

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA:  
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:  
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**TEMA:  
DESARROLLO DE UN SISTEMA QUE REUTILICE LAS ONDAS  
RADIOELÉCTRICAS REMANENTES EN LOS LUGARES DE  
COBERTURA COMO ENERGÍA ALTERNATIVA**

**AUTOR:  
JUAN SEBASTIÁN FLORES ARÉVALO**

**TUTOR:  
CARLOS AUGUSTO CUICHÁN MORALES**

**Quito, julio del 2019**

## **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR**

Yo JUAN SEBASTIÁN FLORES ARÉVALO, con documento de identificación N° 172171576-9, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación intitulado: “DESARROLLO DE UN SISTEMA QUE REUTILICE LAS ONDAS RADIOELÉCTRICAS REMANENTES EN LOS LUGARES DE COBERTURA COMO ENERGÍA ALTERNATIVA”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Electrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



---

Juan Sebastián Flores Arévalo

C.I: 1721715769

Quito, julio del 2019.

## DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación “DESARROLLO DE UN SISTEMA QUE REUTILICE LAS ONDAS RADIOELÉCTRICAS REMANENTES EN LOS LUGARES DE COBERTURA COMO ENERGÍA ALTERNATIVA”, realizado por Juan Sebastián Flores Arévalo, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, julio del 2019



---

Carlos Augusto Cuichán Morales

C.I: 1714389721

## **DEDICATORIAS**

El presente trabajo se lo dedico a mis padres Jorge Flores y Zoila Arévalo, por su constante apoyo en mi formación académica y humana, por sus enseñanzas y ejemplo que me han servido y han inspirado para cumplir mis objetivos profesionales y personales. A mis hermanos Jorge Flores y Carlos Flores por su apoyo y también inspirar con su ejemplo de profesionales.

**Juan Sebastián Flores Arévalo**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mi madre por su constante apoyo y atención hacia mí, acompañándome día a día, en los buenos y malos momentos para aconsejarme y motivarme a cumplir todas mis metas.

A mi padre por ser el apoyo constante en mi formación académica, por sus enseñanzas y por ser un ejemplo de vida.

Al Ingeniero Carlos Cuichán, por sus enseñanzas, por su orientación y ayuda en la realización del presente proyecto.

**Juan Sebastián Flores Arévalo**

## ÍNDICE GENERAL

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	i
DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A.....	ii
DEDICATORIAS .....	iii
AGRADECIMIENTOS .....	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	x
RESUMEN.....	xi
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	1
<b>ANTECEDENTES</b> .....	1
1.1 Planteamiento del problema: .....	1
1.2 Justificación: .....	1
1.3 Grupo objetivo:.....	2
1.4 Objetivo General:.....	2
1.4.1 Objetivos específicos:.....	3
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	4
<b>FUNDAMENTO TEÓRICO</b> .....	4
2.1 Ondas Radiantes .....	4
2.1.1 Definición:.....	4
2.1.2. Fuentes de propagación de Ondas Radioeléctricas.....	5
2.1.2.1 Ondas Radioeléctricas en el entorno humano. ....	6
2.1.2.2 Parámetros por considerar en las Ondas Radioeléctricas.....	7
2.1.2.3 Las Ondas Radioeléctricas residuales .....	12
2.2. Sistemas de transmisión – Recepción de ondas Radioeléctricas .....	12
2.2.1. Dispositivos involucrados en la transmisión y recepción de Ondas radioeléctricas. ....	12

