



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y COMUNICACIONES**

**TEMA**

---

**“PROTOTIPO DE UN CANCELADOR ACTIVO DE RADIO FRECUENCIA PARA ATENUAR LAS INTERFERENCIAS POR RUIDOS EN LOS RECEPTORES DE RADIO”**

---

Trabajo de Graduación. Modalidad: Proyecto de Investigación, presentado previo la obtención del título de Ingeniero en Electrónico y Comunicaciones.

**SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** Comunicaciones inalámbricas

**AUTOR:** Edison Fabián Guasgua Pacheco.

**TUTOR:** Ing. Marco Antonio Jurado Lozada, Mg.

**Ambato - Ecuador**

Enero 2017

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de tutor del trabajo de Investigación sobre el tema: **“PROTOTIPO DE UN CANCELADOR ACTIVO DE RADIO FRECUENCIA PARA ATENUAR LAS INTERFERENCIAS POR RUIDOS EN LOS RECEPTORES DE RADIO”**, del Señor **EDISON FABIÁN GUASGUA PACHECO**, estudiante de la Carrera de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, considero que el informe de investigación reúne los requisitos suficientes para que continúe con los trámites y consiguiente aprobación de conformidad con el Art. 7.2. Lineamientos Generales para la aplicación de Instructivos de las Modalidades de Titulación de las Facultades de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, Enero 2017

EL TUTOR

-----  
Ing. Mg. Marco Antonio Jurado Lozada

## **AUTORÍA**

El presente Proyecto de Investigación titulado “**PROTOTIPO DE UN CANCELADOR ACTIVO DE RADIO FRECUENCIA PARA ATENUAR LAS INTERFERENCIAS POR RUIDOS EN LOS RECEPTORES DE RADIO**”, es absolutamente original, auténtico y personal en tal virtud, el contenido, efectos legales y académicas que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, Enero 2017

-----  
Guasgua Pacheco Edison Fabián  
CC: 0503265472

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso de este Trabajo de Titulación como un documento disponible para la lectura, consulta y procesos de investigación.

Cedo los derechos de mi Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además autorizo su reproducción dentro de las regulaciones de la Universidad.

Ambato, Enero 2017

---

Guasgua Pacheco Edison Fabián  
CC: 050326547-2

## **APROBACIÓN DE LA COMISIÓN CALIFICADORA**

La Comisión Calificadora del presente trabajo conformada por los señores docentes Ing. Carlos Alberto Serra Jiménez, MSc. e Ing. Elizabeth Paulina Ayala Baño, Mg. revisó y aprobó el Informe Final del Proyecto de Investigación titulado, “**PROTOTIPO DE UN CANCELADOR ACTIVO DE RADIO FRECUENCIA PARA ATENUAR LAS INTERFERENCIAS POR RUIDOS EN LOS RECEPTORES DE RADIO**”, presentado por el señor Edison Fabián Guasgua Pacheco de acuerdo al numeral 9.1 de los Lineamientos Generales para la aplicación de Instructivos de las Modalidades de Titulación de las Facultades de la Universidad Técnica de Ambato.

-----  
Ing. José Vicente Morales Lozada, Mg.

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

-----  
Ing. Carlos Alberto Serra Jiménez, MSc.

**DOCENTE CALIFICADOR**

-----  
Ing. Elizabeth Paulina Ayala Baño, Mg.

**DOCENTE CALIFICADOR**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de investigación lo dedico a Dios por protegerme dándome fortaleza y sabiduría necesaria para alcanzar esta meta.

A mis padres Segundo Guasgua y Piedad Pacheco quienes me brindaron su confianza y apoyo incondicional para alcanzar mis objetivos profesionales.

A mis hermanos Alex, Fernando y Daysi por creer en mí y brindarme su apoyo siempre.

A mis maestros que aportaron con sus conocimientos para formarme profesionalmente.

A mis amigos que estuvieron en momentos buenos y malos de forma incondicional apoyándome para alcanzar esta meta tan anhelada.

Edison Fabián Guasgua Pacheco

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco en primer lugar a Dios, por protegerme dándome salud, fortaleza y sabiduría necesaria para alcanzar esta meta.

A toda mi familia quienes me brindaron su confianza y apoyo incondicional para alcanzar mis objetivos profesionales.

A mi tutor de tesis Ing. Marco Jurado Lozada por confiar en mí, brindándome su confianza y paciencia durante el desarrollo de la tesis y vida estudiantil.

A mis amigos que contribuyeron para que consiga esta meta tan anhelada.

Y finalmente al Ing. Ramón Carrasco Carísimo “EA1KO” quien contribuyo con información relacionada al proyecto de investigación.

Edison Fabián Guasgua Pacheco

## ÍNDICE DE CONTENIDO

APROBACIÓN DEL TUTOR .....	ii
AUTORÍA .....	iii
DERECHOS DE AUTOR .....	iv
APROBACIÓN DE LA COMISIÓN CALIFICADORA .....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTO .....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xi
ÍNDICE DE TABLAS .....	xv
RESUMEN .....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ACRÓNIMOS.....	xviii
INTRODUCCIÓN .....	xix
CAPITULO 1.....	1
EL PROBLEMA.....	1
1.1 Tema.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	1
1.3 Delimitación del problema.....	2
1.4 Justificación .....	3
1.5 Objetivos.....	3
1.5.1 Objetivo general.....	3
CAPITULO 2.....	4
MARCO TEÓRICO .....	4
2.1 Antecedentes investigativos.....	4
2.2 Fundamentación teórica.....	5
2.2.1 Sistema de comunicación.....	5
2.2.2 Sistema electrónico de comunicación.....	6
2.2.3 Señal analógica y digital .....	7
2.2.4 Ancho de banda de un canal de comunicaciones.....	8



2.2.5	Modulación .....	9
2.2.6	Demodulación .....	10
2.2.7	Relación señal a ruido (S/R) .....	11
2.2.8	Filtros electrónicos.....	12
2.2.9	Clasificación de filtros .....	13
2.2.10	Espectro electromagnético .....	15
2.2.11	Contaminación de la señal de información.....	16
2.2.12	Tipos de ruido .....	19
2.2.13	Cancelador de ruido .....	23
2.2.14	Técnicas de Cancelación de ruido .....	23
2.2.15	Antena.....	29
2.2.16	Amplificadores.....	33
2.2.17	Dispositivos activos de microondas.....	41
2.2.18	Software de diseño y simulación .....	46
CAPITULO 3.....		49
METODOLOGÍA .....		49
3.1	Modalidad básica de la investigación. ....	49
3.2	Población y muestra.....	49
3.3	Recolección de la información .....	49
3.4	Procesamiento y análisis de datos.....	50
3.5	Desarrollo del proyecto.....	50
CAPITULO 4.....		51
DESARROLLO DE LA PROPUESTA .....		51
4.1	Análisis de factibilidad .....	52
4.1.1	Factibilidad técnica .....	52
4.1.2	Factibilidad económica .....	52
4.1.3	Factibilidad bibliográfica .....	52
4.2	Análisis de requerimientos del sistema.....	52
4.2.1	Etapa o fuente de alimentación .....	53
4.2.2	Etapa receptora señal de ruido .....	56
4.2.3	Etapa de filtrado.....	58
4.2.4	Etapa de amplificación de RF .....	63

4.2.5 Etapa receptora señal de radio frecuencia.....	85
4.3 Construcción del prototipo.....	90
4.4 Pruebas de funcionamiento del prototipo .....	93
4.5 Resultados de funcionamiento del prototipo electrónico.....	96
4.6 Análisis de resultados .....	103
4.7 Análisis económico del proyecto .....	104
CAPITULO V.....	106
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	106
5.1 Conclusiones .....	106
5.2 Recomendaciones .....	107
BIBLIOGRAFÍA .....	108
ANEXOS .....	113

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Fig. 2. 1</b>	Modelo básico de un sistema de comunicación .....	5
<b>Fig. 2. 2</b>	Diagrama en bloques de un sistema electrónico de comunicación .....	6
<b>Fig. 2. 3</b>	Señal analógica.....	7
<b>Fig. 2. 4</b>	Señal digital.....	8
<b>Fig. 2. 5</b>	Ancho de banda de comunicaciones .....	8
<b>Fig. 2. 6</b>	Modulación AM .....	9
<b>Fig. 2. 7</b>	Señal demodulada. ....	10
<b>Fig. 2. 8</b>	Filtro pasa bajo (a), simbología (b). ....	13
<b>Fig. 2. 9</b>	Filtro pasa alto (a), simbología (b). ....	14
<b>Fig. 2. 10</b>	Filtro pasa banda (a), simbología (b) .....	14
<b>Fig. 2. 11</b>	Filtro de rechazo de banda (a), simbología (b).....	15
<b>Fig. 2. 12</b>	Espectro de ondas electromagnéticas .....	15
<b>Fig. 2. 13</b>	Interferencia constructiva .....	18
<b>Fig. 2. 14</b>	Interferencia destructiva .....	18
<b>Fig. 2. 15</b>	Efecto en el voltaje por conmutación de capacitores .....	19
<b>Fig. 2. 16</b>	Efectos del ruido sobre una señal.....	19
<b>Fig. 2. 17</b>	Barrera acústica en una autopista .....	23
<b>Fig. 2. 18</b>	Sistema de cancelación activa lazo abierto (feedforward) .....	24
<b>Fig. 2. 19</b>	Sistema de cancelación activa de lazo abierto (feedforward) .....	25
<b>Fig. 2. 20</b>	Sistema CAR de lazo cerrado (feedback) .....	27
<b>Fig. 2. 21</b>	Sistema de cancelación activa de lazo cerrado (feedback) .....	28
<b>Fig. 2. 22</b>	Antena como red de cuatro terminales.....	29
<b>Fig. 2. 23</b>	Dirección de onda en una antena directiva.....	30
<b>Fig. 2. 24</b>	Antenas omnidireccionales .....	31
<b>Fig. 2. 25</b>	Diagrama de radiación antena monopolo vertical.....	32
<b>Fig. 2. 26</b>	Antena dipolo horizontal y en V invertida .....	32
<b>Fig. 2. 27</b>	Representación simbólica del amplificador operacional.....	34
<b>Fig. 2. 28</b>	Núcleo toroidal de ferrita .....	36
<b>Fig. 2. 29</b>	Área del toroide circular.....	37
<b>Fig. 2. 30</b>	Transformador .....	38
<b>Fig. 2. 31</b>	Línea de transmisión de dos cables paralelos.....	42

<b>Fig. 2. 32</b> Puente rectificador.....	42
<b>Fig. 2. 33</b> Capacitor electrolítico. ....	43
<b>Fig. 2. 34</b> Filtro pasa banda. ....	43
<b>Fig. 2. 35</b> Filtro pasa alto. ....	44
<b>Fig. 2. 36</b> Regulador de voltaje.....	46
<b>Fig. 2. 37</b> Modulo ISIS. ....	47
<b>Fig. 2. 38</b> Modulo ARES. ....	47
<b>Fig. 2. 39</b> Sistema de Modelado Virtual VSM. ....	48
<b>Fig. 4. 1</b> Etapas del cancelador activo de ruido	53
<b>Fig. 4. 2</b> Etapa de alimentación 12VCD, cancelador activo de ruido	53
<b>Fig. 4. 3</b> Antena Telescópica VHF.	57
<b>Fig. 4. 4</b> Diseño del filtro pasa bajo	60
<b>Fig. 4. 5</b> Respuesta en frecuencia del filtro pasa bajo	60
<b>Fig. 4. 6</b> Diseño del filtro pasa bajo	61
<b>Fig. 4. 7</b> Respuesta en frecuencia del filtro pasa alto	62
<b>Fig. 4. 8</b> Diseño del filtro pasa banda	62
<b>Fig. 4. 9</b> Diseño de un Amplificador de RF	65
<b>Fig. 4. 10</b> Diseño amplificador de RF con capacitor de acoplamiento	65
<b>Fig. 4. 11</b> Amplificador de RF con capacitor de acoplamiento.	67
<b>Fig. 4. 12</b> Señal senoidal de prueba en la entrada y salida del capacitor de acoplamiento C1.	67
<b>Fig. 4. 13</b> Señal de salida del amplificador de RF con capacitor de acoplamiento	68
<b>Fig. 4. 14</b> Diseño circuito amplificador de RF con capacitor de desacoplamiento	68
<b>Fig. 4. 15</b> Resistencia de Thevenin del amplificador	69
<b>Fig. 4. 16</b> Amplificador de RF con capacitor de desacoplamiento	70
<b>Fig. 4. 17</b> Señal del amplificador con capacitor de desacoplamiento	70
<b>Fig. 4. 18</b> Ganancia en tensión ( $A_v$ ) del amplificador de RF	71
<b>Fig. 4. 19</b> Modelación tipo $\pi$ del circuito amplificador de RF	71
<b>Fig. 4. 20</b> Modelado tipo $\pi$ reducido matemáticamente	72
<b>Fig. 4. 21</b> Núcleo de ferrita toroidal modelo FB-73 2401.	74
<b>Fig. 4. 22</b> Núcleo toroidal de ferrita	75

<b>Fig. 4. 23</b> Área toroidal tipo ferrita	76
<b>Fig. 4. 24</b> Amplificador señal de bajo ruido.	76
<b>Fig. 4. 25</b> Amplificador RF formado por dos etapas de amplificación	77
<b>Fig. 4. 26</b> Variación de la fase de la señal entrante al amplificador de RF	77
<b>Fig. 4. 27</b> Posición de fase señal de prueba senoidal.	78
<b>Fig. 4. 28</b> Señal de prueba anchos o estrechos	78
<b>Fig. 4. 29</b> Amplificador de RF con dos etapas	80
<b>Fig. 4. 30</b> Señal resultante con la misma fase que la señal fuente	80
<b>Fig. 4. 31</b> Amplificador de RF con tres etapas de amplificación	82
<b>Fig. 4. 32</b> Forma de la señal obtenida en distintos puntos del amplificador de RF	83
<b>Fig. 4. 33</b> Etapas amplificador de RF de baja señal	84
<b>Fig. 4. 34</b> Circuito etapa de recepción señal RF/Transceptor.	85
<b>Fig. 4. 35</b> Circuito etapa de recepción señal RF/Transceptor.	86
<b>Fig. 4. 36</b> diagrama en bloques de la etapa mezcladora	87
<b>Fig. 4. 37</b> Mezclador aditivo	87
<b>Fig. 4. 38</b> Etapa mezclador pasivo.	88
<b>Fig. 4. 39</b> Simulación etapa mezclador pasivo.	88
<b>Fig. 4. 40</b> Esquemático de la etapa de amplificación del CAR	89
<b>Fig. 4. 41</b> Aspecto físico de las placas impresas de los circuitos que forman parte del prototipo	90
<b>Fig. 4. 42</b> Circuito terminado etapa de alimentación	91
<b>Fig. 4. 43</b> Circuito terminado etapa de filtrado	91
<b>Fig. 4. 44</b> Circuito terminado etapa de cancelación activa de radio frecuencia	92
<b>Fig. 4. 45</b> Montaje del prototipo de cancelación activo de radio frecuencia	92
<b>Fig. 4. 46</b> Cancelador activo de radio frecuencia para atenuar las interferencias por ruidos en los receptores de radio	93
<b>Fig. 4. 47</b> Prueba de funcionamiento etapa de alimentación.	94
<b>Fig. 4. 48</b> Cancelador activo de radio frecuencia vista posterior	94
<b>Fig. 4. 49</b> Menú frontal del prototipo de cancelación activa de radio frecuencia	95
<b>Fig. 4. 50</b> Pruebas preliminares receptor de radio FM, AM	95
<b>Fig. 4. 51</b> Conexión de la antena de RF y antena de ruido en el CAR	96
<b>Fig. 4. 52</b> Smaart V.6, muestra de la señal de audio en el tiempo	97

<b>Fig. 4. 53</b> Nivel de ruido proveniente de los parlantes del receptor de radio.	97
<b>Fig. 4. 54</b> Señal en frecuencia modulada FM, tomada en el tiempo.	98
<b>Fig. 4. 55</b> Señal en frecuencia modulada FM, tomada en el dominio de la frecuencia.	98
<b>Fig. 4. 56</b> Puesta en Funcionamiento del prototipo de cancelación de ruido.	99
<b>Fig. 4. 57</b> Señal FM en el dominio del tiempo con su espectrograma	99
<b>Fig. 4. 58</b> Señal FM en el dominio de la frecuencia con su espectrograma	99
<b>Fig. 4. 59</b> Señal de audio en el dominio del tiempo (Amplitud VS. Tiempo)	100
<b>Fig. 4. 60</b> Espectro de la señal de audio en el dominio de la frecuencia (Magnitud VS. Frecuencia)	100
<b>Fig. 4. 61</b> Señal de audio en el tiempo con ruido	101
<b>Fig. 4. 62</b> Señal de audio en el tiempo sin ruido	101
<b>Fig. 4. 63</b> Espectrograma de la señal de audio con ruido en el tiempo.	101
<b>Fig. 4. 64</b> Espectrograma de la señal de audio sin ruido en el tiempo.	102
<b>Fig. 4. 65</b> Comparación de las señales de audio tomadas en el tiempo con su espectrograma	102
<b>Fig. 4. 66</b> Señal AM en el tiempo	103
<b>Fig. 4. 67</b> Señal FM tomada en el tiempo	103

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2. 1</b> Designación de banda UIT .....	16
<b>Tabla 4. 1</b> Consumo de corriente de la fuente de alimentación. ....	55
<b>Tabla 4. 2</b> Comparación de ganancias entre antenas .....	57
<b>Tabla 4. 3</b> Especificaciones eléctricas .....	58
<b>Tabla 4. 4</b> Especificaciones Mecánicas .....	58
<b>Tabla 4. 5</b> Especificaciones Núcleo toroidal modelo FB-73 2401 .....	74
<b>Tabla 4. 6</b> Frecuencias de emisoras de radio en AM y FM .....	97
<b>Tabla 4. 7</b> Costo del proyecto .....	104
<b>Tabla 4. 8</b> Remuneración de un Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones .....	105

## RESUMEN

En el presente proyecto de investigación se desarrolla y construye un prototipo de cancelación activo de radio frecuencia que propone atenuar las interferencias por ruidos en los receptores de radio.

Este prototipo fue desarrollado a partir del problema existente por señales de ruido no deseadas las cuales perturban considerablemente a la señal de información que viaja a través del canal de comunicaciones produciendo interferencias, deformación y pérdida de información. En primera instancia se determinó el origen y tipos de ruido a continuación se analizó las técnicas de cancelación activa de ruido, con el fin de seleccionar la técnica de cancelación más apropiada.

Posteriormente se identificó las etapas que forman parte del circuito electrónico como; etapa de alimentación esta etapa es la que va a proporcionar voltaje continuo de 12VCD y -12VCD a todo el circuito electrónico, etapa de recepción encargada de captar las señales de radio frecuencia del espacio libre y posterior mente entregar estas señales al circuito electrónico para su procesamiento y acondicionamiento, etapa amplificadora encargada de amplificar las señales de radio frecuencia RF, etapa de desplazamiento de fase donde permite seleccionar el inicio de la posición de la fase de la señal entrante, etapa mezcladora de tipo aditivo ya que utiliza dispositivos no lineales permitiendo mezclar dos señales con el fin de ponerlas en contra fase para anularlas.

Así con la implementación y uso de este prototipo se logra atenuar las señales de ruido en cualquier frecuencia comprendida entre los 100KHz-40MHz idealmente en receptores de radio frecuencia (radios).

**Palabras clave:** Ruido, canal de comunicaciones, control activo de ruido, feedforward, mezclador activo, fase.



## ABSTRACT

In this research project it develops and builds a prototype of active radio frequency cancellation proposed attenuate noise interference in radio receivers.

This prototype was developed from the existing problem by unwanted noise signals which substantially disrupt the information signal travels through the communication channel interference is, deformation and loss of information. First the noise source and then types techniques active noise cancellation was analyzed in order to select the most appropriate cancellation technique was determined.

Later stages that are part of the electronic circuit as identified; feeding stage this stage is that it will provide continuous voltage of 12VDC and -12VCD the entire electronic circuit, receiving step charge to capture the radio frequency signals and rear headroom mind deliver these signals to the electronic circuit for processing and conditioning amplifier stage charge of amplifying signals RF radio frequency stage phase shift which selects the beginning of the phase position of the incoming signal, mixer stage additive type because it uses non-linear devices allowing mixing two signals in order to put them against phase to cancel them.

So with the implementation and use of this prototype is achieved attenuate noise signals at any frequency between 100 kHz-40MHz ideally in radio frequency receivers (radios).

**Keywords:** Noise, communications channel, active noise control, feedforward, active mixer, phase.

## GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ACRÓNIMOS

- **BALUN:** Dispositivo adaptador de impedancias que convierte líneas de transmisión no balanceadas en líneas balanceadas. La inversa también es cierta: el balun es un dispositivo reversible.
- **BJT:** El transistor de unión bipolar (del inglés bipolar junction transistor, o sus siglas BJT) es un dispositivo electrónico de estado sólido consistente en dos uniones PN muy cercanas entre sí, que permite controlar el paso de la corriente a través de sus terminales.
- **DSP:** Procesador digital de señales (sigla en inglés de digital signal processor)
- **JFET:** (Junction Field-Effect Transistor, en español transistor de efecto de campo de juntura o unión) es un tipo de dispositivo electrónico de tres terminales que puede ser usado como interruptor electrónicamente controlado, amplificador o resistencia controlada por voltaje. Posee tres terminales, comúnmente llamados drenaje (D), puerta o compuerta (G) y fuente (S).
- **OHMIOS:** Unidad derivada de resistencia eléctrica en el Sistema Internacional de Unidades. Su nombre se deriva del apellido del físico alemán Georg Simon Ohm, autor de la Ley de Ohm.
- **OMNIDIRECCIONAL:** Que se puede utilizar en todas las direcciones o sentidos. Ejemplo el mouse de la computadora está provisto de una bola omnidireccional que permite controlar los movimientos del cursor con el pulgar.
- **POLARIZACIÓN:** Proceso por el cual en un conjunto originariamente indiferenciado se establecen características o rasgos distintivos que determinan la aparición en él de dos o más zonas mutuamente cargadas.
- **RUIDO CÓSMICO:** Ruido aleatorio que se origina por fuera de la atmósfera de la Tierra
- **TOROIDALES:** En geometría el toroide es la superficie de revolución generada por una curva plana cerrada que gira alrededor de una recta exterior coplanaria con la que no se interseca.
- **TRANSISTOR:** Dispositivo eléctrico semiconductor utilizado para entregar una señal de salida en respuesta a una señal de entrada.
- **VHF:** Banda del espectro electromagnético que ocupa el rango de frecuencias de 30 MHz a 300 MHz (sigla en inglés de Very High Frequency).

## INTRODUCCIÓN

En el presente proyecto de investigación se desarrolla un prototipo cancelador activo de radio frecuencia para atenuar las interferencias por ruidos en los receptores de radio. Se basa fundamentalmente en la recepción de señales de radio frecuencia RF por dos antenas una de radio frecuencia y otra de ruido. La señal captada por la antena de ruido viaja a un circuito electrónico amplificador de tres etapas donde se procesa esta señal, posteriormente esta señal resultante viaja a una última etapa mezcladora. La señal tomada de la segunda antena de radio frecuencia es llevada a la etapa mezcladora donde es comparada con la señal procesada que posee la misma amplitud pero se encuentra en contrafase, obtenido como resultado la atenuando del ruido de forma eficiente y eficaz.

El proyecto de investigación está compuesto de cinco capítulos, que se describen a continuación:

- En el primer capítulo se describe las razones por las cuales es necesario el desarrollo de esta investigación partiendo de un análisis macro hasta puntualizar específicamente la necesidad que debe cubrir sus límites, se incluyen los objetivos que se desean cumplir al finalizar el proyecto de investigación y se establece el tiempo de duración.
- En el segundo capítulo se reúne la información teórica necesaria y las experiencias descritas en tesis similares para el desarrollo del prototipo propuesto. Abordando varios temas como: Canal de comunicaciones, relación señal ruido, espectro electromagnético, tipos de ruido, técnicas de cancelación activo de ruido.
- En el tercer capítulo se describe los procesos que se siguieron para el desarrollo de este proyecto como: Modalidad de investigación, tipos de investigación, procesamiento, análisis de datos también se enumeran las actividades realizadas para el desarrollo del mismo.
- En el cuarto capítulo, se desarrolla la propuesta de solución para el problema planteado, se resuelve los objetivos propuestos, requerimientos del prototipo y se muestra las pruebas de diseño y funcionamiento, se incluye el presupuesto destinado para el proyecto de investigación.
- En el quinto capítulo se describe las conclusiones y recomendaciones que se derivan del desarrollo de este trabajo de investigación.

# CAPITULO 1

## EL PROBLEMA

### 1.1 Tema

“Prototipo de un cancelador activo de radio frecuencia para atenuar las interferencias por ruidos en los receptores de radio”.

### 1.2 Planteamiento del problema.

El primer sistema electrónico de comunicaciones inalámbrico práctico en el planeta, fue desarrollado por el científico Guillermo Marconi, consiguiendo amplificar las señales eléctricas que se encontraban en el espacio libre (aire), logrando así que las comunicaciones inalámbricas evolucionen de forma gigantesca hasta la actualidad, teniendo sistemas electrónicos de comunicación sofisticados en todos los países, estos sistemas de comunicación se ven afectados por señales de ruido que se producen de forma natural o artificial, afectando a equipos electrónicos y a la señal de información. [1]

A nivel nacional existen gran cantidad de instituciones que han implementado deferentes sistemas electrónicos de comunicaciones, estos sistemas tienen la función primordial de transmitir señales de información desde un punto en el espacio y en el tiempo, denominado “fuente de información”, hasta otro punto denominado “destino de información”, esta señal de información al viajar por el canal de comunicación se encuentra con señales no deseadas conocidas como ruido, el cual siempre va estar presente en el medio de propagación, la misma que se produce de forma natural o artificial. La señal de ruido es utilizada comúnmente para denominar aquellas señales que perturban la transmisión y procesamiento de señales en el sistema de comunicación, sobre las cuales no se tiene un control completo. [2] En sistemas de comunicaciones se producen señales indeseables por ignición de motores, ruido proveniente de contactos dañados,

interruptores, la atmósfera e incluso por los propios circuitos electrónicos, la señal de ruido tiene la característica de ser aditivo y muy pequeña, es decir que afecta directamente a la señal de información transmitida hacia el receptor, convirtiéndose en un problema debido a que el dispositivo electrónico receptor es un equipo amplificador de la señal de información, amplificando a su vez la señal de ruido, limitando la calidad de la señal de información. [2]

En la ciudad de Ambato existe una gran cantidad de personas que cuentan con dispositivos electrónicos de recepción de señales de radio frecuencia de banda ancha como por ejemplo radios, que se ven afectados por señales de ruido las mismas que se producen de forma natural o artificial; por lo tanto la señal de ruido es un problema creciente en todo el mundo que afecta a toda la población y sin embargo, controlar y en su caso atenuar estas señales no deseadas, es un reto tecnológico importante por la complejidad temporal, frecuencial y espacial que representa. [3], [4]

### **1.3 Delimitación del problema**

**Área Académica:** Comunicaciones.

Línea de Investigación: Tecnologías de comunicación.

**Sublínea de Investigación:** Comunicaciones inalámbricas.

**Delimitación Espacial:** Esta investigación se realizó en la Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato.

**Delimitación Temporal:** La investigación tuvo una duración de 13 meses desde la fecha 14 de agosto del 2015 hasta el 30 de septiembre del 2016, a partir de su aprobación por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

## **1.4 Justificación**

Actualmente existen un gran número de fuentes de ruido que afectan el rendimiento de las comunicaciones y siendo uno de los principales factores de contaminación ambiental; por lo tanto se deben buscar todas aquellas medidas encaminadas a eliminar o atenuar señales de ruido no deseadas, por lo que resulta importante la ejecución de este proyecto debido a que en la actualidad existe un gran número de personas que tienen dispositivos de radio frecuencia y que viven en grandes ciudades o alrededores de zonas industriales, donde las señales de información que viajan por el canal de comunicación están más propensas a ser afectadas por señales de ruido. [3]

La presente investigación pretende beneficiar directamente a las personas que tienen dispositivos electrónicos receptores de señales RF o radio frecuencia, que se ven afectados por señales de ruido producidas de forma natural o artificial y de forma indirecta a radioaficionados que tienen dispositivos de recepción de señales de radiofrecuencia utilizados para captar señales de información, instituciones, centros de investigación, en busca de mejorar la calidad de la señal de información en dispositivos electrónicos de recepción de radio frecuencia.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo general**

Implementar un prototipo cancelador activo de radio frecuencia para atenuar las interferencias por ruidos en los receptores de radio.

#### **Objetivos específicos:**

- Analizar los sistemas de cancelación activa de ruido.
- Determinar los diferentes tipos de ruido en los receptores de RF.
- Diseñar el cancelador activo de radio frecuencia.

## CAPITULO 2

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes investigativos

Realizada la respectiva investigación bibliográfica en los repositorios digitales de las principales universidades y escuelas politécnicas a nivel nacional e internacional, se encontró trabajos similares a este tema.

En el proyecto realizado por Juan Ricardo Penagos Plazas, previo a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones de la Escuela Politécnica Nacional, Quito – Ecuador, explica sobre la cancelación acústica en tiempo real analizando los sistemas adaptativos en la instauración de un sistema de control activo de ruido ANC, mediante el estudio de algoritmos adaptativos con filtrado mínimo cuadrado de la señal de error, FxLMS (Filtered-Least Mean Square), definida como la diferencia entre la señal deseada y la señal producida a la salida del filtro, con el fin de cancelar disturbios por medio de la introducción de un campo sonoro adicional generado electrónicamente. [4]

En la tesis de grado de Ingeniero realizada por Br. Yolimar Vera Montilla, de la Universidad de los Andes, Mérida – Venezuela, diseña un sistema de control activo de ruidos con una interfaz desarrollada en Matlab-Simulink. El sistema consta de una serie de sensores de ruido primario, una serie de fuentes de ruido secundario en contrafase y un filtro que controla el proceso de cancelación a través de un algoritmo adaptativo para ajustar los coeficientes del filtro utilizando el criterio LMS (Least Mean Square) o mínimo cuadrado, con el fin de reducir el ruido presente en la señal de información. [3]

Alejandro Pérez Zapata, en su tesis de grado de Ingeniero de la Universidad de Zaragoza, España, plantea una estructura de control activo de ruido en conductos de ventilación

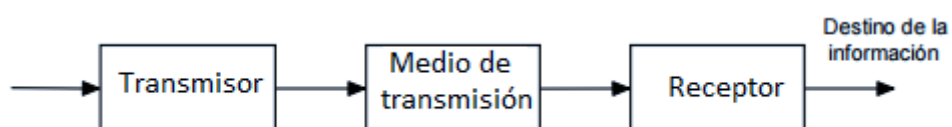
analizando la contaminación acústica en hospitales y unidades de cuidados intensivos, por ser estas áreas extremadamente sensibles al exceso de ruido. Se explica los métodos de control de ruido, en especial el control activo de ruido, para luego enfocarlo al control en conductos la implementación del sistema se va utilizar una tubería de PVC de 15cm de diámetro interior, con una rama en forma de Y, dos altavoces, el de cancelación o control también se ha elegido como procesador digital de señales la tarjeta DSP TMS320vc55 fabricada por Texas Instruments. [5]

En la tesis de Ingeniería de Sonido realizada por Juan Sebastián Murillo Sarmiento de la Universidad de San Buenaventura, Antioquia - Colombia, desarrolla un diseño y adecuación de un sillón cancelador de ruido con el objetivo de aislar el ruido proveniente de autopistas, fabricas que manejan maquinaria pesada, basándose en la teoría de superposición de ondas logrando la cancelación de ruido, utiliza la tarjeta DSP Starter kit TM320C6713 fabricada por Texas Instruments, siendo utilizada a nivel mundial en los últimos años internamente en cabinas de aviones y conductos de ventilación. [6]

## 2.2 Fundamentación teórica

### 2.2.1 Sistema de comunicación

Un sistema de comunicación transfiere o intercambia información desde el transmisor hacia el receptor es decir transmite señales desde un punto origen hacia otro punto denominado destino, pueden estar ubicados en un mismo sitio o lejano. La información puede presentarse en diferentes formas así como en conjuntos de códigos, en secuencias de símbolos, signos, intensidad de luz o bien sea mediante un lenguaje establecido, etc. Los elementos que integran un sistema básico de comunicación son: el transmisor, medio o canal de transmisión y el receptor [7], como se visualiza en la figura 2.



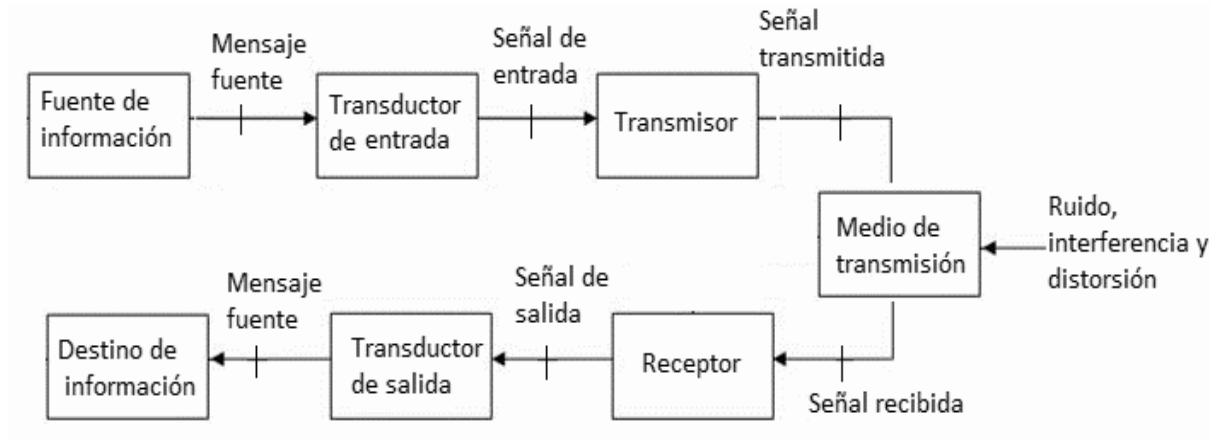
**Fig. 2. 1** Modelo básico de un sistema de comunicación

Fuente: <http://ingredes8.blogspot.com/2011/02/modelo-de-un-sistema-de-comunicaciones.html>. [7]



### 2.2.2 Sistema electrónico de comunicación

Un sistema electrónico de comunicación tiene como objetivo fundamental la transmisión, recepción y procesamiento de información entre dos o más lugares, mediante circuitos electrónicos de una forma eficiente, confiable y segura [1], como se visualiza en la figura 2.2.



**Fig. 2. 2** Diagrama en bloques de un sistema electrónico de comunicación

Fuente: [http://13100650-lesg.mex.tl/2197354\\_Modulacion.html](http://13100650-lesg.mex.tl/2197354_Modulacion.html) [8].

A continuación se describen los elementos que integran un sistema electrónico de comunicación:

**Fuente de información.-** La fuente de información se designa al origen de información susceptible de ser representado mediante una señal analógica o digital. [1]

**Mensaje fuente.-** El mensaje fuente representa la señal de información en forma analógica o digital proveniente de la fuente de información, la misma que se transmite a su destino de información por medio de un sistema de comunicaciones. [1]

**Transductor de entrada.-** Un transductor de entrada es un dispositivo electrónico encargado de transformar el mensaje fuente de entrada en una señal eléctrica de baja frecuencia, es decir en una señal adecuada para su transmisión. [1]

**Señal.-** Señal es la representación de una magnitud física, detectable, variable en el tiempo y espacio, a la que se puede asignar un determinado significado o contenido de información. [1]

**Transmisor.-** El transmisor tiene como función acondicionar las señales de información a las características eléctricas del medio de transmisión. [1]

**Medio o canal de transmisión.-** El medio o canal de transmisión es aquel que tiene como objetivo transportar las señales desde el transmisor hasta el receptor. Este medio puede ser guiado (cable coaxial, fibra óptica, etc.) o no guiado (aire). [1]

**Receptor.-** El receptor es un conjunto de dispositivos y circuitos electrónicos que reconstruye la señal de entrada y la amplifica a partir de la señal recibida. [1]

**Transductor de salida.-** Un transductor de salida es un dispositivo electrónico el cual toma la señal de salida del receptor (señal eléctrica) y la transforma en una forma de onda adecuada o entendible por el destinatario. [1]

**Destino de información.-** El destino de información es donde final mente llega el mensaje fuente en su forma original, el mismo que fue transmitido a través del sistema de comunicaciones y posteriormente acondicionado al medio de transmisión. [1]

### 2.2.3 Señal analógica y digital

**Señal analógica:** La señal analógica se define como una cantidad física en forma de corriente, voltaje o carga eléctrica, variable de forma continua en el tiempo y compuesta por un número infinito de valores, [8], como se visualiza en la figura 2.3

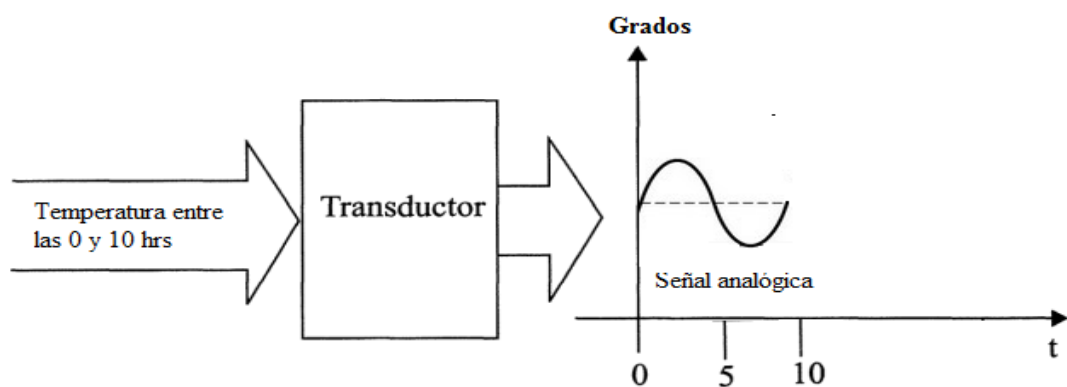
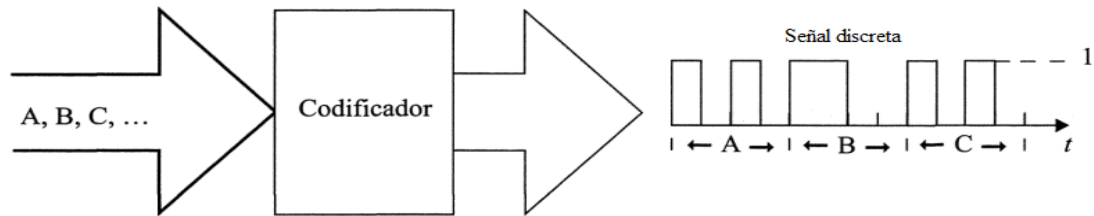


Fig. 2. 3 Señal analógica.

