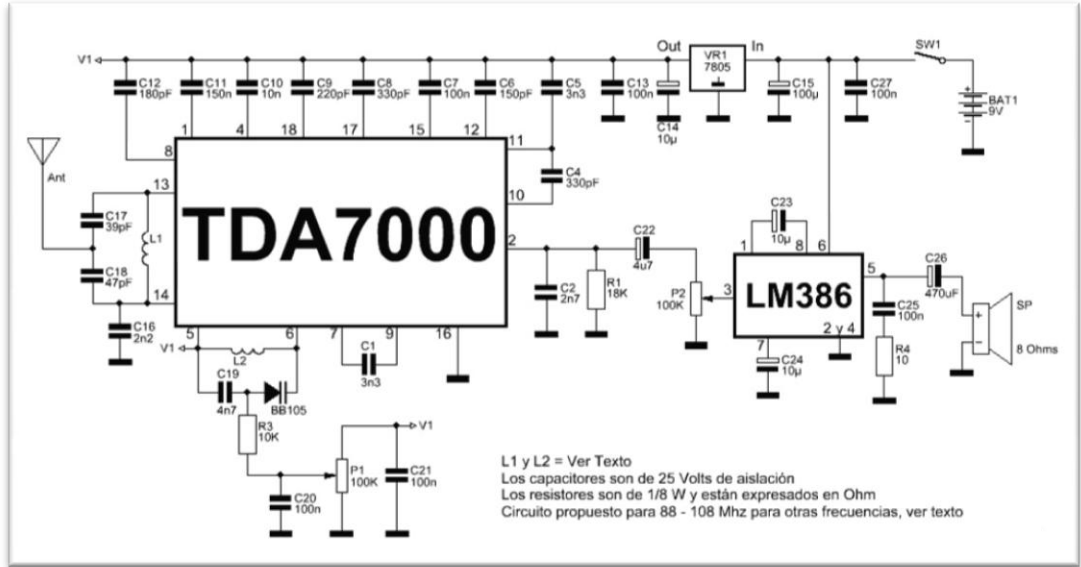
Se optó por la referencia TDA 7000, dado que este modelo es económico, fácil de adquirir y requiere un mínimo de componentes externos para su funcionamiento. La hoja de datos de este incluye un circuito sugerido por el fabricante para su operación. (Ver figura 28).

Figura 28. Circuito propuesto por el fabricante para el funcionamiento del TDA7000 como receptor de FM. Fuente: http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/philips/TDA7000_CNV_2.pdf



La desventaja de este diseño radica en su oscilador local, formado por un circuito LC entre L1, Cp, Cv y Cs. Dado que las capacitancias variables son susceptibles al movimiento y a elementos metálicos para su ajuste, se buscó un medio alternativo para variar la frecuencia del oscilador local. Después de una investigación se encontró un diseño basado en el TDA7000 con una nueva opción para solucionar dicho problema del oscilador, en este la frecuencia se controla variando la capacitancia producida en la unión de un diodo varicap o de un diodo común, ello se logra mediante la manipulación de la tensión en sus terminales en conexión inversa. Además dicho circuito cuenta con un amplificador de audio basado en un LM386. (Ver figura 29).

Figura 29. Diseño base para receptor de FM. Fuente: <http://www.neoteo.com/mi-primer-receptor-tda7000>.



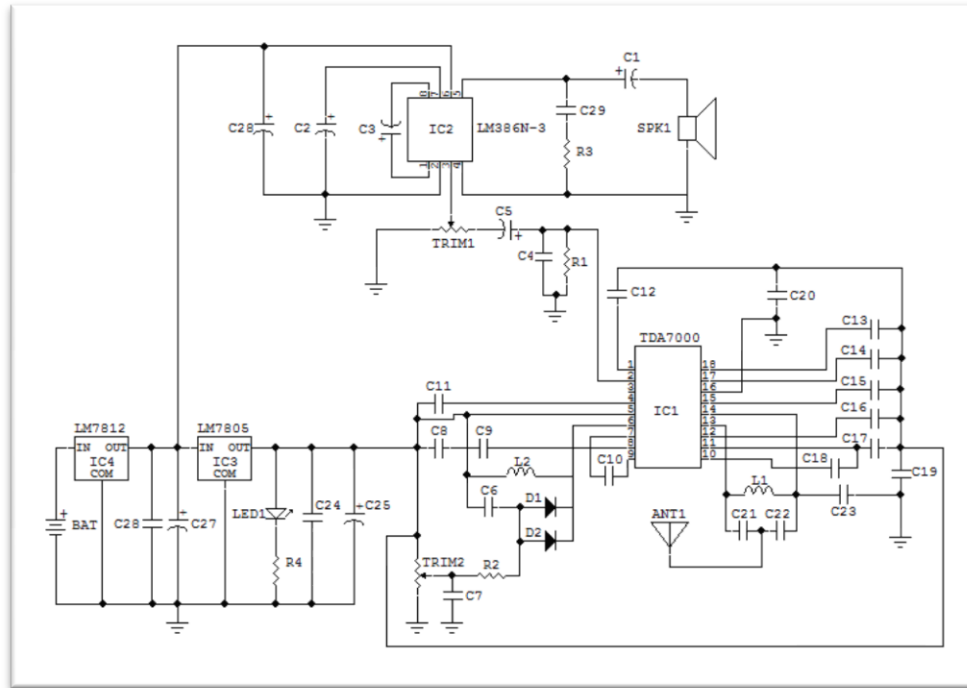
El anterior diseño se alimenta con una batería de 9V, lo que imposibilita un sonido con un volumen lo suficientemente alto en el parlante como para superar el ruido del helicóptero en funcionamiento. Debido a esto, se analizó la hoja de datos del amplificador de audio LM386 a fin de conocer la tensión máxima a la que se puede alimentar el dispositivo y cuanta potencia puede entregar al parlante. (Ver figura 30).

Figura 30. Sección de hoja de datos del amplificador de audio LM386.
 Fuente: <http://www.bitek.tubitak.gov.tr/gelisim/elektronik/dosyalar/6/LM386.pdf>

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
Operating Supply Voltage (V_S)					
LM386N-1, -3, LM386M-1, LM386MM-1		4		12	V
LM386N-4		5		18	V
Quiescent Current (I_Q)	$V_S = 6V, V_{IN} = 0$		4	8	mA
Output Power (P_{OUT})					
LM386N-1, LM386M-1, LM386MM-1	$V_S = 6V, R_L = 8\Omega, THD = 10\%$	250	325		mW
LM386N-3	$V_S = 9V, R_L = 8\Omega, THD = 10\%$	500	700		mW
LM386N-4	$V_S = 16V, R_L = 32\Omega, THD = 10\%$	700	1000		mW
Voltage Gain (A_v)	$V_S = 6V, f = 1\text{ kHz}$ 10 μF from Pin 1 to 8		26		dB
			46		dB
Bandwidth (BW)	$V_S = 6V, \text{ Pins 1 and 8 Open}$		300		kHz

La referencia empleada fue LM386N-3, esta puede alimentarse hasta con 12V y es capaz de entregar una potencia de hasta 700mW (0,7W). Hechas estas modificaciones resulta el circuito de la figura 31.

Figura 31. Diseño para el receptor de FM. Fuente: Autor del texto.



2.4.1. EL PARLANTE

Para la elección del parlante fue necesario evaluar aspectos tales como: tamaño, peso y potencia. Se optó por uno de 8Ω y 0.5W, con un diámetro de 3,5cm y un peso de 10grs. Al realizar con él las pruebas de sonido, se percibió que predominan los medios y agudos, a comparación de los graves. Por ello se diseñó una caja sellada para apoyar el sonido de las frecuencias medias y bajas, para darle así mayor consistencia al sonido y que este además no se vea opacado por el ruido del helicóptero.

Figura 32. Parlante (a) vista posterior, (b) vista frontal. Fuente: Autor del texto.



(a)

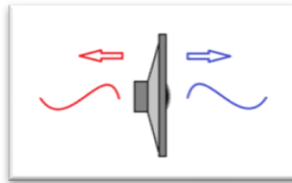


(b)

2.4.1.1. LA CAJA ACÚSTICA

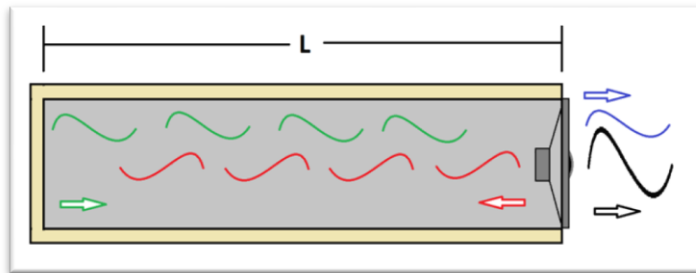
Al producirse el sonido en un parlante, el cono vibra, de forma tal que impulsa el aire hacia adelante y atrás generando el sonido por variaciones de presión. Este se da en ambas superficies del cono, pero desfasadas 180° entre sí. (Ver figura 33).

Figura 33. Ondas sonoras emitidas por el parlante. Fuente: Autor del texto.



Con base a este principio, se diseñó una caja herméticamente sellada, gracias a la cual el sonido que se origina en la parte posterior del parlante viaja dentro de ella y rebota, de forma tal que al retornar al parlante se encuentra en fase con la onda frontal y así refuerza el sonido a determinadas frecuencias. (Ver figura 34).

Figura 34. Efecto producido por la caja acústica sobre la onda sonora. Fuente: Autor del texto.



La longitud de la caja se calculó partiendo de que la onda debe recorrer dos veces la distancia L (desde que sale del parlante, hasta su retorno). La velocidad del sonido en relación con la frecuencia se determina mediante la ecuación 84:

$$\lambda = V_s / f \quad (88)$$

Dónde:

V_s = Velocidad del sonido en la atmosfera terrestre (343 m/s a 20°C)

λ = Longitud de onda en metros (m)

f = Frecuencia en hercios (Hz)

Para que la onda que rebota dentro de la caja llegue al parlante en fase con la onda frontal se requiere que pase solo media longitud de onda, entonces:

$$2 * L = \lambda / 2 \tag{89}$$

Despejando L de la ecuación 85 se obtiene:

$$L = \lambda / 4 \tag{90}$$

Reemplazando la ecuación 84 en la 86 se obtiene:

$$L = V_s / (4 * f) \tag{91}$$

La frecuencia seleccionada para la caja fue de 570Hz. Reemplazando dicho valor en la ecuación 91 se obtiene la longitud de la caja:

Tabla 2. Valores obtenidos para la elaboración de la caja acústica.

Vs	343	m/s		
F	570	Hz		
λ	0,6018	m	60,175	cm
L	0,1504	m	15,044	cm

Para construir la caja se empleó madera balsa de 6mm de espesor, ya que este tipo de material es liviano, resistente y fácil de cortar.

El diámetro del parlante sirvió para definir el alto y ancho de la caja, a fin de facilitar la instalación de este. Para sellar herméticamente la caja se emplearon perfiles triangulares del mismo material, ello permitió mejorar la unión entre las piezas y el acabado de la caja, además, se usó pegante para madera a fin de unir y sellar mejor la caja. (Ver figura 35).

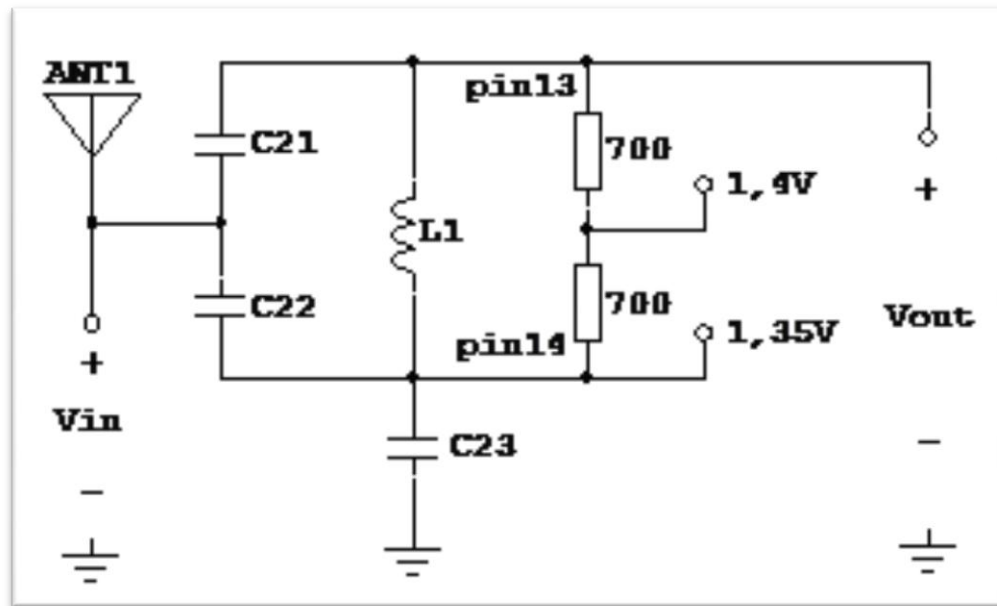
Figura 35. Caja acústica. Fuente: Autor del texto.



2.4.2. FILTRO DE ENTRADA RF

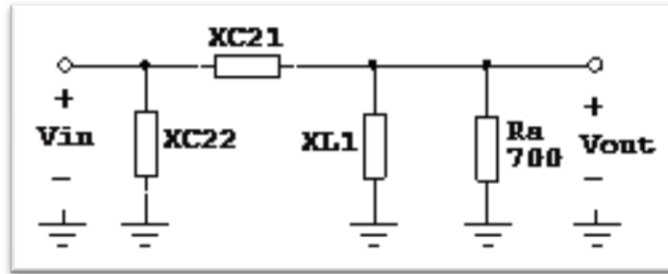
Dicho filtro es necesario para evitar que señales de frecuencias diferentes a las deseadas interfieran con el receptor. Para ello se emplea un filtro pasa baja ubicado entre la antena del receptor y el circuito integrado TDA7000. (Ver figura 36).

Figura 36. Filtro pasa bajas de la entrada del receptor de FM. Fuente: Autor del texto.



Para determinar su comportamiento con la señal RF, se realizó un análisis en AC. El pin 13 corresponde a la entrada RF, por otra parte el pin 14 debe mantener una tensión de 1,35V en DC. Internamente el TDA7000 entre sus pines 13 y 14 se encuentran las resistencias de 700Ω mostradas en la figura 36, en su unión existe una tensión de 1,4V en DC definida por el fabricante. Al realizar el análisis en AC dicho valor se toma como 0V por el corto circuito supuesto en fuente de tensión, por ello, se puede considerar la reactancia X_{C23} como un valor pequeño, pues lleva a tierra el pin 14. (Ver figura 37).

Figura 37. Análisis AC del filtro de entrada del receptor de FM. Fuente: Autor del texto.



A partir del circuito anterior se extrajeron las ecuaciones que permitieron definir el comportamiento del filtro.

$$X_{L1} = 2 * \pi * f * L_1 \quad (92)$$

$$X_{C21} = 1 / (2 * \pi * f * C_{21}) \quad (93)$$

$$X_{C22} = 1 / (2 * \pi * f * C_{22}) \quad (94)$$

$$X_{C23} = 1 / (2 * \pi * f * C_{23}) \quad (95)$$

$$R_{EQ} = R_a \parallel X_{L1} = R_1 * X_{L1} / (R_a + X_{L1}) \quad (96)$$

$$V_{OUT} / V_{IN} = R_{EQ} / (R_{EQ} + X_{C21}) \quad (97)$$

Reemplazando la ecuación 96 en la 97 se obtiene:

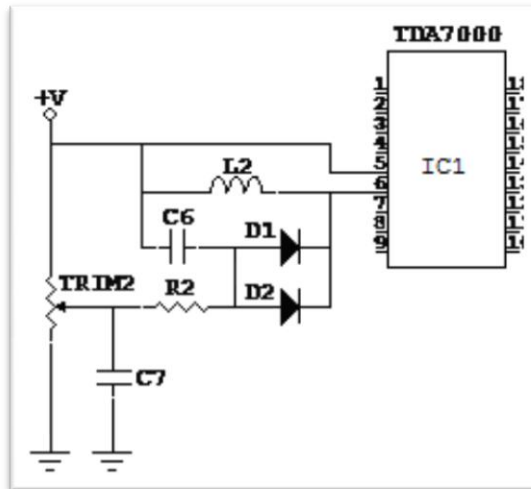
$$V_{OUT} / V_{IN} = R_a * X_{L1} * (R_a + X_{L1}) / \{(R_a + X_{L1}) * [R_a * (X_{L1} + X_{C21}) + (X_{C21} * X_{L1})]\} \quad (98)$$

2.4.3. OSCILADOR LOCAL

Éste cumple la función de generar una señal con un valor de frecuencia definible por el usuario. El TDA7000 emplea dicha señal para sintonizar la frecuencia de la emisora que se desea captar. El oscilador de este diseño se basa en un circuito tanque formado por un LC, sin embargo, éstos tienen la desventaja de ser inestables debido a que el usuario requiere variar de forma mecánica el valor capacitivo o inductivo del conjunto. Para solucionar dicho problema se dejó fija la inductancia y para variar la frecuencia se empleó un arreglo de capacitancia y diodos, ello permite definir la frecuencia a partir de la propiedad capacitiva de la

juntura de diodo en polarización inversa. El valor capacitivo de esta se ajusta a partir de la tensión que llega al diodo. (Ver figura 38).