2.2.1.1 Transmisor y modulación.....	13
2.2.1.2 Antena .....	14
2.2.1.3 Receptor y demodulación.....	15
2.2.2. Formas de recepción y captación de ondas Radioeléctricas .....	16
2.2.3 Módulo de captación y antena.....	17
2.2.4 Circuito de acoplamiento.....	18
2.2.5 Circuito de rectificación .....	23
2.2.6 Módulo de almacenamiento .....	27
2.2.7 Tierra .....	27
<b>CAPÍTULO 3.....</b>	<b>28</b>
<b>DISEÑO DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE ONDAS RADIANTES RESIDUALES .....</b>	<b>28</b>
3.1. Parámetros de recepción de las ondas radioeléctricas residuales .....	28
3.1.1 Tecnologías empleadas en entornos urbanos .....	28
3.1.2 Tecnologías empleadas en entornos rurales .....	29
3.2. Diagrama de bloques del dispositivo.....	29
3.3. Diseño general del sistema .....	30
3.3.3 Diseño de los prototipos para almacenamiento de radiofrecuencia .....	31
<b>CAPÍTULO 4.....</b>	<b>36</b>
<b>IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN DE ONDAS RADIANTES RESIDUALES.....</b>	<b>36</b>
4.1 Verificación de los prototipos mediante simulación.....	36
4.1.1 Prototipo de radiodifusión AM.....	36
4.1.2 Prototipo de radiodifusión FM .....	38
4.2 Diseño de los circuitos impresos .....	39
<b>CAPÍTULO 5.....</b>	<b>40</b>
<b>PRUEBAS Y RESULTADOS .....</b>	<b>40</b>
5.1 Pruebas preliminares del prototipo de AM en el laboratorio.....	40

5.2 Pruebas preliminares de FM (Simulación) .....	40
5.3 Pruebas de captación de la señal.....	41
5.3.1 Captación AM .....	41
5.3.2 Captación FM .....	43
5.4 Pruebas de almacenamiento de la señal.....	45
5.4.1 Almacenamiento de señal AM .....	45
5.4.2 Almacenamiento de las señales FM .....	45
5.5 Prueba de carga con módulo elevador de voltaje .....	45
5.6 Análisis .....	47
5.6.1 Análisis del tiempo de carga y descarga de los dispositivos de almacenamiento .....	47
<b>CONCLUSIONES</b> .....	54
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	56
<b>REFERENCIAS</b> .....	57
<b>ANEXOS</b> .....	62



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Ejemplos del uso de las ondas radiantes.....	4
Figura 2.2. Espectro Electromagnético .....	5
Figura 2.3. Emisión de ondas radioeléctricas.....	6
Figura 2.4. Entorno urbano .....	7
Figura 2.5. Entorno rural.....	10
Figura 2.6. Modelo de dos rayos.....	10
Figura 2.7 Transmisor básico.....	13
Figura 2.8. Diferentes tipos de antenas .....	15
Figura 2.9. Receptor básico.....	16
Figura 2.10. Almacenamiento de energía RF.....	17
Figura 2.11 Circuitos tanque RLC .....	19
Figura 2.12 Circuito RLC serie.....	20
Figura 2.13 Circuito tanque RLC paralelo.....	20
Figura 2.14 Circuito tanque RLC equivalente .....	21
Figura 2.15 Toma intermedia de la bobina .....	22
Figura 2.16 Rectificación durante el semiciclo positivo.....	23
Figura 2.17 Rectificación durante el semiciclo negativo.....	24
Figura 2.18 Rectificador de media onda con filtro capacitivo.....	24
Figura 2.19 Señales del rectificador de media onda con y sin filtro capacitivo.....	25
Figura 2.20 Señal obtenida en el capacitor del filtro .....	26
Figura 2.21 Aproximación lineal de la señal en el capacitor .....	26
Figura 3.1. Sistema de almacenamiento de energía RF .....	30
Figura 3.2. Circuito general de los prototipos a implementar.....	31
Figura 4.1. Circuito del prototipo de radiodifusión AM .....	36
Figura 4.2. Circuito del prototipo de radiodifusión FM.....	38
Figura 5.1. Primera medición de voltaje en AM.....	41
Figura 5.2. Segunda medición de voltaje en AM.....	42
Figura 5.3. Primera medición de voltaje en FM .....	43
Figura 5.4. Segunda medición de voltaje en FM .....	44
Figura 5.5. Primer módulo elevador de voltaje DC .....	46
Figura 5.6. Segundo módulo elevador de voltaje DC .....	46
Figura 5.7. Conexión del módulo de almacenamiento con el elevador de voltaje.....	47