Fuente: Conceptos fundamentales. [8]

**Señal digital:** La señal digital se define como una señal de naturaleza discreta en base a pulsos digitales agrupados en un sistema de código binario, compuesta por símbolos discretos de un conjunto finito de valores [8], como se visualiza en la figura 2.4.

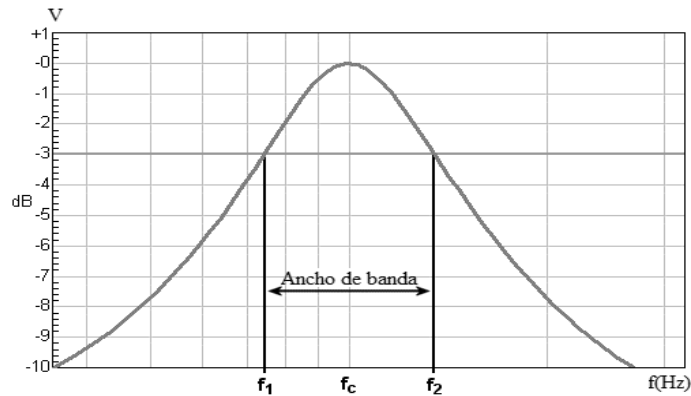


**Fig. 2. 4** Señal digital.

Fuente: Conceptos fundamentales. [8]

### 2.2.4 Ancho de banda de un canal de comunicaciones

El ancho de banda de un canal de comunicaciones es el intervalo de frecuencias que está en capacidad de procesar y soportar el mismo, considerando que se puede calcular con la diferencia entre frecuencia máxima  $f_2$  y frecuencia mínima  $f_1$ , se expresa en unidades de hercio Hz, kilohercio KHz, megahercio MHz, gigahercio GHz [9], como se visualiza en la figura 2.5.



**Fig. 2. 5** Ancho de banda de comunicaciones

Fuente: <http://pnfredesmisionsucre.blogspot.com/>. [10]

Representación matemática del ancho de banda de un canal de comunicaciones, la cual se muestra en la ecuación 2.1:

$$\Delta f = f_2 - f_1 \quad \text{Ec. (2.1)}$$

Donde:

$\Delta f$  =Ancho de banda.

$f_c$  = Frecuencia central.

$f_1$  = Frecuencia mínima.

$f_2$  =Frecuencia máxima.

El ancho de banda de un canal de comunicación debe ser suficientemente grande para dejar pasar todas las frecuencias de información, es decir que debe ser mayor o igual al ancho de banda de la señal de información. [10]

### 2.2.5 Modulación

La modulación es el proceso de colocar una señal de información o señal moduladora de baja frecuencia, sobre una señal portadora de alta frecuencia. Debido a este proceso se modifica las características de la señal portadora para así adecuarla a las características del medio de transmisión. [1]

A continuación se observa una señal portadora la cual es modificada basándose en las características de la señal moduladora y así obteniendo la señal moduladora AM, como se visualiza en la figura 2.6.

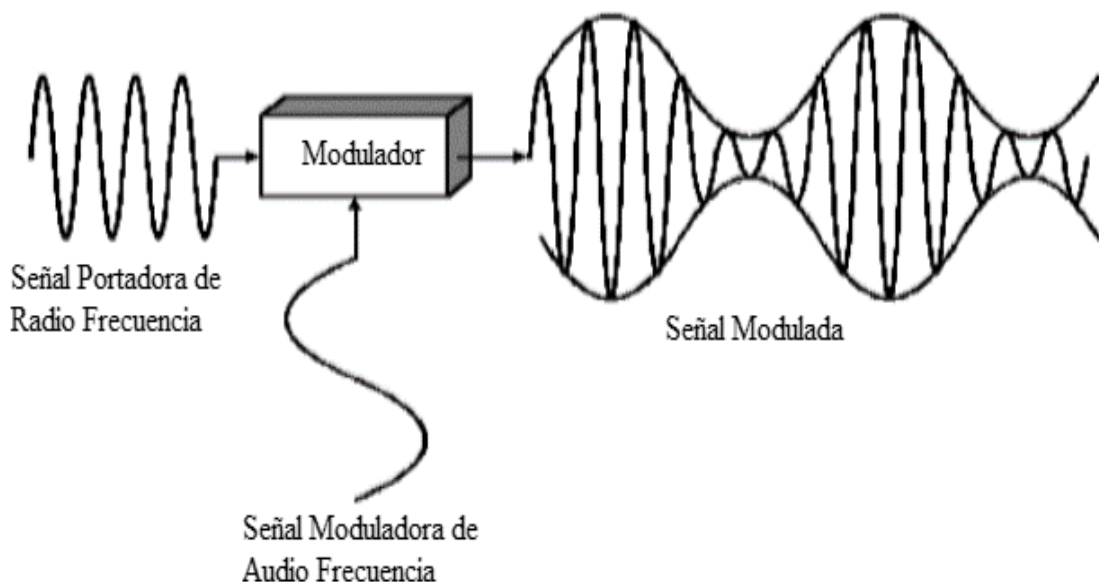


Fig. 2. 6 Modulación AM

Fuente: [http://13100650-lesg.mex.tl/2197354\\_Modulacion.html](http://13100650-lesg.mex.tl/2197354_Modulacion.html). [11]

Representación matemática de la señal moduladora, la cual se muestra en la ecuación 2.2:

$$y_m(t) = A_m \text{sen}(\omega_m t + \phi) \quad \text{Ec. (2.2)}$$

Donde:

$\omega_m = 2\pi f_m$  = Velocidad angular en radianes por segundo (r/sg).

$y_m(t)$  = Se le designa como señal moduladora.

$f_m$  = Frecuencia moduladora.

A continuación se muestra una señal senoidal, de frecuencia mayor ( $f_p$ ) a quien se le elige como señal portadora, la cual se muestra en la ecuación 2.3.

$$y_p(t) = A_p \text{sen}(\omega_p t) \quad \text{Ec. (2.3)}$$

Donde:

$\omega_p = 2\pi f_p$  = Velocidad angular en radianes por segundo.

$y_p(t)$  = Se le designa como señal portadora.

$f_p$ : Frecuencia portadora.

### 2.2.6 Demodulación

La demodulación es el proceso de reconvertir a la portadora modulada en la información original este proceso se lo realiza en el receptor en una etapa llamada demodulador, es decir extrae la señal información de la señal portadora [1], como se visualiza en la figura 2.7.

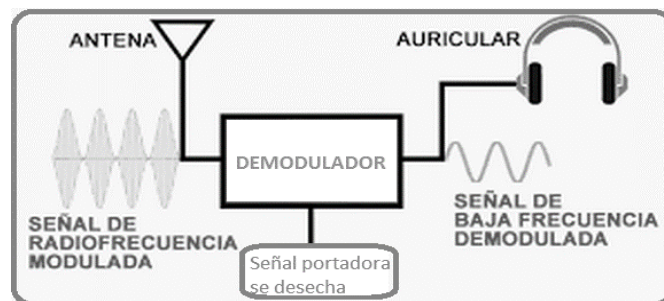


Fig. 2. 7 Señal demodulada.

Fuente: <http://www.radioelectronica.es/articulos-teoricos/66-telegrafia-sin-hilos-la-radio>. [12]

### 2.2.7 Relación señal a ruido (S/R)

La relación señal a ruido S/R o (SNR, Signal to noise ratio), se define como la relación entre la potencia de una señal con la potencia del ruido, siendo uno de los indicadores más utilizados para determinar la calidad del canal de comunicación, en cualquier lugar de un enlace de comunicaciones, es importante determinar esta relación señal a ruido, puesto que la calidad del enlace es mejor cuando el valor de la potencia de la señal de información es mayor en comparación con el valor de la potencia de la señal de ruido, tomando en cuenta que si se tiene igual valor de potencias tanto en la señal de información como en la señal de ruido es prácticamente inutilizable el canal de comunicación, matemática se podría expresar como una relación de voltajes o como una relación de potencias [1], la cual se muestra en las ecuaciones a continuación.

Relación de potencias:

$$\frac{S}{N} = \frac{\text{Potencia de señal}}{\text{Potencia de ruido}} = \frac{P_s}{P_n} \quad \text{Ec. (2.4)}$$

Relación expresada en dB:

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{\text{dB}} = 10 \times \log_{10} \left(\frac{P_s}{P_n}\right) \quad \text{Ec. (2.5)}$$

Relación de voltajes:

$$\frac{S}{N} = \frac{\text{voltaje de la señal}}{\text{voltaje del ruido}} = \frac{V_s}{V_n} \quad \text{Ec. (2.6)}$$

Relación expresada en dB:

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{\text{dB}} = 20 \times \log_{10} \left(\frac{V_s}{V_n}\right) \quad \text{Ec. (2.7)}$$

Esta relación señal a ruido proporciona una medida de la calidad de una señal en un sistema de comunicaciones y depende del nivel de la señal de información recibida como del ruido total, es decir la suma de ruido procedente de fuentes externas y del ruido inherente al sistema de comunicaciones. [1]

## **Factor de ruido e índice de la señal**

El factor de ruido (F) y el índice de ruido (NF), indica la degradación en la relación señal a ruido, este factor de ruido es la relación señal a ruido de entrada, entre la señal de ruido de salida este factor se representa de la siguiente manera en la ecuación 2.8. [1]

$$F = \frac{\text{Relaciónseñalaruidodeentrada}}{\text{Relaciónseñalaruidodesalida}} \quad \text{Ec. (2.8)}$$

Expresada la misma ecuación 2.8 en dB, como se muestra en la ecuación 2.9:

$$(\text{NF})_{\text{dB}} = 10 \times \log \left( \frac{\text{Relaciónseñalaruidodeentrada}}{\text{Relaciónseñalaruidodesalida}} \right) = 10 \log F \quad \text{Ec. (2.9)}$$

### **2.2.8 Filtros electrónicos**

Los filtros electrónicos se pueden definir como dispositivos de dos puertos, cuya función principal es seleccionar o rechazar una determinada banda frecuencial deseada o no deseada, se les conoce también como dispositivos selectores de frecuencia, es decir aquellos que dejan pasar las señales presentes en ciertas bandas de frecuencia y bloquean las señales de otras bandas. [13]

A continuación se indica ciertas aplicaciones de los filtros electrónicos:

- Demodular señales.
- Ecuilizar y así obtener una calidad de audio con mejor fidelidad.
- Eliminar ruidos en los diferentes sistemas de comunicación.
- Convertir señales muestreadas en señales continuas.
- Detectar señales de TV o radio.

### **Filtro Pasivo**

Un filtro pasivo es un circuito que tiene la función de dejar pasar únicamente frecuencias que contengan la información requerida, eliminando interferencias o ruidos que afectan a la señal de información. Están formados por combinaciones serie o paralelo de elementos como; resistencias (R), bobinas (L) y capacitores (C). [13]

## Filtro Activo

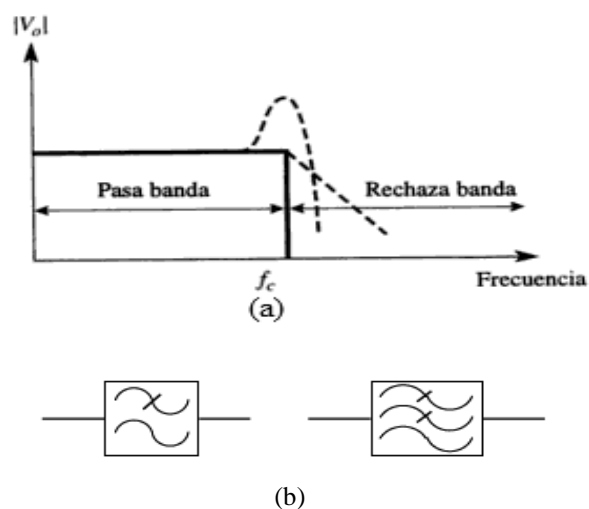
Un filtro activo es un circuito electrónico que tiene la función de dejar pasar únicamente frecuencias que contengan la información requerida, eliminando el resto de frecuencias. Están formados por elementos activos y pasivos como; transistores, amplificadores operacionales, resistencias, inductores y capacitores. Los inductores no se emplean con regularidad en este tipo de filtro ya son abultados, caros e incluso tienen componentes resistivos de elevada magnitud. [13]

### 2.2.9 Clasificación de filtros

Los filtros se clasifican según su respuesta de frecuencia en:

#### Filtro pasa bajo (FPB)

El filtro pasa bajo es un circuito electrónico que permite el paso de frecuencias inferiores a una determinada frecuencia de corte ( $f_c$ ), las frecuencias superiores a esta son rechazadas o atenuadas considerablemente [13], como se visualiza en la figura 2.8.



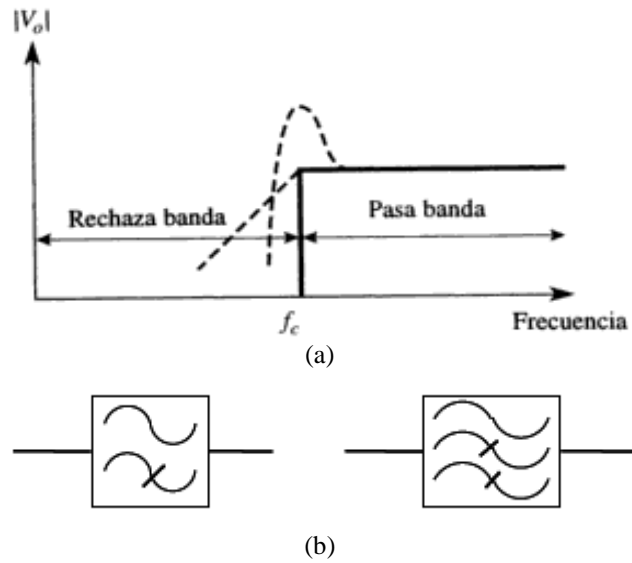
**Fig. 2. 8** Filtro pasa bajo (a), simbología (b).

Fuente: Filtros. [13]

#### Filtro pasa alto (FPA)

El filtro pasa alto es un circuito electrónico que deja pasar frecuencias por encima de la frecuencia de corte ( $f_c$ ) y rechaza o atenuando las frecuencias inferiores a la frecuencia de corte ( $f_c$ ) [13], como se visualiza en la figura 2.9.



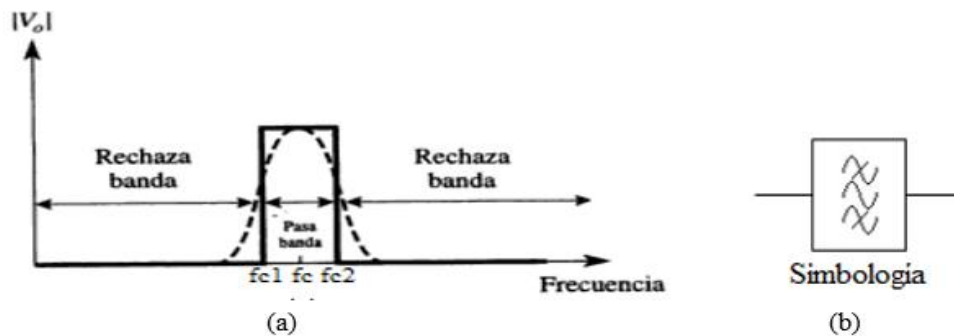


**Fig. 2. 9** Filtro pasa alto (a), simbología (b).

Fuente: Filtros. [13]

### Filtro pasa banda (FPBANDA)

El filtro pasa banda es un circuito electrónico que permite el paso de frecuencias situadas dentro de una banda delimitada por una frecuencia de corte inferior ( $f_{c2}$ ) y otra superior ( $f_{c1}$ ). Las frecuencias que están fuera de esta banda son atenuadas [13], como se visualiza en la figura 2.10.



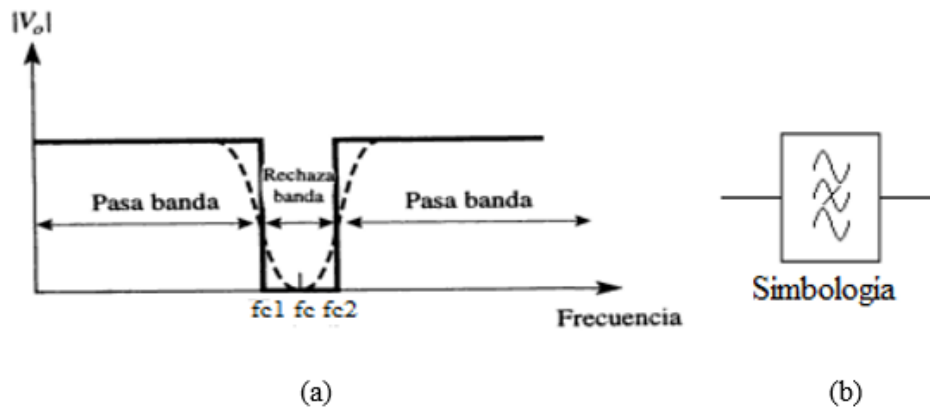
**Fig. 2. 10** Filtro pasa banda (a), simbología (b)

Fuente: Filtros. [13]

### Filtro de rechazo de banda (FRB)

El filtro de rechazo de banda es un circuito electrónico que permite el paso de frecuencias inferiores o superiores a dos frecuencias determinadas, que se denominan frecuencia de corte inferior ( $f_{c1}$ ) y superiores a la frecuencia de corte superior ( $f_{c2}$ ), respectivamente.

Son atenuadas las frecuencias comprendidas en la banda delimitan  $f_{c1}$  y  $f_{c2}$  [13], como se visualiza en la figura 2.11.

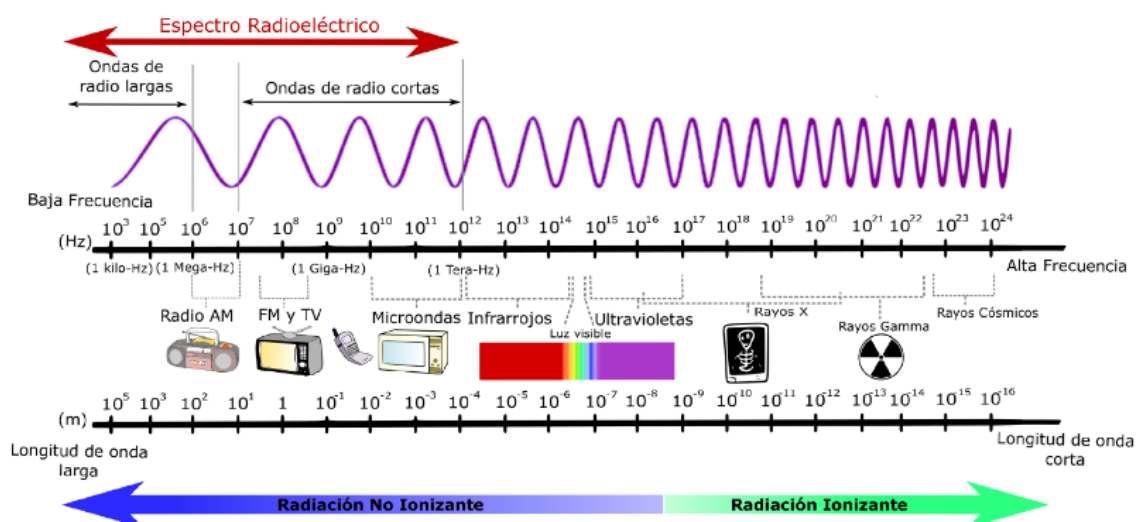


**Fig. 2. 11** Filtro de rechazo de banda (a), simbología (b).

Fuente: Filtros. [19]

### 2.2.10 Espectro electromagnético

El espectro radioeléctrico es un subconjunto de señales electromagnéticas continuas en el tiempo fijadas en un rango de 3Khz a 3000GHz, las cuales se propagan por el espacio libre, en donde operan las emisoras de radio AM y FM, televisión por aire, microondas, telefonía móvil, sistemas satelitales, radioaficionados, internet, comunicaciones de aeronaves, buques, transporte terrestre, así como un elevado número de aplicaciones industriales, científicas y médicas, entre otros servicios de telecomunicaciones [1], como se visualiza en la figura 2.12.



**Fig. 2. 12** Espectro de ondas electromagnéticas

Fuente: <http://tecnologia-escolapioslogrono.blogspot.com/2010/12/el-espectro-radioelectrico.html>. [14]

El espectro total útil de radiofrecuencias (RF) se divide en bandas de frecuencia más angostas, a las que se dan nombres, números descriptivos, y algunas de ellas se subdividen a su vez en diversos tipos de servicios. Las designaciones de banda según el sector de radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-R), como se muestran en la tabla 2.1 [1].

**Tabla 2. 1** Designación de banda UIT

Designaciones de banda UIT		
Número de banda	Intervalo de frecuencias	Designación
2	30 Hz–300 Hz	ELF (frecuencias extremadamente bajas)
3	0.3 kHz–3 kHz	VF (frecuencias de voz)
4	3 kHz–30 kHz	VLF (frecuencias muy bajas)
5	30 kHz–300 kHz	LF (bajas frecuencias)
6	0.3 MHz–3 MHz	MF (frecuencias intermedias)
7	3 MHz–30 MHz	HF (frecuencias altas)
8	30 MHz–300 MHz	VHF (frecuencias muy altas)
9	300 MHz–3 GHz	UHF (frecuencias ultra altas)
10	3 GHz–30 GHz	SHF (frecuencias super altas)
11	30 GHz–300 GHz	EHF (frecuencias extremadamente altas)
12	0.3 THz–3 THz	Luz infrarroja
13	3 THz–30 THz	Luz infrarroja
14	30 THz–300 THz	Luz infrarroja
15	0.3 PHz–3 PHz	Luz visible
16	3 PHz–30 PHz	Luz ultravioleta
17	30 PHz–300 PHz	Rayos X
18	0.3 EHz–3 EHz	Rayos gamma
19	3 EHz–30 EHz	Rayos cósmicos

$10^0$ , hertz (Hz);  $10^3$ , kilohertz (kHz);  $10^6$ , megahertz (MHz);  $10^9$  gigahertz (GHz);  $10^{12}$ , terahertz (THz);  $10^{15}$ , petahertz (PHz);  $10^{18}$  exahertz (EHz)

Fuente: Espectro electromagnético. [1]

### 2.2.11 Contaminación de la señal de información

Durante la transmisión de la señal de información por el canal o medio de comunicaciones suceden efectos no deseados. Uno de ellos es la atenuación la cual reduce la intensidad de la señal de información, sin embargo se presenta otros inconvenientes en la transmisión como; distorsión, interferencia y ruido, los mismos que causan alteraciones en la forma de la señal. [1]

Al introducirse este tipo de señales no deseadas al sistema de comunicaciones, es conveniente reducirlas, pues el transmisor y el receptor son considerados ideales. En términos generales, cualquier perturbación no intencional de la señal de información se puede clasificar como ruido, y algunas veces es muy difícil distinguir las diferentes causas que originan una señal de información contaminada de ruido. [1]

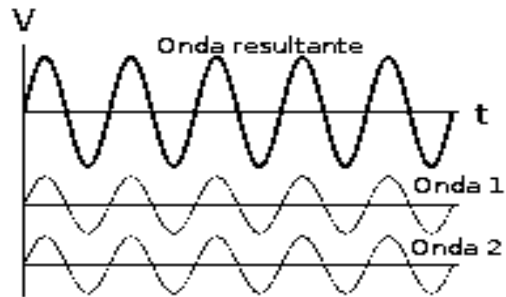
A continuación se describe los efectos no deseados que causan inconvenientes en la señal de información:

### **Interferencia**

Interferencia es la presencia de señales indeseables en un sistema de comunicaciones determinado, originados por otros sistemas de comunicaciones. En física la interferencia es un fenómeno en el cual una o más señales se superponen unas con otras para producir una señal resultante de mayor o menor amplitud. En la práctica, usualmente la interferencia se refiere a la interacción de ondas que correlacionan, porque han surgido de la misma fuente o porque tienen una frecuencia igual o aproximada. En sistemas radioeléctricos, esto ocurre cuando en una misma zona se reciben simultáneamente señales de dos o más sistemas que funcionan en la misma banda de trabajo y cuyas frecuencias caen dentro de la banda de otro sistema. En los sistemas de cable las interferencias son causadas por la inducción del campo electromagnético producido por la señal en un cable y que abarcan el espacio ocupado por otro cable. Por ejemplo en telefonía ocurren formas de interferencia de este tipo que reciben el nombre de diafonía o de modulación cruzada. [15]

**Interferencia constructiva.-** La interferencia constructiva es la interacción de dos señales de igual frecuencia y amplitud, en este caso las señales se encuentran en fase y la señal resultante es la suma de amplitud de ambas, siendo equivalente una señal de igual frecuencia pero con amplitud doble.

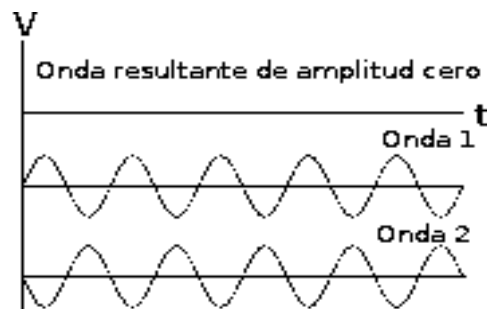
Se visualiza en la figura 2.13, dos señales las cuales se originan al mismo tiempo, es decir sus crestas y valles coinciden, de manera que  $0^\circ$  significa que las señales se encuentran en fase y  $180^\circ$  que las señales están desfasadas. [15]



**Fig. 2. 13** Interferencia constructiva

Fuente: Tipos de interferencia. [16]

**Interferencia destructiva.-** La interferencia destructiva se define como la anulación total de la señal, en este caso las señales entraron en contacto desfasadas  $180^\circ$ , por lo que el valle de una señal anula por completo a la otra señal, se puede concluir que la señal resultante conserva la misma frecuencia pero su amplitud es la suma algebraica de las amplitudes de las señales [15], como se visualiza en la figura 2.14:

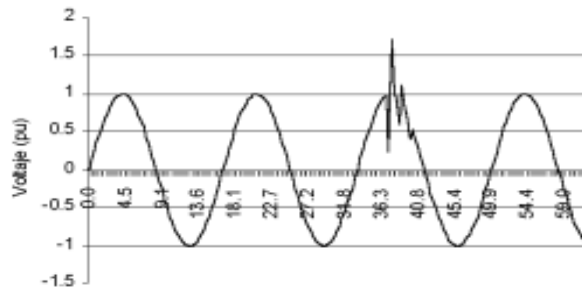


**Fig. 2. 14** Interferencia destructiva

Fuente: Tipos de interferencia. [16]

## Distorsión

Distorsión es la deformación no deseada de la señal de información tras su paso por un sistema, es decir cuando el voltaje o corriente de un sistema tienen deformaciones con respecto a la forma de la señal, esta puede ser senoidal. Se puede deberse a fenómenos transitorios tales como arranque de motores, conmutación de capacitores, efectos de tormentas o fallas por circuito, etc. [17], como se visualiza en la figura 2.15.



**Fig. 2. 15** Efecto en el voltaje por conmutación de capacitores

Fuente: Distorsión armónica. [17]

## Ruido

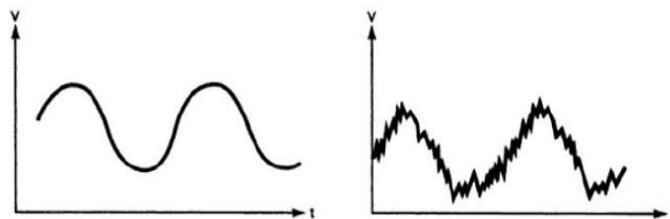
El ruido es una señal o un conjunto de señales indeseables de origen aleatorio que se suman a la señal de información cuando se propagan por el medio de transmisión y que puede ocasionar ciertos problemas en la comunicación, como que la señal recibida pierda calidad o incluso deje de ser receptada correctamente. [1]

### 2.2.12 Tipos de ruido

El ruido se clasifica según el tipo de origen que lo forma y se lo describe a continuación:

#### Ruido Eléctrico

El ruido eléctrico o interferencia electromagnética, es una señal o un conjunto de señales eléctricas de baja magnitud con un espectro de ancho de banda menor a 200 KHz, y que se superponen a la señal de información, son generadas en redes de distribución de alta, media y baja tensión, por descargas atmosféricas, descargas eléctricas, transmisión de estaciones de radio y canales de TV, etc. Este efecto puede ocasionar problemas en la comunicación, perdiendo calidad en la señal de información, también puede ocasionar caídas de enlaces de comunicaciones por saturación de ancho de banda debido a retransmisión no deseada [1], como se visualiza en la figura 2.16.



**Fig. 2. 16** Efectos del ruido sobre una señal.

Fuente: Análisis de ruido. [1]

## Ruido correlacionado

El ruido correlacionado es una forma de ruido interno no puede existir en un dispositivo o circuito a menos que exista una señal de entrada, es decir si no existe señal, no existirá ruido. El ruido correlacionado se produce por amplificación no lineal, e incluye la distorsión armónica y de intermodulación ya que son dos formas de modulación no lineal. Esta distorsión también se produce cuando las señales pasan a través de dispositivos no lineales, como son los diodos, etc. [3]

La no linealidad en los circuitos de amplificación pueden causar dos fenómenos:

**Distorsión armónica.-** La distorsión armónica consiste en la aparición de armónicos no deseados de una señal. Los armónicos son múltiplos enteros de la señal de entrada original. Aparecen tras el proceso de amplificación de la señal, debido a las no linealidades. La señal de información deseada es lo que se denomina el primer armónico o frecuencia fundamental. A continuación se indica la ecuación 2.10, distorsión armónica total o (THD, de total harmonic distortion). [3]

$$\%THD = \frac{V_{\text{superior}}}{V_{\text{fundamental}}} \times 100 \quad \text{Ec. (2.10)}$$

Donde:

%THD = distorsión armónica porcentual total

$V_{\text{superior}}$  = suma cuadrática de los voltajes rms de las armónicas superiores de la frecuencia fundamental,  $\sqrt{v_2^2 + v_3^2 + v_n^2}$

$V_{\text{fundamental}}$  = voltaje rms de la frecuencia fundamental.

**Distorsión por intermodulación.-** La distorsión por intermodulación es la generación de frecuencias indeseables de suma y diferencia, cuando se amplifican dos o más señales en un dispositivo no lineal, que puede ser un amplificador. Aquí la importancia la tiene la palabra indeseable, porque en los circuitos de comunicaciones con frecuencia se desea mezclar dos o más señales y producir las frecuencias de suma y diferencia. Estas son las llamadas frecuencias de productos cruzados se producen cuando tanto las frecuencias armónicas como las fundamentales se mezclan en un dispositivo no lineal [3], a continuación se indica la ecuación 2.11.

$$\text{Productos cruzados} = mf_1 \pm nf_2 \quad \text{Ec. (2.11)}$$

Dónde:

$f_1, f_2$  = son frecuencias fundamentales,  $f_1 > f_2$

$m$  y  $n$  = son enteros positivos, entre uno e infinito.

### **Ruido no correlacionado**

El ruido no correlacionado es aquel que está presente en el sistema de comunicación independientemente de que exista o no una señal de información, este tipo de ruido no correlacionado puede ser de tipo interno en el circuito o externo, pudiéndose clasificar a su vez, en dos tipos:

#### ➤ **Ruido no correlacionado externo**

El ruido no correlacionado externo es aquel cuyo origen está fuera del medio, circuito o dispositivo de tratamiento de la señal de información en el sistema de comunicación, este tipo de ruido se produce por la naturaleza o por el hombre por ende estos ruidos son no correlacionados. [3]

A continuación se describen los tipos de ruido externo no correlacionado:

**Ruido atmosférico.-** El ruido atmosférico también conocido como electricidad estática. Es una fuente de ruido que se debe a las perturbaciones eléctricas que se producen de forma natural en la atmosfera terrestre, siendo frecuente que se manifieste en impulsos que distribuyen energía en un amplio rango de frecuencias. Se caracteriza porque su magnitud es inversamente proporcional a la frecuencia, por lo que su influencia en los sistemas de comunicación se considera insignificante a frecuencias superiores a los 30 MHz. [3]

**Ruido extraterrestre.-** El ruido extraterrestre consiste en señales eléctricas que tiene su origen fuera de la atmosfera de la tierra, por lo que también recibe el nombre de ruido de espacio profundo, debiéndose principalmente a la influencia de las galaxias, el ruido solar y el ruido cósmico. [3]



**Ruido causado por el hombre.-** El ruido causado por el hombre se le conoce también como ruido industrial, al deberse principalmente a la actividad industrial del ser humano, teniendo su origen en las chispas que se producen en infinidad de automatismos como motores eléctricos, variadores de velocidad, contactores, relés, conmutadores, lámparas, etc. El ruido producido por el hombre tiene naturaleza de pulsos y contiene una amplia gama de frecuencias, que se propagan por el espacio del mismo modo que las ondas de radio. [3]

➤ **Ruido no correlacionado interno**

El ruido interno es la interferencia eléctrica o interferencia electromagnética, se generada en el interior de un dispositivo o circuito eléctrico como consecuencia de su naturaleza física, el ruido no correlacionado interno es de naturaleza aleatoria. [3]

A continuación se describen los diferentes tipos de ruido no correlacionado interno:

**Ruido de disparo.-** El ruido de disparo o ruido de transistor es aquel que está presente en componentes electrónicos como diodos, transistores, válvulas de vacío, etc. Es decir varía en forma aleatoria y que se superpone a la señal presente en un dispositivo o circuito electrónico. Esto se debe a la llegada aleatoria de portadoras (agujeros y electrones) a la salida de estos dispositivos electrónicos. [3]

**Ruido de tránsito.-** El ruido de tiempo de tránsito se origina cuando se producen variaciones en la corriente de electrones y huecos que viajan a través de ciertos dispositivos, como podría ser desde la entrada del emisor de un transistor bipolar al colector del mismo, esto produce una serie de variaciones aleatorias e irregulares. [3]

**Ruido térmico.-** El ruido térmico o ruido blanco es aleatorio, continuo, aditivo y predecible se asocia con el movimiento rápido y aleatorio de electrones dentro de conductores, circuitos o dispositivos electrónicos, tiene la propiedad de que su densidad de potencia, definida como potencia de ruido por unidad de ancho de banda, se mantiene constante a lo largo de todo el espectro de frecuencia. [3]

### **2.2.13 Cancelador de ruido**

El cancelador de ruido cumple la función de eliminar o atenuar señales no deseadas (ruido), las cuales se presentan en el canal de comunicaciones y por ende afectan a la señal de información. Es un reto tecnológico por la complejidad que presenta en tiempo, frecuencia y espacio, con un costo económico alto. [6]

### **2.2.14 Técnicas de Cancelación de ruido**

A continuación se describen las técnicas de cancelación de ruido:

#### **Técnica pasiva de cancelación de ruido**

La técnica pasiva de cancelación de ruido es aquella que aprovecha las propiedades absorbentes de ciertos materiales como; barreras acústicas (reflexión señal de ruido), silenciadores reactivos, materiales porosos, resonadores, etc. Actúan como filtros pasa bajos, lo que significa que las frecuencias altas son bloqueadas, y las frecuencias bajas pasan a través del material, absorbiendo energía cambian la impedancia característica del medio para dificultar la propagación de la señal de ruido, estas técnicas se encuentran en un estado desarrollado, y existen soluciones efectivas a frecuencias medias y altas [5], como se puede ver en la figura 2.17.



**Fig. 2. 17** Barrera acústica en una autopista

Fuente: Control pasivo de ruido. [5]

#### **Técnica de cancelación activa de ruido (CAR)**

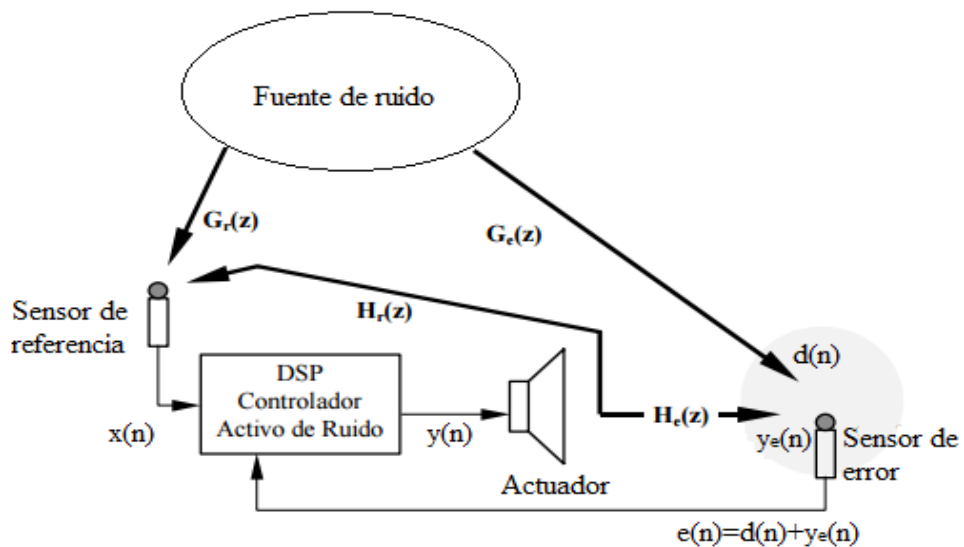
La técnica de cancelación activa de ruido (CAR), es una técnica que tiene como objetivo atenuar o reducir la señal de ruido, generando electrónicamente una señal llamada ruido secundario o anti ruido, el cual posee la misma magnitud pero fase opuesta a la señal de

ruido existente denominado ruido primario. Al sumarse ambas señales se obtiene la cancelación deseada. Los sistemas de cancelación activa de ruido permiten atenuar ruidos de baja frecuencia, generados por motores de combustión en el interior de vehículos, dependiendo del tipo de motor y de su funcionamiento suele estar entre 50Hz y 200 Hz, endone las técnicas pasivas no son eficientes. [5]

La técnica de cancelación activa de ruido (CAR) se basa en dos sistemas:

**Sistema de cancelación activa a priori.-** Al sistema de cancelación activa a priori se le conoce también como sistema de cancelación activa de lazo abierto (feedforward), es una técnica de cancelación de ruido periódico en banda estrecha y ruido aleatorio en banda ancha. [18]

Esté sistema de cancelación de ruido recibe al menos una señal de referencia para procesarla y generar una señal de control. Lo importante es que la señal de referencia contenga información sobre la señal de ruido a cancelar o se encuentren correlacionadas, de tal forma que se pueda generar una señal adecuada de control (anti ruido) [18], como se puede ver en la figura 2.18.