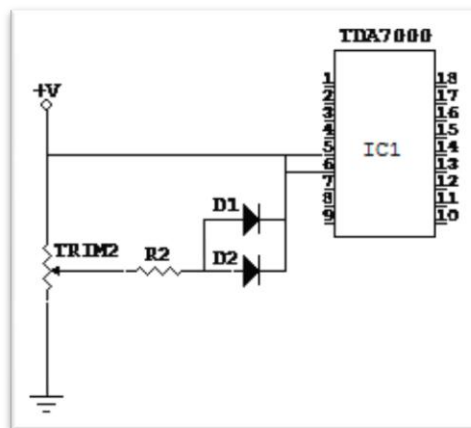
Figura 38. Oscilador local del receptor de FM. Fuente: Autor del texto.



2.4.3.1. ANÁLISIS EN DC

Para confirmar que no existe problema por el arreglo mencionado en el oscilador local, se realizó un análisis en DC de éste, en el cual se consideran como circuitos abiertos las capacitancias y corto circuito la inductancia. (Ver figura 39).

Figura 39. Análisis en DC del oscilador local del receptor de FM. Fuente: Autor del texto.

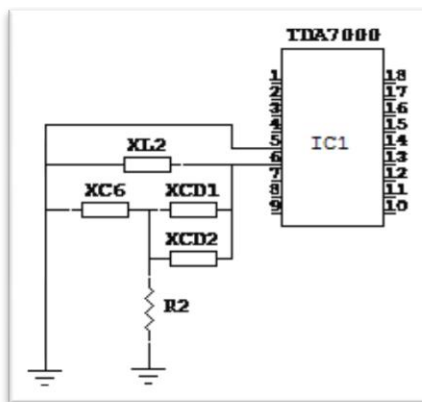


Como se observó en la figura 39, en DC los diodos se encuentran polarizados inversamente, ello no permite el paso de la corriente por ese camino. Por otra parte el TRIM2 permite controlar la tensión en los terminales de estos. La razón por la cual se tienen dos diodos en paralelo, se debe a que el valor capacitivo de la juntura de cada uno puede variar un determinado rango, sin embargo, este es reducido, impidiendo así que el usuario pueda seleccionar fácilmente la frecuencia del dispositivo para sintonizarlo con el transmisor. La inductancia no puede aumentarse para ampliar el rango de frecuencias, dado que al hacerlo se requiere de una capacitancia menor para las frecuencias cercanas a los 110MHz, ello implica un problema, ya que entre menor sea la capacitancia a manipular en los diodos, esta será más susceptible a los cambios de tensión en el dispositivo. Al disponer de estos dos diodos en paralelo, se duplica el rango de frecuencias que pueden ajustarse en el oscilador local.

2.4.3.2. ANÁLISIS EN AC

A partir de este análisis se determina la frecuencia del oscilador local y los valores que puede tomar. Para ello se consideran como reactancias la inductancia L2 y la capacitancia C6, ya que por tratarse de un oscilador ninguno de estos puede encontrarse como circuito abierto o cerrado en AC, para el caso de los diodos, al encontrarse polarizados inversamente estos no conducen en DC, sin embargo, como se mencionó anteriormente ellos poseen una capacitancia en su juntura, esta para el análisis en AC se considera como una reactancia.

Figura 40. Análisis en AC para el oscilador local del receptor de FM. Fuente: Autor del texto.



La capacitancia C7 cumple la función de impedir el paso de señales con alta frecuencia por la salida del divisor de tensión. En AC dicho elemento se corto circuita, por lo que se requiere de la resistencia R2, ya que de no estar presente las capacitancias de los diodos se conectarían con tierra y el oscilador no funcionaría. Basándose en el circuito del análisis en AC se obtuvo la siguiente serie de ecuaciones:

$$X_{CD1} = 1 / (2 * \pi * f * C_{D1}) \quad (99)$$

$$X_{CD2} = 1 / (2 * \pi * f * C_{D2}) \quad (100)$$

$$X_{C6} = 1 / (2 * \pi * f * C6) \quad (101)$$

$$X_{L2} = 2 * \pi * f * L_2 \quad (102)$$

$$Z_{EQ1} = X_{C6} || R_2 = X_{C6} * R_2 / (X_{C6} + R_2) \quad (103)$$

$$Z_{EQ2} = X_{CD1} || X_{CD2} = X_{CD1} * X_{CD2} / (X_{CD1} + X_{CD2}) \quad (104)$$

$$Z_{EQ3} = Z_{EQ1} + Z_{EQ2} \quad (105)$$

$$Z_{EQ3} = \{ [X_{C6} * R_2 * (X_{CD1} + X_{CD2})] + [X_{CD1} * X_{CD2} * (X_{C6} + R_2)] \} / [(X_{C6} + R_2) * (X_{CD1} + X_{CD2})] \quad (106)$$

El oscilador LC entra en resonancia cuando la reactancia de la parte capacitiva es igual a la inductiva. En este caso la reactancia inductiva corresponde a X_{L2} , mientras que la parte capacitiva a Z_{EQ3} .

Reemplazando las ecuaciones 99, 100 y 101 en la ecuación 106:

$$Z_{EQ3} = \{ [2 * \pi * f * R_2 * (C_{D2} + C_{D1} + C_6)] + 1 \} / \{ (2 * \pi * f) * [1 + (2 * \pi * f * R_2 * C_6)] * (C_{D1} + C_{D2}) \} \quad (107)$$

$$X_{L2} = Z_{EQ3} \quad (108)$$

Reemplazando las ecuaciones 102 y 107 en la ecuación 108:

$$2 * \pi * f * L_2 = \{ [2 * \pi * f * R_2 * (C_{D2} + C_{D1} + C_6)] + 1 \} / \{ (2 * \pi * f) * [1 + (2 * \pi * f * R_2 * C_6)] * (C_{D1} + C_{D2}) \} \quad (109)$$

Desarrollando la ecuación 109 resulta:

$$[f^4 * (2 * \pi)^4 * L_2 * C_{D1} * C_{D2} * C_6] - [f * 2 * \pi * R_2 * (C_{D1} + C_{D2} + C_6)] - 1 = 0 \quad (110)$$

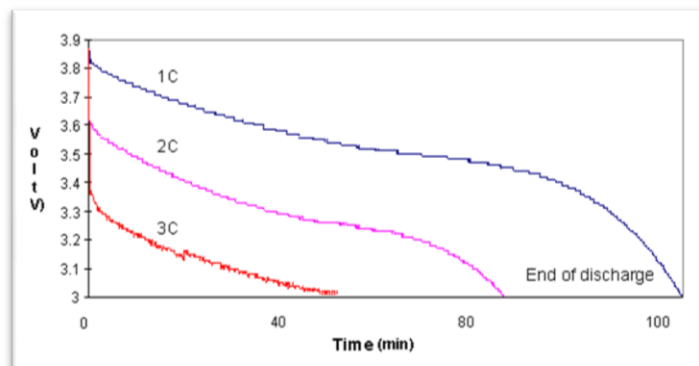
2.4.4. ANTENA

Para el receptor de FM se emplea la antena dipolo del transmisor de AM para video diseñada anteriormente, debido a limitaciones de peso, problemas de interferencia dados por la cercanía entre las frecuencias de las portadoras de los transmisores de AM y FM, además por simplificar el diseño y prestar los servicios de forma independiente con una mejor calidad. La longitud de la antena que requiere este receptor a comparación de la empleada por el transmisor, no es muy distinta, por otra parte el riesgo que presentan las ondas estacionarias al usar una antena de diferentes dimensiones a las requeridas por el receptor, no es problema, ya que el filtro de entrada RF del receptor lo protege contra señales de frecuencia distinta a la banda requerida.

2.5. ALIMENTACIÓN DE LOS CIRCUITOS

Como fuente de energía se optó por emplear baterías de polímero de litio (Lipo), ya que estas pueden entregar energía por un tiempo prolongado, manteniendo una variación de tensión a lo largo de la descarga mucho menor a comparación de otros tipos de baterías. A continuación se muestra una curva de descarga para este tipo de celdas (ver figura 38), donde la constante C equivale a la corriente nominal de la batería. Como se observa, mientras menor sea la corriente que se le exija, esta tendrá una variación de tensión menor durante la descarga. Gracias a esta característica, es posible mantener un nivel de tensión más estable durante el uso de los módulos, lo que permite mayor estabilidad en los osciladores y por tanto, en la frecuencia de operación de estos.

Figura 41. Curvas de descarga para baterías Lipo.



Otra característica por la cual destacan las baterías Lipo, es su peso en relación a la cantidad de energía que entrega cada celda, ya que una batería de este tipo pesa aproximadamente una quinta parte a su equivalente energético en NiMH.

Las baterías de polímero de litio tienen una tensión a plena carga de 4.2V por celda. Tanto el módulo en tierra como los del helicóptero necesitan de una corriente poco menor a 400mAh para operar correctamente, se optó entonces por celdas de 800mAh, esto a fin de que la corriente exigida por los dispositivos equivaliese aproximadamente a 0.5C. Asumiendo una tensión en descarga de alrededor de 3.7V se calculó la cantidad de celdas requeridas para cada pack de baterías para los módulos.

Los circuitos del transmisor de FM que se encuentra en tierra requieren tensiones de 12V y 9V, ello se logra empleando reguladores LM7812 y LM7809. Para que el LM7809 entregue a su salida una tensión regulada de 9V, se requiere que se alimente a mínimo 11.5V, por lo que puede ser conectado a la salida regulada del LM7812, este último requiere ser alimentado con una tensión mínima de 14.5V para regular 12V a su salida.

A partir de ello se calculó la cantidad de celdas para el transmisor de FM de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} 3.7 \text{ V} * N &> 14.5\text{V} && (111) \\ N &> 3.92 \\ N &= 4 \text{ celdas} \end{aligned}$$

Figura 42. Paquete de baterías Lipo para alimentar al transmisor de FM. Fuente: Autor del texto.

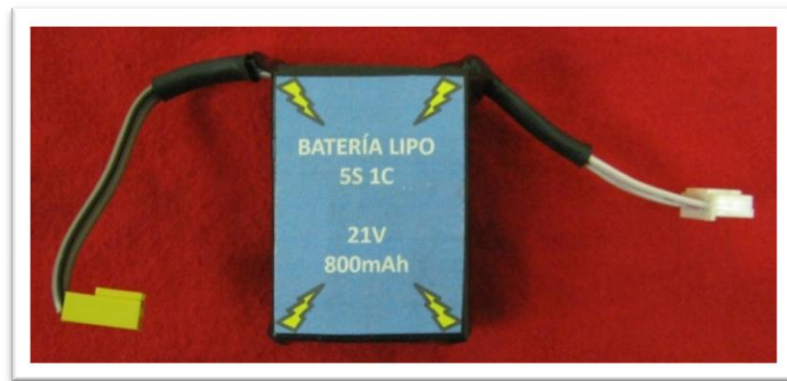


En cuanto a los módulos en el helicóptero, aunque el receptor FM y el transmisor de AM cuentan con reguladores de 12V, se requiere de una tensión mayor a la de la batería del transmisor de FM, ya que el amplificador de audio necesita energía para entregar los 0,5W de potencia al parlante, además de la que disipa el amplificador de audio. Por tal razón, la curva de descarga de cada celda Lipo será más pronunciada, lo que resulta indeseable visto desde los reguladores, ya que se debe considerar un nivel de tensión aún más bajo para las celdas, en este caso una corriente de 1C, es decir 800mAh.

Esto da una tensión mínima de operación alrededor de los 3.5V, a partir de ello se realiza el cálculo para determinar la cantidad de celdas mínima.

$$\begin{aligned} 3.5 \text{ V} * N &> 14.5\text{V} && (112) \\ N &> 4.14 \\ N &= 5 \text{ celdas} \end{aligned}$$

Figura 43. Paquete de baterías Lipo para alimentar al receptor de FM y al transmisor de AM. Fuente: Autor del texto.



2.6.DISEÑO DE CIRCUITOS IMPRESOS

El diseño de los circuitos impresos fue un aspecto clave, ya que varias pruebas realizadas en prototipos anteriores a los montajes definitivos mostraron fallas y pérdidas causadas por el diseño del circuito impreso, el material de este y la calidad de las soldaduras a la hora de montar los elementos en las tarjetas.

A la hora de diseñar los circuitos se tuvo en cuenta el mantener una distancia adecuada entre las vías, además de considerar un ancho que permitiera a la corriente fluir sin provocar mayores pérdidas, por otra parte, se extendió la tierra

de los circuitos en la tarjeta, ello con el objetivo de capturar las señales RF que intentaran abandonar el circuito y producir pérdidas o interferencias con otras etapas del conjunto. Además se procuró mantener las vías que llevaran señales RF lo más cortas posibles para evitar pérdidas, sin embargo, estos diseños en parte van destinados a los estudiantes, por lo que es necesario proporcionarles un espacio entre los elementos adecuado para que realicen mediciones sin ocasionar corto circuitos que podrían ocasionar daños en las unidades.

Los diseños además cuentan con capacitancias distribuidas a lo largo de los puntos de alimentación del circuito, ello da una mayor estabilidad a los niveles de tensión en DC que requieren los dispositivos para operar correctamente, evitando así ruidos o interferencias. Se procuró diseñar los circuitos impresos de la forma más organizada posible, pues da facilidad para entender el comportamiento de los dispositivos y encontrar daños.

En cuanto al proceso de fabricación, se uso fibra de vidrio, cada tarjeta durante su elaboración fue tratada con baños de plata para mejorar la conductividad de sus vías, estas además se recubrieron con una laca protectora a fin de evitar formación de oxido el cual afectaría el comportamiento del circuito. Finalmente las soldaduras fueron rebajadas de tal forma que no quedase mayor cantidad a la necesaria para unir adecuadamente los elementos al circuito impreso.

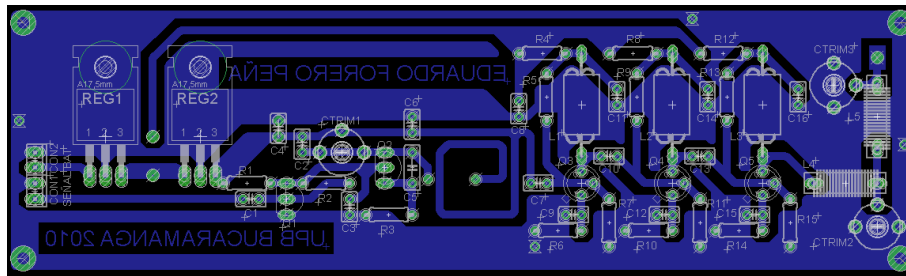
RESULTADOS:

CIRCUITO IMPRESO PARA EL TRANSMISOR DE FM

Figura 44. Cara superior del circuito impreso del transmisor de FM. Fuente: Autor del texto.



Figura 45. Cara inferior del circuito impreso del transmisor de FM con vista de los elementos. Fuente: Autor del texto.



CIRCUITO IMPRESO PARA EL RECEPTOR DE FM

Figura 46. Cara superior del circuito impreso del receptor de FM. Fuente: Autor del texto.

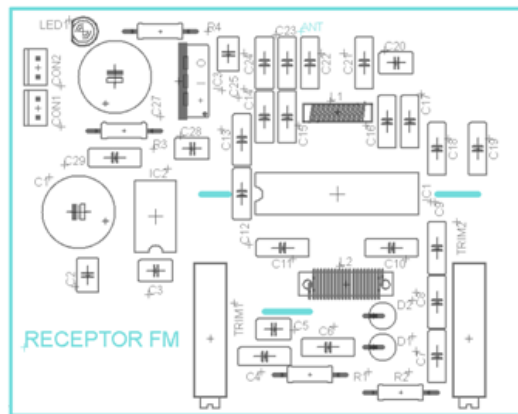
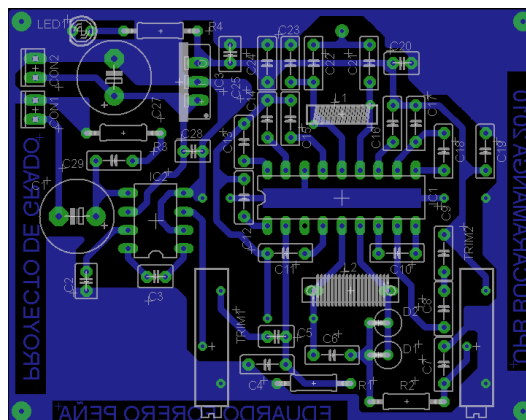


Figura 47. Cara inferior del circuito impreso del receptor de FM con vista de los elementos. Fuente: Autor del texto.



CIRCUITO IMPRESO PARA EL TRANSMISOR DE AM

Figura 48. Cara superior del circuito impreso del transmisor de AM. Fuente: Autor del texto.