Figura 5.8. Carga del super capacitor en recepción AM.....	48
Figura 5.9. Carga del super capacitor en recepción FM .....	48
Figura 5.10. Carga de la batería de 100 mAh en recepción AM.....	49
Figura 5.11. Carga de la batería de 100 mAh en recepción FM .....	50
Figura 5.12. Carga de la batería de 700 mAh en recepción FM .....	50
Figura 5.13. Descarga del capacitor empleando un led .....	51
Figura 5.14. Descarga del capacitor empleando un motor.....	51
Figura 5.15. Descarga de la batería empleando un motor.....	52
Figura 5.16. Recuperación de la batería después de accionar el motor .....	52
Figura 5.17. Carga y descarga simultánea de la batería mientras se acciona el motor .....	53
Figura 5.18. Recuperación de la batería al mismo tiempo que es cargada .....	53

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Tipos de células en el entorno urbano.....	7
Tabla 2.2. Parámetros de tecnologías inalámbricas en zonas urbanas.....	9
Tabla 2.3. Parámetros para tecnologías en zonas rurales.....	11
Tabla 3.1. Datos para el diseño del circuito de acoplamiento de los prototipos AM y FM.....	32
Tabla 4.1. Resultados del osciloscopio XSC1 para AM.....	37
Tabla 4.2. Resultados de los cálculos de filtrado DC en AM.....	37
Tabla 4.3. Resultados del Bode plotter XBP1 en AM.....	37
Tabla 4.4. Resultados del osciloscopio XSC1 para FM.....	38
Tabla 4.5. Resultados de los cálculos de filtrado DC de FM.....	39
Tabla 4.6. Resultados del Bode plotter XBP1 en FM.....	39
Tabla 5.1. Mediciones obtenidas en el laboratorio.....	40
Tabla 5.2. Resultados de las mediciones de voltaje en AM.....	42
Tabla 5.3. Resultados de la potencia calculada para AM.....	43
Tabla 5.4. Resultados de las mediciones de voltaje en FM.....	44
Tabla 5.5. Resultados de la potencia calculada para FM.....	45

## RESUMEN

En el campo de las tecnologías inalámbricas ha incrementado la aparición de dispositivos transmisores, receptores, estaciones base y repetidoras, emitiendo muchas señales de radiofrecuencia al medio ambiente, convirtiéndose en energía desperdiciada, algo contaminante. En este trabajo se planteó el desarrollo de un dispositivo para reutilización de estas ondas radioeléctricas remanentes, captándolas para convertirlas en energía eléctrica útil y almacenarla en pequeños dispositivos como super capacitores y baterías. Se captó la energía por medio de una antena, para luego pasar por una sintonización, rectificación, almacenamiento y elevación de voltaje utilizado en la carga y accionamiento de dispositivos electrónicos y eléctricos como celulares de bajo consumo, motores y leds. El sistema posee 4 módulos: El primero es el módulo de captación y antena, consta de una antena telescópica de 1.5 metros puesta en un soporte donde también se colocó la circuitería, se lo atornilló a un objeto para mantenerlo a una cierta altura. El segundo es el módulo de acoplamiento, consta de bobinas y capacitores variables para sintonizar correctamente frecuencias AM y FM. El tercer módulo es el de rectificación, el cuál convirtió la corriente alterna proveniente del circuito de acoplamiento en corriente continua, además duplicó el voltaje y lo filtró (se obtuvo voltajes de 1.7 a 15 voltios y corrientes desde 26 a 325 microamperios). El cuarto módulo es el de almacenamiento, donde se colocaron las baterías y los super capacitores, para cargarlos y elevar su voltaje hasta un nivel útil, mediante pequeñas tarjetas electrónicas o denominadas step up.