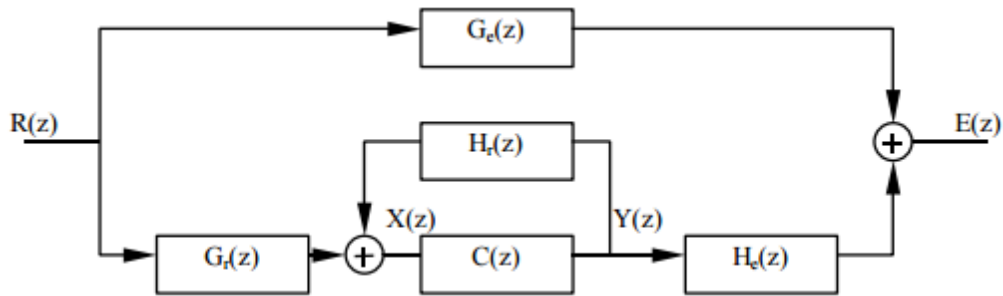
**Fig. 2. 18** Sistema de cancelación activa lazo abierto (feedforward)

Fuente: Técnicas de cancelación activa de ruido CAR. [18]

En la estructura del sistema de cancelación activa de lazo abierto (feedforward), se observa que a partir de una señal de referencia  $x(n)$ , el controlador genera una señal de salida  $y(n)$ . de manera que en el sensor de error se encuentre invertida la fase  $y_e(n)$ , con

respecto a la señal que llega al sensor de error  $d(n)$ , procedente de la fuente de la señal de ruido, consiguiendo la atenuación de esta señal. [18]

Representación matemática del sistema de cancelación activa de lazo abierto (feedforward), en un diagrama en bloques y las funciones de transferencia que forman parte del sistema [18], como se visualiza en la figura 2.19:



**Fig. 2. 19** Sistema de cancelación activa de lazo abierto (feedforward)

Fuente: Técnicas de cancelación activa de ruido CAR. [18]

Donde las señales y funciones de transferencia son las siguientes:

$R(z)$ = Ruido.

$E(z)$ = Señal de error.

$X(z)$ = Señal de entrada al controlador.

$Y(z)$ = Señal de salida del controlador.

$Ge(z)$ = Función de transferencia entre la fuente de ruido y el sensor de error.

$Gr(z)$ = Función de transferencia entre la fuente de ruido y el sensor de referencia.

$Hr(z)$ = Función de transferencia entre el actuador y el sensor de referencia.

$C(z)$ = Función de transferencia del sistema de control.

El sistema de cancelación activa de lazo abierto (feedforward), tiene la siguiente función de transferencia  $C(z)$  para que así la señal de error sea cero, como se indica en la ecuación 2.12.

$$E(z) = R(z) \left[ Ge(z) + Gr(z) \frac{C(z)}{1 - C(z)Hr(z)} He(z) \right] = 0 \quad \text{Ec. (2.12)}$$

Despejando  $C(z)$ :

$$C(z) = - \frac{Ge(z)}{Gr(z)He(z)} \left[ \frac{1}{1 - \frac{Ge(z)}{Gr(z)He(z)} Hr(z)} \right] \quad \text{Ec. (2.13)}$$

Causalidad del sistema de cancelación activa de lazo abierto (feedforward): Mediante el controlador cambiamos la fase e incluso la amplitud de la señal de referencia, posteriormente se debe hacer coincidir la fase opuesta con la señal de ruido que recoge inicialmente el sensor de error atenuando o amplificando la señal de entrada  $x(n)$  este proceso se lo realiza mediante retardos. [18]

Las funciones de transferencia del sistema que están involucradas en retardos son; retardo de propagación entre la fuente de la señal de ruido y el sensor de error  $G_e(z)$ , retardo entre la fuente de la señal de ruido y el sensor de referencia  $G_r(z)$ , retardo entre el actuador y el sensor de error  $H_e(z)$ , como se indica en la ecuación 2.14, la condición de causalidad. [18]

$$\text{retardo } G_e(z) \geq \text{retardo } G_r(z) + \text{retardo } H_e(z) \quad \text{Ec. (2.14)}$$

El sensor de referencia debe estar más cerca de la fuente de ruido que el sensor de error, como se indica en la ecuación 2.15.

$$\text{Ec. (2.15)}$$

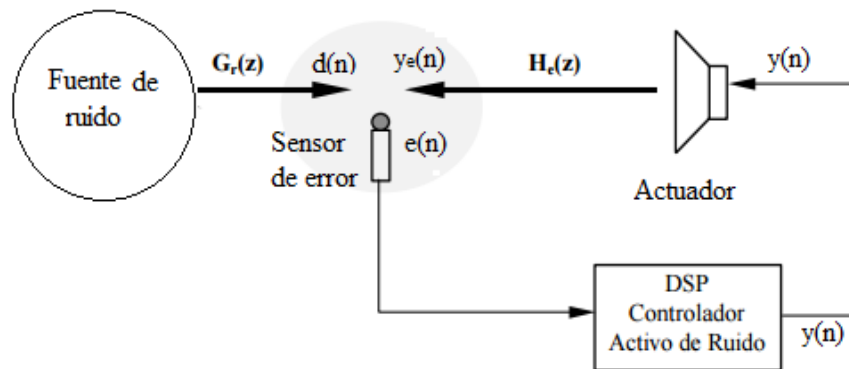
$$\text{retardo } G_e(z) \geq \text{retardo } G_r(z) + \text{retardo controlador} + \text{retardo } H_e(z)$$

El sistema de cancelación activa de lazo abierto (feedforward) funciona correctamente en estas condiciones para cualquier tipo de ruido tanto de banda estrecha (señal de ruido periódico) superando con facilidad una atenuación mayor a los 30dB en comparación a banda ancha (señal de ruido aleatorio) con una atenuación que se da entre los 5 y 15 dB. Al no cumplir la ecuación 2.15, el sistema de cancelación activa de lazo abierto (feedforward) no atenúa ruidos aleatorios o de banda ancha, es decir el controlador no puede predecir la señal  $y_e(n)$ , que cancele a la señal de ruido  $d(n)$  con diferencia a las señales periódicas las cuales si son atenuadas de forma óptima ya que estas señales se repiten de forma periódica y el controlador realiza el retardo correspondiente, por ende se obtiene el mínimo valor eficaz de la señal de error  $e(n)$ . [18]

- La atenuación máxima de la señal de ruido depende directamente de la correlación entre la señal de entrada al controlador y la señal que recoge el sensor de error.
- El controlador solo está en capacidad de atenuar la señal de ruido que se disponga previamente una referencia del mismo.

- Cualquier otra señal de ruido presente alrededor del sensor de error no está sujeto al control o cancelación por lo que no será atenuado.
- El ruido de banda angosta está relacionado a maquinas rotatorias o repetitivas, así que es periódico o cuasi periódicas.
- Las principales fuentes de ruido de banda angosta son los motores de combustión interna usados en el transporte o los utilizados para la generación auxiliar de energía eléctrica, los compresores de los sistemas de refrigeración y los motores utilizados para el transporte de materiales en muchas industrias.

**Sistema de cancelación activa a posteriori.-** Al sistema de cancelación activa a posteriori se le conoce también como sistema de cancelación activa de lazo cerrado (feedback), los cuales no tienen una señal de referencia como entrada por lo que necesita realimentación la señal del sensor de error, para poder realizar un control. Este tipo de sistemas son utilizados con frecuencia en cuando no es posible censar la señal de ruido de referencia por ende no son adaptativos es decir procesan directamente la señal de error para generar una salida (señal anti ruido) y no logran ajustarse a los cambios de las características de la señal de ruido y del medio de transmisión [18], por lo que son propensos a inestabilidad, como se puede ver en la figura 2.20.



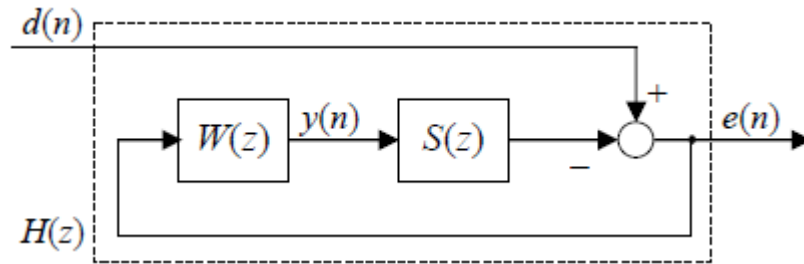
**Fig. 2. 20** Sistema CAR de lazo cerrado (feedback)

Fuente: Técnicas de cancelación activa de ruido CAR. [18]

La señal que capta el sensor de error  $e(n)$ , es la suma de la señal ruido inicial  $d(n)$ , con la señal de ruido de cancelación  $y_e(n)$ , generado por el actuador, la señal de error ayuda al controlador para modificar su respuesta  $y(n)$ , con el objetivo de conseguir que el valor eficaz de la señal de error  $e(n)$  sea mínima, es decir que la señal de ruido al rededor del sensor sea cero, para que una señal pueda ser predecible conociendo muestras pasadas,

necesariamente tiene que ser periódica, por lo que este sistema de cancelación activa alimentados a posteriori funciona para señales de ruido periódicas. La estabilidad de estos sistemas de lazo cerrado o (feedback), depende del retardo de tiempo que hay entre la fuente secundaria de control y el sensor de error, el cual disminuye al ubicar ambos muy cerca entre sí. [19]

Representación matemática del sistema de cancelación activa de lazo cerrado (feedback), en un diagrama en bloques, como se visualiza en la figura 2.21:



**Fig. 2. 21** Sistema de cancelación activa de lazo cerrado (feedback)

Fuente: Técnicas cancelación de ruido CAR. [18]

Donde:

$y(n)$ = Señal de control secundario.

$e(n)$ = Ruido residual por el sensor de error.

$W(z)$ = Función de transferencia del controlador.

$S(z)$ = Función de transferencia camino secundario.

$E(z)$ = Función de transferencia de la señal de error.

$d(n)$ = Ruido primario en la ubicación de la señal de error.

$H(z)$ = Función de transferencia en lazo cerrado de ruido primario a la señal de error.

Sistema de cancelación activa de lazo cerrado (feedback) representa la suma de la señal de ruido y la señal anti ruido, en estado estacionario la transformada  $z$  de la señal de error, como se indica en la ecuación 2.16:

$$E(z) = D(z) - S(z)W(z)E(z) \quad (2.16)$$

La función de transferencia  $H(z)$  que relaciona  $E(z)$  con  $D(z)$  se indica en la ecuación 2.17:

$$H(z) = \frac{E(z)}{D(z)} = \frac{1}{1+S(z)W(z)} = 0 \quad (2.17)$$

Despejando tenemos la función de transferencia de la señal de error  $E(z)$ , como se indica en la ecuación 2.18

$$E(z) = \frac{1}{1+S(z)W(z)} D(z) \quad (2.18)$$

### 2.2.15 Antena

Las antenas son dispositivos diseñados para emitir o recibir señales electromagnéticas desde el espacio libre, adecúan las señales guiadas desde conductores o guías de onda al espacio libre, por lo tanto pueden ser consideradas como un transductor capaz de convertir señales electromagnéticas en señales eléctricas e inversamente [1], como se visualiza en la siguiente figura 2.22.

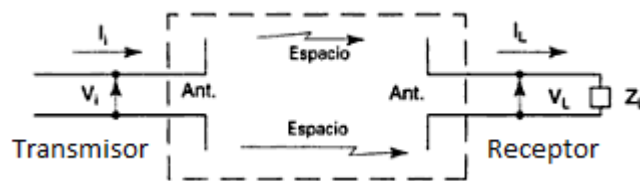


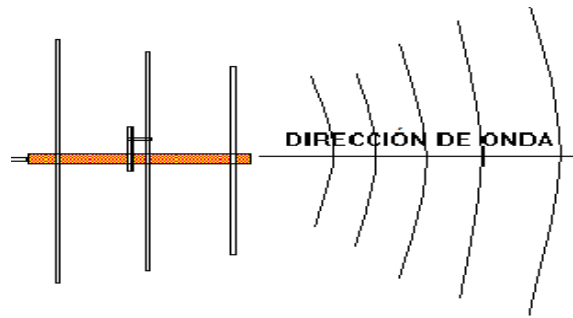
Fig. 2. 22 Antena como red de cuatro terminales.

Fuente: Antenas. [1]

### Antenas direccionales

Las antenas direccionales conocidas también como antenas unidireccionales o directivas son aquellas que irradian señales radioeléctricas de información en una dirección específica a un ángulo determinado, son capaces de concentrar la mayor parte de la energía radiada de manera localizada, incrementando así la potencia emitida hacia el receptor o desde el emisor evitando interferencias introducidas por fuentes no deseadas, lo que puede ayudar a superar el desvanecimiento y son las más idóneas para conexiones punto a punto, como se muestra en la siguiente figura 2.23. [20]





**Fig. 2. 23** Dirección de onda en una antena directiva.

Fuente: Concepto fundamental de transmisión de ondas. [20]

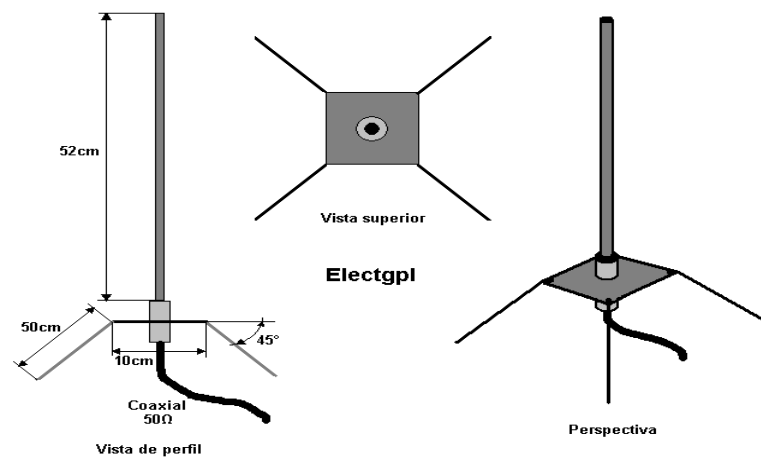
### **Antenas omnidireccionales**

Las antenas omnidireccional son ideales para enlaces punto a multipunto, presentan menor ganancia, pero pueden enviar o recibir señales de radioeléctricas en todas las direcciones del plano horizontal, es decir en los  $360^\circ$  siendo posible establecer comunicaciones independientes desde cualquier punto en el que este la ubicada la antena, por ende no requieren ser orientadas. [21]

### **Clasificación de las antenas omnidireccionales**

A continuación se indican la clasificación de antenas omnidireccionales:

**Antena monopolo vertical.-** Antena monopolo vertical se le conoce de varias maneras como; antena de cuarto de onda o antena de Marconi es una antena constituida de un solo brazo rectilíneo irradiante en posición vertical, ocupan poco espacio horizontal, siendo aptas para trabajo en zonas confinadas o reducidas, su aplicación principal en VHF es principalmente para radio móvil en vehículos, al ser antena tipo monopolo no es una antena completa es incapaz de generar un campo eléctrico a su alrededor, por lo que necesita un plano de tierra puede ser natural como por ejemplo, una superficie de agua salada, o bien sea artificial como por ejemplo, superficies metálicas o conductores enterrados que se unen en la base del monopolo, creando un plano metálico ficticio, incrementando la conductividad y reduciendo significativamente las perdidas por ende aumenta la eficiencia tienen una ganancia que va desde los 3dBi hasta los 17dBi [22], como se muestra en la siguiente figura 2.24.



**Fig. 2. 24** Antenas omnidireccionales

Fuente: Antena de  $\frac{1}{4}$  de onda para banda de 2m con plano radial de tierra. [22]

### Aplicaciones antena monopolo vertical

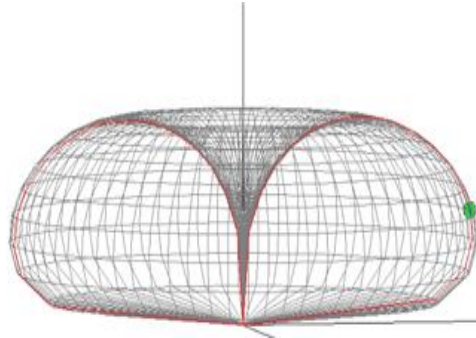
- En sistemas de comunicaciones, a frecuencias desde unos 300KHz hasta más de 1GHz.
- En la banda Very High Frequency es utilizada principalmente para aplicaciones de radio móvil en vehículos.
- En monopolo de  $\frac{1}{4}$  de onda, la impedancia de la antena es de 36 ohmios.
- Es usada de forma común en las expediciones de radioaficionados sobre todo desde islas y costas.
- En servicios de radiodifusión sonora de AM de 540 a 1650KHz.

### Desventajas antena monopolo vertical

- La principal desventaja de la antena monopolo vertical es su patrón de irradiación omnidireccional, el cual no solo irradia energía hacia zonas inútiles del planeta donde no se ubican estaciones que queremos contactar, sino que también permite la entrada de ruido de direcciones ajenas a la de nuestro interés. [22]
- Al ser una antena monopolo vertical, la antena tiene una polarización similar a la que posee el ruido eléctrico, lo cual hace más propensa a recibir este tipo de ruidos en comparación a una antena horizontal. [22]

## Diagrama de radiación antena monopolo vertical

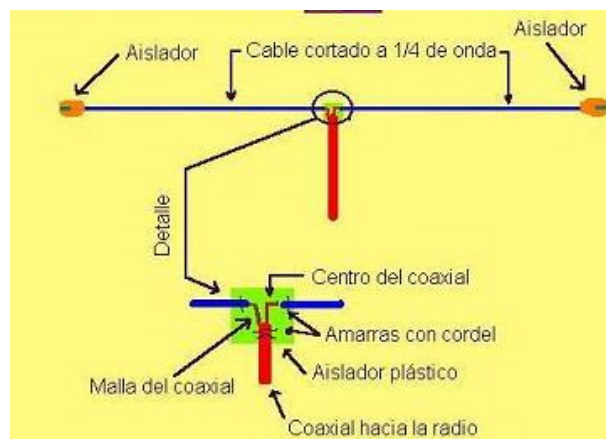
A continuación se muestra un gráfico en 3D de la antena monopolo vertical, así como un corte vertical en 2D, como se muestra en la siguiente figura 2.25.



**Fig. 2. 25** Diagrama de radiación antena monopolo vertical

Fuente: Antena monopolo vertical. [23]

**Antena Dipolo.-** La Antena dipolo o conocida también como antena Hertz, empleada para transmitir o recibir señales de radiofrecuencia, consiste en un hilo conductor de media longitud de onda ( $l = \frac{\lambda}{2}$ ) a la frecuencia de trabajo, cortado por la mitad, cada hilo tiene un longitud de  $\frac{1}{4}$  de longitud de onda, cuenta con una impedancia característica de 73 ohmios, de igual manera tiene una alimentación central y simétrica entre ambos brazos. Las antenas de dipolo son omnidireccionales, y tienen una ganancia de 2.15dB [23], como se muestra en la siguiente figura 2.26.



**Fig. 2. 26** Antena dipolo horizontal y en V invertida

Fuente: Antena dipolo omnidireccional. [23]

### **Aplicaciones Antena dipolo**

- Acceso inmediato a los extremos, lo cual permite ajustar cómodamente la longitud con precisión.
- Se utilizan en vehículos, televisores y radios AM/FM, módems, routers, waki-takies, etc.
- Estas antenas son más fáciles de fabricar por su diseño simple y bajo costo.
- Ocupan muy poco espacio, lo cual es apreciable cuando el sitio es limitado
- Se utilizan principalmente en radio difusión.
- Son ligeras y de fácil instalación.

### **Desventaja antena dipolo**

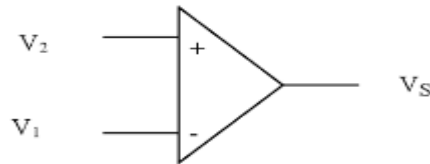
- Necesita ser alimentado el dipolo con una alimentación simétrica, para lo cual hay que intercalar un balun y el cable coaxial.
- La antena dipolo no irradia la misma potencia en todas las direcciones; se dice entonces que es direccional.
- Aunque las antenas de dipolo se pueden orientar verticalmente, horizontalmente e incluso en ángulo, la polarización de sus campos electromagnéticos cambia con sus posiciones.
- Para el diseño de las distintas antenas de dipolo no se toman en cuenta algunas características del dipolo como es la eficiencia, la impedancia y el ancho de banda.
- La antena dipolo no genera mucha ganancia.

### **2.2.16 Amplificadores**

**Amplificador de banda ancha.-** Los amplificadores de banda ancha son dispositivos electrónicos, que amplifican frecuencias en un rango de 47 MHz a 860 MHz), cuya banda de paso se extiende desde las bajas frecuencias hasta las altas frecuencias regularmente, tienen una respuesta en frecuencia plana, bajo ruido, buena linealidad (muy baja distorsión armónica) y se utilizan en circuitos de televisión, fundamentalmente. [24]

**Amplificador operacional.-** Un amplificador operacional es un circuito electrónico amplificador con ganancia de tensión elevada y acoplamiento de corriente directa DC, tiene como función principal incrementar la señal de entrada variable en el tiempo en

valor de tensión, corriente y potencia, con el fin de que su nivel de salida sea más alto, puede realizar operaciones de cálculo como restadores, sumadores de tensiones, inversores de signo, etc. Forman parte de todo tipo de circuitos analógicos como amplificadores de audio, video, filtros, controladores, amplificadores de instrumentación, computadores, etc. [25], como se muestra en la siguiente figura 2.27.



**Fig. 2. 27** Representación simbólica del amplificador operacional  
Fuente: Propiedades generales del amplificador operacional. [26]

**Diseño de amplificadores de RF.-** Para el diseño de amplificadores de RF, se toma en consideración tres antecedentes fundamentales: [27]

- Máxima amplitud de la señal que va entrar en la base del transistor (señales de baja frecuencia).
- Máxima amplitud de la señal que se desea obtener en la salida del colector del transistor.
- Máxima corriente del colector del transistor.

$$I_c \leq 150 \quad (2.19)$$

Con el propósito de aumentar la ganancia de un amplificador se procede a calcular un valor de corriente que sea 150 veces menor que la constante  $I_c$  (max). [27]

$$G = \frac{\text{Señal}_{\text{salida}}}{\text{Señal}_{\text{entrada}}} \quad (2.20)$$

$$I_C = \frac{I_{c \text{ max}}}{150} \quad (2.21)$$

El cálculo de las resistencias de polarización de base, colector, emisor, en cualquier transistor se lo realiza aplicando las siguientes ecuaciones. [27]

$$R_3 = \frac{V_{cd}}{I_c}; R_4 = \frac{R_3}{G} \quad (2.22)$$

$$V_e = R_4 \times I_c \quad (2.23)$$

$$V_b = V_e + 0.7V \quad (2.24)$$

$$I_b = \frac{I_c}{H_{fe}} \quad (2.25)$$

$$R_1 = \frac{(V_{cd} - V_b)}{I_p} \quad (2.27)$$

$$R_2 = \frac{V_b}{I_p} \quad (2.28)$$

$$I_c \cong I_e \quad (2.29)$$

La corriente de polarización que circula por R1, R2 es igual a  $I_b \times 10$ , como se puede observar en la ecuación 2.30. [27]

$$I_p = I_b \times 10 \quad (2.30)$$

La Corriente de saturación se la obtiene aplicando la ecuación 2.31:

$$I_{C(\text{saturación})} = \frac{V_{cd}}{R_3 + R_4} \quad (2.31)$$

El voltaje de colector y de emisor se lo obtiene aplicando la ecuación 2.32, 2.33:

$$V_c = V_{cd} - (I_c R_3) \quad (2.32)$$

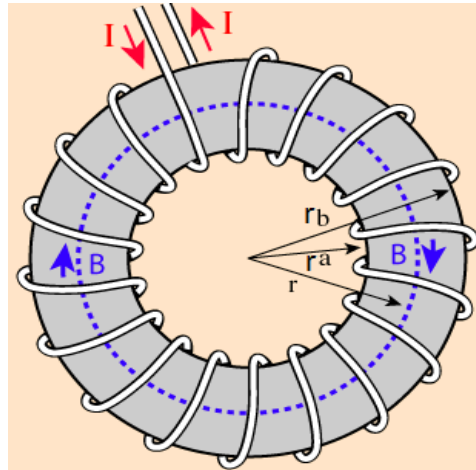
$$V_{ce} = V_c - V_e \quad (2.33)$$

**Transformadores toroidales.-** Los transformadores toroidales presentan varias ventajas con relación a los transformadores tradicionales de chapas metálicas a igual potencia, ofrecen una ganancia de volumen y peso importante hasta de un 50%. Como todos los transformadores, presentan, sin carga, sobretensiones del orden de 25% en toda gama de potencias. Además, los ruidos de inducción y el campo magnético radian son pequeños. Por último, las vibraciones mecánicas son casi inexistentes, y el rendimiento es muy elevado. [28]

**Amplificador de RF acoplado por transformador toroidal.-** Es necesita acoplar un transformador toroidal en el colector o a la salida del amplificador de RF con el fin de aumentar la señal en tensión para la siguiente etapa. El tipo de toroide a tomar en

consideración depende de la frecuencia en la que trabaja el amplificador de RF, del material, tamaño, forma y tipo de núcleo (aire, hierro o ferrita). [28]

El campo magnético  $\vec{B}$  en el interior del toroide posee una trayectoria circular cerrada de integración de radio  $r$  y el área del mismo, como se observa en las siguientes figuras 2.28 y 2.29. [28]



**Fig. 2. 28** Núcleo toroidal de ferrita

Fuente:Tipos de toroide. [29]

**En el interior del núcleo toroidal  $r_a < r < r_b$**

Ecuación del campo magnético  $\vec{B}$  en el interior de un toroide circular:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 NI \quad (2.34)$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \oint \vec{B} \cdot d\vec{l} \cos 0^\circ = \vec{B} \oint dl = \vec{B} 2\pi r$$

$$\vec{B} 2\pi r = \mu_0 NI$$

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 NI}{2\pi r} \quad (2.35)$$

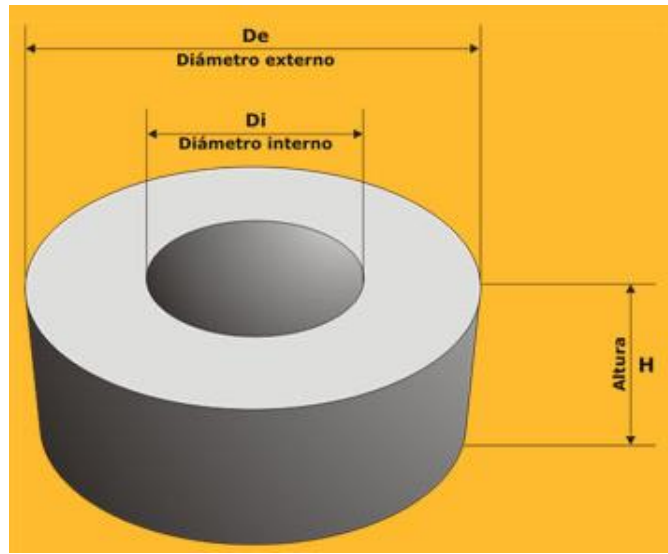
Ecuación del radio al interior de un toroide circular:

$$r = \frac{(ra + rb)}{2} \quad (2.36)$$

Ecuación del campo magnético  $\vec{B}$  en el interior de un toroide circular reemplazando la ecuación 2.36 en la ecuación 2.37:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 NI}{2\pi \frac{(a+b)}{2}} \quad (2.37)$$

### Área del toroide de ferrita



**Fig. 2. 29** Área del toroide circular

Fuente: Tipos de toroides. [29]

$$A = \frac{(De-Di) \times H}{2} \quad (2.38)$$

Donde:

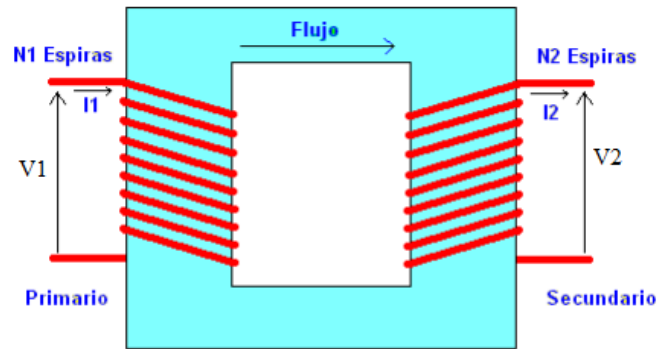
De = Diametro externo.

Di = Diametro interno.

H = Altura.

**Transformador de corriente alterna.**- El transformador es un dispositivo electrónico que nos permite reducir una tensión alterna de entrada en una tensión alterna de salida de distinto valor. Se encuentra formado de dos arrollamientos sobre un mismo núcleo de hierro, ambos arrollamientos, primario y secundario, son completamente independientes, y la energía eléctrica se transmite del primario al secundario en forma de energía magnética a través de núcleo [30], como se muestra en la siguiente figura 2.30:





**Fig. 2. 30** Transformador

Fuente: Primario y secundario del transformador de entrada: [30]

Por lo tanto, la tensión de salida del transformador depende de la tensión de entrada y del número de espiras del primario y secundario [30], a continuación se indica la ecuación 2.39:

$$V1 = V2 \times \left(\frac{N1}{N2}\right) \quad \text{Ec. (2.39)}$$

La relación de espiras, corriente en el devanado primario del transformador y potencia está definida por las siguientes ecuaciones 2.40, 2.41, 2.42. [30]

$$\left(\frac{N1}{N2}\right) = \left(\frac{V1}{V2}\right) \quad \text{Ec. (2.40)}$$

$$I2 = I1 \times \left(\frac{N1}{N2}\right) \quad \text{Ec. (2.41)}$$

$$P = V \times I \quad \text{Ec. (2.42)}$$

El voltaje máximo  $V_i$ , se le conoce como voltaje pico, como se indica en la siguiente ecuación 2.43. [30]

$$V_{max} = V_i \times \sqrt{2} \quad \text{Ec. (2.43)}$$

Para calcular el valor del condensador que se requiere para esta fuente se debe utilizar la fórmula que se muestra en la ecuación 2.44. [30]

$$C = \left(\frac{5 \times I}{f \times V_{max}}\right) \quad \text{Ec. (2.44)}$$

Donde:

V1 = Voltaje de entrada en alterna del transformador.

V2 = Voltaje de salida e alterna del transformador.

N1 = Número de espiras del primario.

N2 = Número de espiras del secundario.

I1 = Corriente del devanado primario del transformador.

I2 = Corriente del devanado secundario de transformador.

Vi = voltaje proveniente del devanado secundario del transformador.

**Ganancia en tensión amplificador de RF.**- La ganancia en tensión es una magnitud que representa la relación entre la amplitud de una señal de salida a la señal de entrada siendo esta adimensional, es decir es un incremento del valor de tensión y mientras más alto es este el resultado el rendimiento del amplificador es mejor. [31]

La ganancia en tensión está definida por a siguiente ecuación 2.45:

Ec. (2.45)

$$\Delta V = -\frac{V_0}{V_i}$$

Donde:

Vi = Voltaje de entrada del amplificador.

Vo = Voltaje de salida del amplificador.

$$V_i = r_e \times I_E$$

$$V_0 = R_c \times I_c$$

Tomando en consideración que  $I_c \approx I_E$  se tiene la siguiente ecuación 2.46:

$$\Delta V = \frac{R_c \times I_c}{r_e \times I_E} \Rightarrow \frac{R_c}{r_e} \quad \text{Ec. (2.46)}$$

Si la ganancia se presenta como negativo es por motivo que el amplificador en emisor común desfasa la señal de salida  $180^\circ$ ,  $V_{CE}$  disminuye al aumentar  $V_i$  y aumenta en caso contrario. En caso de tener resistencia de carga o resistencia de emisor la expresión de la ganancia sería diferente [32], como se muestra en la siguiente ecuación 2.47:

$$\Delta V = \frac{R_c \parallel R_L}{r_e \times R_E} \quad \text{Ec. (2.47)}$$

La ganancia sin capacitor de emisor sería representada en la siguiente ecuación 2.48:

$$\Delta V = \frac{R_c \parallel R_L}{r_e} \quad \text{Ec. (2.48)}$$

Un factor muy importante que se debe tomar en consideración es el valor máximo de la señal a la entrada que se puede aplicar sin que se produzca distorsión [32], a continuación se muestra la siguiente ecuación 2.49:

$$V_{i(\max)} = \frac{V_{o(\max)}}{\Delta V} \quad \text{Ec. (2.49)}$$

***Impedancia de entrada de un amplificador de RF.***- La impedancia de entrada de un amplificador de RF, es la medida de cuanta potencia de entrada tiende a desarrollar el dispositivo electrónico a partir del voltaje de salida se la conoce también como impedancia de carga y se encuentra formada por tres impedancias en paralelo R1, R2,  $Z_{ent(etapa)}$  [32], como se muestra a continuación en la ecuación 2.50:

$$Z_{ent(etapa)} = R1 \parallel R2 \parallel Z_{ent(base)} \quad \text{Ec. (2.50)}$$

$$Z_{ent(base)} = \beta(r'_e + R_E)$$

$$V_{ent(etapa)} = \frac{Z_{ent(etapa)}}{R_g + Z_{ent(etapa)}} \times V_{señal(entrada)} \quad \text{Ec. (2.51)}$$

Donde:

$\beta$  = Ganancia de corriente máxima o hfe (Forward Current Gain), que posee cada transistor.

En caso de que el amplificador de RF no cuente con un capacitor de emisor la impedancia de entrada será más alta a costa del sacrificio de la ganancia [32], y se encuentra representada en la siguiente ecuación 2.51:

$$Z_{ent(base)} = \beta r'_e$$

**Impedancia de salida de un amplificador de RF.-** La impedancia de salida de un amplificador de RF, es la medida de potencia que circula a través de la salida del amplificador de RF, es conocida como la impedancia de la fuente [32], representada en la siguiente ecuación 2.52:

Ec. (2.52)

$$Z_{ent(etapa)} = \frac{V_0}{I_0} = \frac{R_c \times I_c}{I_c} = R_c$$

A continuación se observa en la siguiente ecuación 2.53, la resistencia dinámica de emisor o resistencia de emisor a la corriente alterna.

$$r_e = \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_E} \quad \text{Ec. (2.53)}$$

Como  $\Delta V_{BE}$  e  $\Delta I_E$  pueden ser exactamente  $V_{be}$  e  $I_e$ , se puede reemplazar en la ecuación anterior.

$$r_e = \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_E} \Rightarrow \frac{V_{be}}{I_e}$$

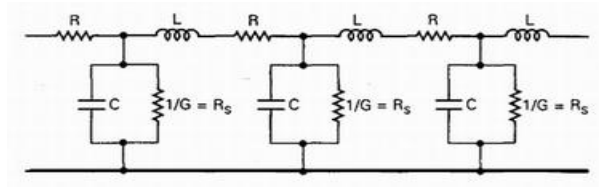
La resistencia dinámica  $r_e$  no es constante para todas las polarizaciones de base. Aun en estas circunstancias, como el valor de  $V_i$  suele ser pequeño [32], es común tomar como aproximación la siguiente ecuación 2.54:

$$r_e = \frac{25\text{mV}}{I_E} \quad \text{Ec. (2.54)}$$

### 2.2.17 Dispositivos activos de microondas

Los dispositivos activos de microondas como; diodos, transistores o tubos, son usados en circuitos de microondas para realizar funciones de amplificación, oscilación, detección, multiplicación de frecuencia, conmutación, o fuentes, sin embargo, para frecuencias mayores, aunque una menor capacidad de manejo de potencia son construidos de arsenuro de galio GaAs, fosforo de indio InP y otros elementos semiconductores que presentan mayores velocidades de portadoras. Para dispositivos de mediana y alta potencia, el silicio es usado aun hasta frecuencias de 6 GHz. Estos dispositivos activos han tenido un sorprendente crecimiento, tanto en diversidad de tipos, como en demanda comercial. [33]

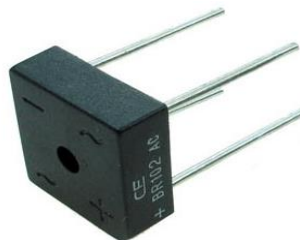
**Líneas de transmisión.-** Una línea de transmisión es un sistema de conductores metálicos con el fin de transferir energía eléctrica de un punto a otro, consisten en dos o más conductores separados por un aislador, como por ejemplo un par de alambres, acoplando la energía de un transmisor o de un receptor con una antena [34], como se puede ver en la figura 2.31.



**Fig. 2. 31** Línea de transmisión de dos cables paralelos.

Fuente: Tipos de líneas de transmisión. [1]

**Puente rectificador.-** El puente rectificador es un dispositivo electrónico encargado de convertir la tensión alterna de salida del transformador o del devanado secundario en tensión continua, se encuentra formado internamente por 4 diodos rectificadores con el fin de rectificar la señal de entrada. Un diodo conduce cuando su ánodo es mayor que su cátodo, funciona como un interruptor que se abre y se cierra según la tensión de sus terminales [35], como se puede ver en la figura 2.32.



**Fig. 2. 32** Puente rectificador

Fuente: Rectificadores. [35]

El voltaje máximo  $V_i$ , se le conoce como voltaje pico, como se indica en la siguiente ecuación 2.55:

$$V_{\max} = V_i \times \sqrt{2} \quad \text{Ec. (2.55)}$$

Donde:

$V_i$  = voltaje proveniente del devanado secundario del transformador.

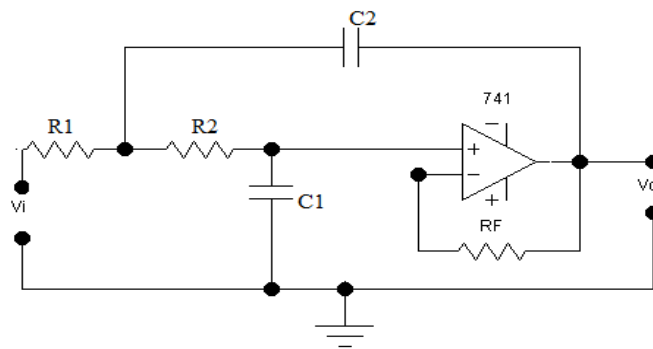
**Filtrado de rizado.**- El filtro de rizado cumple la función alisar la señal de la salida del rectificador y obtener una señal continua de buena calidad [35], como se puede ver en la figura 2.33.