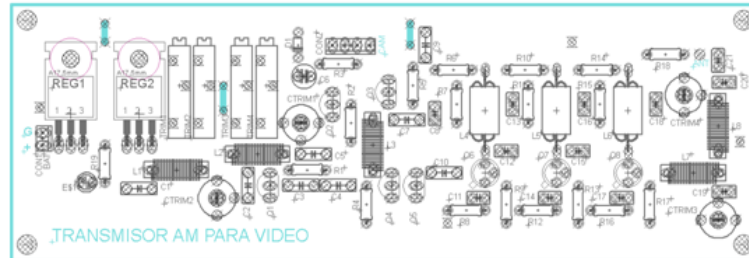
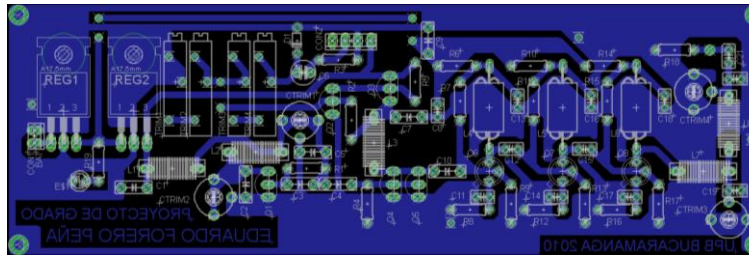


Figura 49. Cara inferior del circuito impreso del transmisor de AM con vista de los elementos. Fuente: Autor del texto.



2.7.PROTECCIONES

Para evitar pérdidas de la señal fueron necesarias algunas precauciones tales como:

Material de los circuitos impresos: Fibra de vidrio, ya que la baquelita común permite el paso de ruido en los circuitos de alta frecuencia.

Figura 50. Circuito impreso del transmisor de FM elaborado en fibra de vidrio. Fuente: Autor del texto.



Figura 51. Circuito impreso del receptor de FM elaborado en fibra de vidrio. Fuente: Autor del texto.



Figura 52. Circuito impreso del transmisor de AM elaborado en fibra de vidrio. Fuente: Autor del texto.



Tipo de cable: Blindado, para las conexiones de la antena se usó cable coaxial RG-6U de 75Ω . Para los cables que conectan el parlante y la alimentación de los circuitos se empleó cable protegido para audio. Ello impidió que las vías de alimentación y audio en el receptor de FM fuesen tomados como antenas.

Jaulas de Faraday: Estas aíslan las señales entre el medio y las tarjetas de circuitos, impidiendo así que puedan incidir sobre elementos sensibles en ellas como inductancias y entradas de amplificadores.

El transmisor de FM cuenta con un gabinete metálico conectado a la tierra del circuito, mientras que el receptor de FM y el transmisor de AM están cubiertos por mallas de aluminio conectadas a las tierras de sus respectivos circuitos. El tamaño de los espacios en la malla se determinó de forma experimental, evaluando su permisividad ante señales de radio a diferentes frecuencias, de tal forma que la malla impidiera el paso de frecuencias cercanas a las de operación de los módulos.

Figura 53. Transmisor de FM en gabinete metálico. Fuente: Autor del texto.



Figura 54. Transmisor de AM en jaula de Faraday fabricada en malla metálica. Fuente: Autor del texto.

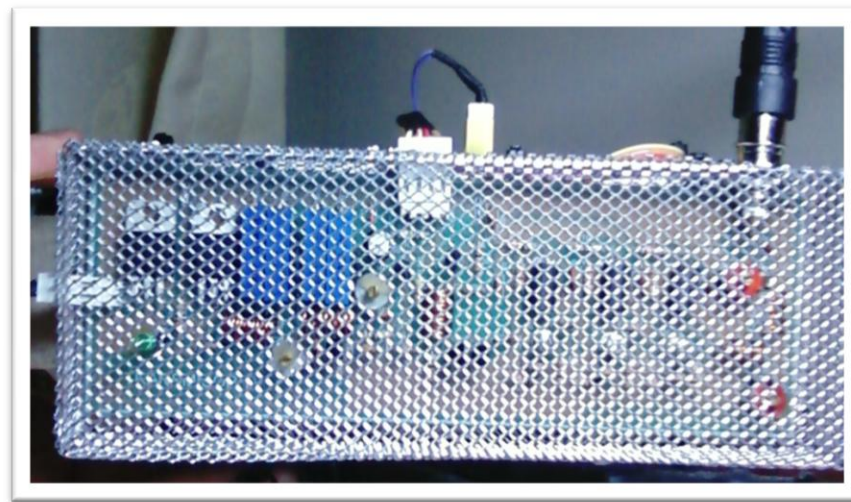
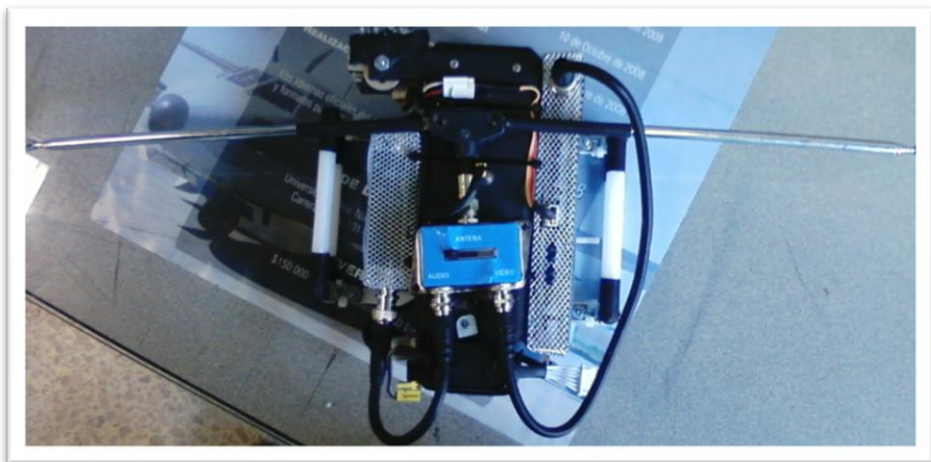


Figura 55. Receptor de FM en jaula de Faraday fabricada en malla metálica. Fuente: Autor del texto.



Seleccionador para antena: Este se ubica en el módulo del helicóptero, se trata de un interruptor para señal de televisión, el cual en este caso cumple la función de seleccionar el dispositivo que se desea conectar a la antena. Dicho interruptor posee una cubierta metálica, a fin de proteger la señal que pasa por él.

Figura 56. Selector para antena. Fuente: Autor del texto.



2.8. ELABORACIÓN DE INDUCTANCIAS

Para la elaboración de las inductancias requeridas en los diseños, se emplea la siguiente ecuación:

$$L(\mu\text{H}) = 0.001 * d^2 * n^2 / (l + 0.45 * d) \quad (113)$$

Donde:

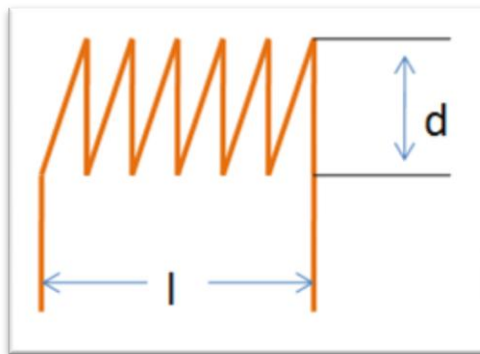
L = Inductancia en μH .

l = Longitud en mm.

d = Diámetro en mm.

n = Número de espiras.

Figura 57. Dimensiones de la inductancia con núcleo de aire. Fuente: Autor del texto.



2.9. CÁLCULO DE POTENCIA PARA RF

$$A(\text{dB}) = 10 * \text{LOG}_{10} (P(\text{W}) / 1\text{W}) \quad (114)$$

$$A(\text{dBm}) = 10 * \text{LOG}_{10} (P(\text{W}) / 1\text{mW}) \quad (115)$$

$$P(\text{dBm}) = P(\text{dB}) + P(\text{dBm}) \quad (116)$$

$$\text{dB} = \text{dBi} - 2.14 \quad (117)$$

3. RESULTADOS OBTENIDOS

3.1. TRANSMISOR DE FM PARA AUDIO

Al ingresar las ecuaciones de la etapa de diseño en una tabla de Excel y aplicando las limitaciones requeridas para algunos parámetros se obtuvo los siguientes resultados para cada una de las etapas:

MODULADOR DE FM

Tabla 3. Valores de los elementos del modulador de FM.

VARIABLE	VALOR	UNIDAD		UNIDAD
V _{cc}	9	V		
R1	2200	Ω		
R2	47000	Ω		
R3	330	Ω		
R _L	357,57	Ω		
C1	1E-08	F	10	n F
C2	1,8E-11	F	18	p F
C3	1E-09	F	1	n F
C4	1E-09	F	1	n F
C5	2,7E-12	F	2,7	p F
C7	2,7E-12	F	2,7	p F
Lx1	7,575E-09	H	7,57	n H
Lx2	6,06E-08	H	60,6	n H
β	200			
V _{BE}	0,7	V		
C π	9E-12	F	9	p F
C μ	3,5E-12	F	3,5	p F

Tabla 4. Análisis DC del modulador de FM.

VARIABLE	VALOR	UNIDAD		UNIDAD
I1	0,00341	A	3,41	m A
V _{CE1}	1,5	V		
I2	0,00243	A	2,43	m A
V _{CE2}	8,2	V		

Tabla 5. Análisis AC del modulador de FM.

VARIABLE	VALOR	UNIDAD	VALOR	UNIDAD
Frecuencia	107600000	Hz	107,6	MHz
X π	164,35	Ω		
X μ	422,61	Ω		
XC2	82,17	Ω		
XC3	1,48	Ω		
XC5	547,83	Ω		
XLX1	5,12	Ω		
XLX2	40,97	Ω		
VT	0,026	V	26	m V
gm1	0,13	S		
gm2	0,09	S		
R π 1	1525,54	Ω		
R π 2	2142,25	Ω		
ZA	148,36	Ω		
ZB	354,51	Ω		
ZC	1,46	Ω		
ZD	238,57	Ω		
ZE	29,5	Ω		
Za	4300	Ω	4,3	K Ω
Zb	390	Ω	0,39	K Ω
Av	0,047		-26,54	dB
	0,00222	W	2,22	mW
Av			3,46	dBm
Frec audio	20000	Hz	20	kHz
ACOPLES				
XC1	795,77	Ω		
XC7	0,2	Ω		

AMPLIFICADOR DE RF

ETAPA 1

Tabla 6. Valores de los elementos de la etapa 1 del amplificador de RF para el transmisor de FM.

V _{cc}	12	V		
R4	22	Ω		
R5	4300	Ω	4,3	KΩ
R7	390	Ω		
R6	22	Ω		
C _π	4E-12	F	4	p F
C _μ	4E-12	F	4	p F
L1	0,0000012	H	1,2	μ H
B	40			
V _{BE}	0,7	V		
C7	2,7E-12	F	2,7	p F
C9	1E-09	F	1	n F
C10	1E-09	F	1	n F
V _T	0,026	V	26	m V
Frecuencia	107600000	Hz	107,6	MHz
RL	36,67	Ω		

Tabla 7. Análisis DC de la etapa 1 del amplificador de RF para el transmisor de FM.

I _C	0,0174	A	17,4	mA
V _{CE}	11,23	V		
V _B	0,97	V	966,06	mV
P	0,19	W	195,33	m W

Tabla 8. Análisis AC de la etapa 1 del amplificador de RF para el transmisor de FM.

gm	0,67			
R π	59,82	Ω		
X μ	369,78	Ω		
X π	369,78	Ω		
XL1	811,28	Ω		
Z _A	45,01	Ω		
Z _B	35,09	Ω		
Av	-21,349		26,585	dB
ACOPLES				
XC7	547,827837	Ω		
XC9	1,47913516	Ω		
XC10	1,47913516	Ω		

ETAPA 2

Tabla 9. Valores de los elementos de la etapa 2 del amplificador de RF para el transmisor de FM.

V _{cc}	12	V		
R8	22	Ω		
R9	2400	Ω	2,4	K Ω
R11	220	Ω		
R10	22	Ω		
C π	4E-12	F	4	p F
C μ	4E-12	F	4	p F
L1	0,000021	H	21	μ H
B	40			
V _{BE}	0,7	V		
C10	1E-09	F	1	n F
C12	1E-09	F	1	n F
C13	1E-09	F	1	n F
V _T	0,026	V	26	m V
Frecuencia	107600000	Hz	107,6	MHz
RL	37,40	Ω		

Tabla 10. Análisis DC de la etapa 2 del amplificador de RF para el transmisor de FM.

I _c	0,018	A	17,83	mA
V _{CE}	11,21	V		
V _B	0,97	v		
P	0,2	W	200	mW

Tabla 11. Análisis AC de la etapa 2 del amplificador de RF para el transmisor de FM.

g _m	0,69			
R _π	58,33	Ω		
X _μ	369,78	Ω		
X _π	369,78	Ω		
Z _{L1}	14197,48	Ω		
Z _A	40,31	Ω		
Z _B	37,30	Ω		
A _v	-23,15		27,29	dB
ACOPLES				
XC10	1,48	Ω		
XC12	1,48	Ω		
XC13	1,48	Ω		

ETAPA 3

Tabla 12. Valores de los elementos de la etapa 2 del amplificador de RF para el transmisor de FM.

V _{cc}	12	V		
R12	22	Ω		
R13	2400	Ω	2,4	KΩ
R15	220	Ω		
R14	22	Ω		
C _π	4E-12	F	4	p F
C _μ	4E-12	F	4	p F
L2	0,000021	H	21	μ H
B	40			
C13	1E-09	F	1	p F
C15	1E-09	F	1	n F
FRECUENCIA	107600000	Hz	107,6	MHz
RL	151,032	Ω		

Tabla 13. Análisis DC de la etapa 3 del amplificador de RF para el transmisor de FM.

I _C	0,018	A	17,8297055	mA
V _{CE}	11,21	V		
V _B	0,97	V		
P	0,2	W	200	m W

Tabla 14. Análisis AC de la etapa 3 del amplificador de RF para el transmisor de FM.

g _m	0,69			
R _π	58,33	Ω		
X _μ	369,78	Ω		
X _π	369,78	Ω		
Z _{L1}	14197,48	Ω		
Z _A	40,31	Ω		
Z _B	149,44	Ω		
A _v	-72,697		37,23	dB
ACOPLES				
XC1	1,47913516	Ω		
XC3	1,47913516	Ω		

FILTRO

Tabla 15. Valores para el diseño del filtro de salida del transmisor de FM.

CTRIM2	4E-12	F	4	p F
CTRIM3	4E-12	F	4	p F
L4	1,49E-07	H	149,21	nH
L5	3,73E-08	H	37,3	nH
Frecuencia	107600000	Hz	107,6	MHz

Tabla 16. Análisis AC del filtro de salida del transmisor de FM.

XCTRIM2	369,78	Ω
XCTRIM3	369,78	Ω
XL4	100,88	Ω
XL5	25,22	Ω
RL	151,03	Ω

ANTENA

Tabla 17. Características de la antena del transmisor de FM.

FRECUENCIA	107,6	MHz	107600000	Hz
C	300000000	m/s		
LONG ONDA	2,79	m		
RELACION	0,25			
LONG ANTENA	0,697	m	69,7	cm
IMPEDANCIA	36	Ω		
GANANCIA	3,2	dBi	1,06	d B

PRUEBA EXPERIMENTAL

Tras realizar los cálculos para una ganancia mayor en los amplificadores, ella no se obtuvo experimentalmente, ya que los transistores de las etapas de amplificación tienen una limitante de ganancia en potencia de aproximadamente 6dB para el transistor 2N2369. Dicho dato no se encuentra establecido en la hoja de datos del fabricante, por lo que fue necesario conocerla por medio de las mediciones realizadas en el montaje del circuito.

Tabla 18. Potencia del transmisor FM.

	GANANCIA	UNIDAD
MODULADOR	3,46	dBm
AMPLIFICADOR		
ETAPA 1	6	dB
ETAPA 2	6	dB
ETAPA 3	6	dB
FILTRO	-14,53	dB
ANTENA	1,06	dB
TOTAL	8	dBm

El comportamiento del filtro de salida se observa a continuación, donde en la figura se aprecia la respuesta en frecuencia desde 0 rad/seg hasta 10^{11} rad/seg. La figura corresponde a un acercamiento de la curva anterior, pero en un rango de frecuencias que va desde 107,6MHz ($6,76 \cdot 10^8$ rad/seg) hasta 430,4MHz ($2,704 \cdot 10^9$ rad/seg) este último corresponde al cuádruple de la frecuencia de la portadora. En dicho intervalo están contempladas las frecuencias de los armónicos más fuertes que requieren ser atenuados.

Figura 58. Comportamiento general del filtro de salida del transmisor de FM. Fuente: Autor del texto.