## **ABSTRACT**

In the field of wireless technologies has increased the appearance of transmitting devices, receivers, base stations and repeaters, emitting many radio frequencies signals to the environment, becoming waste energy, something polluting. In this work, the development of a device for the reuse of these remaining radio waves was proposed, capturing them to convert them into useful electrical energy and store it in small devices such as super capacitors and batteries. The energy was captured by means of an antenna, to then pass through a tuning, rectification, storage and elevation of voltage used in the charging and operation of electronic and electrical devices such as low-power cell phones, motors and LEDs. The system has 4 modules: The first is the capture module and antenna, consists of a telescopic antenna of 1.5 meters placed on a support where the circuitry was also placed, it was screwed to an object to keep it at a certain height. The second is the coupling module, consisting of variable coils and capacitors to correctly tune AM and FM frequencies. The third module is the rectification module, which converted the alternating current from the coupling circuit into direct current, it also doubled the voltage and filtered it (voltages of 1.7 to 15 volts and currents from 26 to 325 microamps were obtained). The fourth module is storage, where the batteries and super capacitors were placed, to charge them and raise their voltage to a useful level, by means of small electronic cards or called step up.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad las comunicaciones inalámbricas forman una parte muy importante del día a día, tal ejemplo es la cobertura que ofrecen los servicios de radiodifusión y televisión las 24 horas del día, los servicios de telefonía móvil con celdas que cubren vastos territorios, comunicaciones satelitales, redes domésticas como Wi-Fi, etc. Por tal motivo existen muchas emisiones de radiofrecuencia en el medio ambiente, que al fin de cuentas puede convertirse en una energía desperdiciada y algo contaminante, por tal motivo el fin de este proyecto es buscar la forma más eficiente de reutilización de esta energía radiante, a través de su captación y almacenamiento en pequeños dispositivos tales como super capacitores y baterías. El presente trabajo se centra en la captación de señales de radiodifusión AM y FM, debido a la facilidad de detección de estas, y a su gran alcance.

Se tiene como referencia histórica las invenciones de Nikola Tesla, como el sistema de captación de energía radiante proveniente del espacio exterior (Price, 2018). Más tarde la NASA logra transmitir energía de manera inalámbrica a una distancia de 1.5 km con eficiencia del 82% y en el MIT se logra encender una bombilla de 60 watts de manera inalámbrica a una distancia de 3 metros (Martínez, 2016).

Este trabajo consta de cinco capítulos. En el capítulo uno se presenta el planteamiento del problema, la justificación, el grupo objetivo, y los objetivos generales y específicos. En el capítulo dos se presentan los fundamentos teóricos tales como definición de ondas radiantes, las fuentes de estas, los dispositivos involucrados en su transmisión y recepción y las formas en como lo hacen. En el capítulo tres se refiere a la etapa de diseño, para lo cual se toma en cuenta parámetros de recepción, se presenta un diagrama de bloques con las partes y funcionamiento de los prototipos, y se realiza consideraciones y cálculos para el diseño de estos. En el capítulo cuatro se realiza la comprobación de los prototipos AM y FM mediante simulaciones, luego se procede al diseño de los circuitos impresos para su implementación. En el capítulo cinco se realizan las correspondientes pruebas de captación y almacenamiento y se presentan los resultados. Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones.

# **CAPÍTULO 1**

## **ANTECEDENTES**

### **1.1 Planteamiento del problema**

En los últimos tiempos, el campo de las comunicaciones ha tenido un gran crecimiento o evolución, sobre todo una parte muy importante es el campo de las comunicaciones por radiofrecuencia y demás tecnologías inalámbricas, con lo que ha ido en aumento la demanda de adquisición de dispositivos transmisores y receptores, también la aparición de cada vez más estaciones base y repetidoras para los servicios de algunos de estos dispositivos, por todo esto diríamos que en nuestro medio hay un sin número de señales de radiofrecuencia o microondas recirculando constantemente, por lo cual esto representa un flujo de energía algo desperdiciado, ya que solo se lo emplea con fines de transferencia de información y comunicación.