**Fig. 2. 33** Capacitor electrolítico.

Fuente: Filtrado de rizado. [35]

**Diseño de filtro pasa banda.**- Para diseñar un filtro pasa banda primero diseñamos dos filtros uno pasa bajo y otro pasa alto de segundo orden estos poseen realimentación y ganancia infinita [36], [37], como se puede ver en la figura 2.34:



**Fig. 2. 34** Filtro pasa banda.

Fuente: Filtros activos. [37]

El procedimiento de diseño consta de los siguientes pasos:

- Selección de los capacitores, respetando la siguiente condición:

$$C = C_1 \quad \text{Ec. (2.56)}$$

$C_1 \rightarrow$  puede tomar valore de 100pF a 0,1pF

$$C_2 = 2C_1 \quad \text{Ec. (2.57)}$$

- Se calculan las resistencias que forman parte de filtro pasa bajo, esto se lo realiza despejando R de la ecuación 2.58:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC_2\sqrt{2}} \quad \text{Ec. (2.58)}$$

$$R = \frac{1}{2\pi Rf_c\sqrt{2}} \quad \text{Ec. (2.59)}$$

$$R = R_1 = R_2 \quad \text{Ec. (2.60)}$$

$$R_F = 2R \quad \text{Ec. (2.61)}$$

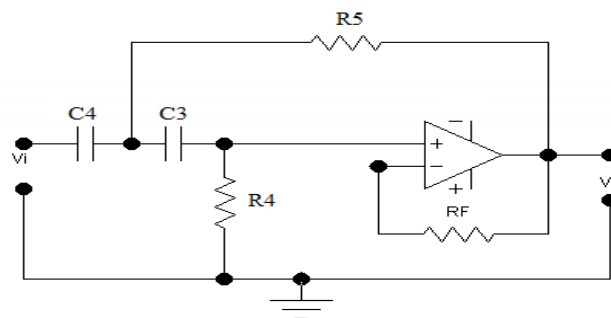
- Ecuación del ancho de banda del filtro:

$$Bw = f_{c_2} - f_{c_1} \quad \text{Ec. (2.62)}$$

- Ecuación del factor de calidad:

$$Q = \frac{f_o}{Bw} \quad \text{Ec. (2.63)}$$

Para el diseño del filtro pasa alto se toma en consideración los parámetros iniciales del filtro pasa bajo [37], como se puede ver en la figura 2.35:



**Fig. 2. 35** Filtro pasa alto.

Fuente: Filtros activos. [37]

- A continuación se presenta la selección de los capacitores y cálculo de  $R_5$ ,  $R_4$ ,  $R_F$  que forman parte del filtro pasa alto, respetando las siguientes condiciones:

$$C = C_3 = C_4 \quad \text{Ec. (2.64)}$$

$$R_5 = \frac{1}{2\pi Rf_c\sqrt{2}}$$

$$R_4 = 2R_5 \quad \text{Ec. (2.65)}$$

$$R_F = R_4 \quad \text{Ec. (2.66)}$$

**Capacitor de acoplamiento.-** El capacitor de acoplamiento cumple la función unir distintas etapas de radio frecuencia de un circuito electrónico, permite el paso de una señal de un punto a otro sin que esta sufra atenuación a esto se le conoce como acoplamiento ideal. Se puede calcular el valor del capacitor de acoplamiento tomando en consideración el rango de frecuencia en el cual va a trabajar el amplificador de baja señal. [38]

$$R1 \parallel R2 = \frac{R1 \times R2}{R1 + R2} \quad \text{Ec. (2.67)}$$

$$X_C \leq 0.1R$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} \quad \text{Ec. (2.68)}$$

**Capacitor de desacoplamiento.-** El capacitor de desacoplamiento es aquel que cumple la función de eliminar los efectos no deseados de una señal de baja frecuencia (atenuación), en el emisor del transistor, debido a que esta señal se la aterriza a tierra, mejorando la ganancia significativamente en el amplificador. [38]

$$R1 \parallel R2 \quad \text{Ec. (2.69)}$$

Cálculos de la resistencia de Thevenin del amplificador de RF, como se observa en las siguientes ecuaciones:

$$R_{TH} = \frac{[(R1 \parallel R2)] + r'e}{R4} \quad \text{Ec. (2.70)}$$

$$X_C \leq 0.1R$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC2} \quad \text{Ec. (2.71)}$$

$$C2 = \frac{1}{2\pi fX_C} \quad \text{Ec. (2.72)}$$

$$C2 = C_{(\text{desacoplamiento})}$$



**Regulador de voltaje.**- El regulador o estabilizador, es un circuito electrónico que cumple la función de reducir el rizado de la señal continua entregada por el puente rectificador y que posteriormente fue filtrada, proporcionando así un voltaje de salida exacto [39], como se observa en la figura 2.36.



**Fig. 2. 36** Regulador de voltaje.

Fuente: Elaborado por el investigador. [39]

### **2.2.18 Software de diseño y simulación**

**Multisim 13.0.**- Multisim 13.0 es un simulador electrónico de circuitos, fue desarrollado por NI Nacional Instruments empresa dedicada al diseño y fabricación de circuitos integrados a nivel mundial. [40]

**Proteus 8.1.**- Proteus es una herramienta de diseño electrónico desarrollado por Labcenter Electronics, basado en la simulación analógica, digital o mixta de circuitos, el cual brinda la posibilidad de interacción con varios elementos que integran un circuito electrónico, además incluye animaciones de funcionamiento con el fin de observar su comportamiento en tiempo real. Este software tiene tres módulos principales; ISIS, ARES, VSM. [41]

**ISIS (Sistema Inteligente de Entrada Esquemática).**- El módulo ISIS (Sistema Inteligente de Entrada Esquemática o Intelligent Schematic Input System), es una herramienta en la cual se diseñan diagramas de circuitos electrónicos con su respectiva simulación, [41]. A continuación en la ventana se observa al lado izquierdo los componentes que forman parte de ISIS como; comandos de ficheros e impresión, comandos de dibujo, rotación, reflexión, barra de herramientas de diseño electrónico, barra de estado, barra de simulación, barras de menú, título y al lado derecho la zona de trabajo. Como se puede ver en la figura 2.37.

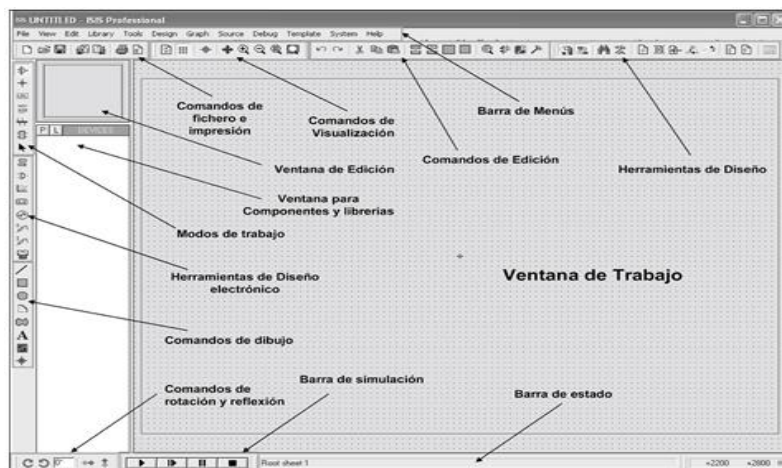


Fig. 2. 37 Modulo ISIS.

Fuente: Sistema inteligente de entrada esquemática. [41]

**ARES (Software de Edición y Ruteo Avanzado):** El módulo ARES (Software de Edición y Ruteo Avanzado o Advanced Routing Modelling), es una herramienta en la cual se diseña las placas de circuito impreso PCB, las cuales se utilizan posteriormente para construir los circuitos electrónicos de manera física, e incluso se tiene la opción de importar un circuito dibujado en ISIS directamente al módulo ARES, diseñando de manera fácil y rápida [41], circuitos impresos, como se puede ver en la figura 2.38.

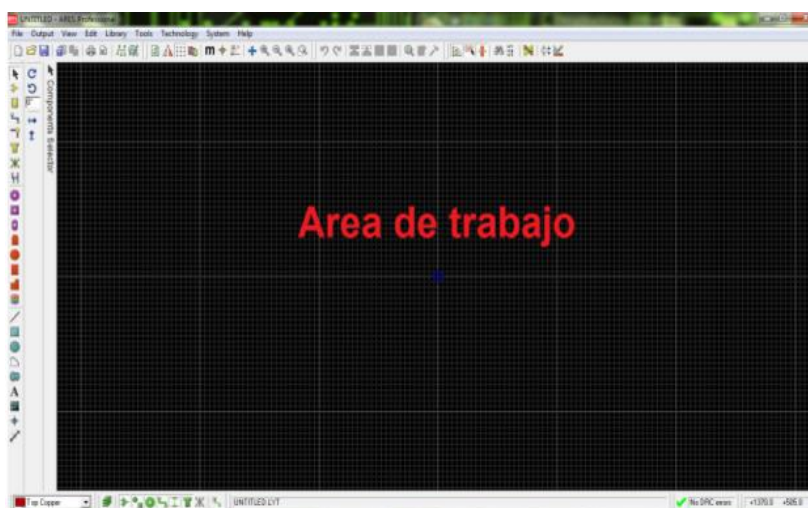


Fig. 2. 38 Modulo ARES.

Fuente: Software de Edición y Ruteo Avanzado. [41]

**VSM (Sistema de Modelado Virtual).**- VSM (Sistema de Modelado Virtual o Virtual System Modelling), es una herramienta integrada de Proteus, que permite simular esquemas electrónicos que contienen microprocesadores con programación hecha en

lenguajes de alto nivel, permitiendo interacción con componentes electrónicos tanto digitales como analógicos con simulaciones en tiempo casi real [41], como se puede ver en la figura 2.39.

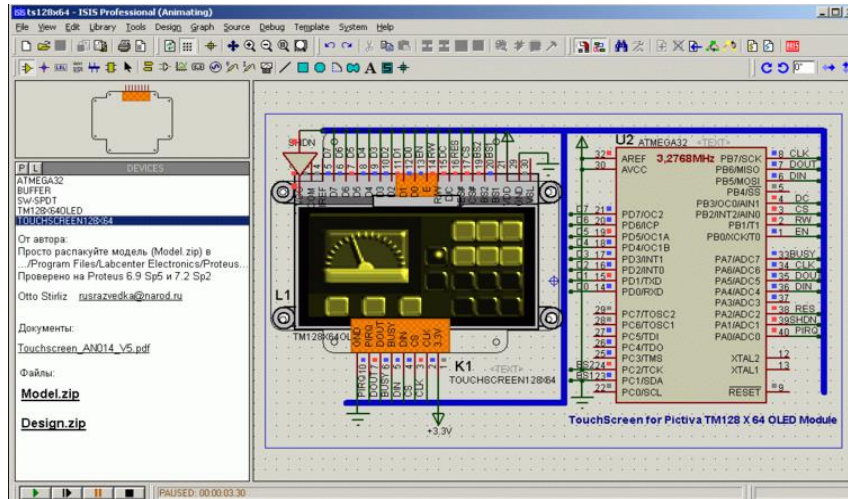


Fig. 2. 39 Sistema de Modelado Virtual VSM.

Fuente: Área de trabajo VSM. [41]

**Smaart V6 (Software de Análisis y Medición Acústica Versión 6).**- Smaart V6 es una herramienta muy utilizada para realizar análisis y mediciones de audio y acústica realiza dos tipos distintos de medida de un canal (análisis de la señal) y doble canal (análisis de la respuesta). [42]

Las mediciones de un solo canal examinan la señal de audio que se encuentra presente en un solo lugar o punto de un sistema. Estas mediciones cuantifican el nivel de la señal y el contenido de frecuencia apareciendo en Smaart V6 como mediciones de espectro RTA y SPECTROGRAPH, la adquisición de esta señal se la realiza a través de un sensor eléctrico (división de señal) o un sensor acústico (micrófono) examinando directamente el contenido de la señal de interés, proporcionando una medida absoluta ayudando al ingeniero a responder inquietudes como que energía, frecuencia existe en el punto o lugar a analizar. [42]

Las mediciones a doble canal es la herramienta más poderosa que forma parte de este software donde se examina la respuesta de las señales y sistemas en función del tiempo. Un gráfico en el dominio del tiempo (Amplitud Vs tiempo) proporciona una visualización de la forma de la onda. Una vista de la respuesta de un sistema en el dominio del tiempo (Respuesta al impulso) muestra el retardo de la señal a través del sistema. [42]

## **CAPITULO 3**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 Modalidad básica de la investigación.**

La modalidad que se empleó en el presente proyecto es de tipo investigación aplicada, ya que por medio de esta se encontró una solución real, práctica y tecnológica al problema planteado, por medio de la puesta en práctica de conocimientos teóricos, para llegar a un diseño esquemático y finalmente a la construcción del dispositivo electrónico.

Se utilizó investigación bibliográfica ya que con ella se pudo recolectar, analizar y desarrollar, la información del tema, se utilizó fuentes como libros, revistas científicas, proyectos desarrollados por instituciones encargadas del desarrollo de dispositivos canceladores de ruido, tesis, internet, etc.

Se aplicó investigación experimental debido a que se realizó un proceso sistemático para conseguir los resultados deseados.

#### **3.2 Población y muestra**

El proyecto no cuenta con población y muestra, puesto que es un proyecto de investigación aplicada.

#### **3.3 Recolección de la información**

Para el presente proyecto se recopiló información en artículos científicos, tesis, revistas y páginas de internet, guía del profesor tutor para el desarrollo del proyecto, etc.

### **3.4 Procesamiento y análisis de datos**

Para el procesamiento y análisis de datos se llevó a cabo los siguientes pasos:

- Revisión de la información recolectada.
- Interpretación de resultados con el apoyo de fuentes teóricas para cada aspecto del desarrollo del proyecto.

### **3.5 Desarrollo del proyecto**

El desarrollo del proyecto se realizó en base a la siguiente estructura de pasos:

- Investigación sobre los canceladores activos y las señales de ruido que afectan a los receptores de radio frecuencia, en fuentes bibliográficas.
- Revisión crítica de toda la información investigada relacionada a los canceladores activos de ruido de radio frecuencia y las señales de ruido que afectan a los receptores de radio.
- Estudio de los diferentes tipos de ruido que afectan a los receptores de radio frecuencia.
- Análisis de las etapas internas del cancelador activo de radio frecuencia.
- Selección y estudio del software apropiado para el diseño del circuito de cancelación activa de radio frecuencia.
- Elección de los elementos electrónicos para la implementación del prototipo.
- Diseño y simulación de los circuitos electrónicos preliminares.
- Diseño final de la placa del circuito impreso.
- Pruebas de funcionamiento y corrección de errores.
- Montaje del prototipo.
- Prueba de funcionamiento final del prototipo.
- Elaboración del informe final.

## **CAPITULO 4**

### **DESARROLLO DE LA PROPUESTA**

En la actualidad existe un gran número de fuentes de ruido que afectan el rendimiento de las comunicaciones y son uno de los principales factores de contaminación ambiental, se diseñó e implementa un prototipo cancelador activo de radio frecuencia para atenuar las interferencias por ruidos en los receptores de radio, el cual consta de varias etapas como; etapa de alimentación que va a proporcionar voltaje continuo de 12VCD y -12VCD a todo el circuito electrónico, etapa de recepción encargada de captar las señales de radio frecuencia de espacio libre y posteriormente entregar al circuito electrónico para su procesamiento y acondicionamiento, etapa amplificadora encargada de amplificar las señales de radio frecuencia RF, etapa de desplazamiento de fase donde permite seleccionar el inicio de la posición de la fase de la señal entrante, etapa mezcladora de tipo aditivo ya que utiliza dispositivos no lineales permitiendo mezclar dos señales con el fin de ponerlas en contra fase para anularlas.

Para el diseño de las placas de los circuitos impresos (PCBs) se utiliza la herramienta ARES del software electrónico PROTEUS 8.0, ya que posee un posicionamiento automático de elementos electrónicos y genera las pistas por auto ruteo de forma rápida y sencilla. La simulación fue realizada en el programa electrónico MULTISIM 13.0 el cual integra y simula todos los componentes e instrumentos necesarios para el análisis, diseño y verificación de circuitos electrónicos en reemplazo de los componentes e instrumentos reales. Finalmente, se presentan los resultados de funcionamiento del prototipo.

## **4.1 Análisis de factibilidad**

### **4.1.1 Factibilidad técnica**

El desarrollo del presente proyecto de investigación es técnicamente factible, debido a que se cuenta con las herramientas tecnológicas existentes en el mercado.

### **4.1.2 Factibilidad económica**

El desarrollo del proyecto de investigación no representa grandes gastos y se encuentran al alcance del investigador. Los elementos electrónicos y recursos bibliográficos a utilizar son fácilmente accesibles en el país.

### **4.1.3 Factibilidad bibliográfica**

Este proyecto de investigación es factible bibliográficamente, para su desarrollo se cuenta con libros, revistas científicas, tesis, investigaciones, publicaciones técnicas y páginas de internet relacionadas al tema de investigación.

## **4.2 Análisis de requerimientos del sistema**

La técnica de cancelación activa de ruido utilizada en el presente prototipo electrónico es a priori o feedforward de lazo abierto, la misma que permite cancelar el ruido periódico banda estrecha y ruido aleatorio en banda ancha.

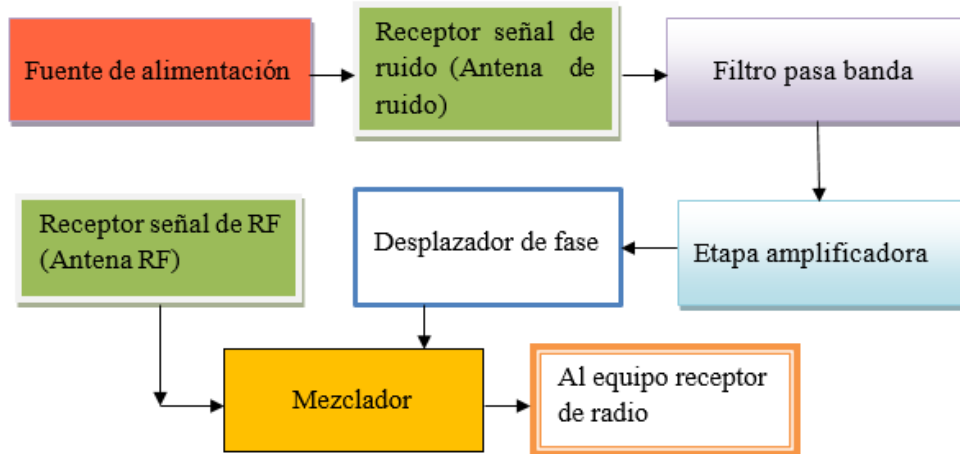
Para el desarrollo del proyecto investigativo se tiene en cuenta el requerimiento del sistema:

- Cancelación de ruido en receptores de radio frecuencia en un rango ideal de 100KHz-40MHz

El mismo que para su desarrollo consta de las siguientes etapas:

- Fuente de alimentación tipo lineal.
- Receptor señal de ruido.
- Filtro pasa banda.
- Amplificador señal de ruido.
- Desplazador de fase.
- Receptor señal RF.
- Mezclador.

Teniendo en cuenta el requerimiento se ha establecido un esquema en el cual se presenta las etapas de; alimentación, recepción, filtrado, amplificación de señal de ruido, red de desplazamiento y ajuste de fase, etapa amplificador de ganancia constante y variable, mezclador, receptor RF, como se muestra en la siguiente figura 4.1.

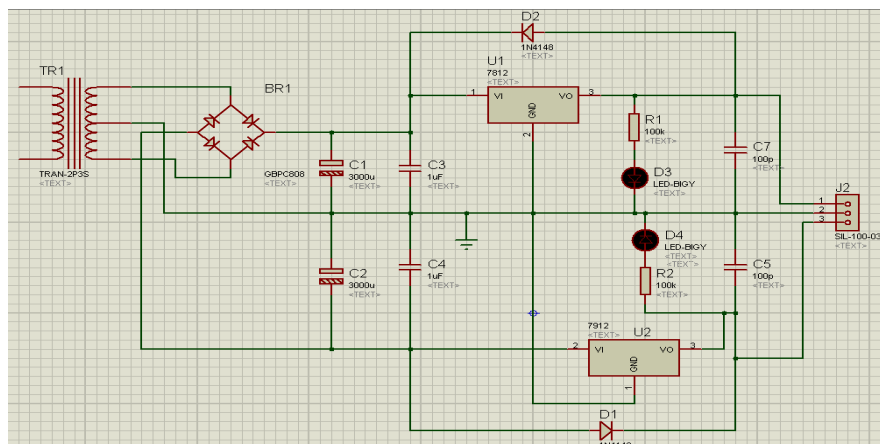


**Fig. 4. 1** Etapas del cancelador activo de ruido

Fuente: Elaborado por el investigador basado en: [2]

#### 4.2.1 Etapa o fuente de alimentación

La fuente de alimentación del prototipo, debe ser capaz de proporcionar energía eléctrica en forma continua a todo el circuito, debido a que los elementos electrónicos requieren un voltaje de trabajo estable de +12VDC y -12VCD, para la implementación se utiliza un transformador de 110VAC-60Hz / 24VAC /1A, está formada con los siguientes componentes: transformador de entrada, puente rectificador, filtro para el rizado, regulador o estabilizador lineal y salida, como se muestra en la siguiente figura 4.2.



**Fig. 4. 2** Etapa de alimentación 12VDC, cancelador activo de ruido

Fuente: Elaborado por el investigador.



Por lo tanto, la tensión de salida del transformador depende de la tensión de entrada y del número de espiras del primario y secundario, para el cálculo realizado a continuación se utilizó la ecuación 2.39:

$$V1 = V2 \times \left(\frac{N1}{N2}\right)$$

Datos:

$$V1 = 110VCA$$

$$V2 = 24VCA$$

$$\frac{N1}{N2} = \text{Relación del número de espiras del transformador.}$$

Mediante la ecuación 2.39, no se puede saber cuántas espiras tiene el devanado primario y cuántas espiras tiene el devanado secundario, pero si conocemos su relación de espiras a continuación se explica tomando en consideración que se utiliza un transformador de 120VAC/12VAC/1A, como se indica en la ecuación 2.40:

$$\left(\frac{N1}{N2}\right) = \left(\frac{V1}{V2}\right)$$

$$\left(\frac{N1}{N2}\right) = \left(\frac{110V}{24V}\right) \Rightarrow \left(\frac{N1}{N2}\right) = 4,58$$

Una vez que conocemos la relación de espiras se establece la relación de corriente con el fin de saber que corriente existe en el devanado primario, I1 del transformador para ubicar fusibles de protección para el prototipo, como se indica en la ecuación 2.41:

$$I2 = I1 \times \left(\frac{N1}{N2}\right)$$

Donde:

I1 = Corriente del devanado primario del transformador.

$$I2 = 1A$$

$$I2 = I1 \times \left(\frac{N1}{N2}\right)$$

$$1A = I1 \times 4,58$$

$$I_1 = \frac{1A}{4,58} = 0.218A \cong 0.2A$$

Para calcular la potencia que consume el prototipo, se debe determinar la carga total con la que va a trabajar la fuente, tomando en cuenta el consumo de corriente de los elementos electrónicos que conforman el circuito, dichos valores se detallan en la tabla 4.1.

**Tabla 4. 1** Consumo de corriente de la fuente de alimentación.

2N2222	10V	200mA	500mW
Diodo 1N4148	24V	60mA	350mW
BD 135	5V	1.5mA	12.5mW
Zener	5.1V	8.9mA	500mW

Fuente: Elaborado por el investigador.

Por lo tanto la potencia consumida en el circuito será de 1.3625W, el transformador debe proporcionar al circuito electrónico una potencia mayor por razones de confiabilidad. Tomando en cuenta que la corriente del transformador es de 1A, de tal forma su potencia se indica en la siguiente ecuación 2.42:

$$P = V \times I$$

$$P = 24V \times 1 \Rightarrow P = 24W$$

El voltaje máximo  $V_i$ , se le conoce como voltaje pico, como se indica en la siguiente ecuación 2.43:

$$V_{\max} = V_i \times \sqrt{2}$$

$$V_{\max} = 24V \times \sqrt{2}$$

$$V_{\max} = 33,94V \cong 34V$$

Donde:

$$V_i = 24V$$

En el puente rectificador empleado en la fuente de alimentación fija internamente está constituido internamente por diodos, entonces el valor  $V_{\max}$  debe restar el voltaje consumido por los diodos 1.4V, a continuación se indica el voltaje máximo:

$$V_{\max} = 34V - 1.4V$$

$$V_{\max} = 32,6V \cong 33V$$

Para calcular el valor del condensador que se requiere para esta fuente se debe utilizar la fórmula que se muestra en la ecuación 2.44:

$$C = \left( \frac{5 \times I}{f \times V_{\max}} \right)$$

Donde:

C = Capacitor.

I = 1A

f = 60Hz

V<sub>max</sub> = 33VCA

A continuación reemplazamos los valores en la ecuación 2.44:

$$C = \left( \frac{5 \times 1A}{60Hz \times 33V} \right)$$

$$C = \frac{5 \times 1A}{60Hz \times 33V}$$

$$C = 2.525 \times 10^{-3}F$$

$$C = 2525\mu f \approx 3000\mu f$$

#### **4.2.2 Etapa receptora señal de ruido**

En primera instancia se realiza un análisis del tipo de antena a utilizar en el prototipo.

Para la selección de antena hay que tener en cuenta que existen dos tipos; las antenas direccionales y las antenas omnidireccionales, las cuales comportan de manera similar tanto en la recepción como en emisión de señales radioeléctricas y se caracterizan por una serie de parámetros: respuesta de frecuencia, polarización, ganancia, longitud, área de efectividad, peso, tipos de conectores, resistencia al viento, entre otros, para el presente proyecto de investigación se eligen las antenas de tipo omnidireccional puesto que son ideales para enlaces punto a multipunto, las cuales presentan menor ganancia, pero pueden enviar o recibir señales de radioeléctricas en todas las direcciones del plano horizontal, es decir en los 360° siendo posible establecer comunicaciones independientes

desde cualquier punto en el que este la ubicada la antena, por ende no requieren ser orientadas.

Posteriormente, se realiza una comparación de ganancia de las antenas omnidireccionales, lo que permite tener un criterio de selección en base a este parámetro, los datos se detallan a continuación en la tabla 4.2:

**Tabla 4. 2** Comparación de ganancias entre antenas

<b>Tipo de Antena</b>	<b>Ganancia de la antena</b>
Monopolo vertical	3 dBi-17 dBi
Dipolo	2.2 dBi

Fuente: Ganancia antena telescópica. [23]

Las dos antenas seleccionadas para las etapas de recepción de las señales de RF, son tipo telescópicas, estas antenas trabajan en frecuencias de VHF, por lo que son ideales para captar señales de radio y de televisión, adicionalmente se realiza un acoplamiento de dos conectores tipo F machos RG-6, con el fin de obtener un montaje mucho más fácil y seguro en el prototipo electrónico, como se visualiza en la siguiente figura 4.3:



**Fig. 4. 3** Antena Telescópica VHF.

Fuente: Acoplamiento de la antena telescópica con, RCA machos: [43]

A continuación se presenta las características eléctricas y mecánicas de las antenas telescópicas, como se puede visualizar en las tablas 4.3 y 4.4:

**Tabla 4. 3** Especificaciones eléctricas

Tipo de Antena	Telescópica VHF/Radio
Frecuencia de operación	145MHz
Ganancia	2.25 a 3.0dBi
Impedancia de entrada	50Ω
Radiación	Omnidireccional
Polarización	Vertical
Protección de iluminación	Planta directa

Fuente: Características eléctricas antena telescópica. [43]

**Tabla 4. 4** Especificaciones Mecánicas

Tipo de conector	Tipo F macho RG-6
Material de la cúpula	Acero inoxidable
Peso neto	0.13 Kg
Longitud	109cm
Diámetro chasis	$\phi 20 \pm 0.2 \text{mm}$

Fuente: Características mecánicas de la antena telescópica. [43]

#### 4.2.3 Etapa de filtrado

La etapa de filtrado es importante debido a que permite el paso de un determinado rango de frecuencia de una señal de 100KHz a 40Mhz, atenuando las señales que se encuentra fuera de este rango, a continuación se diseña un filtro pasa banda.

#### Diseño del filtro pasa banda

Para diseñar un filtro pasa banda primero diseñamos dos filtros uno pasa bajo y otra pasa alto como se observa a continuación:

## Filtro pasa bajo

Para el diseño del filtro pasa bajo se realizaron los siguientes cálculos:

Datos:

- $C_1 = 1\text{nF}$
- $f_{c_2} = 40\text{MHz}$

A continuación se realiza el cálculo del capacitor  $C_2$  del filtro pasa bajo, como se visualiza en la ecuación 2.57:

$$C_2 = 2C_1$$
$$C_2 = 2\text{nF}$$

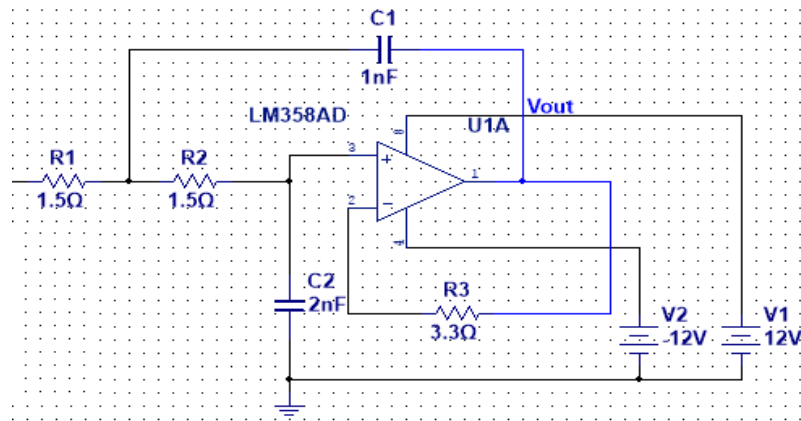
Posteriormente se realiza el cálculo de  $R$  que forma parte del filtro pasa bajo, como se visualiza en la ecuación 2.58:

$$f_{c_2} = \frac{1}{2\pi RC_2\sqrt{2}}$$
$$R = \frac{1}{2\pi C_2 f_{c_2}\sqrt{2}}$$
$$R = \frac{1}{2\pi(2 \times 10^{-9})(40000000\text{Hz})\sqrt{2}} = 1.4\Omega \cong 1.5\Omega$$

Ahora se realiza el cálculo de  $R_F$  que forma parte del filtro pasa bajo, como se visualiza en la ecuación 2.61:

$$R_3 = R_F = 2R = 2(1.4\Omega) = 3\Omega \cong 3.3\Omega$$

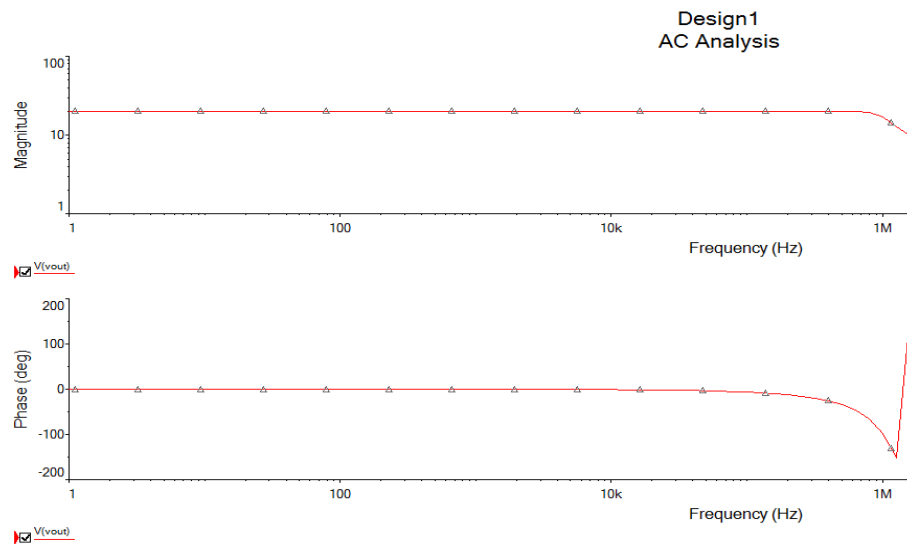
En la figura 4.4, se observa el diseño realizado en Multisim 13.0 del filtro pasa bajo el cual va permitir que pasen frecuencias por debajo de los 40MHz a la etapa de amplificación de RF que forma parte del cancelador activo de radio frecuencia.



**Fig. 4. 4** Diseño del filtro pasa bajo

Fuente: Diseñado por el investigador basado en: [37]

En la figura 4.5, se observa la respuesta del filtro pasa bajo simulado en Multisim 13.0.



**Fig. 4. 5** Respuesta en frecuencia del filtro pasa bajo

Fuente: El investigador.

### Filtro pasa alto

Para el diseño del filtro pasa alto se toma en consideración los parámetros iniciales del filtro pasa bajo:

Datos:

- $C = 1\text{nF} \cong C_3 \cong C_4$
- $f_{c1} = 100\text{KHz}$

Posteriormente se realiza el cálculo de R que forma parte del filtro pasa alto, como se visualiza en la ecuación 2.58:

$$f_{c1} = \frac{1}{2\pi R_1 C_2 \sqrt{2}}$$

$$R_1 = \frac{1}{2\pi C f_{c1} \sqrt{2}}$$

$$R_1 = \frac{1}{2\pi(1 \times 10^{-9})(100000\text{Hz})\sqrt{2}} = 2,81 \cong 3,3\Omega \cong R_4 \cong R_5$$

Ahora se realiza el cálculo de R2 que forma parte del filtro pasa alto, como se visualiza en la ecuación 2.65:

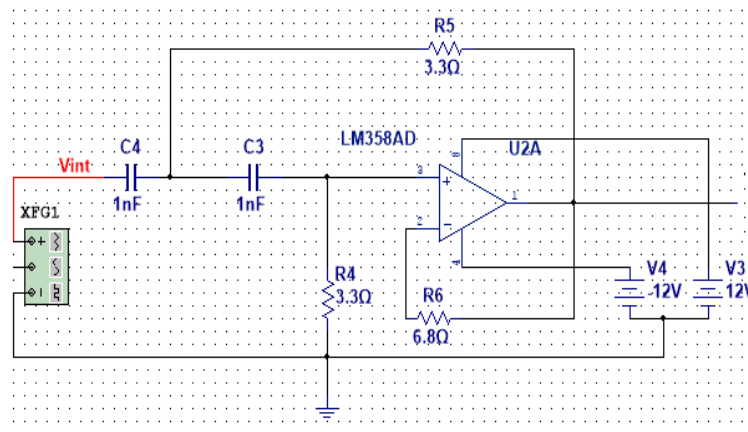
$$R_2 = 2R_1 = 2(3,3\Omega) = 6,6\Omega \cong 6,8\Omega \cong R_6$$

A continuación se realiza el cálculo de RF que forma parte del filtro pasa alto, como se visualiza en la ecuación 2.66:

$$R_F = R_6$$

$$R_F = 6,8\Omega$$

En la figura 4.6, se observa el diseño realizado en Multisim 13.0 del filtro pasa alto el cual va permitir que pasen frecuencias por arriba de los 100KHz a la etapa de amplificación de RF que forma parte del cancelador activo de radio frecuencia.

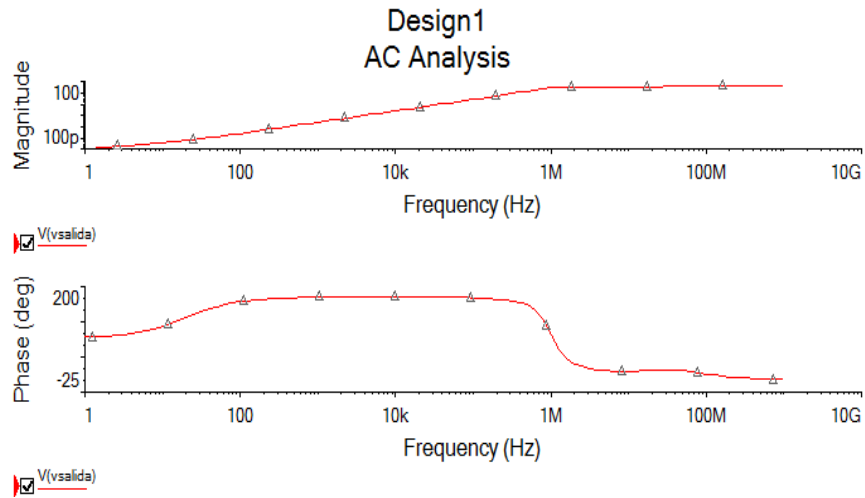


**Fig. 4. 6** Diseño del filtro pasa bajo

Fuente: Diseñado por el investigador basado en: [37]



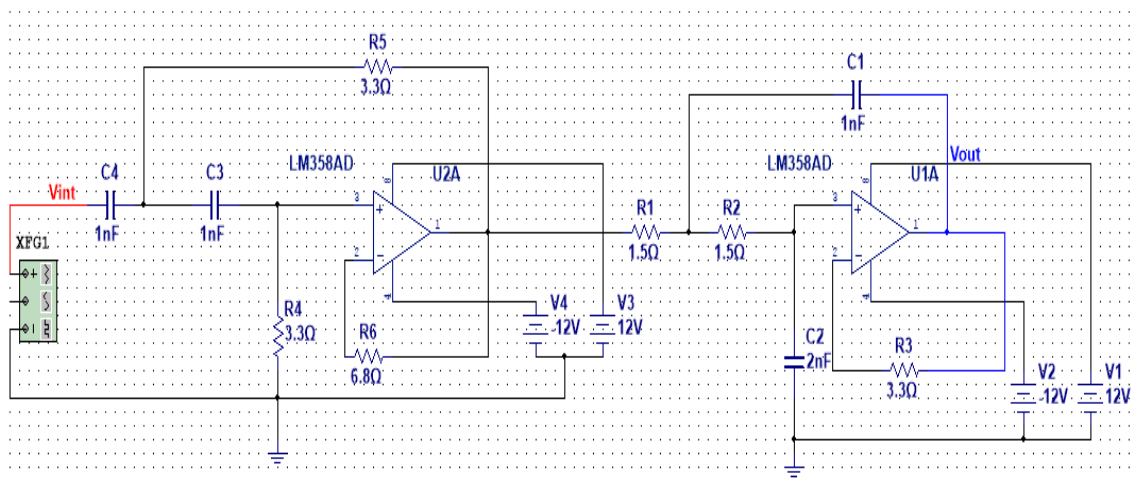
En la figura 4.7, se observa la respuesta del filtro pasa alto simulado en Multisim 13.0.



**Fig. 4. 7** Respuesta en frecuencia del filtro pasa alto

Fuente: El investigador.

A continuación se muestra el diseño del filtro pasa banda desarrollada en Multisim 13.0 el cual trabaja en un rango de frecuencia de 100KHz a 40 MHz, como se observa en la figura 4.8:



**Fig. 4. 8** Diseño del filtro pasa banda

Fuente: Diseñado por el investigador basado en: [37]

#### 4.2.4 Etapa de amplificación de RF

A continuación se diseña la etapa de amplificación de RF:

##### Diseño amplificador RF

Al iniciar el cálculo de las resistencias de polarización base, colector y emisor de un transistor 2N2222, se toma en consideración tres antecedentes fundamentales:

- Máxima amplitud de la señal que va entrar en la base del transistor (señales de baja frecuencia).
- Máxima amplitud de la señal que se desea obtener en la salida del colector del transistor.
- Máxima corriente del colector del transistor.