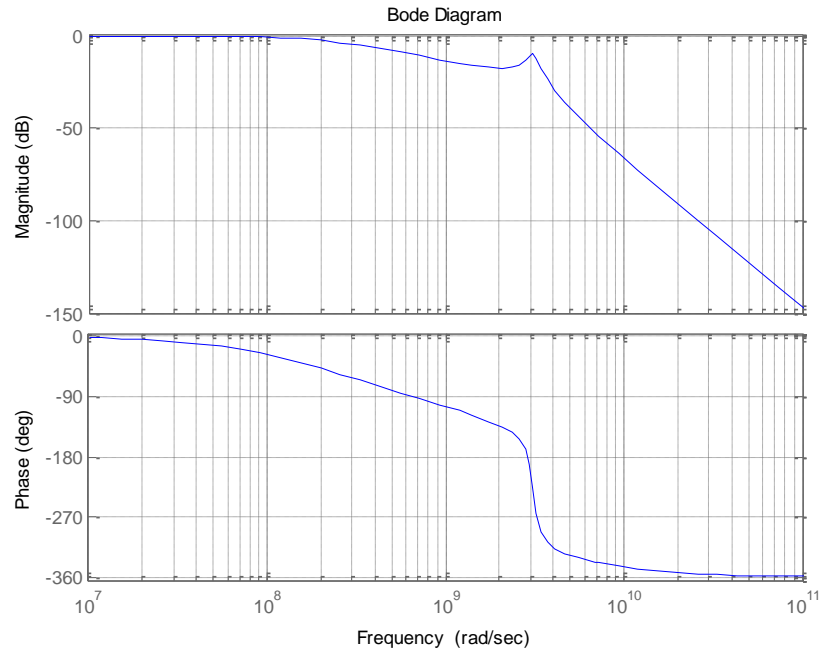
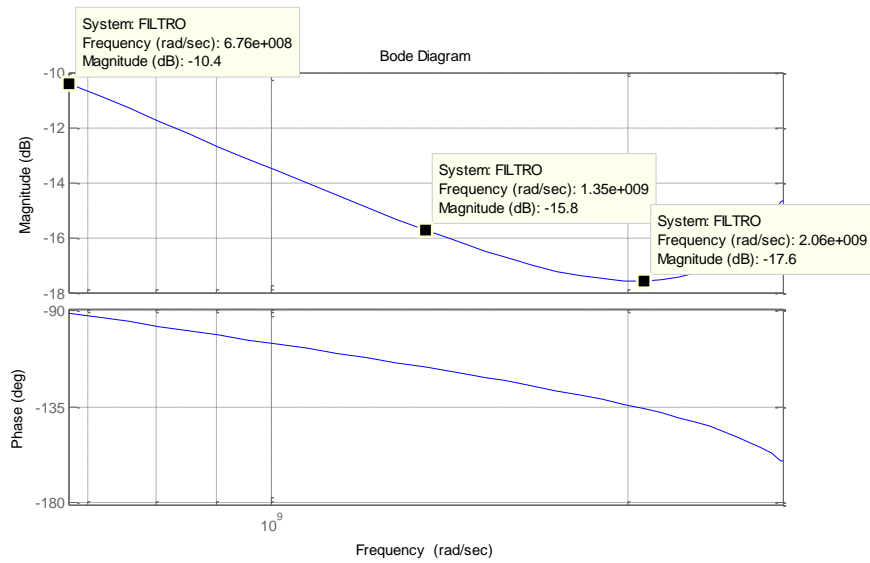


Figura 59. Comportamiento del filtro de salida del transmisor de FM en las frecuencias de trabajo. Fuente: Autor del texto.

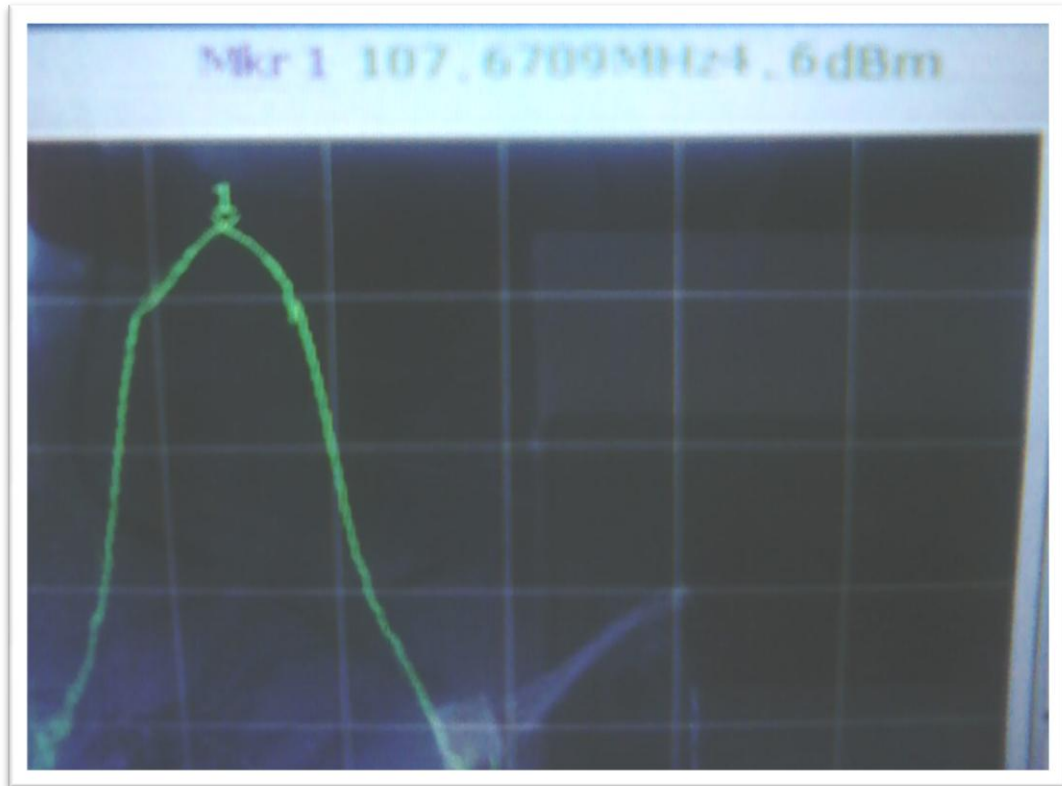


Experimentalmente se recaudó la siguiente información y como apoyo se presenta la figura 50.

Frecuencia de portadora: 107.67 MHz

Potencia radiada: 4.6dBm

Figura 60. Señal portadora del transmisor de FM visualizada en el analizador de espectro. Fuente: Autor del texto.



Para analizar el comportamiento de la señal RF bajo variaciones en la señal moduladora, se realizaron pruebas empleando un generador de señales, el cual cumplió la función de reemplazar a la fuente de audio, además se empleó un analizador de espectro, con el cual se visualizó el comportamiento de la señal en el espectro electromagnético.

Figura 61. Generador de señales ajustado a 100Hz, amplitud de 10mV y señal sinusoidal. Fuente: Autor del texto.



Figura 62. Visualización de señal de RF en el analizador de espectro (moduladora con frecuencia de 100Hz, amplitud de 10mV y señal sinusoidal). Fuente: Autor del texto.

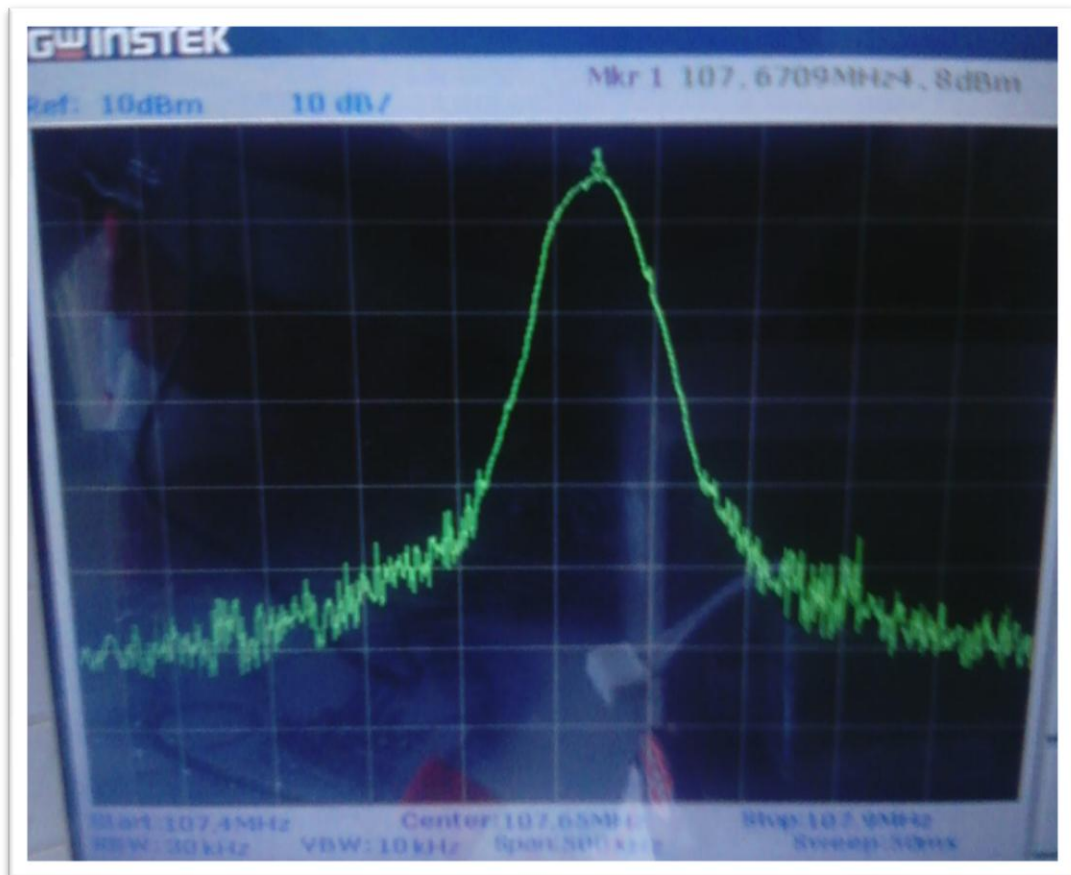


Figura 63. Generador de señales ajustado a 750Hz, amplitud de 10mV y señal sinusoidal. Fuente: Autor del texto.



Figura 64. Visualización de señal de RF en el analizador de espectro (moduladora con frecuencia de 750Hz, amplitud de 10mV y señal sinusoidal). Fuente: Autor del texto.

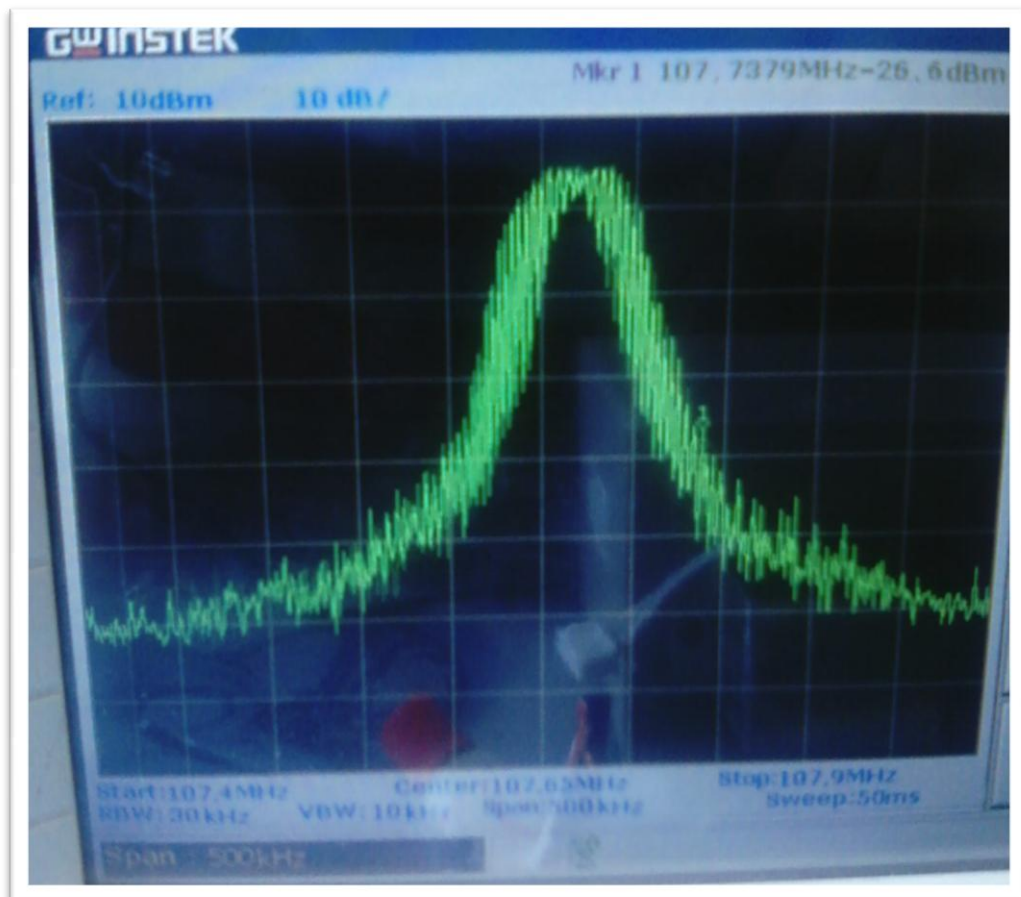


Figura 65. Generador de señales ajustado a 1kHz, amplitud de 10mV y señal sinusoidal. Fuente: Autor del texto.

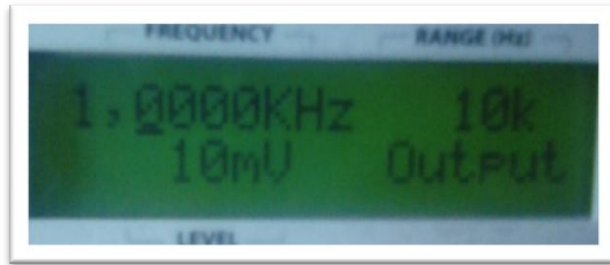
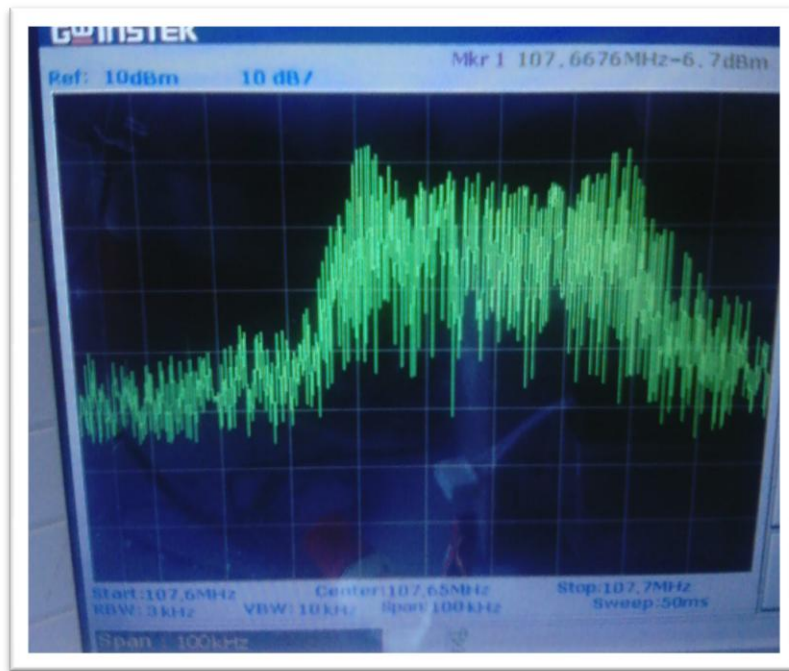


Figura 66. Visualización de señal de RF en el analizador de espectro (moduladora con frecuencia de 1kHz, amplitud de 10mV y señal sinusoidal). Fuente: Autor del texto.



Como se observó en las ilustraciones anteriores, a medida que la frecuencia de la moduladora aumenta, la señal en el analizador de espectro se ensancha, ello se debe a que esta requiere mayor ancho de banda. Sin embargo, la portadora no se define claramente a partir de determinado valor de frecuencia de la moduladora, ello se debe a que las características del circuito lo hacen apto para señales con frecuencias bajas, pero para frecuencias altas este no las soporta y se comporta de manera inadecuada.

3.2. RECEPTOR DE FM PARA AUDIO

Tras ingresar las ecuaciones de la etapa de diseño en una tabla de cálculos, se llegó a la siguiente información para los valores de los dispositivos de las etapas de filtro de entrada y de oscilador local:

FILTRO DE ENTRADA RF

Tabla 19. Valores de los elementos del filtro de entrada RF del receptor de FM.

Frec	107600000	Hz	107,6	MHz
L1	4,165E-08	H	41,65	n H
C21	4,7E-11	F	47	pF
C22	4E-11	F	40	pF
C23	2,2E-09	F	2,2	nF
Ra	700	Ω		
XL1	28,16	Ω		
XC21	31,47	Ω		
XC22	36,98	Ω		
XC23	0,67	Ω		

Figura 67. Comportamiento general del filtro de salida del transmisor de FM. Fuente: Autor del texto.