Otro dato importante, es la consideración del uso de nuevas fuentes de energía alternativa, para poder cubrir su constante demanda debido al alto coste y contaminación que producen los actuales sistemas convencionales de distribución y generación de energía eléctrica, ya que algunos usan como fuente de generación recursos no renovables o hidrocarburos, y otros en cambio es muy difícil y costosa su implementación.

Ante esto, ¿será posible la creación o implementación de un sistema eficiente, que logre cumplir con dos propósitos a la vez que son recibir información y suministro de energía útil al mismo tiempo?

### **1.2 Justificación**

Este proyecto resulta necesario e innovativo debido al creciente desarrollo de las tecnologías inalámbricas lo que aumenta las emisiones de radiaciones no ionizantes u ondas radioeléctricas, y supondría un cierto desperdicio de energía al ser emitidas estas

de manera constante por ciertos servicios, a la espera de usuarios que se vinculen a estos.

También resulta necesario ya que cada vez se desea disminuir el número de cables, y algunas veces no se dispone de enchufes para cargar ciertos dispositivos, además sería eficiente tener un sistema que emplee las ondas radioeléctricas como un recurso para recibir información y a la vez utilizarlo para aprovechar esta energía para transformarla en energía eléctrica utilizable, incluso podría ser de ayuda en caso de apagones y en sitios donde exista ausencia del suministro de la red pública.

Es una tecnología que cada vez está más en crecimiento, tal es el ejemplo de grandes empresas como INTEL, que ha desarrollado un sistema para alimentar una pequeña estación meteorológica doméstica, por medio de la energía de radiofrecuencia cosechada del ambiente (Heimbuch, 2009).

### **1.3 Grupo objetivo**

Los beneficiarios serán personas que en algún momento no dispongan de un enchufe o medios alámbricos para cargar las baterías de sus dispositivos, o que también se vean en apuros en caso de apagones. También podría ser un beneficio para reducir el impacto ambiental y el uso de otras fuentes de energía contaminantes. Estudiantes y docentes de la UPS que pueden emplear este trabajo para el desarrollo de futuras investigaciones.

### **1.4 Objetivo General**

Desarrollar un sistema que almacene y transforme de manera eficiente las radiaciones no ionizantes en energía eléctrica utilizable, para pequeños dispositivos eléctricos y electrónicos.



### **1.4.1 Objetivos específicos**

- Analizar el comportamiento de las ondas radiantes y/o radioeléctricas presentes en el entorno para la determinación de las formas de captación.
- Diseñar un sistema de captación de ondas radiantes mediante dispositivos y componentes electrónicos, para su almacenamiento como energía eléctrica.
- Implementar un sistema de captación de ondas radiantes para su aprovechamiento en dispositivos electrónicos o eléctricos.
- Verificar el funcionamiento del sistema mediante pruebas de carga, con diferentes dispositivos para el almacenamiento de energía eléctrica.

## CAPÍTULO 2

### FUNDAMENTO TEÓRICO

#### 2.1 Ondas Radiantes

##### 2.1.1 Definición

Las ondas radiantes son parte de la vida cotidiana del hombre, y aunque pasan desapercibidas y no se las ven o se las siente, a diario se usan dispositivos cuyo funcionamiento se da a partir del concepto de ondas tales como la radio, televisión, controles remotos, equipos de audio, etc. Las ondas también son una parte importante de los servicios y tecnologías como teléfonos celulares, microondas, satélites, radares, Wi-Fi, entre otros. Otro campo que emplea esta clase de ondas es el de la salud (como por ejemplo los rayos x) (YPF, 2018), y surgen más inquietudes al respecto de otras posibles aplicaciones y efectos (Hernandez, 2013).

En la figura 2.1 se observa algunas aplicaciones de las ondas radiantes en la vida cotidiana.