Datos:

$$V_{CC} = 12V_{cd}$$

$$I_{Cmax} = 800mA$$

$$Señal_{entrada} = 2mV$$

$$Señal_{salida} = 400mV$$

$$H_{fe} = 300$$

$$I_p = \text{Corriente de polarización}$$

$$I_c \leq 150$$

Para aumentar la ganancia de un amplificador cálculo un valor de corriente que sea 150 veces menor que la constante  $I_c$  (max), como se visualiza en las ecuaciones 2.20, 2.21, 2.22:

$$G = \frac{Señal_{salida}}{Señal_{entrada}} = \frac{0,4V}{0,002V} = 200 \text{ veces}$$

$$I_C = \frac{I_{Cmax}}{150} = \frac{0,8A}{150} = 5,33 \times 10^{-3}A$$

Posteriormente se realizó el cálculo de R1, R2, R3, R4, como se visualiza a continuación:

$$R_3 = \frac{V_{cd}}{I_c} = \frac{12V}{5,33 \times 10^{-3}A} = 1125\Omega \cong 1,2K\Omega$$

$$R_4 = \frac{R_3}{G} = \frac{1000\Omega}{200} = 5\Omega \cong 5,6\Omega$$

$$V_e = R_4 \times I_c = 5,6\Omega(5,33 \times 10^{-3}A) = 0,028V$$

$$V_b = V_e + 0,7V = 0,028V + 0,7V = 0,73V$$

$$I_b = \frac{I_c}{H_{fe}} = \frac{5,33 \times 10^{-3}A}{300} = 1,77 \times 10^{-5}A$$

$$I_p = I_b \times 10 = (1,76 \times 10^{-5}) \times 10 = 1,77 \times 10^{-4}A$$

$$R_1 = \frac{(V_{cd} - V_b)}{I_p} = \frac{(12V - 0,73V)}{1,77 \times 10^{-4}A} =$$

$$R_1 = \frac{11,28V}{1,77 \times 10^{-4}A} = 63672\Omega \cong 68K\Omega$$

$$R_2 = \frac{V_b}{I_p}$$

$$R_2 = \frac{0,73V}{1,76 \times 10^{-4}A} = 4147\Omega \cong 4,7k\Omega$$

$$I_c \cong I_e$$

$$I_e \cong 5,33 \times 10^{-3}A$$

$$V_c = V_{cd} - (I_c R_3) = 12V - ((5,33 \times 10^{-3}A)(1200\Omega)) = 5,6V$$

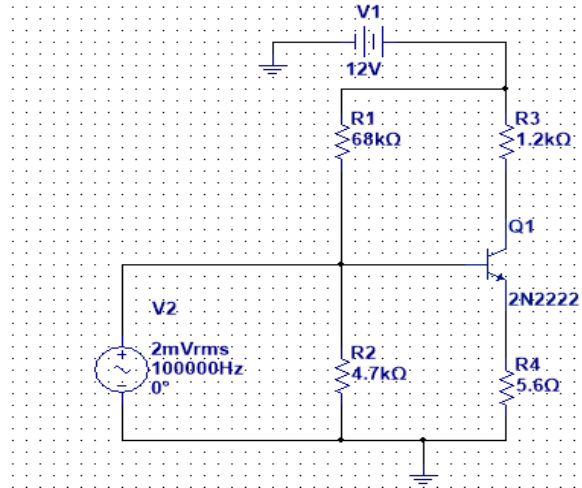
$$V_{ce} = V_c - V_e = 5,6V - 0,028V = 5,58V$$

Corriente de saturación:

$$I_{C(\text{saturación})} = \frac{V_{cd}}{R_3 + R_4}$$

$$I_{C(\text{saturación})} = \frac{12V}{1200 + 5,6} = 9,9 \times 10^{-3}A$$

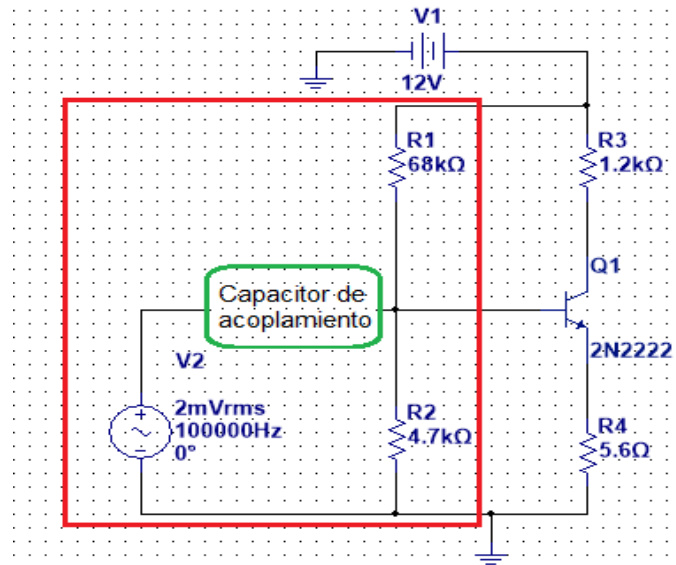
A continuación se muestra la simulación del circuito amplificador de RF con las resistencias calculadas anteriormente R1, R2, R3, R4 elaborado en Multisim 13.0 como se observa en la figura 4.9:



**Fig. 4. 9** Diseño de un Amplificador de RF

Fuente: Diseñado por el investigador basado en: [32]

Entre la fuente de la señal (antena o generador de señales) y la base del transistor 2N2222 se sitúa un capacitor C1 de acoplamiento con el objetivo de eliminar cualquier componente de continua, como la amplitud, periodo y tiempo, que puede tener la señal de origen y no altere el trabajo del transistor amplificador, como se indica en la siguiente figura 4.10:



**Fig. 4. 10** Diseño amplificador de RF con capacitor de acoplamiento

Fuente: Diseñado por el investigador basado en: [44]

### Capacitor de acoplamiento:

El capacitor de acoplamiento es necesario en el diseño del prototipo electrónico, porque se unen varias etapas en el mismo y permite el paso de una señal de un punto a otro sin que sufra atenuación.

A continuación se procede a calcular el valor del capacitor de acoplamiento tomando en consideración el rango de frecuencia en el cual va a trabajar el amplificador de baja señal y las ecuaciones 2.67, 2.68:

[100KHz a 40MHz]

$$R1 \parallel R2 = \frac{R1 \times R2}{R1 + R2}$$

$$R1 \parallel R2 = \frac{68000\Omega \times 4700\Omega}{68000\Omega + 4700\Omega} = 4390\Omega \cong 4,4k\Omega$$

$$X_C \leq 0.1R$$

$$X_C = 0,1(4400\Omega)$$

$$X_C = 440\Omega$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C1}$$

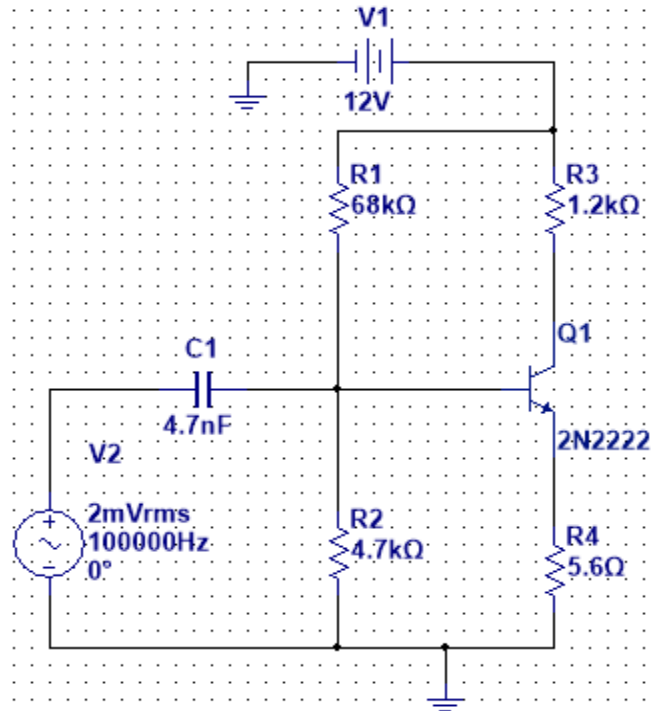
$$C1 = \frac{1}{2\pi f X_C}$$

$$C1 = \frac{1}{2\pi(100000\text{Hz})(440\Omega)} = 3,6 \times 10^{-9} \cong 4,7\text{nF}$$

$$C1 = C_{(\text{acoplamiento})}$$

$$C_{(\text{acoplamiento})} = 4,7\text{nF} \cong 4700\text{pF} \cong 0,0047\mu\text{F}$$

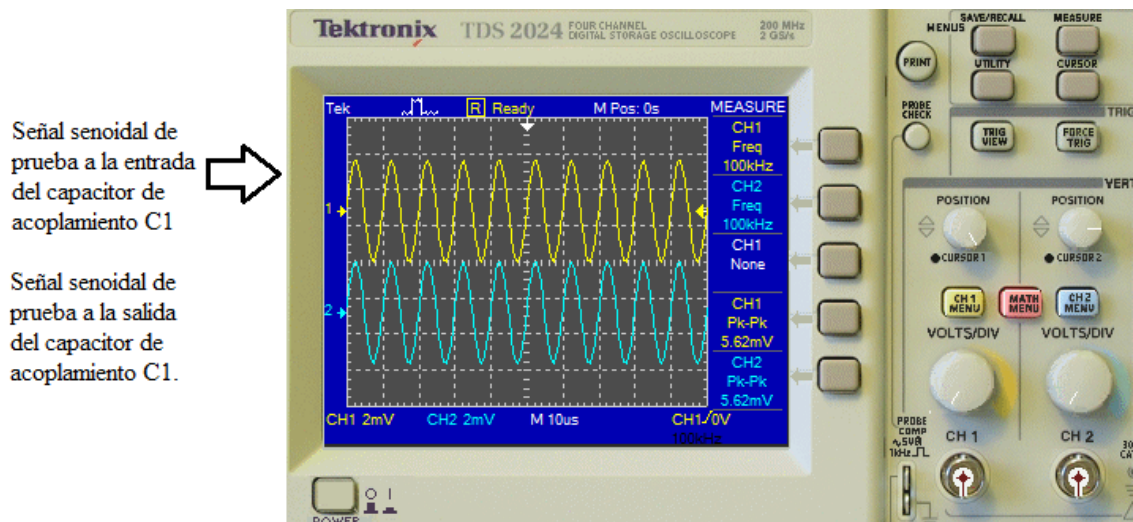
A continuación se muestra la simulación del circuito amplificador de RF integrado el capacitor de acoplamiento C1 elaborado en Multisim 13.0, como se observa en la siguiente figura 4.11:



**Fig. 4. 11** Amplificador de RF con capacitor de acoplamiento.

Fuente: Diseñado por el investigador basado en: [33]

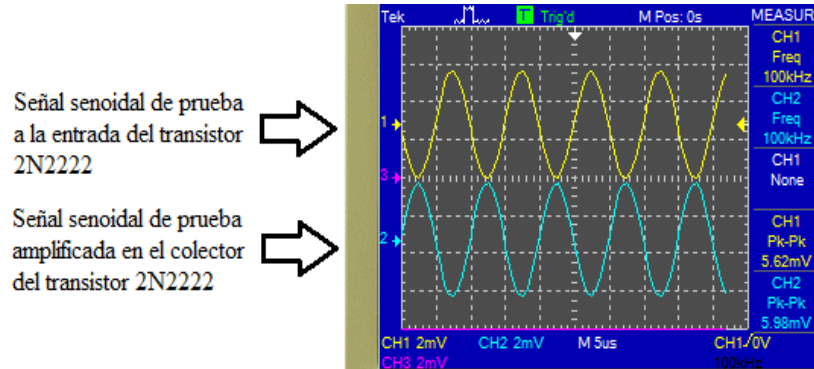
Ahora se puede visualizar en el osciloscopio Tectronix (Multisim 13.0) la forma de la señal senoidal de prueba a una frecuencia de 100KHz a la entrada y salida del capacitor de acoplamiento C1, logrando así el acoplamiento de otras etapas al amplificador, como se observa en la siguiente figura 4.12.



**Fig. 4. 12** Señal senoidal de prueba en la entrada y salida del capacitor de acoplamiento C1.

Fuente: El investigador.

Posteriormente se visualiza en el osciloscopio Tectronix (Multisim 13.0) la forma de la señal senoidal de prueba proveniente desde la salida del capacitor de acoplamiento C1 y a la salida del colector del transistor 2N2222, como se observa en la siguiente figura 4.13.

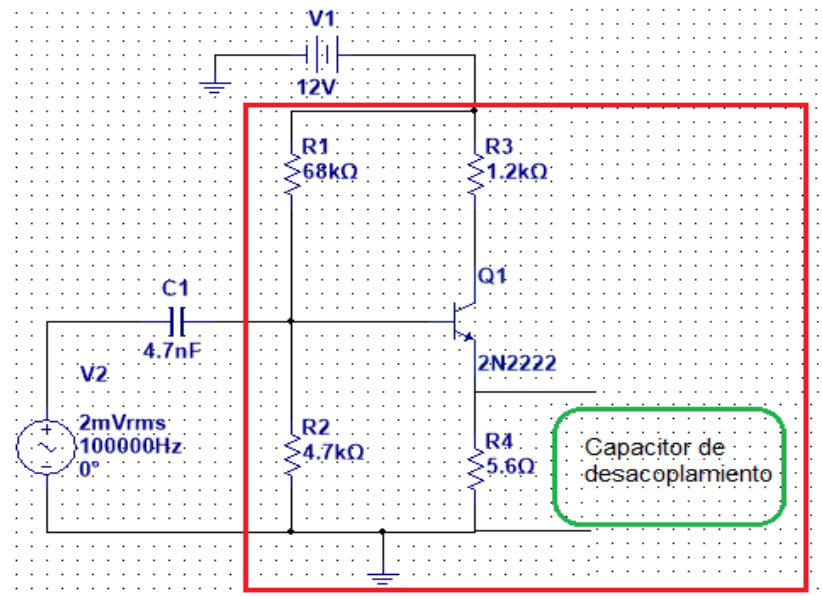


**Fig. 4. 13** Señal de salida del amplificador de RF con capacitor de acoplamiento

Fuente: El investigador.

### Capacitor de desacoplo:

El capacitor de desacoplo permite eliminar el efecto de atenuación en la señal de salida que es tomada desde el colector del transistor 2N2222, debido a que esta señal se la aterriza a tierra, mejorando la ganancia significativamente en el amplificador de RF, como se observa en la siguiente figura 4.14.



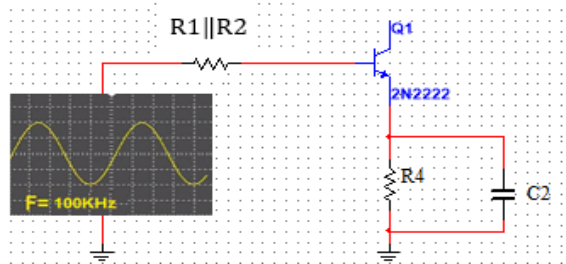
**Fig. 4. 14** Diseño circuito amplificador de RF con capacitor de desacoplamiento

Fuente: Diseñado por el investigador basado en: [33]

$$R1 \parallel R2 = 4,4k\Omega$$

$$I_c \cong I_e$$

A continuación se realizó el Cálculo de la resistencia de Thevenin del amplificador de RF de baja señal, como se observa en la siguiente figura 4.15.



**Fig. 4. 15** Resistencia de Thevenin del amplificador

Fuente: Diseñado por el investigador basado en: [33]

Posteriormente se utilizó la ecuación 2.53, para encontrar la resistencia dinámica de emisor y luego la RTH:

$$r'e = \frac{25mV}{I_e} = \frac{0.025V}{5,33 \times 10^{-3}A} = 5\Omega$$

$$R_{TH} = \frac{[(R1 \parallel R2)] + r'e}{R4} = \frac{4400\Omega + 5\Omega}{5,6\Omega} = 786\Omega$$

$$X_C \leq 0.1R$$

$$X_C = 0,1(786\Omega)$$

$$X_C = 79\Omega$$

Ahora se procedió a encontrar el valor del capacitor de desacoplo C2, con la ayuda de la ecuación 2.68:

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C2}$$

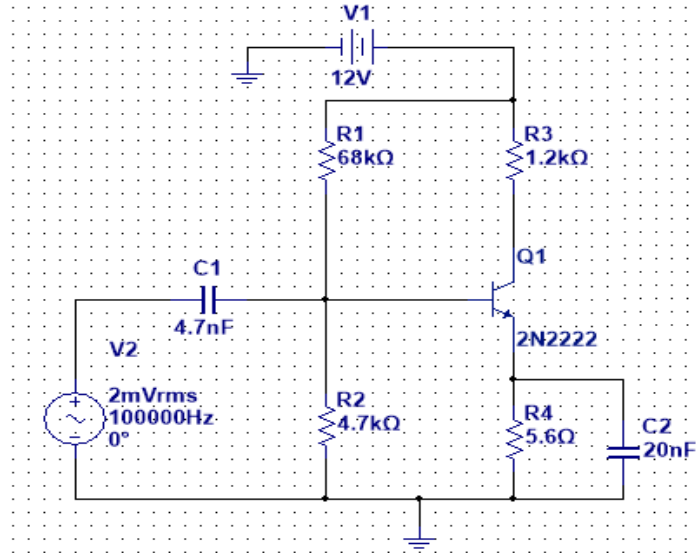
$$C2 = \frac{1}{2\pi f X_C} = \frac{1}{2\pi(100000Hz)(79\Omega)} = 2 \times 10^{-8} \cong 0,02 \times 10^{-6}$$

$$C2 = C_{(desacoplamiento)}$$

$$C_{(desacoplamiento)} = 0,02 \times 10^{-6} \cong 20nF \cong 20000pF \cong 0,02\mu F$$

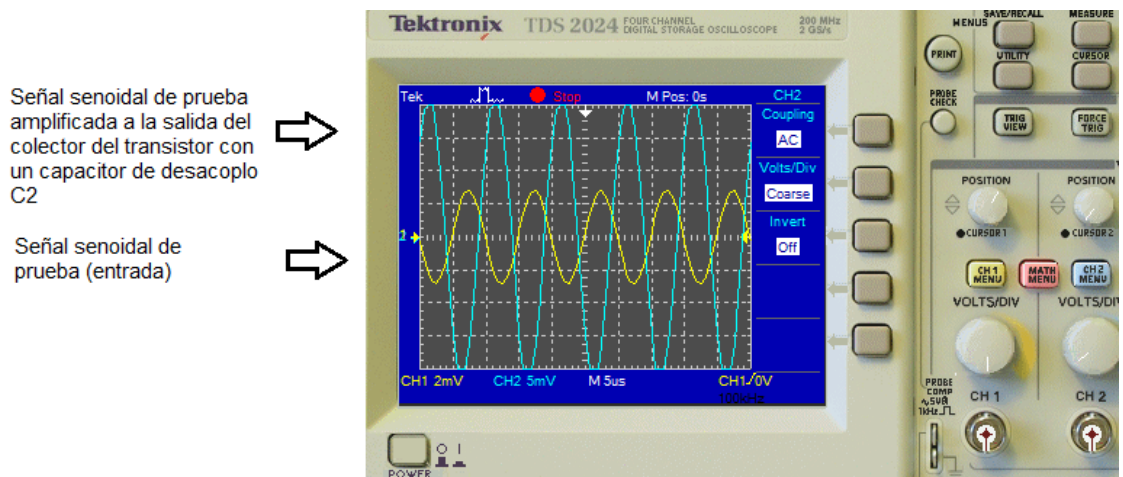


A continuación se muestra la simulación del circuito amplificador de RF con el capacitor de acoplamiento C1 y capacitor de desacoplamiento C2 elaborado en Multisim 13.0, como se observa en la siguiente figura 4.16:



**Fig. 4. 16** Amplificador de RF con capacitor de desacoplamiento  
Fuente: Diseñado por el investigador basado en: [33]

Ahora se puede visualizar en el osciloscopio Tektronix-Multisim 13.0 de la figura 4.17, la forma de la señal senoidal de prueba en el colector del transistor con un capacitor de desacoplamiento paralelo a la resistencia R4 mejorando así la ganancia del amplificador RF.



**Fig. 4. 17** Señal del amplificador con capacitor de desacoplamiento

Fuente: El investigador.

A frecuencias altas el capacitor de acoplamiento se comporta en cortocircuito eliminando cualquier componente de corriente no deseada y no permite alterar la forma de la señal de entrada a la base del transistor.

### Ganancia en tensión ( $A_v$ ) del amplificador de RF

Para obtener la ganancia en tensión ( $A_v$ ) del amplificador de RF se aplica el modelo  $\pi$  y se agrega una fuente alterna real al circuito amplificador, como se observa en la siguiente figura 4.18:

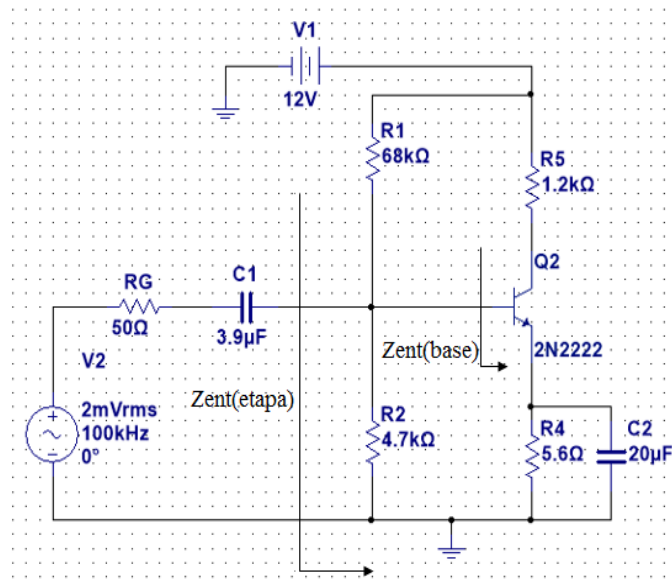


Fig. 4. 18 Ganancia en tensión ( $A_v$ ) del amplificador de RF

Fuente: Diseñado por el investigador basado en: [33]

A continuación se observa en la figura 4.19, la modelación tipo  $\pi$  del circuito amplificador de RF:

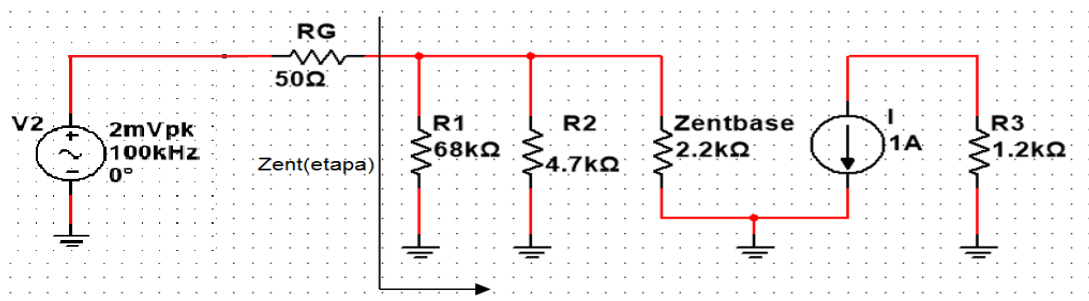


Fig. 4. 19 Modelación tipo  $\pi$  del circuito amplificador de RF

Fuente: Diseñado por el investigador basado en: [33]

Posteriormente se realizó el cálculo de la ganancia tomando en consideración el capacitor de desacoplo C2, y las ecuaciones 2.45, 2.46:

$$r_c \cong R3$$

$$A_v = \frac{r_c}{r'_e} = \frac{1200\Omega}{5\Omega} = 240$$

$$r'_e = \frac{25\text{mV}}{I_c} = \frac{0,025\text{V}}{5 \times 10^{-3}\text{A}} = 5\Omega$$

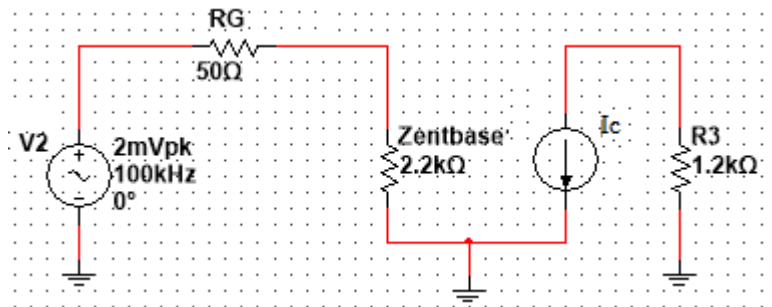
$$V_{\text{salida}} = A_v(V_{\text{entrada}})$$

$$V_{\text{salida}} = 240(0,002\text{V}) = 0,48\text{V}$$

Cálculo de la ganancia sin capacitor de desacoplo:

$$A_v = \frac{r_c}{r'_e + R4} = \frac{1200\Omega}{(5 + 5,6)\Omega} = 113$$

A continuación se observa el circuito modelado tipo  $\pi$  reducido matemáticamente y se procedió al cálculo de la impedancia de entrada  $Z_{\text{ent}}(\text{etapa})$ , como se observa en la siguiente figura 2.20.



**Fig. 4. 20** Modelado tipo  $\pi$  reducido matemáticamente  
Fuente: Diseñado por el investigador basado en: [33]

Cálculo de la impedancia de la etapa amplificadora de RF, tomando en consideración las ecuaciones 2.50, 2.51:

$$Z_{\text{ent}}(\text{etapa}) = R1 \parallel R2 \parallel Z_{\text{ent}}(\text{base})$$

$$Z_{\text{ent}}(\text{base}) = \beta r'_e$$

$$Z_{ent(base)} = 300(5) = 1500\Omega$$

$$Z_{ent(etapa)} = \frac{1}{\frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{Z_{ent(base)}}}$$

$$Z_{ent(etapa)} = \frac{1}{\frac{1}{68000} + \frac{1}{4700} + \frac{1}{1500}} = 1118 \cong 1,2K\Omega$$

$$V_{ent(etapa)} = \frac{Z_{ent(etapa)}}{R_g + Z_{ent(etapa)}} \times V_{señal(entrada)}$$

$$V_{ent(etapa)} = \frac{1200}{50 + 1200} \times 0,002 = 1,9 \times 10^{-3} \cong 0,0019V$$

$$V_{salida} = A_v(V_{entrada})$$

$$V_{salida} = 240(0,0019V) = 0,46V$$

$$V_{salida} \cong V_{señal(salida)}$$

$$0,46V \cong 0,04V$$

El amplificador de RF se caracteriza porque el transistor 2N2222 cumple la función de amplificar la señal proveniente de la fuente (Antena o generador de señales) en todo su periodo 360°.

### **Amplificador de RF acoplado por transformador toroidal**

Es necesario acoplar un transformador toroidal en el colector o a la salida del amplificador de RF con el fin de aumentar la señal en tensión para la siguiente etapa.

### **Procedimiento:**

A continuación se muestra las características del núcleo toroidal de ferrita modelo FB-73 2401, el cual se utilizó en el proyecto de investigación, como se observa en la siguiente figura 4.21.



**Fig. 4. 21** Núcleo de ferrita toroidal modelo FB-73 2401.

Fuente: Toroide de ferrita. [29]

Características del núcleo toroidal de ferrita FB-73 2401:

**Tabla 4. 5** Especificaciones Núcleo toroidal modelo FB-73 2401

Tipo de elemento	Núcleo toroidal de tipo ferrita
Frecuencia de trabajo	Supresión de RFI por debajo de los 50 MHz
Color	Negro brillante
peso	12Pkg
Diámetro interno	5.0mm±0.20mm
Diámetro externo	9.65mm±0.25mm
Espesor	5.05mm±0.45mm
Temperatura estabilización ppm/C <sup>0</sup>	6500
Numero de vueltas	10 vueltas
Tipo de alambre	Esmaltado o con forro número 28

Fuente: Características toroide de tipo ferrita. [34]

Una vez conocidas las características del núcleo toroidal de ferrita FB-73 2401, se procede a encontrar el campo magnético  $\vec{B}$  en el interior del toroide, como se observa en las siguientes figuras 4.22, 4.23 y tomando en consideración la ecuación 2.36:

**Datos:**

**En el interior del núcleo toroidal  $r_a < r < r_b$**

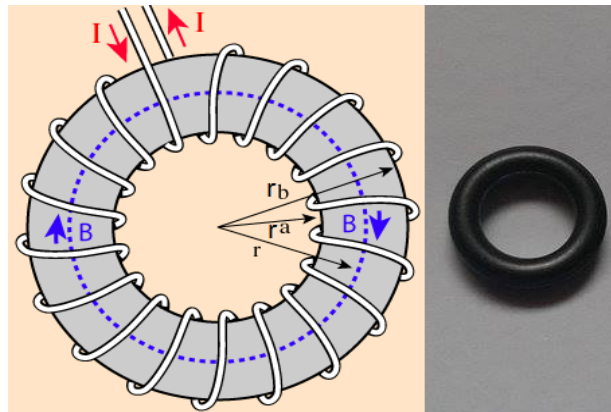
$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$$

$$N = 10 \text{ vueltas}$$

$$r_{a_{\text{interno}}} = 2,5\text{mm}$$

$$r_{b_{\text{externo}}} = 4,83\text{mm}$$

$$I_c = I = 5,33 \times 10^{-3}\text{A}$$



**Fig. 4. 22** Núcleo toroidal de ferrita

Fuente:Tipos de toroide. [29]

$$r = \frac{(r_a + r_b)}{2}$$

A continuación se calculó el campo magnético del núcleo de ferrita FB-73 2401, tomando en consideración la ecuación 2.37

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 NI}{2\pi \frac{(a + b)}{2}} = \frac{(4\pi \times 10^{-7})(10)(5,33 \times 10^{-3}\text{A})}{2\pi \frac{(2,5 + 4,83)}{2}} = 9,26 \times 10^{-10} \cong 0,926\text{nTesla}$$

### Área del toroide de ferrita

Datos:

$$D_e = 9,65\text{mm}$$

$$D_i = 5,0\text{mm}$$

$$H = 5,05\text{mm}$$

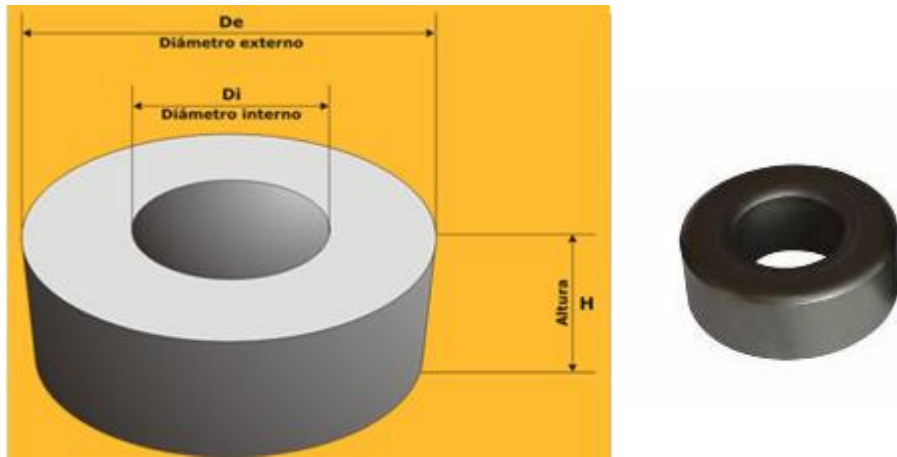


Fig. 4. 23 Área toroidal tipo ferrita

Fuente: Tipos de toroide

A continuación se calculó el campo magnético del núcleo de ferrita FB-73 2401, tomando en consideración la ecuación 2.37:

$$A = \frac{(De - Di) \times H}{2} = \frac{(9,65 - 5,0)\text{mm} \times 5,05\text{mm}}{2} = 11,74\text{mm}^2$$

A continuación se muestra la simulación del circuito amplificador de RF acoplado un transformador toroidal a la salida del amplificador (colector), elaborado en Multisim 13.0, como se observa en la siguiente figura 4.24:

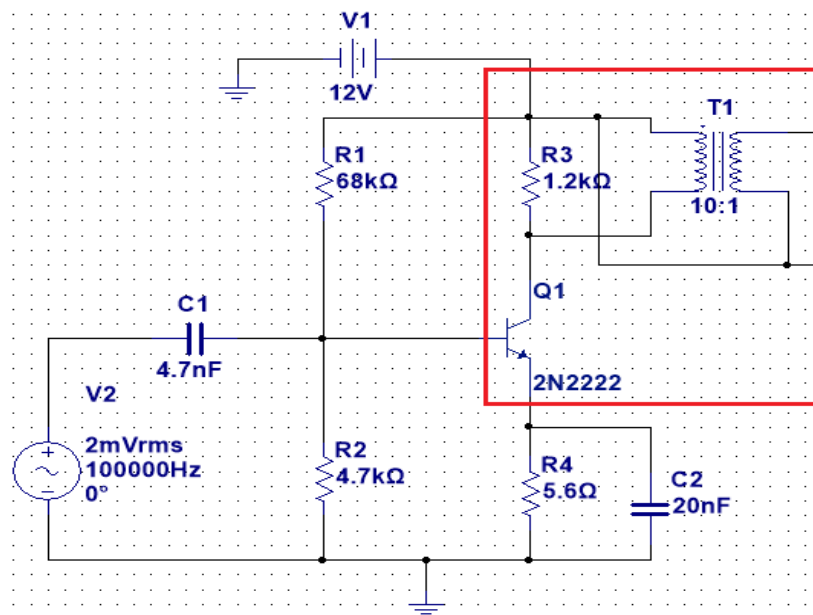
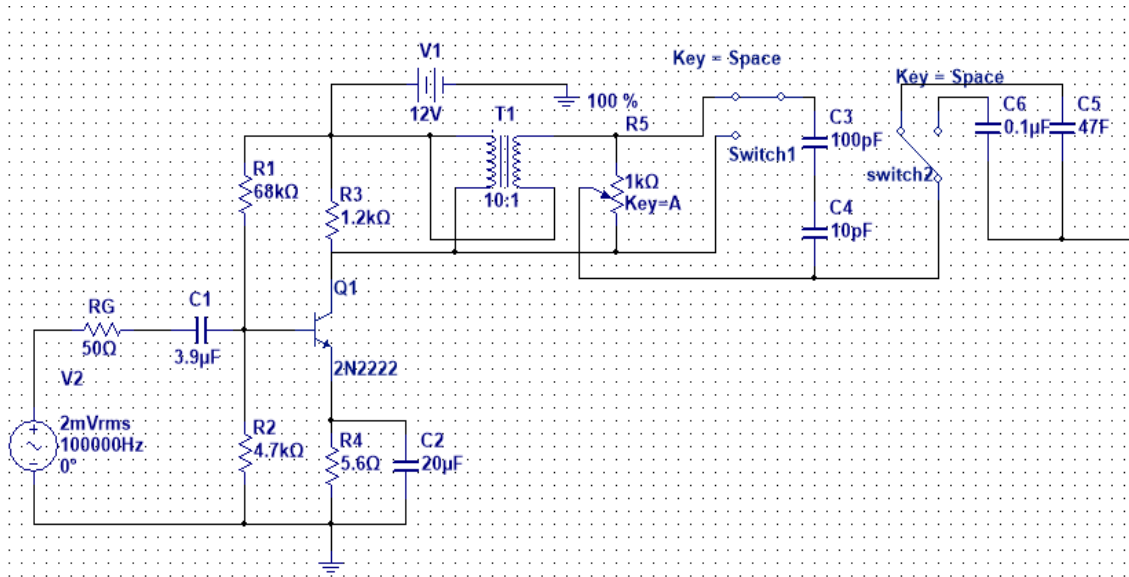


Fig. 4. 24 Amplificador señal de bajo ruido.

Fuente: Diseñado por el investigador basado en [44]

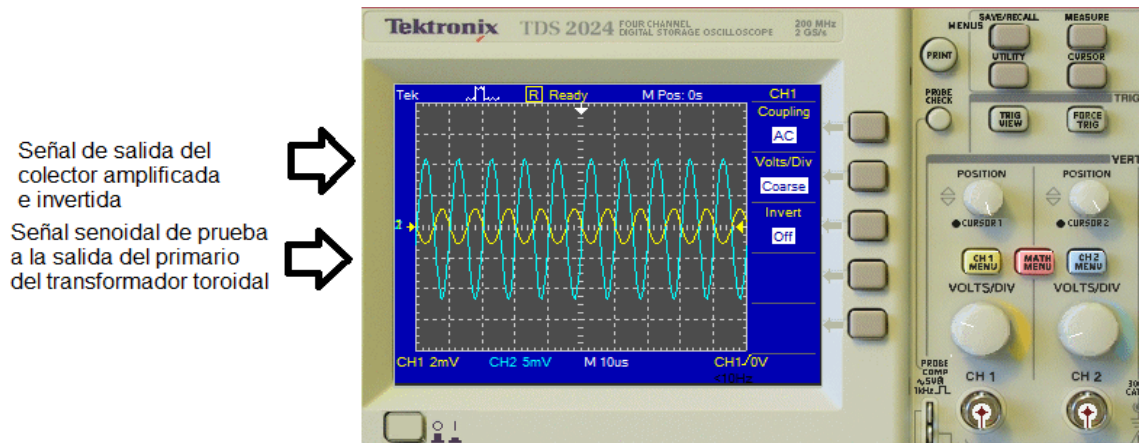
A continuación se visualiza un transformador toroidal ubicado en la salida del amplificador de RF configurado de manera que mediante una red RC sea posible variar la fase de la señal entrante al amplificador, como se observa en la siguiente figura 4.25.



**Fig. 4. 25** Amplificador RF formado por dos etapas de amplificación

Fuente: Diseñado por el investigador basado en: [44]

Ahora se puede visualizar en el osciloscopio Tectronix-Multisim 13.0, la variación de la fase de la señal entrante al amplificador de RF con la ayuda del transformador toroidal, como se muestra en la siguiente figura 4.26:



**Fig. 4. 26** Variación de la fase de la señal entrante al amplificador de RF

Fuente: El Investigador.