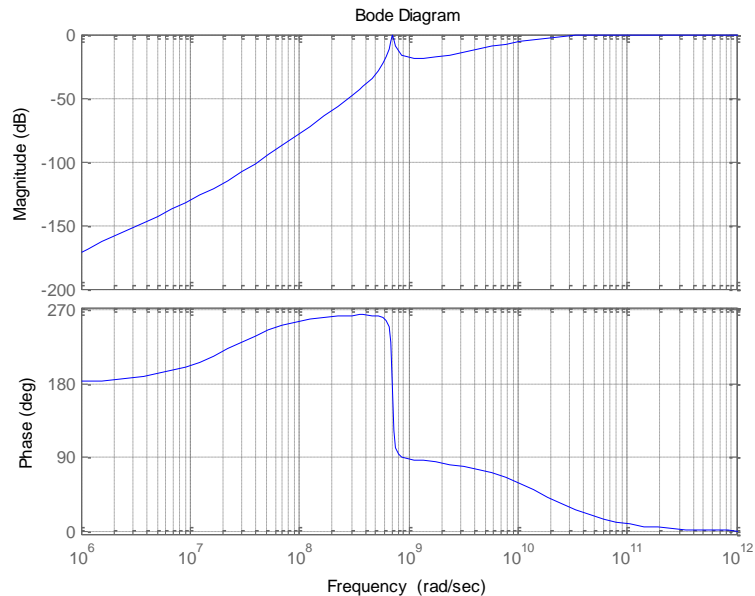
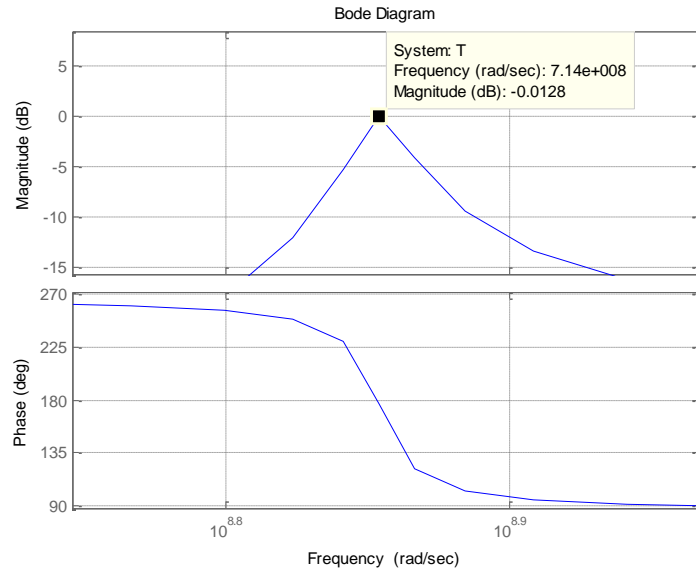


Figura 68. Comportamiento del filtro de entrada RF del receptor de FM en la frecuencia de trabajo. Fuente: Autor del texto.



OSCILADOR LOCAL

Gracias al software MATLAB fue posible extraer las raíces de la ecuación y empleando los siguientes valores se obtuvo la información de la tabla.

Tabla 20. Valores de los elementos del oscilador local para el receptor de FM.

CD1	1,6E-11	F	16	pF
CD2	1,6E-11	F	16	pF
C6	4,7E-09	F	4,7	nF
L2	6,802E-08	H	68,02	nH
R2	10000	Ω	10	k Ω
TRIM2	100000	Ω	100	k Ω
Frecuencia	108	MHz		

Al reemplazar los valores de los componentes en la ecuación se obtuvo el siguiente polinomio:

$$(2.5376 \cdot 10^{-20}) \cdot f^3 + (8.593 \cdot 10^{-17}) \cdot f^2 - (2.9732 \cdot 10^{-4}) \cdot f - 1 = 0$$

De esta se extrajeron sus raíces, lo que dio como resultado:

Raíz	1	2	3
MHz	108,24	-108,24	0

RESULTADOS EXPERIMENTALES

Dado que este dispositivo se encuentra destinado para trabajar en conjunto con el transmisor de FM, se realizó la siguiente prueba:

En un extremo de una sala se conectó un generador de señales al transmisor de FM. Del otro extremo de la sala se conectó la salida de audio del receptor al osciloscopio. Después de sintonizar los equipos para iniciar la transferencia de señal, se procedió a darle valores de frecuencia al generador de señales para luego visualizar las ondas en el osciloscopio, como resultado se obtuvo la siguiente información:

Figura 69. Generador de señales ajustado a 261Hz y amplitud de 10mV. Fuente: Autor del texto.

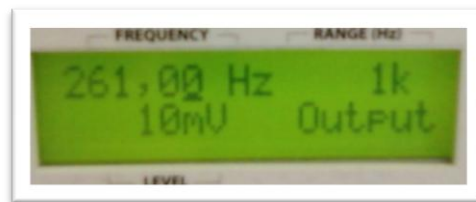


Figura 70. Señal de la figura 43 captada en el osciloscopio (TIME/DIV=1mS, VOLT/DIV = 1). Fuente: Autor del texto.

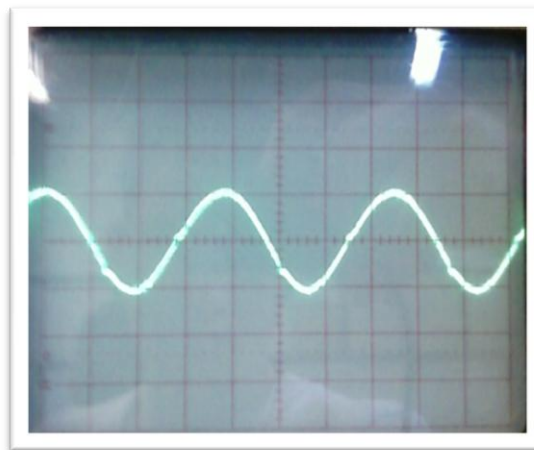


Figura 71. Generador de señales ajustado a 277Hz y amplitud de 30mV. Fuente: Autor del texto.

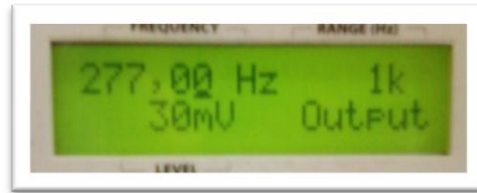


Figura 72. Señal de la figura 45 captada en el osciloscopio (TIME/DIV=1mS, VOLT/DIV = 1). Fuente: Autor del texto.

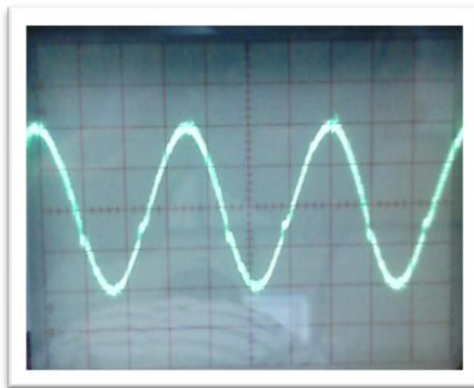


Figura 73. Generador de señales ajustado a 783Hz y amplitud de 30mV. Fuente: Autor del texto.



Figura 74. Señal de la figura 47 captada en el osciloscopio (TIME/DIV=1mS, VOLT/DIV = 1). Fuente: Autor del texto.

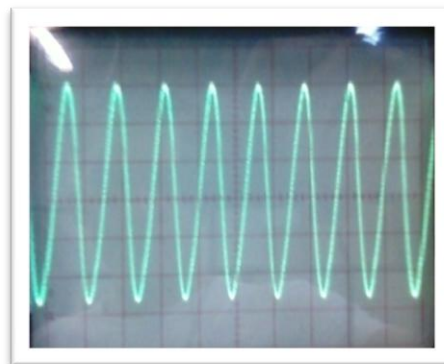


Figura 75. Generador de señales ajustado a 1,044kHz y amplitud de 30mV. Fuente: Autor del texto.

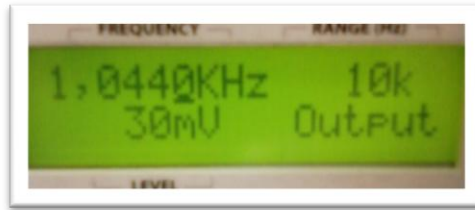


Figura 76. Señal de la figura 49 captada en el osciloscopio (TIME/DIV=0,2mS, VOLT/DIV = 1). Fuente: Autor del texto.

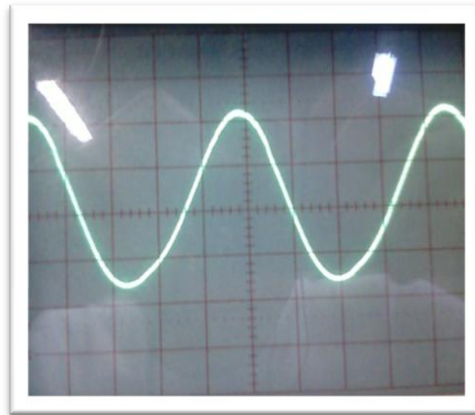


Figura 77. Generador de señales ajustado a 1,3050kHz y amplitud de 30mV. Fuente: Autor del texto.

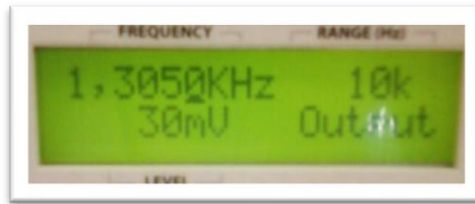


Figura 78. Señal de la figura 51 captada en el osciloscopio (TIME/DIV=0,2mS, VOLT/DIV = 1). Fuente: Autor del texto.

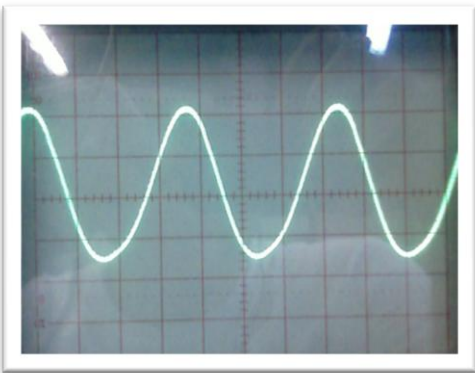


Figura 79. Generador de señales ajustado a 1,5660kHz y amplitud de 30mV. Fuente: Autor del texto.

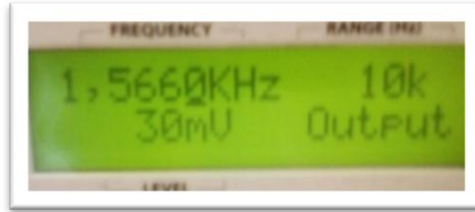
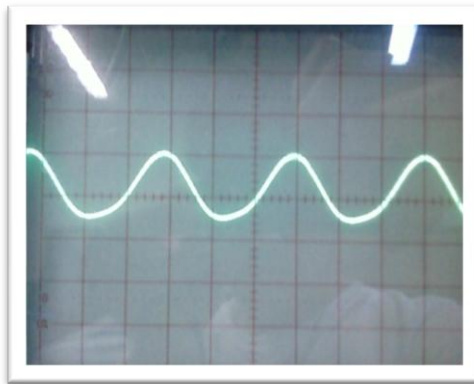


Figura 80. Señal de la figura 53 captada en el osciloscopio (TIME/DIV=0,2mS, VOLT/DIV = 1). Fuente: Autor del texto.



Como se observó en las ilustraciones anteriores, la forma de onda de la señal del generador no sufre mayores alteraciones durante la transmisión, por lo que se pudo esperar un resultado similar para la señal de audio, asumiendo que esta se encuentra formada por la suma de ondas sinusoidales con variaciones de frecuencia y amplitud.

Los valores de frecuencia para la prueba se seleccionaron de forma arbitraria dentro de un rango definido entre 570Hz y 1710Hz. Estos límites corresponden a la frecuencia para la caja acústica y el triple de dicho valor. Ahora bien, esta caja presenta un eco cuando la frecuencia es superior a la establecida en el diseño, sin embargo, dicho efecto no es perceptible al oído humano cuando el desfase es mínimo, no obstante, la percepción auditiva de cada persona no es la misma, por ello se consideró que este retardo sería imperceptible a tres veces la frecuencia para la que se diseñó la caja. De esta forma se aseguró que se percibiría mayor intensidad en el sonido antes que se produjera un eco perceptible. A continuación se muestra en la tabla las notas musicales con frecuencia en el intervalo mencionado. Nótese que este abarca aproximadamente dos octavas de la escala musical.

Tabla 21. Frecuencias en hercios (Hz) para las notas musicales y sus correspondientes octavas.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Do		32,7	65,41	130,81	261,63	523,25	1046,5	2093	4186,01
Do#		34,65	69,3	138,59	277,18	554,37	1108,73	2217,46	
Re		36,71	73,42	146,83	293,66	587,33	1174,66	2349,32	
Re#		38,89	77,78	155,56	311,13	622,25	1244,51	2489,02	
Mi		41,2	82,41	164,81	329,63	659,26	1318,51	2637,02	
Fa		43,65	87,31	174,61	349,23	698,46	1396,91	2793,83	
Fa#		46,25	92,5	185	369,99	739,99	1479,98	2959,96	
Sol		49	98	196	392	783,99	1567,98	3135,96	
Sol#		51,91	103,83	207,65	415,3	830,61	1661,22	3322,44	
La	27,5	55	110	220	440	880	1760	3520	
La#	29,14	58,27	116,54	233,08	466,16	932,33	1864,66	3729,31	
Si	30,87	61,74	123,47	246,94	493,88	987,77	1975,53	3951,07	

3.3. TRANSMISOR DE AM PARA VIDEO

Al ingresar las ecuaciones de la etapa de diseño en una tabla de Excel y aplicando las limitaciones requeridas para algunos parámetros se obtuvo los siguientes resultados para cada una de las etapas:

MODULADOR AM

Experimentalmente se realizó la medición de este y se obtuvo:

$$P_{OUTM} = -4 \text{ dBm}$$

$$\text{Frecuencia} = 86,77 \text{ MHz}$$

AMPLIFICADOR DE RF

ETAPA 1

Tabla 22. Análisis DC de la etapa 1 del amplificador de RF para el transmisor de AM.

I _c	0,01738	A	17,38	mA
V _{CE}	11,23	V		
V _B	0,96606	V	966,06	mV
P	0,19533	W	195,33	m W

Tabla 23. Valores de los elementos de la etapa 1 del amplificador de RF para el transmisor de AM.

Vcc	12	V		
R6	22	Ω		
R7	4300	Ω	4,3	k Ω
R9	390	Ω		
R8	22	Ω		
C π	4E-12	F	4	p F
C μ	4E-12	F	4	p F
L4	0,0000012	H	1,2	μ H
B	40			
V _{BE}	0,7	V		
C10	2,7E-12	F	2,7	p F
C12	1E-09	F	1	n F
C13	1E-09	F	1	n F
V _T	0,026	V	26	m V
Frecuencia	86770000	Hz	86,77	MHz
RL	38,0243281	Ω		

Tabla 24. Análisis AC de la etapa 1 del amplificador de RF para el transmisor de AM.

gm	0,67			
R π	59,82	Ω		
X μ	458,55	Ω		
X π	458,55	Ω		
XL1	654,23	Ω		
Z _A	46,09	Ω		
Z _B	35,94	Ω		
Av	-22,21		26,9310785	dB
ACOPLES				
XC19	679,34	Ω		
XC12	1,83	Ω		
XC13	1,83	Ω		

ETAPA 2

Tabla 25. Valores de los elementos de la etapa 2 del amplificador de RF para el transmisor de AM.

V _{CC}	12	V		
R10	22	Ω		
R11	2400	Ω	2,4	kΩ
R13	220	Ω		
R12	22	Ω		
C _π	4E-12	F	4	p F
C _μ	4E-12	F	4	p F
L1	0,000021	H	21	μ H
B	40			
V _{BE}	0,7	V		
C12	1E-09	F	1	p F
C14	1E-09	F	1	n F
C15	1E-09	F	1	n F
V _T	0,026	V	26	m V
FRECUENCIA	86770000	Hz	86,77	MHz
RL	38,56	Ω		

Tabla 26. Análisis DC de la etapa 2 del amplificador de RF para el transmisor de AM.

I _C	0,01782971	A	17,8297055	mA
V _{CE}	11,215493	V		
V _B	0,97469627			
P	0,19996894	W	199,968937	m W

Tabla 27. Análisis AC de la etapa 2 del amplificador de RF para el transmisor de AM.

Gm	0,69			
R π	58,33	Ω		
X μ	458,55	Ω		
X π	458,55	Ω		
Z _{L1}	11449,03	Ω		
Z _A	41,17	Ω		
Z _B	38,43	Ω		
Av	-24,24		27,69	dB
ACOPLES				
XC12	1,83	Ω		
XC15	1,83	Ω		
XC13	1,83	Ω		

ETAPA 3

Tabla 28. Valores de los elementos de la etapa 2 del amplificador de RF para el transmisor de AM.

V _{CC}	12	V		
R1	22	Ω		
R2	2400	Ω	2,4	k Ω
R3	220	Ω		
R4	22	Ω		
C π	4E-12	F	4	p F
C μ	4E-12	F	4	p F
L1	0,000021	H	21	μ H
B	40			
V _{BE}	0,7	V		
C15	1E-09	F	1	p F
C17	1E-09	F	1	n F
V _T	0,026	V	26	m V
Frecuencia	86770000	Hz	86,77	MHz
RL	151,85	Ω		

Tabla 29. Análisis DC de la etapa 2 del amplificador de RF para el transmisor de AM.

I _c	0,01782971	A	17,8297055	mA
V _{CE}	11,215493	V		
V _B	0,97469627			
P	0,19996894	W	199,968937	m W

Tabla 30. Análisis AC de la etapa 2 del amplificador de RF para el transmisor de AM.