Figura 2.1. Ejemplos del uso de las ondas radiantes



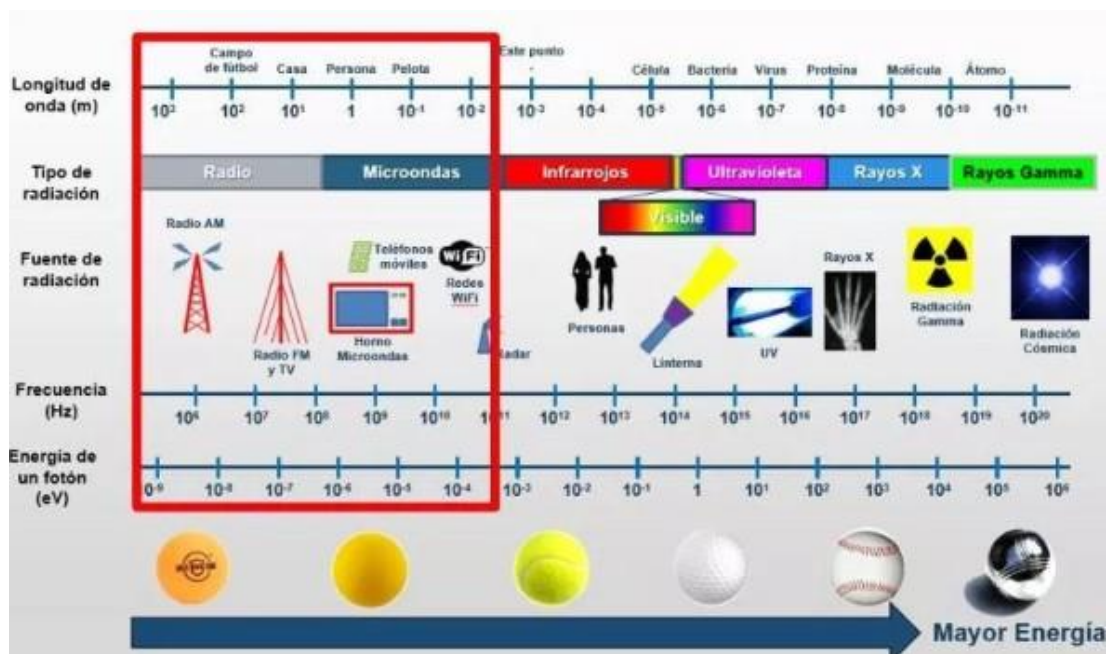
Algunos ejemplos donde es común el uso de ondas radiantes, Fuente: (Bismarks, 2018)

Más concretamente las ondas radiantes son ondas electromagnéticas tales como la luz visible, ondas radioeléctricas o de radio, rayos ultravioletas, rayos infrarrojos, rayos gama, rayos x, etc (Recio, 2018). Se transmiten a través de una partícula elemental

llamada fotón. Además, este tipo de ondas pueden propagarse por el vacío, sin necesidad de un medio material (Elena, 2017).

En la figura 2.2 se observa una descripción del espectro electromagnético, donde se indica el tipo de radiación en un determinado rango de longitudes de onda y frecuencias, algunas fuentes de radiación y la energía en electrón voltios para todas estas radiaciones.

Figura 2.2. Espectro Electromagnético



Descripción del espectro electromagnético, Fuente: (Nájera, 2018)