Posteriormente se puede observar en el osciloscopio Tectronix-Multisim 13.0 la forma de la señal, al conmutar el switch 1, permitiendo seleccionar la posición de fase a la salida



del devanado secundario del transformador toroidal, como se muestra en la siguiente figura 4.27:

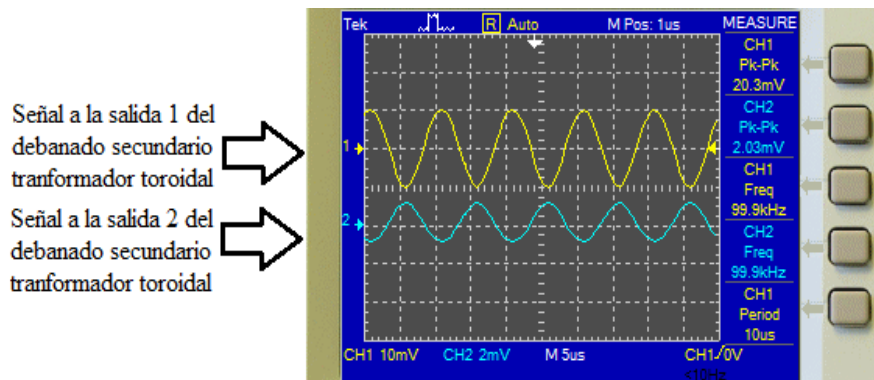


Fig. 4. 27 Posición de fase señal de prueba senoidal.

Fuente: El Investigador.

El switch 2 permite seleccionar entre pulsos anchos o estrechos de amplificación de la señal de ruido, para frecuencias altas o bajas. A continuación se puede observar en la figura 4.28, la forma de la señal de prueba senoidal establecida a una frecuencia de 100KHz.

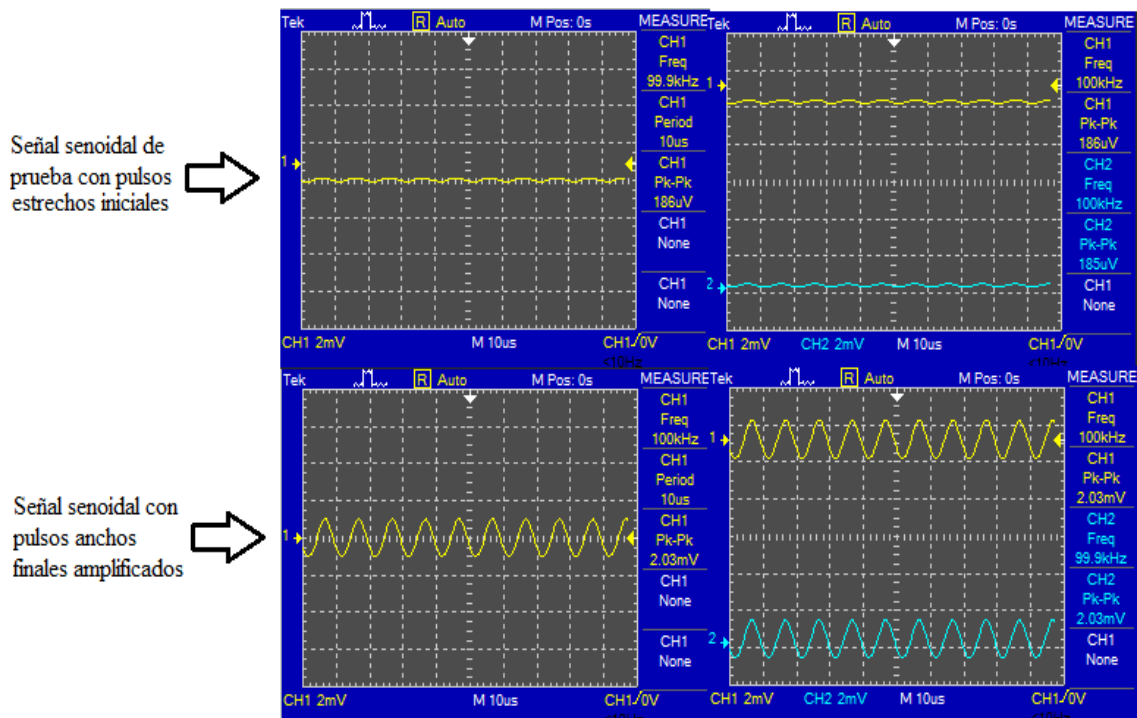


Fig. 4. 28 Señal de prueba anchos o estrechos

Fuente: El Investigador.

Impedancia de entrada de la primera etapa del amplificador multietapa, tomando en consideración las ecuaciones 2.50, 2.51:

$$r'_e = \frac{25\text{mV}}{I_c} = 5\Omega$$

$$Z_{\text{ent}(\text{base1})} = \beta r'_e$$

$$Z_{\text{ent}(\text{base1})} = 300(5) = 1500\Omega$$

$$Z_{\text{ent}(\text{base1})} \cong Z_{\text{ent}(\text{base2})}$$

$$Z_{\text{ent}(\text{etapa1})} = R1 \parallel R2 \parallel Z_{\text{ent}(\text{base1})}$$

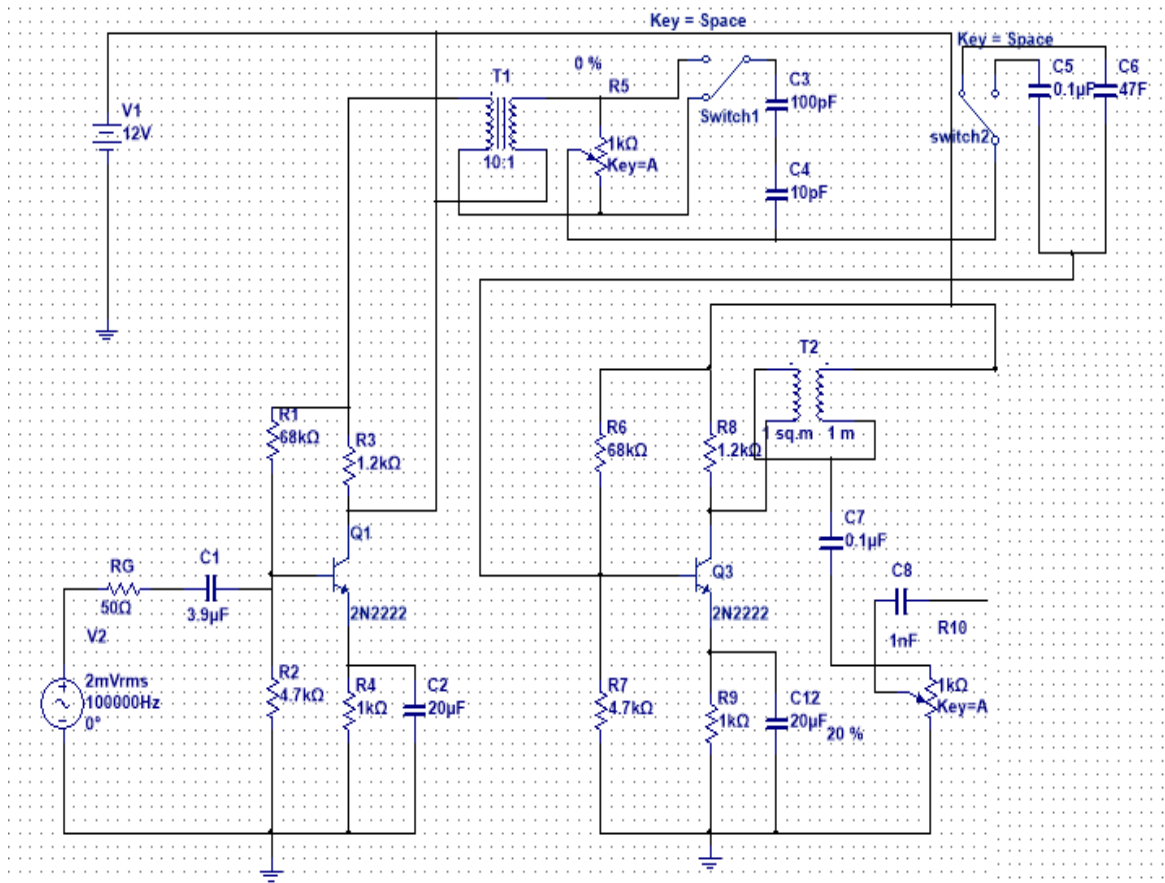
$$Z_{\text{ent}(\text{etapa1})} = \frac{1}{\frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{Z_{\text{ent}(\text{base1})}}}$$

$$Z_{\text{ent}(\text{etapa1})} = \frac{1}{\frac{1}{68000} + \frac{1}{4700} + \frac{1}{1500}} = 1118 \cong 1,2\text{K}\Omega$$

$$V_{\text{ent}(\text{etapa1})} = \frac{Z_{\text{ent}(\text{etapa1})}}{R_g + Z_{\text{ent}(\text{etapa1})}} \times V_{\text{señal}(\text{entrada})}$$

$$V_{\text{ent}(\text{etapa})} = \frac{1200}{50 + 1200} \times 0,002 = 1,9 \times 10^{-3} \cong 0,0019\text{V}$$

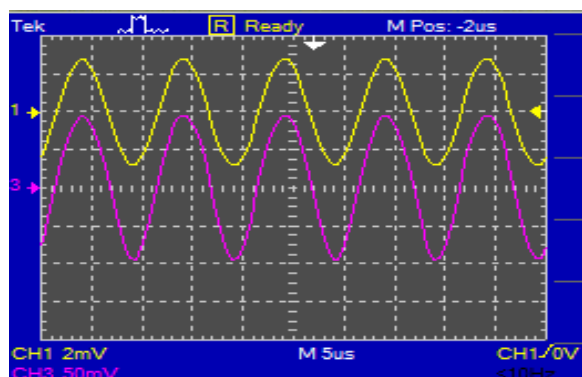
La señal senoidal de prueba procesada en la primera etapa amplificadora ingresa a una segunda etapa de amplificación con mayor ganancia en banda ancha y mediante un segundo transformador toroidal en la salida del amplificador de la segunda etapa se obtiene como resultado una inversión de fase de 360°, en la señal de prueba, con una amplitud mayor, como se observa en la siguiente figura 4.29.



**Fig. 4. 29** Amplificador de RF con dos etapas

Fuente: Diseñado por el investigador basado en: [44]

Ahora se puede observar en el osciloscopio Tectronix-Multisim 13.0 la forma de la señal de prueba senoidal, a la salida de la R10, como se muestra en la siguiente figura 4.30:



**Fig. 4. 30** Señal resultante con la misma fase que la señal fuente

Fuente: El Investigador.

Cálculo de la impedancia de entrada de la segunda etapa del amplificador, tomando en consideración las ecuaciones 2.50, 2.51:

$$r'_e = \frac{25\text{mV}}{I_c} = 5\Omega$$

$$Z_{\text{ent}(\text{base2})} = \beta r'_e$$

$$Z_{\text{ent}(\text{base2})} = 300(5)$$

$$Z_{\text{ent}(\text{base2})} = 1500\Omega$$

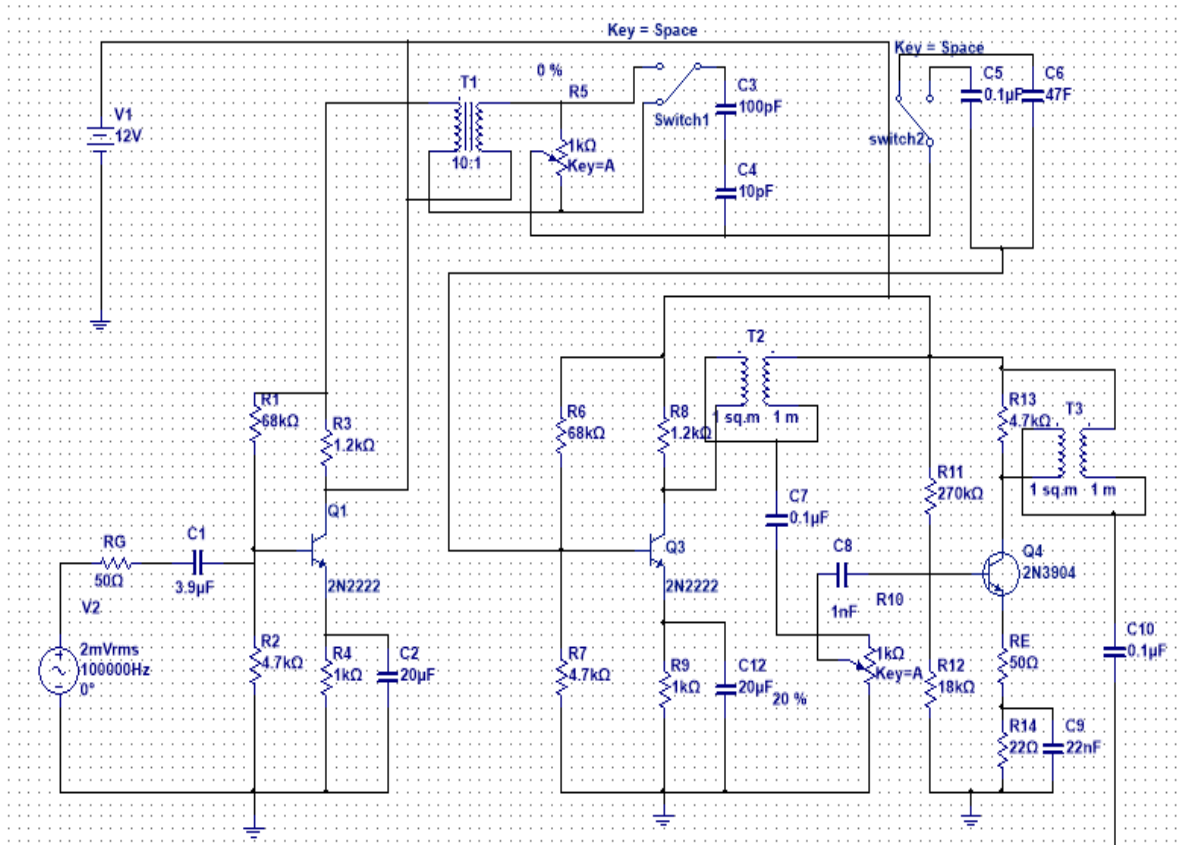
$$Z_{\text{ent}(\text{etapa2})} = R6 \parallel R7 \parallel Z_{\text{ent}(\text{base2})}$$

$$Z_{\text{ent}(\text{etapa2})} = \frac{1}{\frac{1}{R6} + \frac{1}{R7} + \frac{1}{Z_{\text{ent}(\text{base2})}}}$$

$$Z_{\text{ent}(\text{etapa2})} = \frac{1}{\frac{1}{68000} + \frac{1}{4700} + \frac{1}{1500}} = 1118 \cong 1,2\text{K}\Omega$$

$$Z_{\text{ent}(\text{etapa2})} = 1118 \cong 1,2\text{K}\Omega$$

Esta señal resultante ingresa a una tercera etapa de amplificación la misma que está conformada por un transistor 2N3904 de ganancia variable, con el fin de regular la amplitud de la señal y mediante un tercer transformador toroidal obtenemos la señal de prueba con la fase original de  $180^\circ$  obtenida en la red RC de la salida del transformador del primer amplificador de RF, pero con amplitud graduable, como se observa en la siguiente figura 4.31.



**Fig. 4. 31** Amplificador de RF con tres etapas de amplificación

Fuente: Diseñado por el investigador basado en: [44]

Cálculo de la impedancia de entrada de la tercera etapa del amplificador, tomando en consideración las ecuaciones 2.50, 2.51:

$$r'_e = \frac{25\text{mV}}{I_c} = 5\Omega$$

$$R_E > 10 \times r'_e$$

$$R_E = 10 \times 5 = 50\Omega$$

$$Z_{ent(\text{base}3)} = \beta(R_E)$$

$$Z_{ent(\text{base}3)} = 300(50)$$

$$Z_{ent(\text{base}3)} = 15000\Omega$$

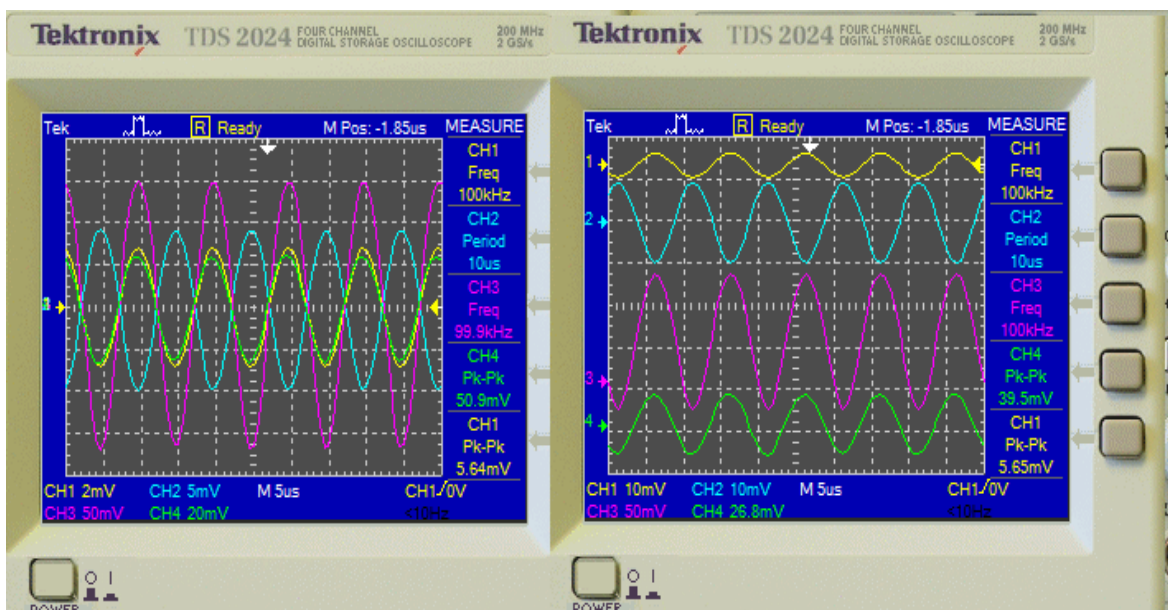
$$Z_{ent(etapa3)} = R6 \parallel R7 \parallel Z_{ent(base3)}$$

$$Z_{ent(etapa3)} = \frac{1}{\frac{1}{R9} + \frac{1}{R10} + \frac{1}{Z_{ent(base3)}}}$$

$$Z_{ent(etapa3)} = \frac{1}{\frac{1}{270000} + \frac{1}{18000} + \frac{1}{15000}}$$

$$Z_{ent(etapa3)} = 7941 \cong 8,2K\Omega$$

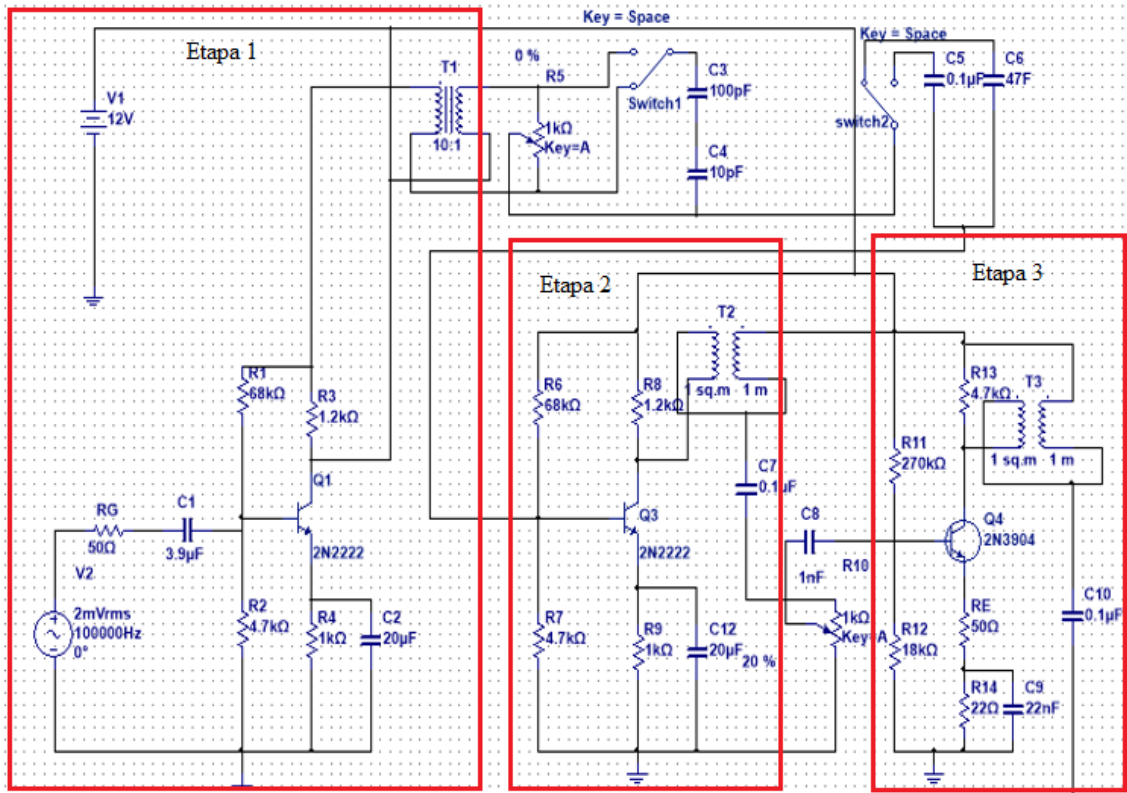
A continuación se puede observar en el osciloscopio Tectronix-Multisim 13.0 la forma de la señal de color amarillo la cual ingresa a la base del primer amplificador de RF posteriormente se observa la señal de color azul una vez ya seleccionada su fase, la señal de color morado representa la forma de la señal a la salida del siendo transformador toroidal, y la señal de color verde es obtenida a la salida del tercer transformador toroidal, como se muestra en la siguiente figura 4.40:



**Fig. 4. 32** Forma de la señal obtenida en distintos puntos del amplificador de RF

Fuente: El Investigador.

Cálculo de ganancias de las tres etapas que forman parte del amplificador de RF se puede visualizar en la figura 4.33, tomando en consideración las ecuaciones 2.46, 2.51, 2.54:



**Fig. 4. 33** Etapas amplificador de RF de baja señal

Fuente: Diseñado por el investigador basado en: [44]

❖ Ganancia etapa1

$$A_v = \frac{r_c}{r'_e}$$

$$r_c \cong R3 \parallel Z_{ent}(\text{base2})$$

$$r_c = \frac{R3 \times Z_{ent}(\text{base2})}{R3 + Z_{ent}(\text{base2})} = \frac{1200 \times 1200}{1200 + 1200} = 600\Omega$$

$$A_{v1} = \frac{600\Omega}{5\Omega} = 120$$

❖ Ganancia etapa 2

$$A_v = \frac{r_c}{r'_e}$$

$$r_c \cong R8 \parallel Z_{ent}(\text{base3})$$

$$r_c = \frac{R3 \times Z_{ent}(\text{base3})}{R3 + Z_{ent}(\text{base3})} = \frac{1200 \times 6800}{1200 + 6800} = 1020\Omega = 1k\Omega$$

$$A_{v1} = \frac{1000\Omega}{5\Omega} = 120$$

❖ Ganancia etapa 3

$$A_v = \frac{r_c}{r'_e + R_E}$$

$$r_c \cong R13$$

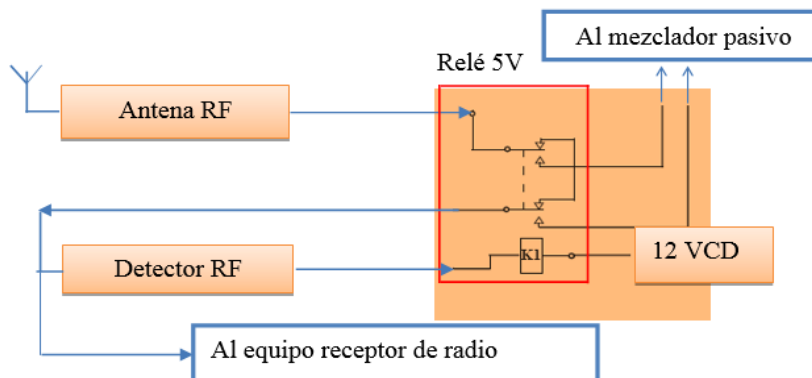
$$r_c = 4700\Omega$$

$$A_{v1} = \frac{4700\Omega}{5\Omega + 50\Omega} = 85$$

#### 4.2.5 Etapa receptora señal de radio frecuencia

Para el diseño del circuito de la etapa receptora se toma en consideración que la antena es de tipo monopolo vertical la cual trabaja a una frecuencia de VHF (30MHz - 300MHz) y UHF (300MHz – 3000MHz), con una impedancia de 50Ω, la cual va a captar todas las señales de radio frecuencia que se encuentran en el espacio libre.

A continuación se elabora un diagrama en bloques de la etapa receptora, como se observa en la figura 4.34.

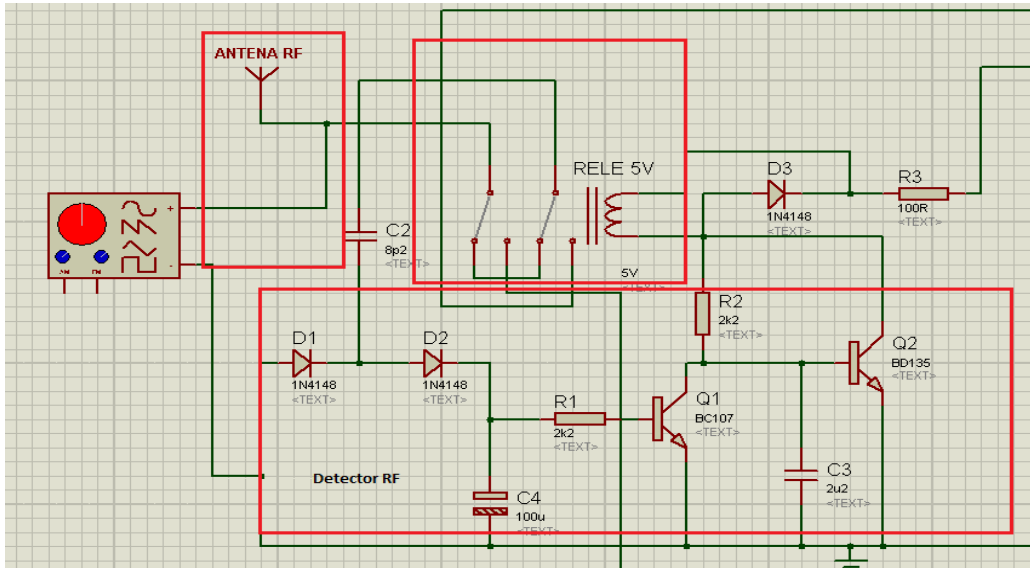


**Fig. 4. 34** Circuito etapa de recepción señal RF/Transceptor.

Fuente: Mezclador de señales. [34]



Posteriormente se indica el circuito electrónico elaborado en el Software Proteus 8.0, como se observa en la figura 4.35.



**Fig. 4. 35** Circuito etapa de recepción señal RF/Transceptor.

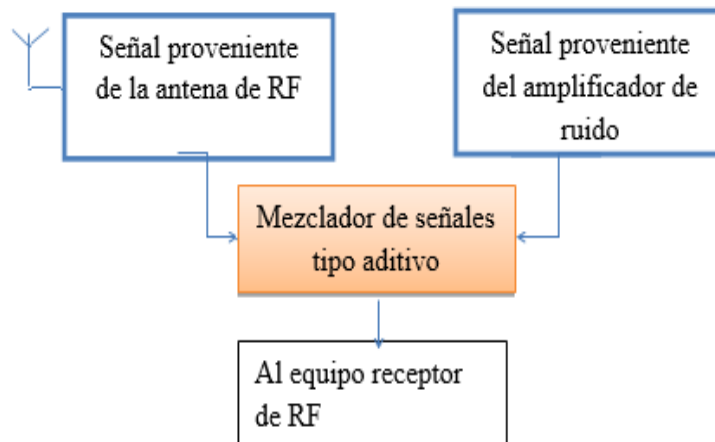
Fuente: Diseñado por el investigador basado en: [45]

En la fig. 4.35 se logra apreciar en las zonas marcadas que el circuito tiene un dispositivo transceptor el cual envía la señal de radio frecuencia desde la antena al equipo receptor de radio esto ocurre siempre que el circuito se encuentre apagado. Al momento que se encuentra en funcionamiento el circuito se tiene un relé DPDT de 5VCD energizando de forma automática su bobina y por ende activando sus contactos internos, con la ayuda de un detector de radio frecuencia el cual capta y controla la energía de RF, a través del condensador de 8.2pf y un circuito rectificador formado por dos diodos 1N4148, resultando a la salida una tensión positiva que está sobre la resistencia 2.2K, la misma que es proporcional a la intensidad del campo de radio frecuencia captado por la antena de tipo monopolo vertical.

### **Mezclador de señales**

Para el diseño del circuito de la etapa mezcladora se toma en consideración el tipo de mezclador a utilizar en este caso es aditivo ya que utiliza dispositivos no lineales, como diodos, transistores bipolares BJT o efecto de campo FET, siendo capaz de mezclar dos señales, la primera señal de entrada es proveniente de la antena de radio frecuencia y la segunda señal es la resultante de la salida del transistor bipolar BC 547.

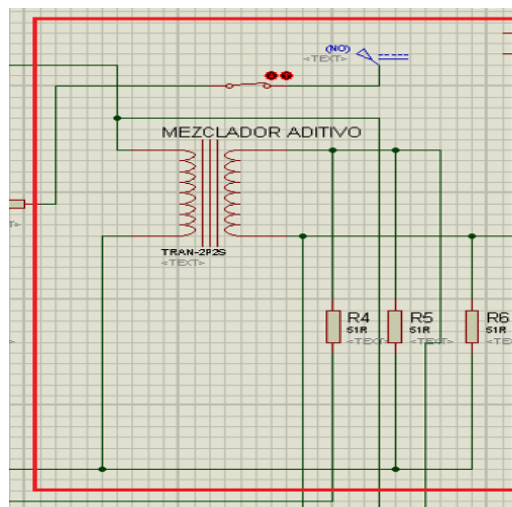
A continuación se elabora un diagrama en bloques de la etapa mezcladora, como se observa en la figura 4.36.



**Fig. 4. 36** diagrama en bloques de la etapa mezcladora

Fuente: Elaborado por el investigador basado en: [45]

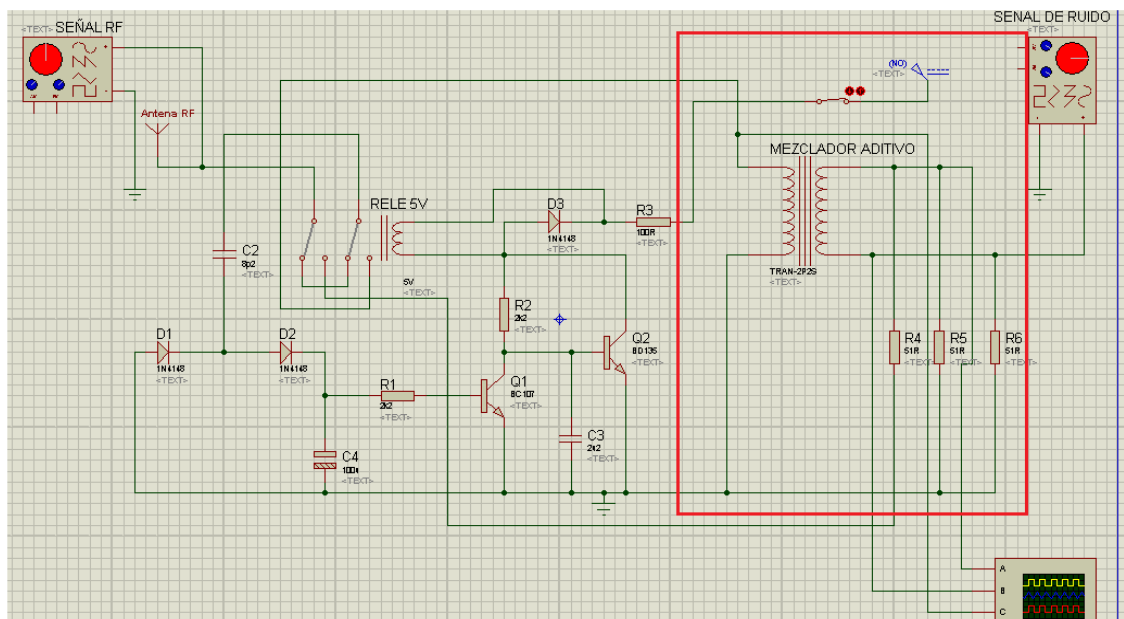
Mezclador aditivo incorporado en el circuito de amplificación de RF de baja señal, como se observa en la figura 4.37:



**Fig. 4. 37** Mezclador aditivo

Fuente: Elaborado por el investigador basado en: [45]

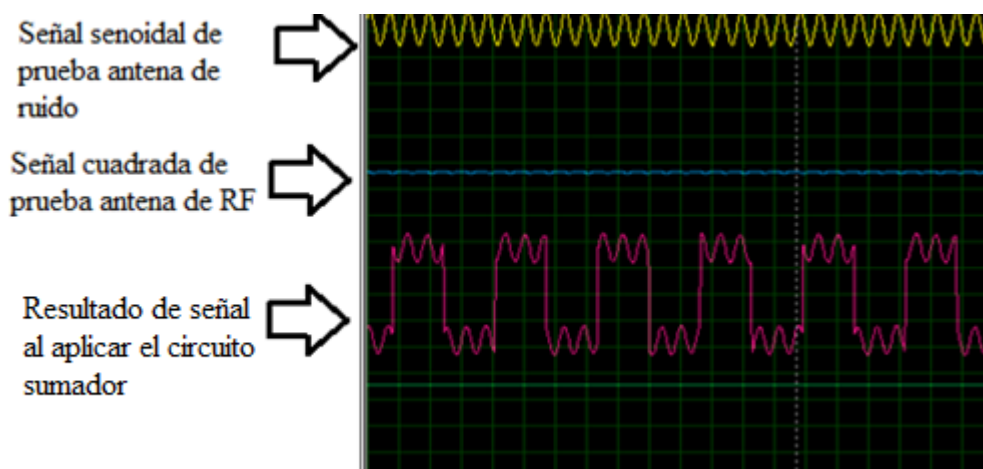
Posteriormente se indica el circuito electrónico elaborado en el Software Proteus 8.0, como se observa en la figura 4.38.



**Fig. 4. 38** Etapa mezclador pasivo.

Fuente: Diseñado por el investigador basado en: [45]

A continuación se muestra la simulación del mezclador pasivo en funcionamiento con dos señales una de ellas sinusoidal y la otra cuadrada, como se observa en la figura 4.39:

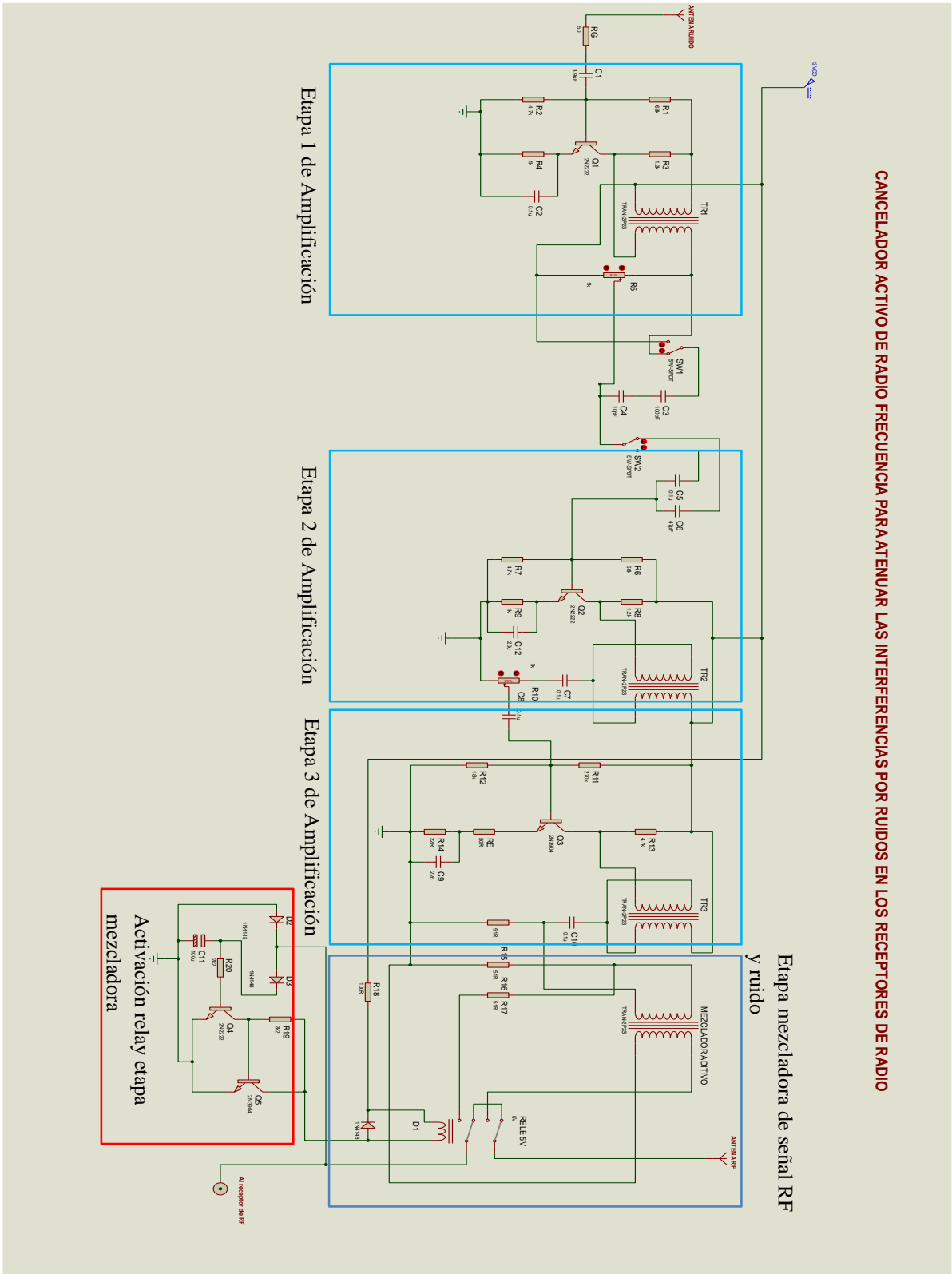


**Fig. 4. 39** Simulación etapa mezclador pasivo.

Fuente: Elaborado por el investigador

A demás al circuito electrónico se integró dos resistencias de  $10\Omega$  y un capacitor de  $1nF$ , con el fin de aislar el circuito amplificador de la fuente de alimentación. Posteriormente se indica el circuito electrónico esquemático de la etapa de amplificación del Cancelador activo de ruido y el circuito PCB (Placa del Circuito Impreso), diseñado en el Software Proteus 8.1 (ISIS- ARES), como se observa en la figura 4.40.