G _m	0,6857579			
R _π	58,329623	Ω		
X _μ	458,55406	Ω		
X _π	458,55406	Ω		
Z _{L1}	11449,0318	Ω		
Z _A	41,1745675	Ω		
Z _B	149,863179	Ω		
A _v	-77,2096354		37,75343	dB
			67,75343	dBm
A _v	-77,2201402		37,7546117	dB
ACOPLES				
XC15	1,83421624	Ω		
XC17	1,83421624	Ω		
RL	151,850845	Ω		

FILTRO

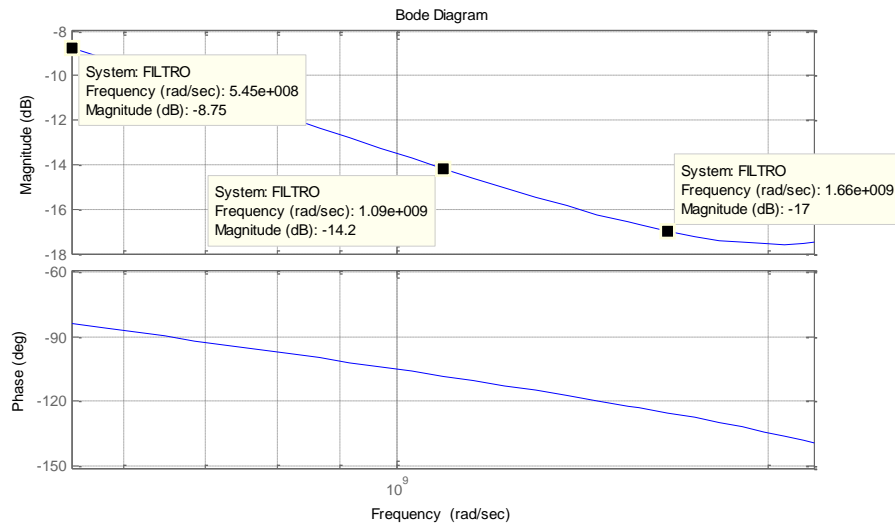
Tabla 31. Valores para el diseño del filtro de salida del transmisor de FM.

CTRIM2	4E-12	F	4	p F
CTRIM3	4E-12	F	4	p F
L4	1,4921E-07	H	149,21	nH
L5	3,7303E-08	H	37,303	nH
FRECUENCIA	86770000	Hz	86,77	MHz

Tabla 32. Análisis AC del filtro de salida del transmisor de FM.

XCTRIM2	458,55	Ω
XCTRIM3	458,55	Ω
XL4	81,35	Ω
XL5	20,34	Ω
RL	151,85	Ω
Req1	62,97	Ω
Req2	83,31	Ω
Req3	70,50	Ω

Figura 81. Comportamiento general del filtro de salida del transmisor de AM para video. Fuente: Autor del texto.



ANTENA

Tabla 33. Características de la antena del transmisor de FM.

FRECUENCIA	107,6	MHz	107600000	Hz
C	300000000	m/s		
LONG ONDA	2,78810409	m		
RELACION	0,25			
LONG ANTENA	0,69702602	m	69,7026022	cm
IMPEDANCIA	36	Ω		
GANANCIA	3,2	dBi	1,06	d B

Tabla 34. Potencia del transmisor FM.

	GANANCIA	UNIDAD
MODULADOR	-4	dBm
AMPLIFICADOR		
ETAPA 1	6	dB
ETAPA 2	6	dB
ETAPA 3	6	dB
FILTRO	-9,09	dB
ANTENA	0,06	dB
TOTAL	4,96494726	dBm

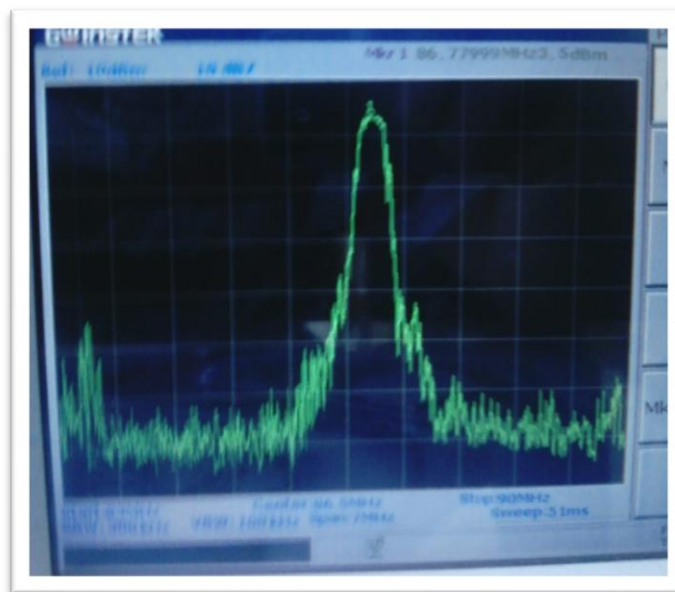
Experimentalmente se realizaron algunas pruebas, a fin de determinar los alcances del dispositivo.

Frecuencia de la portadora: Se empleó un analizador de espectro, el cual se ubicó cerca a la antena del transmisor. Este se puso en funcionamiento y se tomó la siguiente lectura: (ver figura 82).

Frecuencia de la portadora: 86,77MHz

Potencia de la portadora: 3.5dBm (2,24mW)

Figura 82. Lectura realizada en el analizador de espectro para la señal del transmisor de AM para video. Fuente: Autor del texto.



Calidad de la imagen: Para esta prueba se puso en funcionamiento la unidad, junto al conjunto de antena, amplificador de señal y televisor. Se realizó el ajuste de nivel y ganancia en el transmisor a fin de mejorar la imagen hasta la mejor calidad que el dispositivo permite, obteniendo así los siguientes resultados. (Ver ilustraciones 83 y 84).

Figura 83. Transmisor de AM para video desajustado. Fuente: Autor del texto.



Figura 84. Transmisor de AM para video ajustado. Fuente: Autor del texto.



La figura anterior muestra una toma realizada de la sala de trabajo desde un punto elevado. Allí se aprecia la mejora en los colores a comparación del transmisor desajustado. Ello se logra sintonizando adecuadamente la frecuencia del transmisor, de forma que el receptor de televisión se enganche a ella. Por otra parte, se debe realizar el ajuste simultáneo de GANANCIA y NIVEL, ya que de no ser el correcto el receptor no podrá reconocer la señal y el enganche de la frecuencia será infructuoso.

DIMENSIONES DE LAS INDUCTANCIAS

Tabla 35. Dimensiones para inductancias. Fuente: Autor del texto.

TRANSMISOR DE FM							
	d (mm)	n	l (mm)	L			
L4	5,5	8	10,5	0,1492	u H	149,21	nH
L5	5,5	4	10,5	0,03730	u H	37,30	nH
RECEPTOR DE FM							
L1	8,25	2,5	6,5	0,041654	u H	41,65	nH
L2	10,8	5	6,5	0,2567	u H	256,69	nH
TRANSMISOR DE AM							
L1	10,8	12	5	1,7034645	u H		
L2	10,8	8	5	0,75709533	u H	757,095335	nH
L3	10,8	12	5	1,7034645	u H		
L7	10,8	8	5	0,75709533	u H	757,095335	nH
L8	10,8	4	5	0,18927383	u H	189,273834	nH

4. COSTOS

TRANSMISOR DE FM

Tabla 36. Costo de materiales para el transmisor de FM. Fuente: Autor del texto.

ELEMENTO	VALOR	UNIDAD	PRECIO	
CAPACITANCIAS				
C1	10	n F	100	\$
C2	18	p F	100	\$
C3	1	n F	100	\$
C4	1	n F	100	\$
C5	2,7	p F	100	\$
C6	10	n F	100	\$
C7	2,7	p F	100	\$
C8	10	n F	100	\$
C9	1	n F	100	\$
C10	1	n F	100	\$
C11	100	n F	100	\$
C12	1	n F	100	\$
C13	1	n F	100	\$
C14	100	n F	100	\$
C15	1	n F	100	\$
C16	100	n F	100	\$
CTRIMM1	2,7 - 10	pF	1.400	\$
CTRIMM2	4,0-20	pF	1.400	\$
CTRIMM3	4,0-20	pF	1.400	\$
RESISTENCIAS A 0,25W				
R1	2,2	K Ω	30	\$
R2	47	K Ω	30	\$
R3	330	Ω	30	\$
R4	22	Ω	30	\$
R5	4,3	K Ω	30	\$
R6	22	Ω	30	\$
R7	390	Ω	30	\$
R8	22	Ω	30	\$

R9	2,4	KΩ	30	\$
R10	22	Ω	30	\$
R11	220	Ω	30	\$
R12	22	Ω	30	\$
R13	2,4	KΩ	30	\$
R14	22	Ω	30	\$
R15	220	Ω	30	\$
INDUCTANCIAS				
	REFERENCIA			
L1	VK200		10.000	\$
L2	VK200		10.000	\$
L3	VK200		10.000	\$
TRANSISTORES Y CIRCUITOS INTEGRADOS				
Q1	BC547		200	\$
Q2	BC547		200	\$
Q3	2N2369		1.000	\$
Q4	2N2369		1.000	\$
Q5	2N2369		1.000	\$
REG1	LM7812C		1.000	\$
REG2	KIA7809A		1.000	\$
CONECTORES				
MOL 2 PINES			200	\$
MOL 2 PINES			200	\$
CIRCUITO IMPRESO				
ANTENA			5.000	\$
GABINETE METÁLICO			9.000	\$
BATERÍAS				
CELDA LIPO	800mAh	16,8V	40.000	\$
TOTAL			152.050	\$

RECEPTOR DE FM

Tabla 37. Costo de materiales para el receptor de FM. Fuente: Autor del texto.

	VALOR	UNIDAD	PRECIO	
CAPACITANCIAS				
C1	1000	u F	1.000	\$
C2	10	u F	300	\$
C3	10	u F	300	\$
C4	2,7	n F	100	\$
C5	10	u F	300	\$
C6	4,7	n F	100	\$
C7	100	n F	100	\$
C8	390	p F	100	\$
C9	330	p F	100	\$
C10	3,3	n F	100	\$
C11	10	n F	100	\$
C12	150	n F	100	\$
C13	10	u F	300	\$
C14	220	p F	100	\$
C15	100	n F	100	\$
C16	270	p F	100	\$
C17	3,3	n F	100	\$
C18	330	p F	100	\$
C19	100	n F	100	\$
C20	4,7	u F	300	\$
C21	47	p F	100	\$
C22	40	p F	100	\$
C23	2,2	n F	100	\$
C24	100	n F	100	\$
C25	10	u F	300	\$
C26	100	n F	100	\$
C27	100	u F	300	\$
C28	10	u F	300	\$
C29	100	n F	100	\$
RESISTENCIAS A 0,25W				
R1	18	KΩ	30	\$
R2	10	KΩ	30	\$

R3	10	Ω	30	\$
R4	330	Ω	30	\$
TRIM1	100	K Ω	1.400	\$
TRIM2	100	K Ω	1.400	\$
	REFERENCIA			
CIRCUITOS INTEGRADOS				
IC1	TDA7000		8.000	\$
IC2	LM386		1.800	\$
IC3	LM7805		1.000	\$
IC4	LM7812		1.000	\$
DIODOS				
D1	1N4004		50	\$
D2	1N4004		50	\$
PARLANTE	8 Ω	0.5W	1.500	\$
CONECTORES				
MOL 2 PINES			200	\$
MOL 2 PINES			200	\$
MOL 2 PINES			200	\$
BNC	MACHO	HEMBRA	3.000	\$
CIRCUITO IMPRESO			56.000	\$
MALLA METALICA			2.000	\$
CAJA MADERA Balsa			8.000	\$
BATERIAS				
CELDA LIPO	800mAh	21V	50.000	\$
		TOTAL	141.320	\$

TRANSMISOR DE AM PARA VIDEO

Tabla 38. Costo de materiales para el transmisor de AM para video. Fuente: Autor del texto.

	VALOR	UNIDAD	PRECIO	
CAPACITANCIAS				
C1	1	n F	100	\$
C2	10	p F	100	\$
C3	100	p F	100	\$
C4	1	n F	100	\$
C5	10	p F	100	\$
C6	100	u F	300	\$
C7	1	n F	100	\$
C8	10	n F	100	\$
C9	100	n F	100	\$
C10	10	p F	100	\$
C11	1	n F	100	\$
C12	1	n F	100	\$
C13	100	n F	100	\$
C14	1	n F	100	\$
C15	1	n F	100	\$
C16	100	n F	100	\$
C17	1	n F	100	\$
C18	100	n F	100	\$
C19	4	p F	100	\$
C20	4	p F	100	\$
C21	1	n F	100	\$
CTRIM1	2,7-10	p F	1.400	\$
CTRIM2	2,7-10	p F	1.400	\$
CTRIM3	4,0-20	p F	1.400	\$
CTRIM4	4,0-20	p F	1.400	\$
RESISTENCIAS				
R1	10	K Ω	30	\$
R2	4,7	K Ω	30	\$
R3	75	Ω	30	\$
R4	1	K Ω	30	\$
R5	1	K Ω	30	\$

R6	22	Ω	30	\$
R7	4,3	KΩ	30	\$
R8	22	Ω	30	\$
R9	390	Ω	30	\$
R10	22	Ω	30	\$
R11	3,4	KΩ	30	\$
R12	22	Ω	30	\$
R13	220	Ω	30	\$
R14	22	Ω	30	\$
R15	2,4	KΩ	30	\$
R16	22	Ω	30	\$
R17	220	Ω	30	\$
R18	75	Ω	30	\$
R19	1	KΩ	30	\$
TRIMM1	100	Ω	1.400	\$
TRIMM2	1	KΩ	1.400	\$
TRIMM3	100	Ω	1.400	\$
TRIMM4	1	KΩ	1.400	\$
TRANSISTORES Y CIRCUITOS INTEGRADOS				
	REFERENCIA			
REG1	LM7812		1.000	\$
REG2	LM7809		1.000	\$
Q1	2N3904		200	\$
Q2	2N3904		200	\$
Q3	2N3904		200	\$
Q4	2N3904		200	\$
Q5	2N3904		200	\$
Q6	2N2369		1.000	\$
Q7	2N2369		1.000	\$
Q8	2N2369		1.000	\$
INDUCTANCIAS				
L4	VK200		10.000	\$
L5	VK200		10.000	\$
L6	VK200		10.000	\$

DIODO	1N914		350	\$
SELECTOR PARA TELEVISION			2.500	\$
ANTENA			5.000	\$
CÁMARA DE SEGURIDAD			90.000	\$
CONECTORES				
MOL 2 PINES			200	\$
MOL 4 PINES			200	\$
BNC	MACHO	HEMBRA	3.000	\$
CIRCUITO IMPRESO			58.500	\$
BASE PLASTICA			5.800	\$
MALLA METALICA			2.000	\$
AMPLIFICADOR PARA SEÑAL DE TV			20.000	\$
CABLE COAXIAL x 9 mts			7.500	\$
		TOTAL	245.120	\$

RESUMEN DE COSTOS

Tabla 39. Resumen de costo de los módulos. Fuente: Autor del texto.

TRANSMISOR DE FM	152.050	\$
RECEPTOR DE FM	141.320	\$
TRANSMISOR DE AM	245.120	\$
TOTAL	538.490	\$

5. MANUAL DE USUARIO

5.1. TRANSMISOR DE FM PARA AUDIO

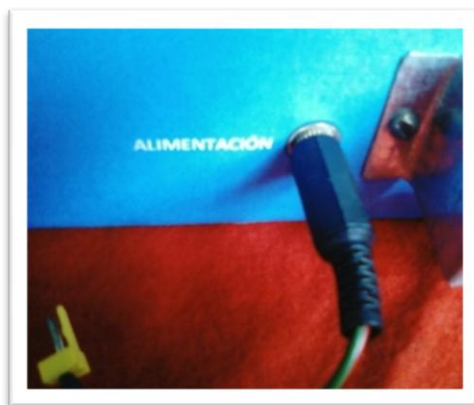
Este equipo se puede conectar a una unidad de sonido, como un reproductor de música o un computador. A continuación se ilustran y explican los pasos requeridos para un correcto manejo del transmisor.

Paso 1: Conectar el cable de energía (ver figura 85) en el orificio etiquetado con ALIMENTACIÓN. (Ver figura 86).

Figura 85. Cable para conexión de batería al transmisor de FM. Fuente: Autor del texto.



Figura 86. Correcta instalación del conector al transmisor de FM. Fuente: Autor del texto.



Paso 2: Esta unidad emplea una batería Lipo 4S 1C de 800mAh (ver figura 87). Revisar la carga de la batería (ver figura 88). Hecho esto, conectar la batería al cable de alimentación (ver figura 89). La batería instalada ser verá como en la figura 90.

Figura 87. Soporte para batería del transmisor de FM. Fuente: Autor del texto.