### 2.1.2. Fuentes de propagación de Ondas Radioeléctricas

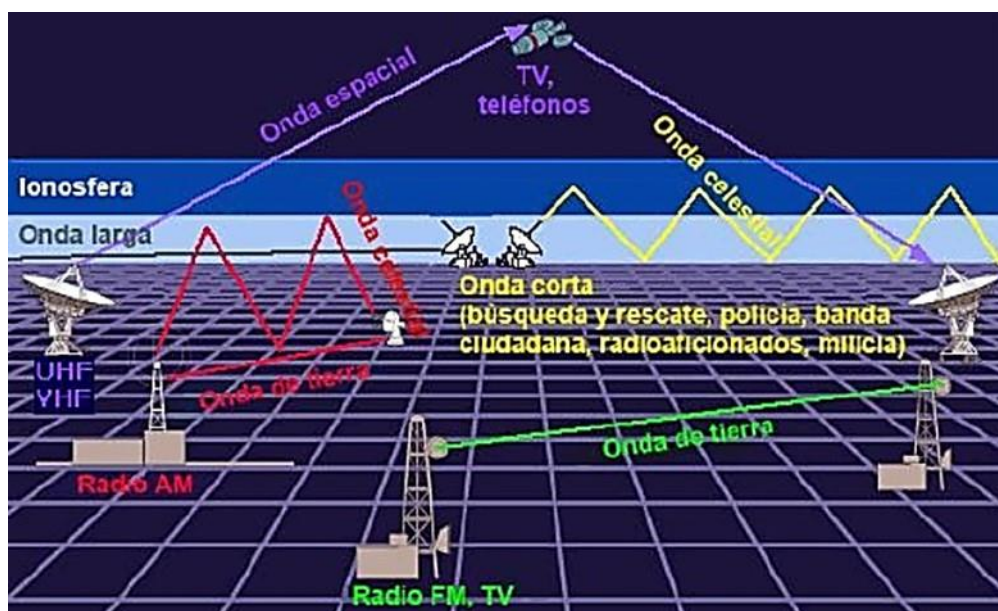
Las ondas radioeléctricas pueden ser generadas de manera natural y artificial. De manera natural se generan por relámpagos, y cuerpos celestes. De manera artificial la generan dispositivos creados por el ser humano.

En cuanto a las ondas radioeléctricas generadas de manera artificial, muchas se usan en comunicaciones, como, por ejemplo, transmisiones de televisión, así también

radiodifusión AM y FM, comunicaciones militares, telefonía celular, radioaficionados, WI-FI, comunicaciones satelitales, entre otros. En otro tipo de aplicaciones, las ondas radioeléctricas también son generadas por hornos microondas (Rusell, 2005).

En la figura 2.3 se muestran algunos ejemplos de las aplicaciones más comunes de las ondas radioeléctricas en las telecomunicaciones.

Figura 2.3. Emisión de ondas radioeléctricas



Algunos ejemplos donde se observa la emisión de ondas radioeléctricas, para telecomunicaciones, Fuente: (Ecured, 2018)

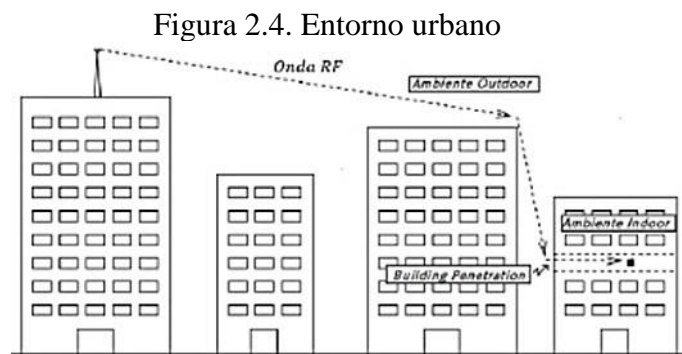
### 2.1.2.1 Ondas Radioeléctricas en el entorno humano

Una vez que se ha definido el tipo de fuentes que generan ondas radioeléctricas de manera artificial, es importante describir cuales se encuentran con mayor frecuencia alrededor del entorno humano, considerando un entorno urbano y rural para este fin. En el entorno urbano se emplean la mayoría de las tecnologías inalámbricas conocidas, para internet, telefonía, radiodifusión y TV, por lo cual en el ambiente urbano hay una gran variedad de señales u ondas electromagnéticas provenientes de este tipo de servicios (ITU, 2018). En el entorno rural, las tecnologías inalámbricas disponibles son pocas, pero llegan a abarcar grandes áreas de cobertura (Ibarz, 2007).