**CANCELADOR ACTIVO DE RADIO FRECUENCIA PARA ATENUAR LAS INTERFERENCIAS POR RUIDOS EN LOS RECEPTORES DE RADIO**



**Fig. 4. 40** Esquemático de la etapa de amplificación del CAR

Fuente: Diseñado por el investigador basado en: [45]

### 4.3 Construcción del prototipo

Una vez realizado el diseño y simulación del circuito de cancelación activa de radio frecuencia para atenuar las interferencias por ruidos en los receptores de radio, se procedió a la construcción del prototipo con sus distintas etapas.

En figura 4.41, se puede apreciar el aspecto físico de las placas impresas de los circuitos o PCB'S (Printed Circuit Board), del prototipo, desarrolladas en la herramienta ARES del Software Proteus 8.0.



**Fig. 4.41** Aspecto físico de las placas impresas de los circuitos que forman parte del prototipo

Fuente: El investigador

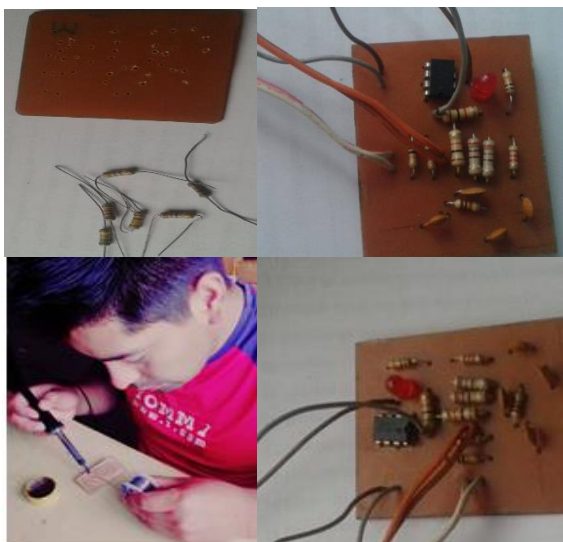
En la figura 4.42 se puede apreciar la ubicación, soldadura de los elementos electrónicos y terminado de la placa del circuito impreso perteneciente a la etapa de alimentación, la misma que va suministrar voltaje directo de (+12VCD, -12VCD) en forma continua a la etapa de cancelación de ruido y filtrado de las señales de RF en un rango de 100KHz a 40MHz.



**Fig. 4. 42** Circuito terminado etapa de alimentación

Fuente: El investigador

En la figura 4.43, se puede apreciar la ubicación, soldadura de los elementos electrónicos y terminado de la placa del circuito impreso perteneciente a la etapa de filtrado (filtro pasa banda), el mismo que cumple la función de eliminar a ciertas señales que se encuentran fuera del rango de frecuencias de los 100KHz a 40MHz.

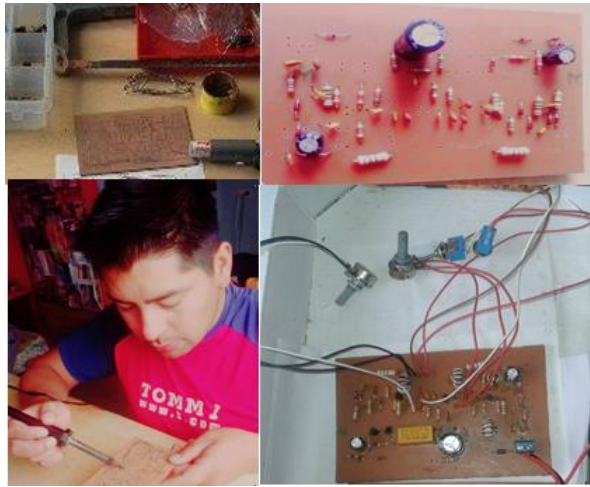


**Fig. 4. 43** Circuito terminado etapa de filtrado

Fuente: El investigador

En la figura 4.44, se puede apreciar la ubicación, soldadura de los elementos electrónicos y terminados de la placa del circuito impreso perteneciente a la etapa de cancelación

activa de radio frecuencia para atenuar interferencias por ruidos en los receptores de radio, en un rango de frecuencias de los 100KHz a 40MHz.



**Fig. 4. 44** Circuito terminado etapa de cancelación activa de radio frecuencia

Fuente: El investigador

En la figura 4.45, se aprecia el montaje del prototipo de cancelación activo de radio frecuencia en una caja de triplex que posee las siguientes medidas; largo 20cm, alto 7 cm, ancho 20cm.



**Fig. 4. 45** Montaje del prototipo de cancelación activo de radio frecuencia

Fuente: El investigador

#### 4.4 Pruebas de funcionamiento del prototipo

A continuación se detallan las pruebas realizadas del prototipo de cancelación activa de radio frecuencia para atenuar las interferencias por ruidos en un receptor de radio, como se observa en la siguiente figura 4.46.



**Fig. 4. 46** Cancelador activo de radio frecuencia para atenuar las interferencias por ruidos en los receptores de radio

Fuente: El investigador



En la figura 4.47, se muestra la etapa de alimentación, funcionando y suministrando voltaje directo de (+12VCD, -12VCD) en forma continua a las siguientes etapas del prototipo.



**Fig. 4. 47** Prueba de funcionamiento etapa de alimentación.

Fuente: El investigador

En la figura 4.48, se observa que el prototipo está compuesto de un transceptor y dos conectores de antena; uno para la antena principal la cual toma y transporta las señales a una etapa amplificadora de ganancia regulable, y otra antena auxiliar de recepción.



**Fig. 4. 48** Cancelador activo de radio frecuencia vista posterior

Fuente: El investigador

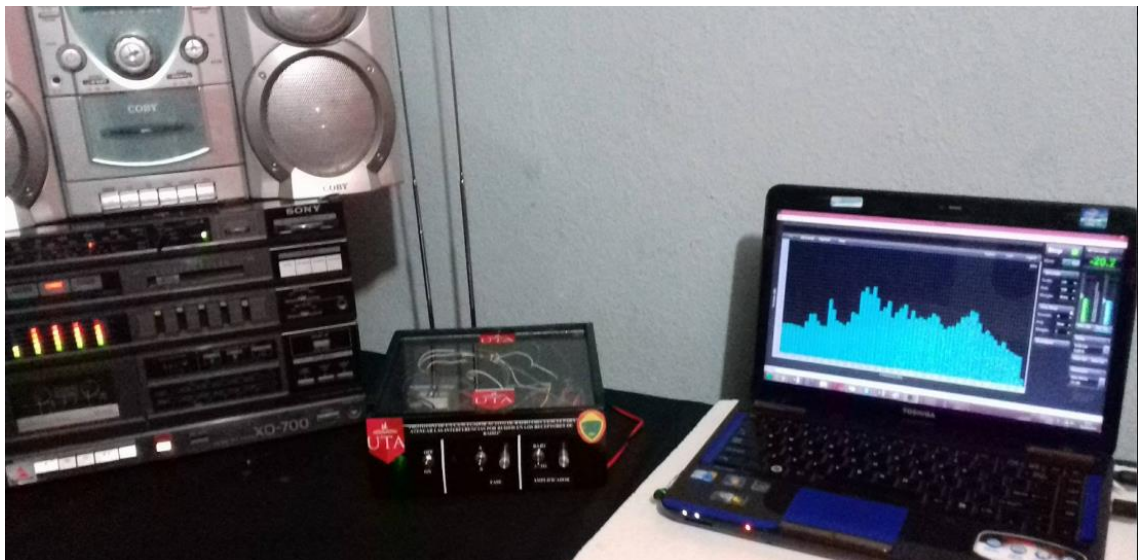
En la figura 4.49, se observa el funcionamiento del menú frontal del prototipo compuesto por un desplazador de fase y un amplificador los dos regulables por el operador.



**Fig. 4. 49** Menú frontal del prototipo de cancelación activa de radio frecuencia

Fuente: El investigador

En la figura 4.50, se observa las pruebas preliminares de funcionamiento realizadas utilizando; un receptor de radio (FM, AM), un computador y el prototipo de cancelación activo de ruido.



**Fig. 4. 50** Pruebas preliminares receptor de radio FM, AM

Fuente: El investigador

La señal RF es receptada por las antenas, cada una conectada a las dos entradas del cancelador (Antena de RF, Antena de Ruido) y ajustando los potenciómetros (Fase, Amplificación) de mando del menú principal se obteniendo como resultado el contrafase de la señal de ruido y su atenuación, como se observa en la siguiente figura 4.51.



**Fig. 4. 51** Conexión de la antena de RF y antena de ruido en el CAR

Fuente: El investigador

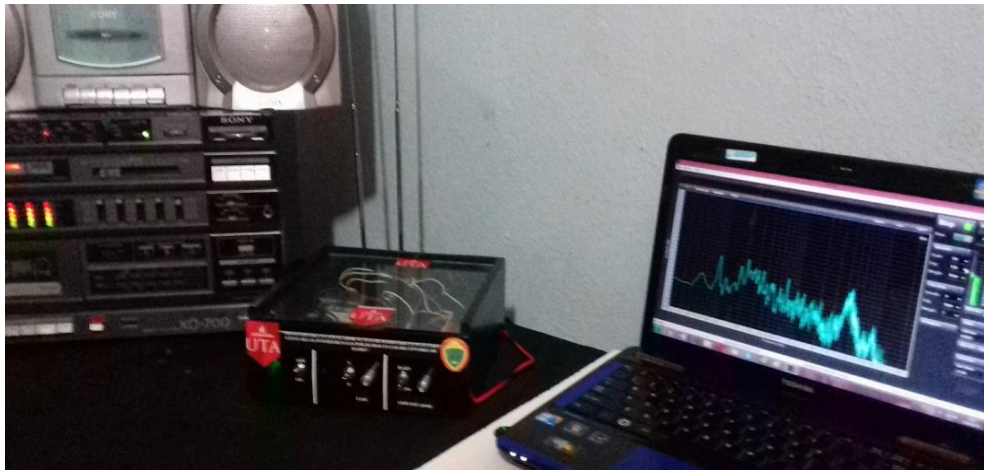
#### **4.5 Resultados de funcionamiento del prototipo electrónico**

Para obtener los resultados se utilizó el software de medición Smaart V.6 el mismo que toma una muestra de la señal de audio en el tiempo tomada desde un receptor de radio sintonizado en frecuencia de 1210KHz ubicado en Chasoalo N: 1, como se observa en la siguiente tabla 4.6 y figura 4.52:

**Tabla 4. 6** Frecuencias de emisoras de radio en AM y FM

Provincia	Categoría	Nombre de la estación	Frecuencia
Tungurahua	Frecuencia modulada - FM	Saracay	100.5 MHz
Tungurahua	Amplitud modulada - AM	Sira	1210 KHz

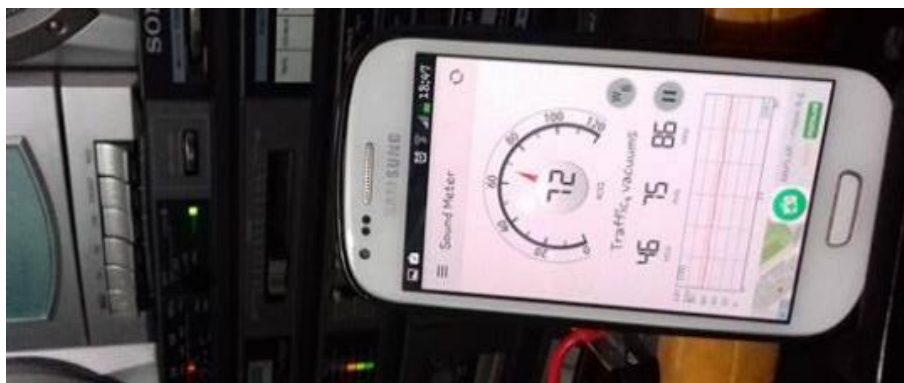
**Fuente:** El investigador basado en: [46]



**Fig. 4. 52** Smart V.6, muestra de la señal de audio en el tiempo

Fuente: El investigador

En primera instancia procedo a medir el nivel de ruido o sonido proveniente de los parlantes del receptor de radio sintonizado, con el fin de que no sobrepase los niveles del umbral de audición y se encuentre en un rango aceptable para el oído humano (0 a 80db), como se observa en la siguiente figura 4.53.



**Fig. 4. 53** Nivel de ruido proveniente de los parlantes del receptor de radio.

Fuente: El investigador

### Pruebas de funcionamiento:

Los resultados espectrales obtenidos son analizados en el dominio del tiempo y frecuencia de señales de audio en bandas de AM y FM, tomando en consideración la cobertura, registro y distribución de frecuencias otorgadas por la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones del Ecuador en el barrio Chasoalo N: 1 del cantón San Miguel de Salcedo provincia de Cotopaxi.

### Prueba 1 realizada en frecuencia modulada FM

Se realizó la prueba 1 con una señal en frecuencia modulada FM, sintonizada a 100.5MHz, a continuación se observa en la figura 4.54, una muestra de la señal de audio tomada con el software Smaart V.6 en el dominio del tiempo.

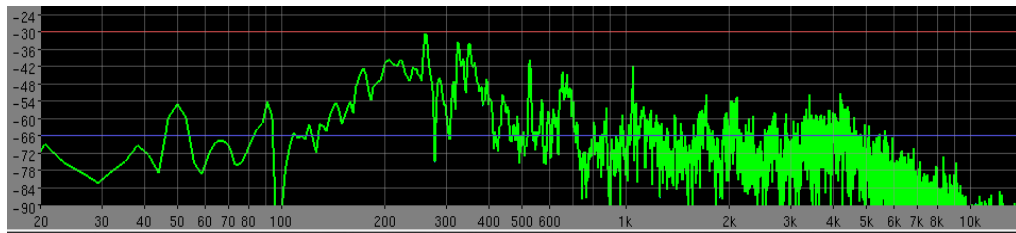


Fig. 4. 54 Señal en frecuencia modulada FM, tomada en el tiempo.

Fuente: El investigador

En la figura 4.55, se puede visualizar una muestra de la señal de audio FM-100.5MHz tomada con el software Smaart V.6 en el dominio de la frecuencia.

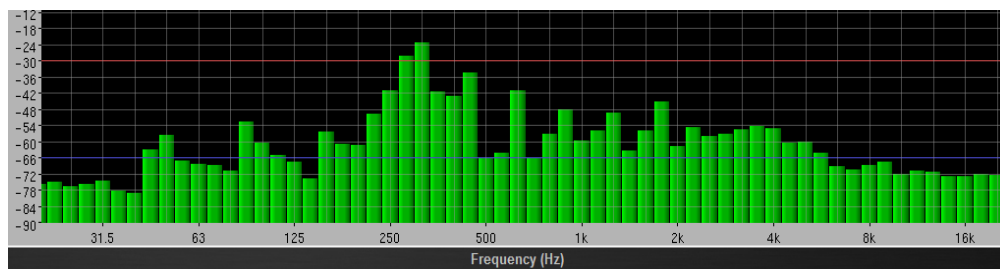
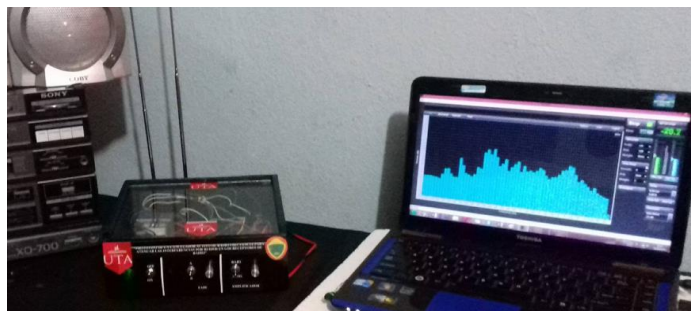


Fig. 4. 55 Señal en frecuencia modulada FM, tomada en el dominio de la frecuencia.

Fuente: El investigador

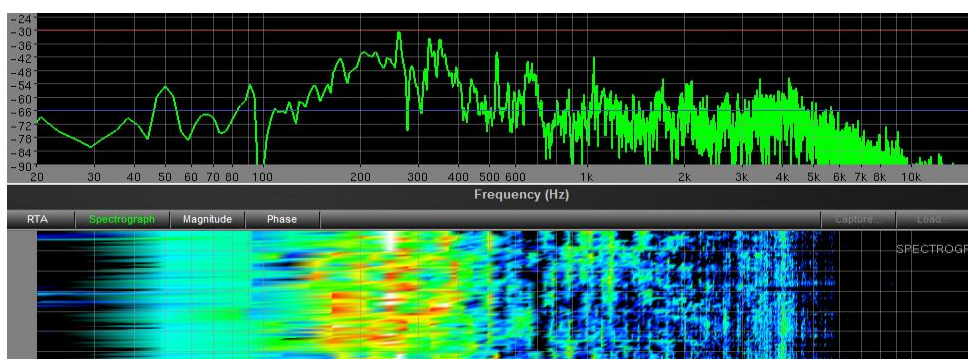
En la figura 4.56, se observa la puesta en funcionamiento el prototipo cancelador de ruido en frecuencia modulada FM, sintonizada a 100.5MHz:



**Fig. 4. 56** Puesta en Funcionamiento del prototipo de cancelación de ruido.

Fuente: El investigador

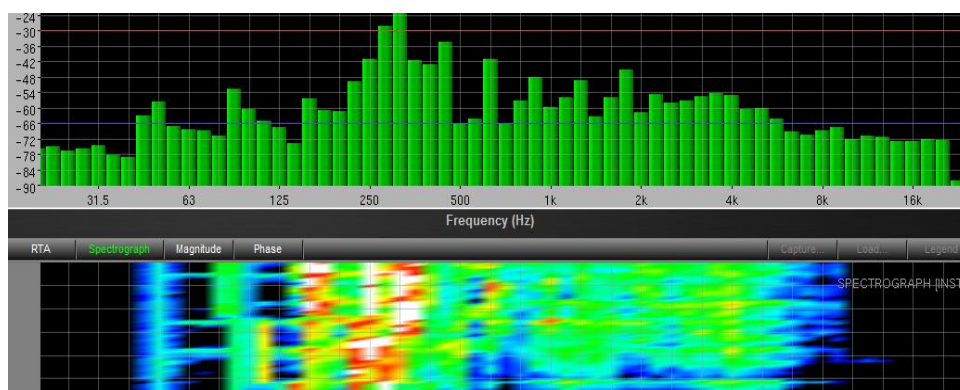
En la figura 4.57, se observa la señal en el dominio del tiempo con su espectrograma en frecuencia modulada FM, sintonizada a 100.5MHz:



**Fig. 4. 57** Señal FM en el dominio del tiempo con su espectrograma

Fuente: El investigador

En la figura 4.58, se observa la señal en el dominio de la frecuencia con su espectrograma en frecuencia modulada FM, sintonizada a 100.5MHz:



**Fig. 4. 58** Señal FM en el dominio de la frecuencia con su espectrograma

Fuente: El investigador

Al observar el comportamiento de la señal de FM a frecuencia sintonizada de 100.5MHz en el programa Smaart V6, se concluye que en esta banda no existen señales con ruido intermitente prolongado, por lo no requiere un dispositivo cancelador activo de ruido.

### Prueba 2 realizada en amplitud modulada AM

Se realizó la prueba 2 con una señal en amplitud modulada AM, sintonizada a 1210 KHz, a continuación se observa en la figura 4.54, una muestra de la señal de audio tomada con el software Smaart V.6 en el dominio del tiempo.

En la figura 4.59, se puede visualizar una muestra de la señal de audio tomada con el software Smaart V.6 en el dominio del tiempo:

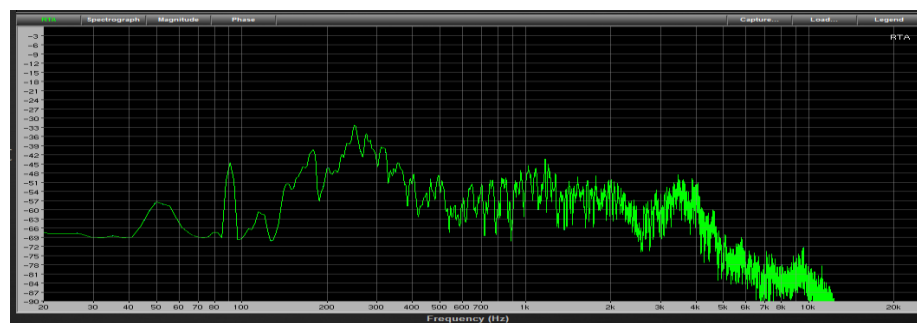


Fig. 4. 59 Señal de audio en el dominio del tiempo (Amplitud VS. Tiempo)

Fuente: El investigador

En la figura 4.60, se puede visualizar una muestra de la señal de audio tomada con el software Smaart V.6 en el dominio de la frecuencia.

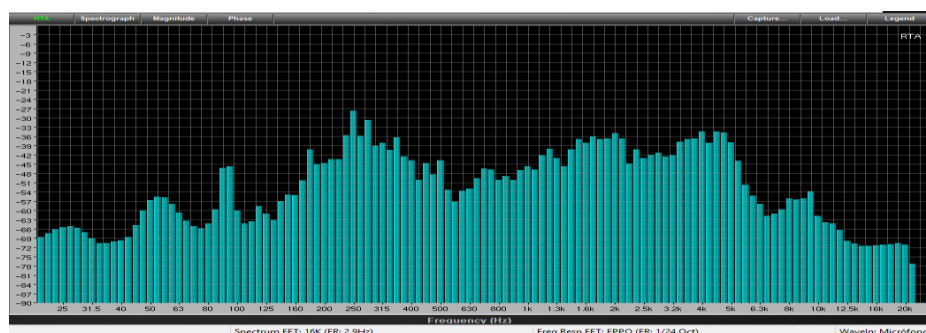
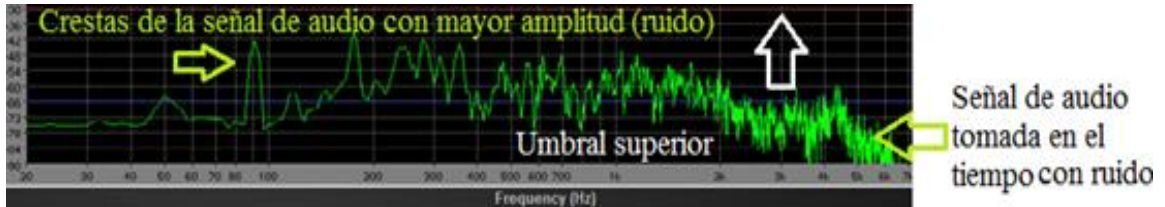


Fig. 4. 60 Espectro de la señal de audio en el dominio de la frecuencia (Magnitud VS. Frecuencia)

Fuente: El investigador

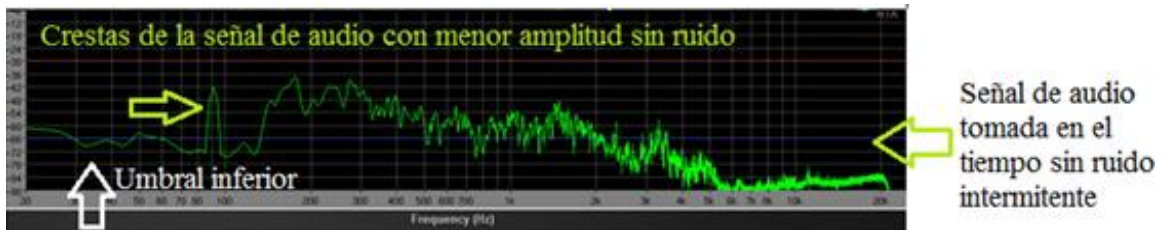
En la figura 4.61, se observa la forma de la señal de audio en el tiempo, con ruido tomada desde un receptor de radio sintonizado en una señal de amplitud modulada AM a una frecuencia de 1210KHz.



**Fig. 4. 61** Señal de audio en el tiempo con ruido

Fuente: El investigador

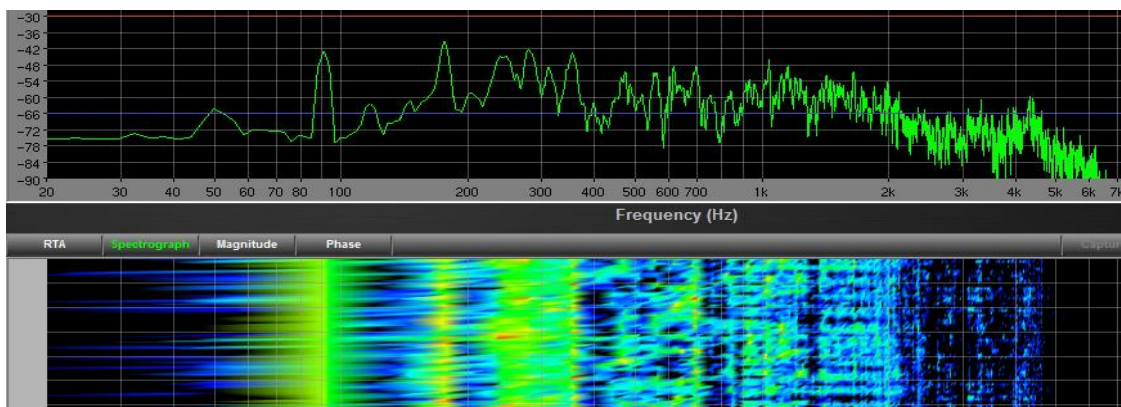
En la figura 4.62, se observa la forma de la señal de audio en el tiempo, sin radio sintonizado en una señal de amplitud modulada AM a una frecuencia de 1210KHz.



**Fig. 4. 62** Señal de audio en el tiempo sin ruido

Fuente: El investigador

Otra manera de mostrar estos datos es con el espectrógrafo herramienta que forma parte del software Smaart V.6, la misma que se aplica en campos de reconocimiento de voz, análisis de vibraciones y acústica submarina, como se observa en la siguiente figura 4.63:

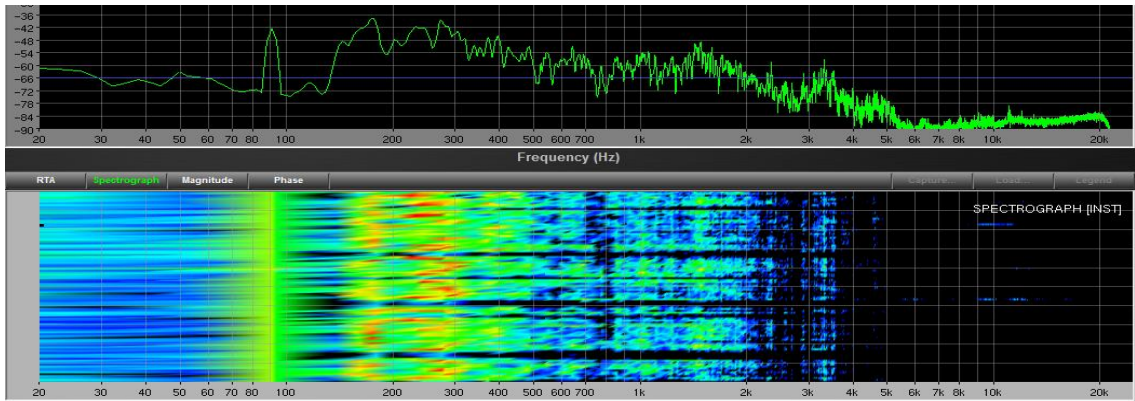


**Fig. 4. 63** Espectrograma de la señal de audio con ruido en el tiempo.

Fuente: El investigador



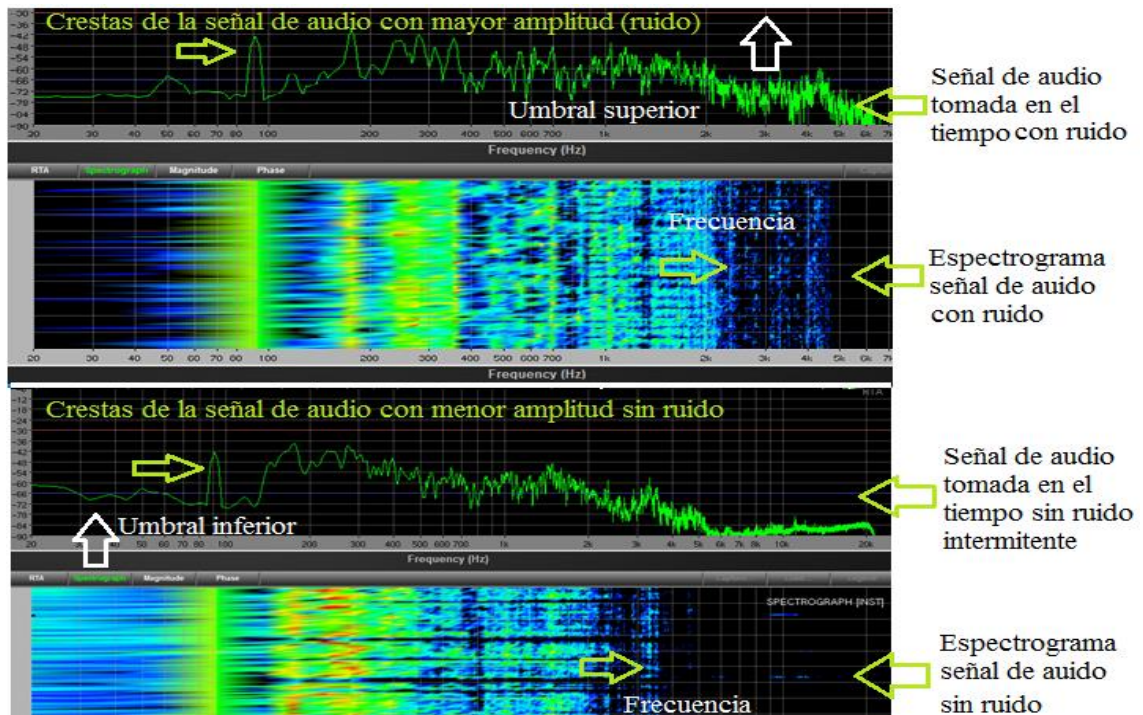
En la figura 4.64, se muestra el Espectrograma de la señal de audio en el tiempo utilizando el cancelador activo de ruido en la cual las crestas de la señal de audio se reducen por la atenuación del ruido en la señal de audio.



**Fig. 4. 64** Espectrograma de la señal de audio sin ruido en el tiempo.

Fuente: El investigador

En la figura 4.65, se realiza una comparación de las señales de audio en AM, tomadas en el tiempo con su respectivo espectrograma en condiciones de ruido y sin ruido.



**Fig. 4. 65** Comparación de las señales de audio tomadas en el tiempo con su espectrograma

Fuente: El investigador

La figura 4.65, es representada mediante el establecimiento del nivel umbral en el que los datos comienzan a aparecer cuando una banda de frecuencia en el espectro está por encima del umbral inferior, se muestra en la trama que empieza con color azul oscuro en los niveles inferiores y la transición con color verde, amarillo, naranja y rojo con mayor nivel y finalmente aparece con color blanco si el nivel alcanza o supera el umbral superior.

#### 4.6 Análisis de resultados

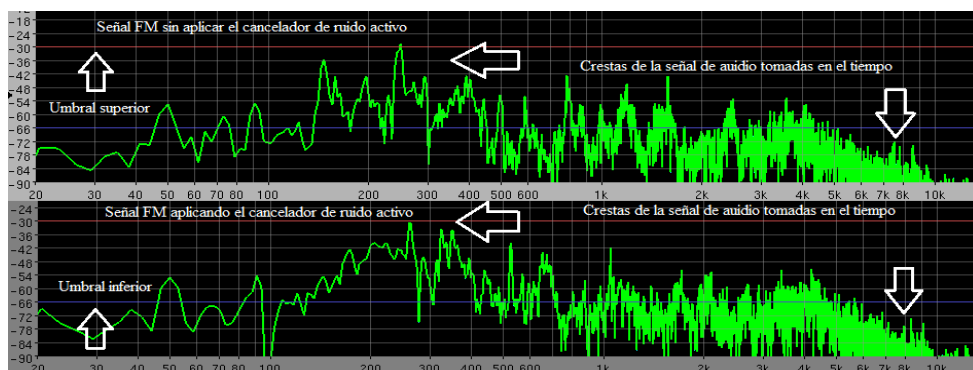
Los resultados obtenidos en señales de amplitud modulada AM, con ruido prolongado intermitente son satisfactorios ya que se obtiene una atenuación del ruido en un 90%, al ajustar la ganancia de amplificación y fase entre ambas etapas del cancelador activo de radio frecuencia.



**Fig. 4. 66** Señal AM en el tiempo

Fuente: El investigador

Al observar el comportamiento de la señal de FM a frecuencia sintonizada de 100.5MHz en el programa Smart V6, se concluye que en esta banda no existen señales con ruido intermitente prolongado que afecte a la señal de audio entregada por el receptor de RF, por lo no requiere un dispositivo cancelador activo de ruido.



**Fig. 4. 67** Señal FM tomada en el tiempo

Fuente: El investigador

#### 4.7 Análisis económico del proyecto

El costo del proyecto abarca la implementación total del prototipo de cancelación activa de radio frecuencia para atenuar las interferencias por ruidos en los receptores de radio, es decir el diseño, simulación, construcción y finalmente las pruebas de funcionamiento, ha sido financiado por el investigador como se muestra en la tabla 4.7.

**Tabla 4. 7** Costo del proyecto

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total (Dólares)
1	CND. Cerámico 0,001uF-102	c/u	10	0,09	\$0,9
2	CND. Electrolítico 0,1uF-50V	c/u	10	0,09	\$0,9
3	CND. Cerámico 100pF-50V	c/u	4	0,09	\$0,36
4	CND. Cerámico 10pF-50V	c/u	10	0,09	\$0,9
5	CND. Radial Filtro 100uF-50V	c/u	5	0,09	\$0,45
6	CND. Radial Filtro 1000uF-50V	c/u	5	0,7	\$3,5
7	CND. Cerámico 0,01uF-50V	c/u	5	0,08	\$0,4
8	CND. Cerámico 2,2uF-50V	c/u	5	0,08	\$0,4
9	CND, Radial Filtro 10uF-50V	c/u	2	0,08	\$0,16
10	Switch ojo de cangrejo 2 posiciones	c/u	1	0,6	\$0,6
11	Switch ojo de cangrejo 3 posiciones	c/u	2	0,6	\$1,2
12	Relay 5VCD 8 Pines	c/u	1	2,5	\$2,5
13	Regulador 12 VCD	c/u	2	0,6	\$1,2
14	Baquelita 20x30	c/u	1	3,5	\$3,5
15	Jack RG59 Chasis simple	c/u	2	0,4	\$0,8
16	Plug RG6 Rosca	c/u	2	0,2	\$0,4
17	CND. Cerámico 100nF-50V	c/u	8	0,09	\$0,72
18	CND. Cerámico 1nF-50V	c/u	6	0,09	\$0,54
19	CND, Radial Filtro 1uF-50V	c/u	2	0,09	\$0,18
20	Diodo 1N4148	c/u	10	0,09	\$0,9
21	Diodo 1N4007-1A/1000V	c/u	5	0,05	\$0,25
22	Diodo zener 1W	c/u	4	0,17	\$0,68
23	Control 1K RA16ANHQ	c/u	4	0,35	\$1,4
24	Led 5mm Baja intensidad	c/u	8	0,09	\$0,72
25	NPN 2N3904	c/u	4	0,09	\$0,36
26	ECG123AP-2N2222	c/u	4	0,09	\$0,36
27	Cloruro férrico-funda	c/u	8	0,75	\$6
28	Ferrita FB-73 2401	c/u	4	1	\$4
29	Resistencias 100KΩ-1/4W	c/u	8	0,06	\$0,48
30	Resistencias 270KΩ-1/4W	c/u	4	0,06	\$0,24

31	Resistencias 1M $\Omega$ -1/4W	c/u	4	0,06	\$0,24
32	Resistencias 330 $\Omega$ -1/4W	c/u	4	0,06	\$0,24
33	Resistencias 1K $\Omega$ -1/4W	c/u	8	0,06	\$0,48
34	Resistencias 51 $\Omega$ -1/4W	c/u	10	0,06	\$0,6
35	Resistencias 2,2K $\Omega$ -1/4W	c/u	8	0,06	\$0,48
36	Resistencias 22 $\Omega$ -1/4W	c/u	4	0,06	\$0,24
37	Resistencias 4,7K $\Omega$ -1/4W	c/u	4	0,06	\$0,24
38	Resistencias 100 $\Omega$ -1/4W	c/u	4	0,06	\$0,24
39	vidrio 19,5×19,5	c/u	1	1	\$1
40	Caja triplex	c/u	1	20	\$20
41	Transformador 110VCA-1A	c/u	1	5	\$5
42	Antena	c/u	2	15	\$30
43	cable numero 8 forrado	metro	1	0,5	\$0,5
44	cable gemelo numero 12	metro	1	0,8	\$0,8
				<b>TOTAL</b>	<b>\$95,06</b>

Fuente: El Investigador.

Para el cálculo del valor de horas de trabajo de un Ingeniero Electrónico y Comunicaciones se toma en consideración el salario obtenido de la página web del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social, por lo que se toma en cuenta la tabla 4.8

**Tabla 4. 8** Remuneración de un Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones

Descripción	Valor
Remuneración Anual	\$ 20.112
Remuneración Mensual	\$ 1.676
Remuneración Diaria	\$ 83,80
Remuneración por horas	\$ 10,48

Fuente: El Investigador.

$$\text{Mano de Obra} = 140 \text{ horas} \times \$ 10,40 = \$ 1467,20$$

Para la realización del prototipo se toma en cuenta 140 horas, por lo tanto el costo de mano de obra será \$ 1467,20.

$$\text{Costo total del proyecto} = \$ 1467,20 + \$ 95,06 = \$ 1562,26$$

Por lo tanto el costo total del proyecto es de \$ 1562,26

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

- ❖ Al analizar los distintos sistemas de cancelación activa de ruido se determinó que cumplen la función de eliminar o atenuar el ruido presente en señales de radio frecuencia esto se lo puede realizar utilizando la técnica pasiva la misma que aprovechando las propiedades absorbentes de ciertos materiales como barreras acústicas silenciadores reactivos, resonadores, etc. También se utiliza la técnica de cancelación activa de ruido o CAR la cual cumple la misma función que la técnica pasiva pero de forma electrónica generando un ruido secundario el cual posee la misma magnitud pero se encuentra en fase opuesta a la señal de ruido existente denominado ruido primario.
- ❖ Se determinó que el ruido es una señal o un conjunto de señales indeseables de origen aleatorio que se suman a la señal de información cuando se propagan por el medio de transmisión, ocasionando interferencias y se lo clasifica según el tipo de origen que lo forma puede generarse electromagnética en el espacio libre o de forma interna en circuitos electrónicos.
- ❖ El prototipo de cancelación activo de radio frecuencia atenúa las interferencias por ruidos en los receptores de radio, sintonizados en bandas de AM y FM que se encuentran interferidas por estas señales indeseables, logrando así que las personas escuchen, entiendan y procesen la información de forma más clara.