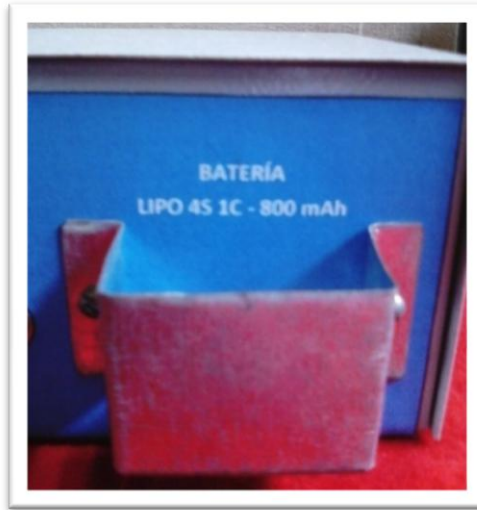


Figura 88. Medición de tensión en batería Lipo 4S 1C. Fuente: Autor del texto.



Figura 89. Sentido correcto para conexión entre la batería y el cable de alimentación del transmisor de FM. Fuente: Autor del texto.



Figura 90. Batería correctamente instalada en el transmisor de FM. Fuente: Autor del texto.

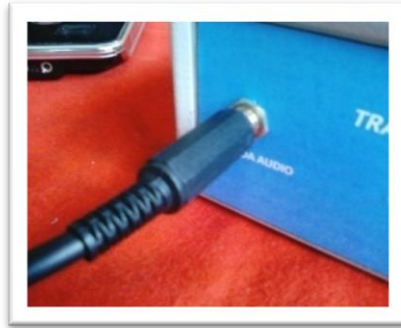


Paso 3: Conectar un extremo del cable de audio a la entrada etiquetada con ENTRADA DE AUDIO (ver figura 91) del transmisor tal como se muestra en la figura 92.

Figura 91. Conectores correspondientes para entrada de audio. Fuente: Autor del texto.



Figura 92. Correcta conexión del cable a la entrada de audio. Fuente: Autor del texto.



Paso 4: Conectar el otro extremo del cable de audio (ver figura 93) a la unidad de la cual desee transmitir el sonido (ver figura 94) insertando el conector en la terminal de salida para audífonos (ver figura 95). Esta debe alimentarse con batería, ya que el ruido de la red eléctrica perturbará la señal del transmisor, reduciendo notoriamente la calidad del sonido recibido.

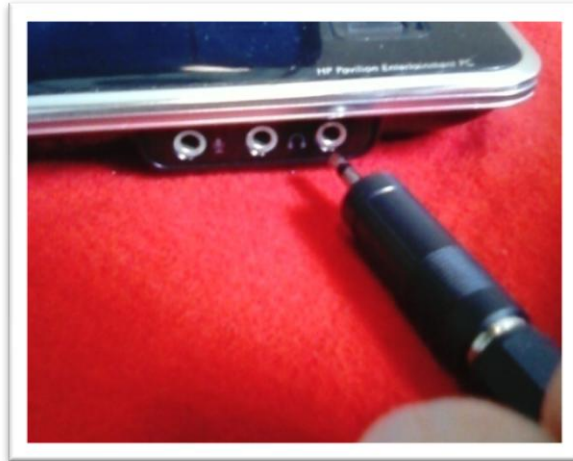
Figura 93. Conector para dispositivo de audio Fuente: Autor del texto.



Figura 94. Unidad fuente de audio (computador portátil). Fuente: Autor del texto.

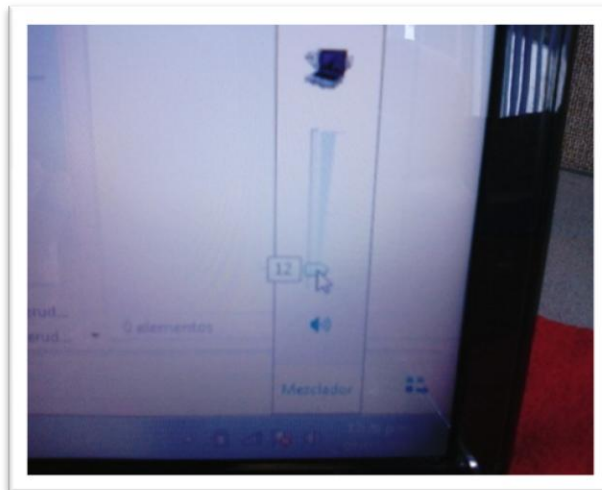


Figura 95. Puerto correspondiente para tomo de audio para transmisor de FM. Fuente: Autor del texto.



Paso 5: Reducir el volumen en la unidad de audio conectada en el paso anterior tal como se muestra en la figura 96.

Figura 96. Nivel apropiado de volumen de la unidad de audio para transmisión. Fuente: Autor del texto.



Paso 6: Conectar la antena (ver figura 97) en su correspondiente terminal, ubicada en la parte posterior del transmisor (ver figura 98) tal como se muestra en la figura 99. Una vez hecho, desplegarla.

Figura 97. Antena para el transmisor de FM. Fuente: Autor del texto.



Figura 98. Terminal de conexión para antena del transmisor de FM. Fuente: Autor del texto.

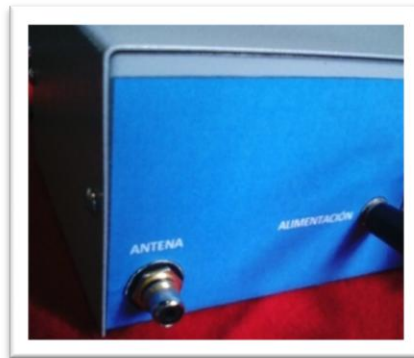


Figura 99. Correcta instalación de la antena en el transmisor de FM. Fuente: Autor del texto.



Paso 7: Encender el transmisor usando el interruptor ubicado en la parte frontal de este (ver figura 100), una vez hecho nótese que el indicador de encendido se ilumina (ver figura 101).

Figura 100. Transmisor de FM apagado. Fuente: Autor del texto.



Figura 101. Transmisor de FM encendido. Fuente: Autor del texto.



Paso 8: La señal está siendo transmitida, transmisor debe situarse a una distancia prudente de cualquier persona u obstáculo (alrededor de 1.5m) a fin de evitar causar efectos sobre la antena y variaciones en la frecuencia del transmisor. Hacer uso de una radio FM (preferiblemente de sintonización mecánica) para buscar la señal en los alrededores de 107.5MHz.

Paso 9: Una vez captada la señal radiada, realizar los ajustes de volumen que crea necesarios en la unidad de sonido para que este adquiera mayor claridad, nótese ante un exceso de volumen que la señal se distorsiona, ello ocurre por efectos de saturación.

5.2.RECEPTOR DE FM PARA AUDIO

Esta unidad tiene como función captar una determinada señal de RF en el aire, realizar la demodulación en frecuencia y extraer la señal de audio contenida en ella. Este dispositivo cuenta además con un amplificador y un parlante adecuado para reforzar el sonido. Los ajustes para sintonización y volumen se realizan de forma mecánica por medio de trimmers. A continuación, una guía para su correcto manejo:

Paso 1: Usar el selector de antena ubicado en la parte superior y situarlo en AUDIO. (Ver figura 102).

Figura 102. Selector de antena con interruptor dispuesto en audio. Fuente: Autor del texto.



Paso 2: Esta unidad emplea una batería Lipo 5S 1C de 400mAh (ver figura 103). Comprobar que la batería se encuentre cargada, es decir, que cada celda tenga una tensión de 4.2V a plena carga, por lo que la medición en los terminales del paquete de baterías debe ser de aproximadamente 21V (ver figura 104). Una vez hecho, situar la batería en el compartimento etiquetado con BATERÍA y asegurarla con las cintas de parche adosadas al compartimento. (Ver figura 105).

Figura 103. Batería Lipo 5S 1C para alimentar al receptor de FM y al transmisor de AM. Fuente: Autor del texto.



Figura 104. Medición de tensión en batería Lipo 5S 1C. Fuente: Autor del texto.

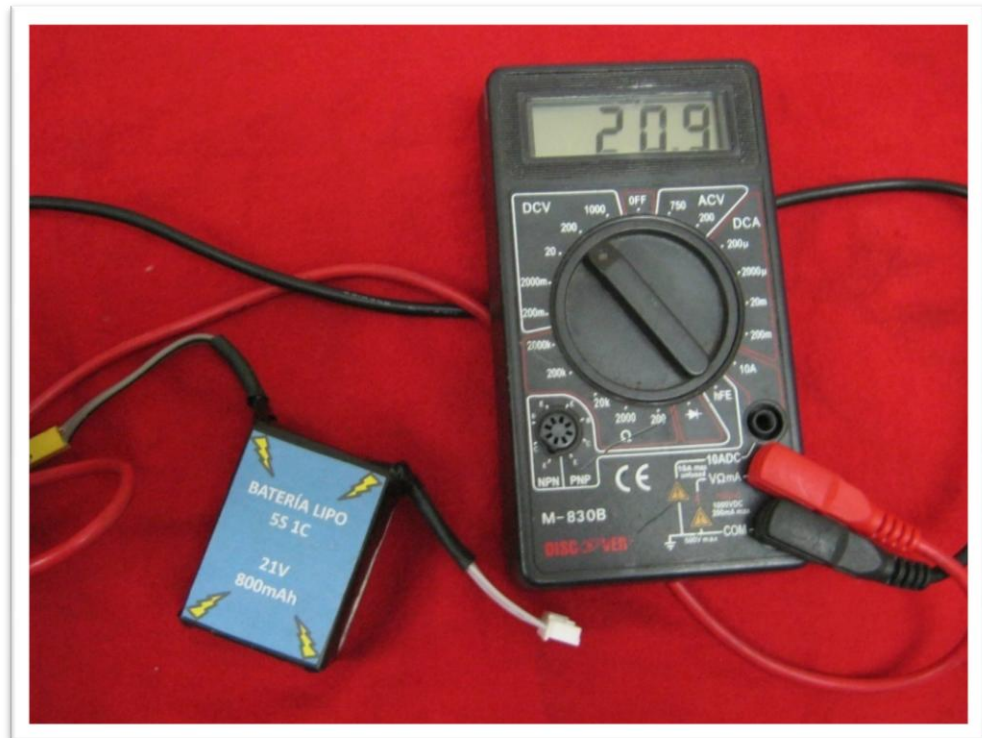


Figura 105. Correcta instalación de la batería Lipo 5S 1C en su correspondiente compartimento. Fuente: Autor del texto.



Paso 3: Conectar la batería al seleccionador de energía (ver figura 106), hecho esto uno de los LEDs encenderá, VERDE o ROJO. Usar el interruptor para que encienda la luz VERDE. Esta indica al usuario que el dispositivo energizado corresponde a uno con función de reproducción, en este caso, de audio.

Figura 106. Seleccionador de energía dispuesto en AUDIO (LED VERDE ENCENDIDO). Fuente: Autor del texto.



Paso 4: Extender las antenas.

Paso 5: Emplear un destornillador de pala pequeño para realizar los ajustes de sintonización y fijar así la estación radial deseada. (Ver figura 107).

Figura 107. Ajuste de frecuencia para el receptor de FM empleando un destornillador de pala. Fuente: Autor del texto.



Paso 6: Emplear dicha herramienta para ajustar el volumen. (Ver figura 108).

Figura 108. Ajuste de volumen para receptor de FM empleando un destornillador de pala. Fuente: Autor del texto.



5.3. TRANSMISOR DE AM PARA VIDEO

Esta unidad está diseñada con el objetivo de tomar la señal de video de una cámara y modularla en amplitud para luego transmitirla en VHF. Dicha señal puede recibirse en un televisor, a fin de mostrarle al usuario imágenes en tiempo real de lo que capta la cámara. A continuación se dará un instructivo para el correcto uso de la unidad.

Paso 1: Usar el selector de antena ubicado en la parte superior, situarlo en VIDEO. (Ver figura 109).

Figura 109. Selector de antena dispuesto en video. Fuente: Autor del texto.



Paso 2: Esta unidad se alimenta con la misma fuente de energía del receptor de FM, es decir, una batería Lipo 5S 1C de 800mAh. Revisar que la batería este totalmente cargada, una vez hecho, instalarla en el compartimento correspondiente y asegurarla con las cintas de parche.

Paso 3: Conectar la batería al selector de energía, hecho esto uno de los LEDs se encenderá, VERDE o ROJO. Usar el interruptor para que encienda la luz ROJA (ver figura 110). Esta indica al usuario que el dispositivo energizado corresponde a uno con función de grabación, en este caso de video. Hecho esto se encenderá el LED indicador de ENCENDIDO (ver figura 111).

Figura 110. Seleccionador de energía dispuesto en VIDEO (LED ROJO ENCENDIDO). Fuente: Autor del texto.

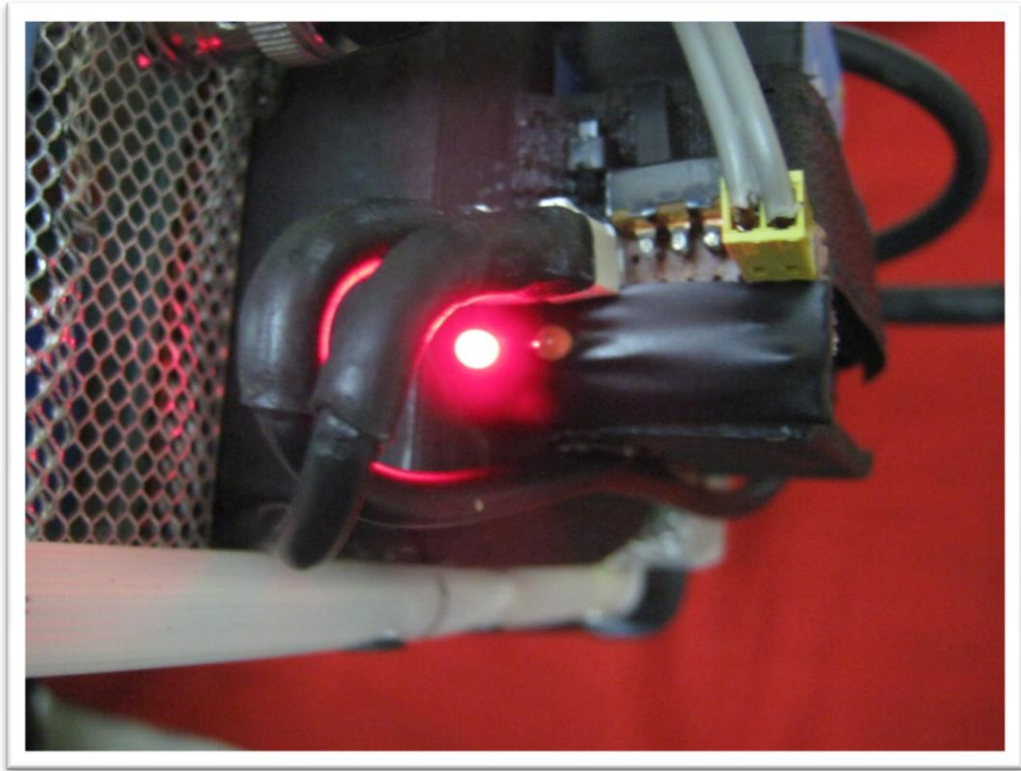
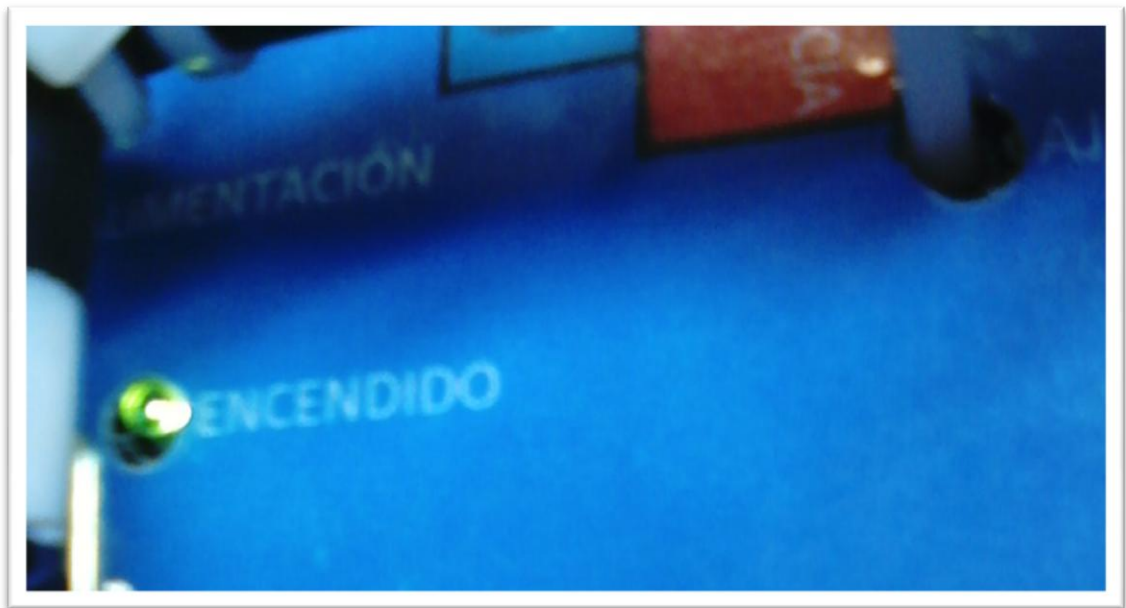


Figura 111. Indicador de encendido del transmisor de AM. Fuente: Autor del texto.



Paso 4: Extender las antenas. (Ver figura 112).

Figura 112. Antenas extendidas. Fuente: Autor del texto.



Paso 5: Usar el cable coaxial (ver figura 113) con conectores tipo F roscado (ver figura 114) para conectar el amplificador de señal (ver figura 115) con la terminal de entrada de señal VHF/UHF del televisor (ver figura 116). El cable debe quedar instalado como se muestra en la figura 117.

Figura 113. Cable coaxial con conectores tipo F roscado. Fuente: Autor del texto.



Figura 114. Conector tipo F roscado. Fuente: Autor del texto.

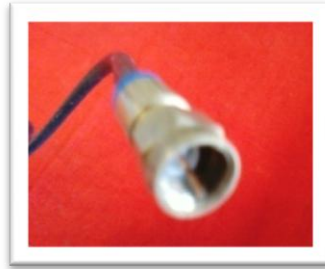


Figura 115. Amplificador de señal de TV. Fuente: Autor del texto.



Figura 116. Puerto de entrada de señal RF del televisor para VHF/UHF. Fuente: Autor del texto.



Figura 117. Correcta conexión del cable coaxial al puerto de entrada de señal RF del televisor. Fuente: Autor del texto.



Paso 6: Instalar la antena (ver figura 118) en la carcasa del televisor como se muestra en la figura 119, conectarla a la entrada del amplificador de señal y este a su vez a la red eléctrica. (Ver figura 120).

Figura 118. Antena dipolo para televisión. Fuente: Autor del texto.



Figura 119. Correcta instalación de la antena en la carcasa del televisor. Fuente: Autor del texto.



Figura 120. Amplificador de señal RF para televisión y su correcta instalación. Fuente: Autor del texto.



Paso 7: Encender el televisor en el cual desea visualizar la señal y seleccionar el canal 6.

Paso 8: Emplear un destornillador de pala no metálico (ver figura 121) y ajustar la frecuencia hasta que aparezca la imagen en el televisor con la mejor calidad posible (ver figura 122).

Figura 121. Destornilladores no metálicos. Fuente: Autor del texto.



Figura 122. Imagen emitida por el transmisor de AM y captada por el televisor. Fuente: Autor del texto.



Paso 9: La calidad de la imagen puede ajustarse empleando un destornillador de pala, ello se logra variando NIVEL (ver figura 123) y GANANCIA (ver figura 124), es posible emplear los puntos de ajuste fino para variaciones ligeras de las características.

Figura 123. Ajuste de nivel en el transmisor de AM empleando un destornillador de pala. Fuente: Autor del texto.

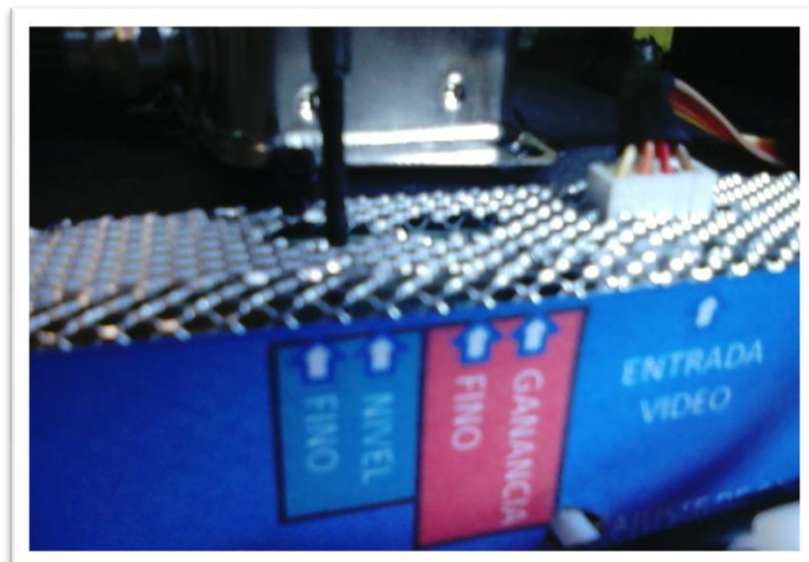


Figura 124. Ajuste de ganancia en el transmisor de AM empleando un destornillador de pala. Fuente: Autor del texto.



6. SOLUCION DE FALLAS EN EL FUNCIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS

6.1. TRANSMISOR DE FM PARA AUDIO

Problema 1: La frecuencia de la portadora varía.

Esto puede deberse a fallas de energía, para ello se debe comprobar la carga de la batería, si esta no se encuentra lo suficientemente cargada la estabilidad en la frecuencia se puede ver afectada.

Este problema también puede deberse a interferencias con la antena. El cuerpo del usuario puede causar efectos sobre ella y al mismo tiempo sobre la frecuencia. Mantenerse una distancia de alrededor de 1.5 m con respecto a la antena del dispositivo solucionara el problema.

Problema 2: No se encuentra la frecuencia precisa de la portadora y el sonido tiene ruido.

Este problema se caracteriza por detectar el sonido que se transmite, pero con deficiencia en su calidad y al mover el dial no se encuentra el punto exacto donde la señal mejore. Este problema se soluciona de la siguiente forma:

- Revisar el nivel de volumen del dispositivo de sonido desde el cual obtiene la señal de audio, puede que el problema se origine por saturación en el transmisor de FM. Para solucionarlo, reducir el nivel de volumen, con ello la portadora se definirá y la calidad del sonido mejorará.
- El problema también puede darse por el tipo de receptor FM que se esté empleando para buscar la señal del transmisor. Ya que si el sintonizador de este es de ajuste digital, las variaciones en el barrido del dial pueden no ser lo suficientemente finas como para fijar con precisión la frecuencia deseada. Este problema no se presenta en los receptores de ajuste mecánico, debido a que es posible realizar ajustes mínimos en el dial.

Problema 3: En la frecuencia transmitida solo se percibe silencio.

Asegurarse de que la unidad de sonido tenga el nivel de volumen aproximadamente a una décima parte de su máximo. Si con ello no se soluciona el problema, revisar entonces la conductividad del cable que conecta a dicha unidad con el transmisor de FM. Si persiste la dificultad, comprobar con audífonos u otro dispositivo externo que el puerto de salida de la unidad de sonido funciona correctamente.

Problema 4: La señal no se percibe a la distancia requerida.

Este problema puede darse por tres razones, es necesario revisar las siguientes posibilidades y sus sugerencias:

- Batería descargada: Revisar la tensión en la batería, esta debe ser de aproximadamente 16.8V.
- Antena desconectada: Revisar la conexión de la antena.
- Pérdida en línea de vista: Algunos obstáculos como edificios o una gran cantidad de árboles, pueden dificultar la apropiada propagación de la señal en la dirección deseada. Para solucionarlo, situarse en un lugar donde exista contacto visual con la antena del dispositivo.

6.2.TRASMISOR DE AM PARA VIDEO

Problema 1: No se percibe imagen en el televisor.

Este problema puede tener varias razones:

- **Batería descargada:** Revisar la tensión en la batería, esta debe ser de aproximadamente 21V.
- **Antena del módulo desconectada:** Revisar la posición del interruptor del seleccionador para antena, esta se debe situar en VIDEO. Revisar también que la antena se encuentre completamente extendida.
- **Transmisor sin energía:** Comprobar que el indicador de encendido de este se encuentre activo, de lo contrario se debe revisar el estado del interruptor para energía y que el LED indicador ROJO se encuentre encendido, si esta encendido el LED VERDE, cambiar la posición del interruptor hacia la izquierda. Si el indicador ROJO se encuentra encendido, revisar la conductividad de los cables que llevan energía al transmisor de AM.
- **Cámara desconectada:** Revisar la conexión de esta y la continuidad del cable que la comunica con el transmisor.
- **Antena del televisor desconectada:** Revisar la conexión de esta al amplificador de señal.
- **Amplificador de señal sin energía:** Comprobar que dicha unidad se encuentre correctamente energizada por la red eléctrica.

Problema 2: Los colores de la imagen no son los correctos.

- **Emplear un destornillador no metálico para ajustar la frecuencia del canal hasta obtener la mejor imagen posible.** Hecho esto, usar dicha herramienta para ajustar los trimmers etiquetados con NIVEL y GANANCIA de forma suave conforme vea mejoras en la imagen. Emplear los trimmers etiquetados con FINO para realizar ajustes mínimos.
- **Antenas no extendidas completamente:** Comprobar que las antenas del transmisor y del televisor se encuentren completamente extendidas.

6.3. RECEPTOR DE FM PARA AUDIO

Problema 1: No hay sonido al mover el dial.

- Bateria descargada: Revisar la tensión en la batería, esta debe ser de aproximadamente 21V.
- Antena del módulo desconectada: Revisar la posición del interruptor del seleccionador para antena, esta se debe situar en AUDIO. Revisar también que la antena se encuentre completamente extendida.
- Receptor sin energía: Comprobar que el indicador de encendido de este se encuentre activo, de lo contrario se debe revisar el estado del interruptor para energía y que el LED indicador VERDE se encuentre encendido, si esta encendido el LED ROJO, cambiar la posición del interruptor hacia la izquierda. Si el indicador VERDE se encuentra encendido, revisar la conductividad de los cables que llevan energía al transmisor de AM.
- Parlante desconectado: Comprobar la conexión del cable entre el receptor de FM y el parlante, si no se soluciona, revisar la continuidad de este.
- Nivel de volumen mínimo: Emplear un destornillador para ajustar el trimmer de volumen hasta que se perciba sonido o ruido en el parlante.

7. ANTECEDENTES

Antes de desarrollar esta idea como trabajo de grado, fueron presentados a la UPB Bucaramanga otros proyectos relacionados con la transmisión de audio y video mediante ondas de radio.

El principal antecedente de este proyecto en cuanto a audio, es el trabajo de grado titulado *TRANSMISOR DIDACTICO DE FM EN LA BANDA DE 88 A 108MHz* presentado en el año 2006. Este fue elaborado por la entonces estudiante AURA ESPERANZA SANTISTEBAN PEREZ y su director de proyecto el ingeniero ALEX ALBERTO MONCLOU SALCEDO, además se contó con la colaboración de STUDEM COLOMBIANA LTDA.

El proyecto mencionado se basa en una emisora de FM, esta se caracteriza por emplear un micro controlador para seleccionar de forma precisa la frecuencia de la señal portadora. Cabe mencionar, que algunos conceptos de dicho trabajo fueron empleados en este proyecto para el diseño de las etapas de amplificación y filtrado.

En cuanto a video, el antecedente más relacionado con este proyecto es el titulado *SISTEMA DE VISIÓN AEREA ARTIFICIAL* presentado en el año 2005. Este fue elaborado por los entonces estudiantes LUIS JAIME VILLALBA HERRERA y LUIS ALFONSO CASTAÑEDA HERNANDEZ, su director de proyecto fue el ingeniero CARLOS GERARDO HERNÁNDEZ CAPACHO.

Dicho proyecto se caracteriza por la implementación de un sistema de video inalámbrico, el cual opera a una frecuencia alrededor de los 2.4GHz. Gracias a este es posible enviar la señal de video de una cámara desde un helicóptero a radio control hasta un monitor en tierra conectado a su respectivo receptor. Por otra parte, dicho proyecto cuenta con un sistema basado en servos, gracias al cual es posible manipular la movilidad de la cámara.

Como antecedente adicional, es importante mencionar el proyecto que se está llevando a cabo en la facultad de ingeniería mecánica, éste se titula *DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBA DE UN AVIÓN A ESCALA USANDO DIFERENTES PERFILES DE ALA PARA LA REALIZACIÓN DE FOTOGRAFÍA AEREA*. Dicho proyecto es dirigido por el diseñador industrial y docente JUAN MANUEL ARGÜELLO.

8. CONCLUSIONES

Se realizó con éxito una transmisión de video desde el helicóptero hasta un televisor a una distancia de aproximadamente 50 metros, dicha prueba no se realizó a campo abierto debido a complicaciones para el traslado del televisor, por lo que la medición se debió realizar en un pasillo con dicha longitud, sin embargo, se espera que en una prueba a campo abierto el alcance de la señal se incremente considerablemente debido a la ausencia de obstáculos.

El transmisor de FM elaborado resultó un éxito, ya que el consumo de energía es reducido, por lo que la batería de éste puede durar hasta 40 minutos sin mayores cambios en la frecuencia, además, el alcance de dicha señal supera toda extensión con línea de vista medible en la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga, por lo que la longitud a la que el receptor puede captar la señal del transmisor se estima en al menos 300 metros con línea de vista.

Por otra parte, el receptor de FM elaborado mostró buenos resultados, ya que la estabilidad de su oscilador local permite realizar ajustes mínimos de la frecuencia en forma mecánica. La caja acústica diseñada para el parlante de éste también mostró interesantes resultados, ya que la intensidad del sonido en el máximo nivel de volumen supera considerablemente el ruido del motor del helicóptero en funcionamiento

Infelizmente la transmisión de AM para video se ve ligeramente afectada por el campo magnético del motor del helicóptero en marcha, ello se debe a que una señal modulada en amplitud es susceptible a perturbaciones externas, por lo que en este caso la imagen pierde calidad a mayor velocidad del motor. Para reducir ese efecto se realizaron ajustes en el rotor principal del helicóptero, a fin de lograr sustentación con menor velocidad del motor. Gracias a esto no solo se reduce dicho efecto sino que también se ahorra energía de la batería del helicóptero, por lo que este puede mantenerse más tiempo en el aire.

Las modificaciones realizadas a los circuitos base para lograr estabilidad de la frecuencia por un mayor tiempo, dieron resultado, ya que el transmisor de FM puede realizar una emisión ininterrumpida por más de media hora, el receptor de FM puede emitir sonido a su máximo nivel de volumen por aproximadamente 50 minutos y el transmisor de AM para video puede emitir durante 25 minutos antes de perder sintonía con el televisor. Estas pruebas se realizaron empleando las baterías de cada dispositivo y es normal que el tiempo de vida de ellas influya en estas cifras conforme se desgasten con el uso.

Los cálculos realizados para las etapas de diseño tienen cercanía con los resultados obtenidos experimentalmente, sin embargo, en algunos casos, dichos valores no coinciden como en el caso de las etapas de amplificación para los transmisores, ya que los transistores empleados para ello presentan limitaciones en la ganancia en potencia que poseen. Por otra parte, las pérdidas y alteraciones provocadas por los elementos del circuito, como por ejemplo la longitud de las vías, soldaduras defectuosas y capacitancias parásitas, pueden generar diferencias entre los datos medidos y los calculados.

9. PUBLICACIONES

Para las futuras publicaciones se está preparando un video de demostración, en el cual se pondrán en evidencia las capacidades y aplicaciones para las que este equipo es apto.

Por otra parte, se desean publicar resúmenes de cada dispositivo, además de invitar al estudiantado a la sustentación final, no sólo de ingeniería electrónica, también de los demás programas educativos, esto con el fin de conocer la opinión de cada rama acerca del proyecto y sus posibles aplicaciones.

Adicional al proyecto se desea estudiar la posibilidad de crear un grupo de investigación, en asociación de las ingenierías electrónica, mecánica e informática. Esto con el fin de enfocar dicho grupo a investigar, desarrollar e innovar en lo referente a aplicaciones basadas en el aeromodelismo y las telecomunicaciones.

Se espera realizar una entrevista en la emisora de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga, la cual fomente el interés en los estudiantes por realizar proyectos de este tipo.

BIBLIOGRAFÍA

TOMASI, Wayne. Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. Cuarta Edición. México, Editorial Prentice Hall, 2003.

SEDRA, Adel. Circuitos Microelectrónicos. Cuarta Edición. México, OXFORD University Press, 1999.

SANTISTEBAN PEREZ, Aura Esperanza. Transmisor didáctico de FM en la banda de 88 a 108MHz. Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana, febrero de 2006.

ENSENADAMEXICO [en línea]. Baja California (México): TIPOS DE ANTENAS. [12 ene., 2011]. Disponible en internet:

<URL: http://www.ensenadamexico.net/hector/it/reporte_antenas.php>

PABLIN, Portal de tecnología de habla hispana [en línea]. Argentina: Micrófono inalámbrico por FM. [21 ago., 2010]. Disponible en internet:

<URL: <http://www.pablin.com.ar/electron/circuito/radio/micfm/>>

PABLIN, Portal de tecnología de habla hispana [en línea]. Argentina: Transmisor de TV. [21 ago., 2010]. Disponible en internet:

<URL: <http://www.pablin.com.ar/electron/circuito/video/tvtx2/index.htm>>

NEOTEO [en línea]. Mi primer receptor: TDA7000. [26 Oct, 2010]. Disponible en internet:

<URL: <http://www.neoteo.com/mi-primer-receptor-tda7000>>

BATTERY UNIVERSITY [en linea]. ¿How does internal resistance affect performance?.[10 Sep, 2010]. Disponible en internet:

<URL:http://batteryuniversity.com/learn/article/how_does_internal_resistance_affect_performance>

BANANA HOBBY [en linea]. Perfect for All Level Pilots 6 CH 2.4GHz BlitzRCWorks White Rogue 500 RTF Radio Control Helicopter w/ 100% Preflight Tested [26 Ago, 2010]. Disponible en internet:

<URL: <http://www.bananahobby.com/1875.html> >