## 5.2 Recomendaciones

- ❖ Es aconsejable que las personas utilicen el prototipo electrónico de cancelación activa de radio frecuencia, en dispositivos receptores de radio que tengan problemas de distorsión con ruido intermitente prolongado, estos no deben exceder el límite del umbral de la persona (0 a 80db) ya que puede ocasionar daños en la audición.
- ❖ Se debe realizar mediciones del nivel de ruido o audio, en la salida del receptor de RF con el fin de estabilizar esta señal y obtener resultados satisfactorios al momento de poner en funcionamiento el prototipo cancelador activo de radio frecuencia.
- ❖ Para la recepción de señales de RF se debe utilizar antenas omnidireccionales que trabajen en frecuencias de VHF y UHF, las cuales captan sin inconvenientes las señales de radio frecuencia de interés.
- ❖ Para futuros trabajos relacionados con la cancelación activa de ruido se recomienda a las personas que tengan intenciones de mejorar este prototipo electrónico, utilicen filtros adaptativos NLMS y LMS, los cuales pueden ser diseñados y programados dependiendo de los requerimientos que desee, junto con tarjetas digitales de procesamiento de señales DSP.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] T. Wayne, «Sistema de comunicaciones electrónica,» de *Introducción a las comunicaciones electrónicas*, Mexico, Pearson education, 2001, pp. 1,2,3,4.
- [2] N. L. Mora Vergara y C. A. Sierra Ordóñez, «Implementación de un sistema de cancelación activa de ruido generado por perturbaciones pseudo periódicas en recintos cerrados,» Enero 2009. [En línea]. Available: <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/3346/2/129389.pdf>. [Último acceso: 09 Septiembre 2015].
- [3] B. Y. Montilla Vera, «Cancelador activo de ruido,» 2012. [En línea]. Available: [http://tesis.ula.ve/pregrado/tde\\_arquivos/9/TDE-2012-09-19T02:42:15Z-1651/Publico/verayolimar.pdf](http://tesis.ula.ve/pregrado/tde_arquivos/9/TDE-2012-09-19T02:42:15Z-1651/Publico/verayolimar.pdf). [Último acceso: 10 Septiembre 2015].
- [4] J. R. Penagos Plazas, «Cancelación acústica en tiempo real,» Enero 2001. [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/5886/1/T1669.pdf>. [Último acceso: 15 Octubre 2015].
- [5] A. Perez Zapata, «Control activo de ruido en conductores de ventilación,» Septiembre 2013. [En línea]. Available: <https://invenio2.unizar.es/record/11854/files/TAZ-PFC-2013-422.pdf>. [Último acceso: 06 Noviembre 2015].
- [6] J. S. Murillo Sarmiento, «Diseño y adecuación de un sillón cancelador de ruido,» 2009. [En línea]. Available: <http://biblioteca.usbbog.edu.co:8080/Biblioteca/BDigital/60180.pdf>. [Último acceso: 12 Diciembre 2015].
- [7] R. F. Coughlin y F. F. Driscoll, *Amplificadores Operacionales y circuitos integrados*, Mexico : Prentice hall Inc, 1993.
- [8] P. Vázquez Gil y J. Pomares Baeza, «Redes y transmisión de datos,» de *Modulación Digital*, España-Alicante, Copobell, S,LL, 2010, p. 252.
- [9] C. Cesar A, «Ancho de banda,» 18 Octubre 2012. [En línea]. Available: <http://cesarcabrera.info/blog/%C2%BFvelocidad-transferencia-o-ancho-de-banda/>. [Último acceso: 23 Diciembre 2015].
- [10] J. A. Holguín Barrera, «El Ancho de banda,» Universidad Católica de Pereira, 17 Agosto 2012. [En línea]. Available: <http://es.slideshare.net/jhalehol/9-el-ancho-de-banda>. [Último acceso: 28 Noviembre 2015].

- [11] L. E. Sánchez Gonzáles, «Modulación,» 2015. [En línea]. Available: [http://13100650-lesg.mex.tl/2197354\\_Modulacion.html](http://13100650-lesg.mex.tl/2197354_Modulacion.html). [Último acceso: 27 Diciembre 2015].
- [12] E. Radio Electrónica, «Detector,» 4 Julio 2011. [En línea]. Available: <http://www.radioelectronica.es/articulos-teoricos/66-telegrafia-sin-hilos-la-radio>. [Último acceso: 27 Diciembre 2015].
- [13] F. Gabiola y B. M. Al-hadith, «ANÁLISIS Y DISEÑO DE CIRCUITOS ELECTRÓNICOS ANALÓGICOS,» de *Banda de paso, banda atenuada y orden de filtro*, Madrid, Visión Net, 2007, pp. 380,381,382.
- [14] U. Universidad de la República Uruguay, «Espectro radio eléctrico,» 13 Mayo 2016. [En línea]. Available: <https://www.fing.edu.uy/en/node/25557>. [Último acceso: 15 Junio 2016].
- [15] F. S. Crawford Jr, «Ondas: Berkeley physics course,» de *Interferencia constructiva y destructiva*, Sevilla, REVERTÈ S.A, 2003, pp. 482, 483, 484.
- [16] D. F. Granja Rizzo, «SUPERPOSICION, INTERFERENCIA DE ONDAS,» Machala, 2014.
- [17] W. Woltom, «Mediciones y pruebas eléctricas y electrónicas,» de *Analizador de distorción*, Barcelona, Vanguard Grafi, S.A, 1995, pp. 230, 231, 232.
- [18] A. Mínguez Olivares, «Ingeniería Avanzada para Sistemas de Control de ruido acústico mediante técnicas adaptativas,» Madrid, 1998.
- [19] J. A. Tumialán Borja, «Metodología de Control Activo de Ruido en Ductos,» Arequipa , 2010.
- [20] R. Lüttges D, «Manual de antenas,» Mayo 1990. [En línea]. Available: <http://www.bandasaltas.com.ar/files/Caracteristicas%20antenas.pdf>. [Último acceso: 20 Diciembre 2015].
- [21] A. Escudero Pascual, «Antenas y Cables,» Octubre 2007. [En línea]. Available: [http://www.itrainonline.org/itrainonline/mmtk/wireless\\_es/files/08\\_es\\_antenas\\_y\\_cables\\_guia\\_v02.pdf](http://www.itrainonline.org/itrainonline/mmtk/wireless_es/files/08_es_antenas_y_cables_guia_v02.pdf). [Último acceso: 20 Diciembre 2015].
- [22] S. A. Marcombo, «Telecomunicaciones móviles,» de *Antenas omnidireccionales*, Barcelona, Gráficos 92, 1998, p. 56.



- [23] 1. EA4FSI28T, «Antenas de VHF/UHF,» 12 Diciembre 2009. [En línea]. Available: [http://www.ipellejero.es/vhf-uhf/antenas/monopolo\\_L4/index.php](http://www.ipellejero.es/vhf-uhf/antenas/monopolo_L4/index.php). [Último acceso: 11 Marzo 2016].
- [24] M. Mataix Hidalgo y M. Mataix Lorda, «Diccionario de Electrónica, Informática Y Energía Nuclear,» de *Amplifier*, España, Edigrafos S.A, 1999, p. 23.
- [25] M. Bara Iniesta, «El amplificador operacional,» [En línea]. Available: [https://www.exabyteinformatica.com/uoc/Electronica/Tecnologia\\_electronica\\_ES/Tecnologia\\_electronica\\_ES\\_\(Modulo\\_4\).pdf](https://www.exabyteinformatica.com/uoc/Electronica/Tecnologia_electronica_ES/Tecnologia_electronica_ES_(Modulo_4).pdf). [Último acceso: 10 Marzo 2016].
- [26] G. Camps Valls, J. Espí López y J. Muñoz Marí, «El amplificador operacional,» de *Fundamentos de electrónica analógica*, València , Maite Simon, 2006, pp. 235,236.
- [27] E. Electronicacircuit, «CÁLCULO DE RESISTENCIAS EN UN PREAMPLIFICADOR,» [En línea]. Available: <https://electronicacircuit.wordpress.com/2014/11/04/calculo-de-resistencias-en-un-preamplificador/>. [Último acceso: 20 Enero 2016].
- [28] S. Gallardo Vazquez, «Elementos de sistemas de telecomunicaciones,» de *Transformadores Toroidales*, España, Paraninfo S.A, 2015, pp. 71, 72, 73.
- [29] AMIDON, «Núcleo de ferrita toroidal FB-732401,» [En línea]. Available: <http://www.universal-radio.com/catalog/misc/amidon.html>. [Último acceso: 11 Marzo 2016].
- [30] D. MCBtec, «Diseño de fuentes de alimentación lineales,» ENVAFILM,S.L., San Vicente, 2013.
- [31] J. Oleas, «Diferencia entre ganancia y volumen,» 18 Febrero 2014. [En línea]. Available: <http://blog.7notasestudio.com/diferencia-entre-ganancia-y-volumen/>. [Último acceso: 29 Marzo 2016].
- [32] J. Pizarro Peláez, «ANÁLISIS DEL AMPLIFICADOR EN EMISOR COMÚN,» [En línea]. Available: [file:///C:/Users/TIGER/Downloads/93236812.ampli%20E.C.%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/TIGER/Downloads/93236812.ampli%20E.C.%20(1).pdf). [Último acceso: 26 Enero 2016].
- [33] J. A. Hernandez Rueda, «Teoría de líneas de transmisión e ingeniería de microondas,» de *Dispositivos activos de microondas*, México, UABC, 1999, pp. 15, 16, 17.

- [34] M. A. Plonus, «Electromagnetismo aplicado,» de *Lineas de transmision*, Barcelona, REVERTÉ S.A, 1994, p. 667.
- [35] P. A. San Miguel, «Electrónica general: equipos electrónicos de consumo,» 2010. [En línea]. Available: <https://books.google.com.ec/books?id=Ewaumr4SaG8C&pg=PA169&dq=puente+rectificador&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjvopyvmvLPAhVBMSYKHQrvBXcQ6AEIGjAA#v=onepage&q=puente%20rectificador&f=false>. [Último acceso: 25 Diciembre 2015].
- [36] C. Quiroz, «Diseño de Amplificadores,» [En línea]. Available: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lem/quiroz\\_c\\_g/capitulo3.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/quiroz_c_g/capitulo3.pdf). [Último acceso: 30 Marzo 2016].
- [37] I.T.M, «Filtros activos,» [En línea]. Available: <http://www.elo.jmc.utfsm.cl/sriquelme/apuntes/filtros/filtros%20activos.pdf>. [Último acceso: 12 Abril 2016].
- [38] J. Castillo, «Capacitores de acoplo y desacoplo,» [En línea]. Available: [http://www.academia.edu/8230472/CAPACITORES\\_DE\\_ACOPLO\\_Y\\_DESACOPLO](http://www.academia.edu/8230472/CAPACITORES_DE_ACOPLO_Y_DESACOPLO). [Último acceso: 9 Abril 2016].
- [39] R. L. Boylestad y L. Nashelsky, «Electrónica: teoría de circuitos y dispositivos electrónicos,» de *Regulador de voltaje CI*, Mexico, PRENTICE HALL., INC, 203, pp. 874, 875, 876.
- [40] J. R. García Villarreal, «Enseñando con Multisim 13.0,» [En línea]. Available: <http://electronica.ugr.es/~amroldan/asignaturas/curso04-05/ftc/pdf/manual.pdf>. [Último acceso: 13 Septiembre 2015].
- [41] A. Machado, «Manual Proteus,» 2013. [En línea]. Available: <http://www.tecnica1lomas.com.ar/tutoriales/manual-proteus.pdf>. [Último acceso: 13 Septiembre 2015].
- [42] L. Rational Acoustics, «Manual Smaart V6,» Nueva York, 2011.
- [43] I. Quanzhou interphone electronics co, «Antena telescopica UHF-VHF,» 2007. [En línea]. Available: [https://spanish.alibaba.com/supplier\\_wc4BAAKkONcKaxEPnBRgtHPKB79e?spm=a2700.7787054.a3723.13.SB6SRu](https://spanish.alibaba.com/supplier_wc4BAAKkONcKaxEPnBRgtHPKB79e?spm=a2700.7787054.a3723.13.SB6SRu). [Último acceso: 25 Marzo 2016].

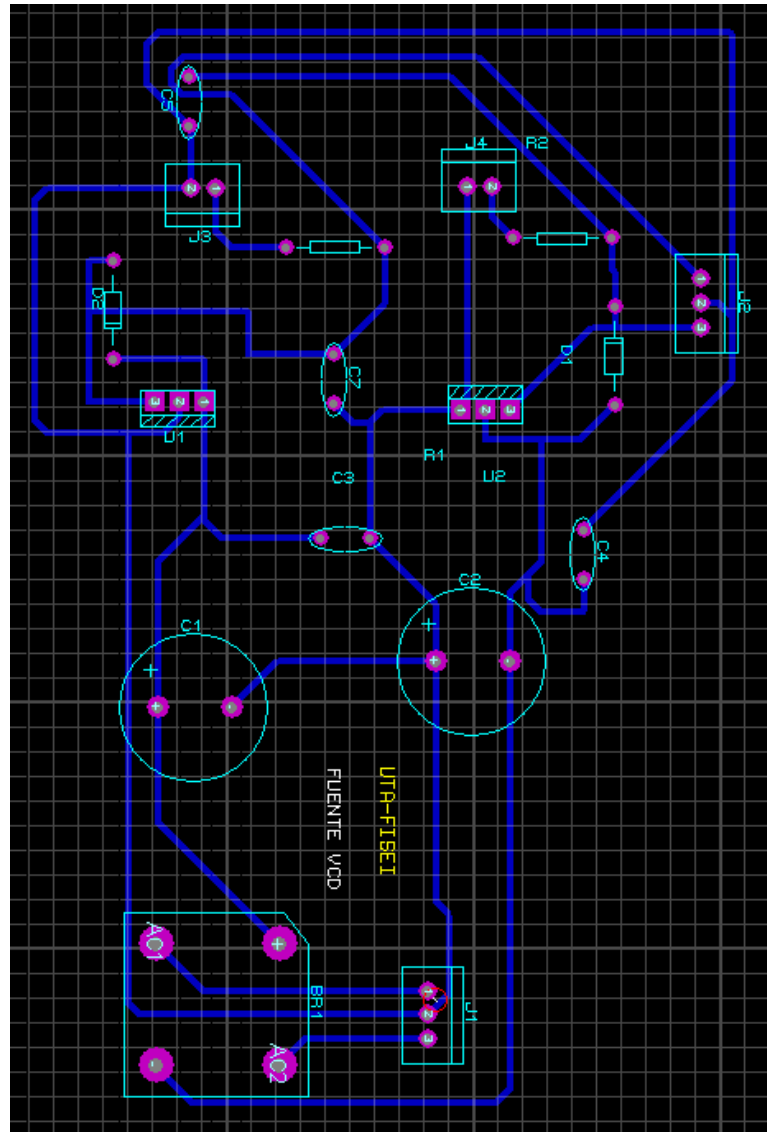
- [44] J. Díaz Moreno, Dirección, *Diseño amplificador de RF*. [Película]. México: Youtube, 2013.
- [45] R. Carrasco Carísimo, «Noise canceler for wide band,» León-España, 2010.
- [46] E. Agencia de Regulación y Control de Las Telecomunicaciones, «Radiodifusión sonora y Televisión abierta,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.arcotel.gob.ec/radiodifusion-sonora-y-television-abierta-2/>. [Último acceso: 2 Agosto 2016].
- [47] J. R. Penagos Plazas. [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/5886/1/T1669.pdf>.

# ANEXOS

## Anexo 1

### ENRUTAMIENTO PLACA DE ALIMENTACIÓN FUENTE 12VCD -12VCD

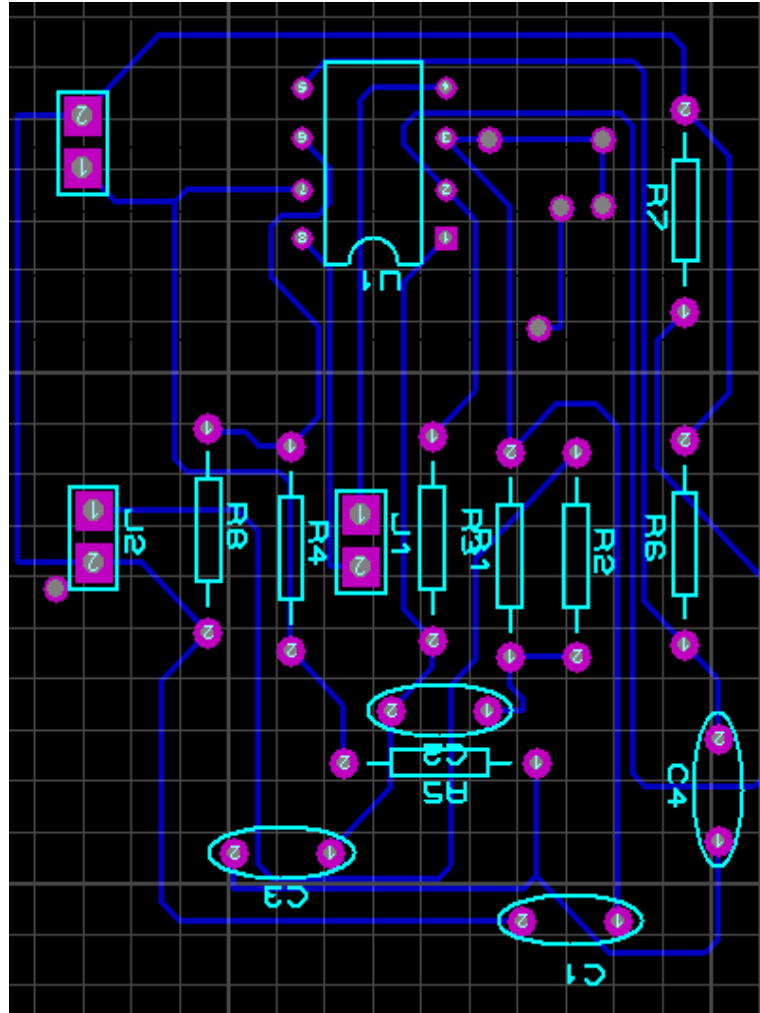
En esta placa se encuentra la etapa de alimentación que proporciona un voltaje continuo de 12VCD a -12VCD, a las demás etapas de prototipo.



## Anexo 2

### ENRUTAMIENTO PLACA DE FILTRADO

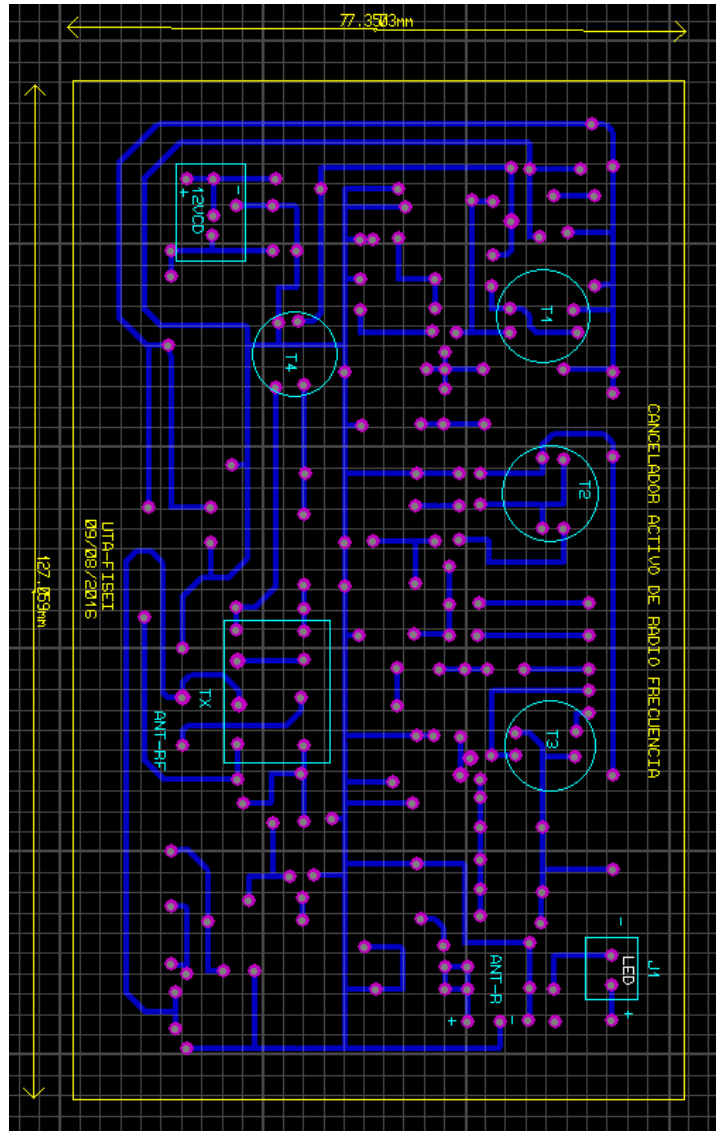
En esta placa se observa la etapa de filtro pasa banda en un rango de 100KHz a 40 MHz



### Anexo 3

#### ENRUTAMIENTO PLACA DE AMPLIFICACIÓN

En esta placa se encuentra la etapa de amplificación en donde mediante amplificadores en cascada se logra tener una señal en contrafase.



## Anexo 3

### DATASHEET TRANSISTOR 2N2222A

## 2N2222A

### Small Signal Switching Transistor

NPN Silicon

#### Features

- MIL-PRF-19500/255 Qualified
- Available as JAN, JANTX, and JANTXV

#### MAXIMUM RATINGS (T<sub>A</sub> = 25°C unless otherwise noted)

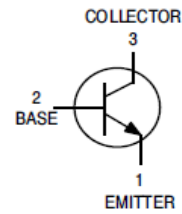
Characteristic	Symbol	Value	Unit
Collector-Emitter Voltage	V <sub>CEO</sub>	50	Vdc
Collector-Base Voltage	V <sub>CBO</sub>	75	Vdc
Emitter-Base Voltage	V <sub>EB0</sub>	6.0	Vdc
Collector Current - Continuous	I <sub>C</sub>	800	mA <sub>dc</sub>
Total Device Dissipation @ T <sub>A</sub> = 25°C	P <sub>T</sub>	500	mW
Total Device Dissipation @ T <sub>C</sub> = 25°C	P <sub>T</sub>	1.0	W
Operating and Storage Junction Characteristic	T <sub>J</sub> , T <sub>STG</sub> Symbol	-65 to Max	°C Unit
Thermal Resistance, Junction to Ambient	R <sub>θJA</sub>	325	°C/W
Thermal Resistance, Junction to Case	R <sub>θJC</sub>	150	°C/W

Stresses exceeding those listed in the Maximum Ratings table may damage the device. If any of these limits are exceeded, device functionality should not be assumed, damage may occur and reliability may be affected.



ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>



#### ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping
JAN2N2222A	TO-18	Bulk
JANTX2N2222A		
JANTXV2N2222A		

## 2N2222A

### ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
<b>OFF CHARACTERISTICS</b>				
Collector–Emitter Breakdown Voltage ( $I_C = 10\text{ mAdc}$ )	$V_{(BR)CEO}$	50	–	Vdc
Collector–Base Cutoff Current ( $V_{CB} = 75\text{ Vdc}$ ) ( $V_{CB} = 60\text{ Vdc}$ )	$I_{CBO}$	– –	10 10	$\mu\text{Adc}$ $\text{nAdc}$
Emitter–Base Cutoff Current ( $V_{EB} = 6.0\text{ Vdc}$ ) ( $V_{EB} = 4.0\text{ Vdc}$ )	$I_{EBO}$	– –	10 10	$\mu\text{Adc}$ $\text{nAdc}$
Collector–Emitter Cutoff Current ( $V_{CE} = 50\text{ Vdc}$ )	$I_{CES}$	–	50	$\text{nAdc}$

### ON CHARACTERISTICS (Note 1)

DC Current Gain ( $I_C = 0.1\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ ) ( $I_C = 1.0\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ ) ( $I_C = 10\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ ) ( $I_C = 150\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ ) ( $I_C = 500\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ )	$h_{FE}$	50 75 100 100 30	– 325 – 300 –	–
Collector–Emitter Saturation Voltage ( $I_C = 150\text{ mAdc}$ , $I_B = 15\text{ mAdc}$ ) ( $I_C = 500\text{ mAdc}$ , $I_B = 50\text{ mAdc}$ )	$V_{CE(sat)}$	– –	0.3 1.0	Vdc
Base–Emitter Saturation Voltage ( $I_C = 150\text{ mAdc}$ , $I_B = 15\text{ mAdc}$ ) ( $I_C = 500\text{ mAdc}$ , $I_B = 50\text{ mAdc}$ )	$V_{BE(sat)}$	0.6 –	1.2 2.0	Vdc

### SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS

Magnitude of Small–Signal Current Gain ( $I_C = 20\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 20\text{ Vdc}$ , $f = 100\text{ MHz}$ )	$ h_{fe} $	2.5	–	–
Small–Signal Current Gain ( $I_C = 1.0\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ , $f = 1\text{ kHz}$ )	$h_{fe}$	50	–	–
Input Capacitance ( $V_{EB} = 0.5\text{ Vdc}$ , $I_C = 0$ , $100\text{ kHz} \leq f \leq 1.0\text{ MHz}$ )	$C_{ibo}$	–	25	$\text{pF}$
Output Capacitance ( $V_{CB} = 10\text{ Vdc}$ , $I_E = 0$ , $100\text{ kHz} \leq f \leq 1.0\text{ MHz}$ )	$C_{obo}$	–	8.0	$\text{pF}$

### SWITCHING (SATURATED) CHARACTERISTICS

Turn–On Time (Reference Figure in MIL–PRF–19500/255)	$t_{on}$	–	35	ns
Turn–Off Time (Reference Figure in MIL–PRF–19500/255)	$t_{off}$	–	300	ns


Product parametric performance is indicated in the Electrical Characteristics for the listed test conditions, unless otherwise noted. Product performance may not be indicated by the Electrical Characteristics if operated under different conditions.

1. Pulse Test: Pulse Width =  $300\ \mu\text{s}$ , Duty Cycle  $\leq 2.0\%$ .



## Anexo 3

### TIPOS DE FERRITAS



**Amidon**  
Cores, Beads, Rods  
and Balun Kits

[← back](#)

**Miscellaneous**

## AMIDON, INC.

The **Amidon Associates** produces a broad line of ferrite beads, coil forms, cores and specialty items for the electronic experimenter. These products have wide use in RFI suppressions, antenna design and matching. (Dimensions are in inches). Click here for [material chart](#)

A **Ferrite bead** is a dowel-like device which has a center hole and is composed of ferromagnetic material.

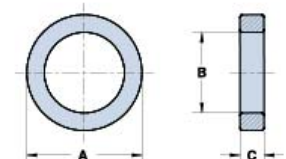
When placed on to a current carrying conductor it will act as an RF choke. It offers convenient, inexpensive, yet effective means of RF shielding, parasitic suppression and RF decoupling.

Order #	Model	Description	Pkg.	O.D.	I.D.	Height	RFI Attenuation	Price	Order
#1529	FB 43- 101	Ferrite Beads	12	.138	.051	.128	40-200 MHz	\$3.00	<a href="#">Order</a>
#4610	FB 43- 201	Ferrite Beads	12	.076	.043	.150	30-400 MHz	\$4.00	<a href="#">Order</a>
#1528	FB 43- 801	Ferrite Beads	12	.296	.094	.297	40-200 MHz	\$4.00	<a href="#">Order</a>
#1530	FB 43- 2401	Ferrite Beads	12	.380	.197	.190	40-200 MHz	\$4.50	<a href="#">Order</a>
#4491	FB 43- 6301	Ferrite Beads	12	.375	.194	.410	40-200 MHz	\$5.00	<a href="#">Order</a>
#2080	FB 61- 101	Ferrite Beads	12	.138	.051	.128	above 200 MHz	\$3.50	<a href="#">Order</a>
#1532	FB 73- 101	Ferrite Beads	12	.138	.051	.128	10-50 MHz	\$3.50	<a href="#">Order</a>
#1533	FB 73- 801	Ferrite Beads	12	.296	.094	.297	10-50 MHz	\$5.00	<a href="#">Order</a>
#0810	FB 73- 1801	Ferrite Beads	12	.200	.062	.437	10-50 MHz	\$4.75	<a href="#">Order</a>
#1415	FB 73- 2401	Ferrite Beads	12	.380	.197	.190	10-50 MHz	\$5.00	<a href="#">Order</a>
#1460	FB 75B- 101	Ferrite Beads	12	.138	.051	.128	2-30 MHz	\$5.00	<a href="#">Order</a>
#2838	FB 77- 6301	Ferrite Beads	12	.375	.194	.410	2-30 MHz	\$9.50	<a href="#">Order</a>

### Specs for **FB-73-2401** RF Toroids

T25-2	FB-43-101
T25-6	FB-43-2401
T30-2	FB-73-2401
T30-6	FB-43-4852
T30-10	FB-43-7351
T37-0	FB-31-1020
T37-1	FT23-43
T37-2	FT37-43
T37-6	FT37-61
T37-7	FT37-67
T37-10	FT50-43
T44-2	FT50-61
T44-6	FT50-75
T50-1	FT50-J
T50-2	FT82-43
T50-3	FT82-61
T50-6	FT114-43
T50-7	FT114-61
T50-10	FT140-43
T68-1	FT140-61

**Physical Dimensions**



OD(A) = 0.380 in / 9.65 mm +/- 0.25 mm  
 ID(B) = 0.197 in. / 5.0 mm +/- 0.20 mm  
 Ht(C) = 0.190 in. / 5.05 mm +/- 0.45 mm

$A_L = 1600 \pm 20\%$      $\mu H = (A_L * Turns^2) / 1000$   
 Actual measured AL using 10 turns #28 wire

Temperature Stability (ppm /°C) = 6500

Color Code = shiny black

Application Freq Range  
RFI Suppression below 30 MHz

**Orders and Pricing**  
[www.kitsandparts.com](http://www.kitsandparts.com)

MANUAL DE FUNCIONAMIENTO



***UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO***

***FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL***

***CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y COMUNICACIONES***

MANUAL DE OPERACIÓN DE UN PROTOTIPO ELECTRÓNICO CANCELADOR ACTIVO DE RADIO FRECUENCIA PARA ATENUAR LAS INTERFERENCIAS POR RUIDOS EN LOS RECEPTORES DE RADIO.

El cancelador activo de radio frecuencia es un dispositivo electrónico, diseñado para atenuar señales no deseadas de ruido, como por ejemplo ruido de línea de potencia, ruido de computador, interferencia generada por televisores, etc. Este proceso se lo realiza antes de que ingresen estas señales de ruido en el receptor de RF y afecte a los circuitos internos, esta señal debe ser detectada y su fase junto con la magnitud ajustada de modo que coincida con la señal captada por la antena de RF, puede usarse con cualquier receptor o transceptor de radio frecuencia. Los controles del panel frontal permiten el ajuste de fase y magnitud de la señal captada por la antena de ruido, mediante un acondicionamiento electrónico de esta señal interferida frente a la señal captada por la antena de RF se obtiene resultados de atenuación de ruido satisfactorio generados en torno a la posición de trabajo o en el hogar.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA.....	119
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	120
DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS QUE INTEGRA EL PROTOTIPO ELECTRÓNICO DE CANCELACIÓN ACTIVA DE RUIDO .....	121
1) Alimentación del prototipo electrónico .....	121
2) El trasceptor .....	122
3) Antena de RF .....	122
4) Antena de ruido .....	122
5) Tipo de antena de recepción para el prototipo electrónico.....	123
6) Switch de ON-OFF .....	124
7) Potenciómetro menu desplazamiento de fase.....	124
8) Potenciómetro menu de amplificación señal RF .....	124
FUNCIONAMIENTO DEL CANCELADOR DE RUIDO .....	125
POSICIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS DEL MENU DEL CANCELADOR ACTIVO DE RUIDO .....	126
RECOMENDACIONES PARA EL FUNCIONAMIENTO ADECUADO DEL CANCELADOR ACTIVO DE RUIDO .....	127

## DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS QUE INTEGRAN EL PROTOTIPO ELECTRÓNICO DE CANCELACIÓN DE RUIDO:



Fig. 1 Cancelador de ruido en funcionamiento

A continuación se detalla el funcionamiento del prototipo de cancelación activa de radio frecuencia para atenuar ruidos en los receptores de radio, para esto se requiere la vista posterior del mismo, como se observa en la siguiente figura.



Fig. 2 Vista posterior del cancelador activo de radio frecuencia.

### 1) Alimentación del prototipo electrónico.

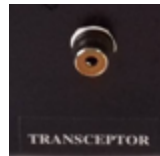
El cancelador activo de ruido, funciona conectado a una fuente de alimentación de corriente alterna de 110VCA a 60Hz, a continuación se puede visualizar en la figura 3 la entrada de voltaje alterno que forma parte del prototipo.



Fig. 3 Entrada de 110VCA.

## 2) El transceptor.

El transceptor es el enlace entre el prototipo de cancelación activo de ruido y el equipo receptor de RF, cumple la función de enviar la señal sin ruido desde un punto a otro, a continuación se observa la salida transceptora del dispositivo electrónico, en la figura 4.



**Fig. 4** Salida del transceptor.

## 3) Antena de RF

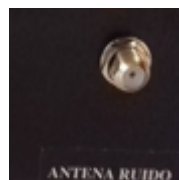
La antena de radio frecuencia de RF, capta la señal radioelétrica del espacio libre, y posterior mente envía esta señal a la etapa mezcladora, que se encuentra internamente en el prototipo electrónico, para su procesamiento y acondicionamiento, a continuación se visualiza en la figura 5, la entra de la antena de RF.



**Fig. 5** Entrada de la antena de RF.

## 4) Antena de ruido

La antena de ruido, capta la señal radioelétrica del espacio libre, y posterior mente envía esta señal a las etapas de amplificación, internas del prototipo electrónico para su procesamiento y acondicionamiento, a continuación se visualiza en la figura 6, la entra de la antena de RF.



**Fig. 6** Entrada de la antena de RF.

### 5) Tipo de antena de recepción para el prototipo electrónico

Las antenas de recepción de señales de RF, son tipo telescópicas, estas antenas trabajan en frecuencias de VHF, poseen un acoplamiento de conectores tipo F machos RG-6, con el fin de obtener un montaje mucho más fácil y seguro en el prototipo electrónico, como se visualiza en la siguiente figura 7:



**Fig. 7** Antena Telescópica VHF.

A continuación se detalla el menú frontal del prototipo de cancelación activa de radio frecuencia para atenuar ruidos en los receptores de radio, como se observa en la siguiente figura 8.



**Fig. 8:** Menú frontal del prototipo de cancelación activa de radio frecuencia.

## 6) Switch de encendido y apagado ON-OFF

En la parte frontal se observa un switch de activado y desactivado del prototipo, este cumple la función de dejar pasar el voltaje continuo de 12VCD y -12VCD, hacia las demás etapas del prototipo, a continuación se observa en la figura 9.



**Fig. 9:** Switch de encendido y apagado.

## 7) Potenciómetro de variación de fase

El potenciómetro de variación de fase, cumple la función de escoger la posición de la misma que es procesada en el amplificador de RF, como se visualiza a continuación en la figura 10.



**Fig. 10:** Potenciómetro de variación de fase.

## 8) Potenciómetro de amplificación de la señal de RF

El potenciómetro de amplificación de fase, permite seleccionar entre pulsos de amplificación de la señal de ruido anchos o estrechos, para frecuencias altas o bajas, como se visualiza a continuación en la figura 11.



**Fig 11:** potenciómetro de amplificación.

## **FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO DE CANCELACIÓN ACTIVA DE RADIO FRECUENCIA**

Para poner en funcionamiento el dispositivo electrónico se conecta las antenas telescópicas en las entradas de Antena de RF y ruido, como se observa en la siguiente



**Fig. 12** Conexión de la antena de RF y antena de ruido en el CAR

Posteriormente a esto conectamos el transceptor desde el prototipo electrónico al receptor de RF, como se observa en la figura 13.



**Fig. 13** Transceptor y receptor RF.

Ahora se utiliza el programa Smart V6, que cumple la función de obtener muestras en el tiempo y posteriormente realizando la transformada de Fourier, graficando el espectro electromagnético, para el análisis de la señal de audio tomada en el tiempo, como se observa en la siguiente figura 14.





**Fig. 14** Transceptor y receptor RF.

Una vez activado el software y el receptor de RF, se enciende el prototipo de cancelación activa de radio frecuencia, utilizando el potenciómetro de desplazamiento de fase y amplificación, se obtiene una atenuación eficaz sobre la señal de RF, como se observa a continuación en la figura 15.



**Fig. 15:** CAR activado.

**Después de haber seguido las instrucciones anteriores se procede al posicionamiento**

- El switch del área de desplazamiento de fase posee dos posición A y B donde se seleccionan una y con la ayuda de los potenciómetros se los desplaza para el lado derecho o izquierdo, con el fin de atenuar el ruido.
- Logrado este punto, mover el potenciómetro de fase, buscando un punto para conseguir anular el ruido.
- Si no se consigue, cambiar el conmutador de A, a la posición B, y repetir el giro del potenciómetro de FASE hasta que la señal se atenúe.

- Retocando ligeramente ahora los mandos de fase y amplificación, se debe de eliminar totalmente la interferencia, siempre y cuando ésta se haya generado en las proximidades de la estación base.
- El circuito es muy eficaz, para eliminar las interferencias producidas por; Ordenadores, televisores, ascensores, sistemas PLC de transmisión de datos a través de la red eléctrica, electrodomésticos etc.
- No obstante, este circuito no es la solución absoluta a los ruidos e interferencias que nos rodean; hay muchos ruidos que por sus características y composición o excesiva intensidad tienen difícil tratamiento y eliminación.

### **Recomendaciones para el funcionamiento adecuado del prototipo.**

- Es aconsejable que las personas utilicen el prototipo electrónico de cancelación activa de radio frecuencia, en dispositivos receptores de radio que tengan problemas de distorsión con ruido intermitente prolongado, estos no deben exceder el límite del umbral de la persona (0 a 80db) ya que puede ocasionar daños en la audición.
- Se debe realizar mediciones del nivel de ruido o audio, en la salida del receptor de RF con el fin de estabilizar esta señal y obtener resultados satisfactorios al momento de poner en funcionamiento el prototipo cancelador activo de radio frecuencia.
- Para la recepción de señales de RF se debe utilizar antenas omnidireccionales que trabajen en frecuencias de VHF y UHF, las cuales captan sin inconvenientes las señales de radio frecuencia de interés.

El prototipo atenuara interferencias de ruido presentes en la señales de RF de forma eficiente, tomando en consideración las descripciones mencionadas anteriormente.