### 2.1.2.2 Parámetros por considerar en las Ondas Radioeléctricas

#### - Entornos urbanos

En estos entornos, la distancia entre antena transmisora y receptora son algunos centenares de metros. Se tienen principalmente reflexiones con edificios, construcciones y vehículos, en donde estos pueden alcanzar velocidades de alrededor de 100 Km/h, como por ejemplo los automóviles. Teniendo como resultado ondas radioeléctricas con una atenuación de mayor proporción. En la figura 2.4 se observa un ejemplo de propagación de ondas de radiofrecuencia en un entorno rodeado de edificios, muy común en zonas urbanas.



Propagación de ondas en el entorno urbano, Fuente: (Caballero, Castillo, Castro, & López, 2018)

En la tabla 2.1 se indica los tipos de celdas para el entorno urbano y los parámetros de la antena de la estación base, para una fuente emisora de telefonía móvil:

Tabla 2.1. Tipos de células en el entorno urbano

Tipo de célula	Radio de la célula	Posición típica de la antena en la estación base
Pequeña macrocélula	0,5 a 3 km	Exteriores, montada por encima del nivel máximo de los tejados, las alturas de los edificios circundantes pueden ser superiores a la de la antena de la estación base.
Microcélula	100 a 500 m	Exteriores, montada por debajo del nivel medio de los tejados.
Picocélula	Hasta 100 m	Interiores o exteriores (montada por debajo del nivel máximo de los tejados).

Descripción de las células presentes en el entorno urbano, Fuente: (Ibarz, 2007)

En las zonas urbanas se usan generalmente todas las tecnologías inalámbricas conocidas tales como (Valencia, 2018):

- Sistemas de comunicaciones móviles
- Televisión
- Sistemas de comunicación por satélite
- Radares meteorológicos
- Radares militares
- Navegación y control aeronáutico
- Sistemas de peaje
- Wi-Fi
- Sistemas de transporte inteligentes
- Alarmas de bebé
- Radio AM y FM
- Walkie-talkies
- Radares de vehículos
- Wireless para automatización industrial
- Bluetooth
- Radio navegación (GPS y otros)
- Implantes médicos (marcapasos, audífonos)
- Comunicaciones marítimas
- Drones
- Alarmas
- Entre otros.

En la tabla 2.2, se detallarán parámetros de algunas de estas tecnologías:

Tabla 2.2. Parámetros de tecnologías inalámbricas en zonas urbanas

Fuente de Propagación	Potencia de Tx	Umbral de Recepción (Sensibilidad)	Frecuencias
Radio AM	250 a 100000 W	50 uV	535 a 1605 kHz
Radio FM	1 a 5000 W	0,2 a 0,3 uV	88 a 108 MHz
Televisión	Baja potencia: menor a 500 W, Media potencia: entre 500 W y 10 kW, Alta potencia: mayor a 10 kW.	1 mV	VHF: 54 a 88 MHz, 174 a 216 MHz.  UHF: 470 a 806 MHz. (Continente Americano)
Telefonía GSM	Estaciones móviles: 0,8 a 8 W. Estaciones base: 2,5 a 640 W	-110 a -48 dBm	850 y 1900 MHz (Ecuador)

Algunos parámetros de tecnologías empleadas en entornos urbanos, Elaborado por: Juan Flores

#### - Entornos rurales

En las zonas rurales se tiene las siguientes características (Ibarz, 2007):

- Baja densidad de edificios
- Pequeñas casas rodeadas de amplios jardines
- Influencia de la atura del terreno
- Posibilidad de vegetación densa o ligera
- Tráfico motorizado ocasionalmente elevado

Además, la distancia entre la antena transmisora y receptora es de hasta algunas decenas de kilómetros. Los terminales móviles pueden alcanzar velocidades de hasta 300 Km/h. (como en el caso de los aviones). En estos entornos las ondas radioeléctricas tienen una atenuación de menor proporción (Caballero, Castillo, Castro, & López, 2018). Un ejemplo de tecnología inalámbrica empleada en entornos rurales podría ser la satelital, como se observa en la figura 2.5.

Figura 2.5. Entorno rural

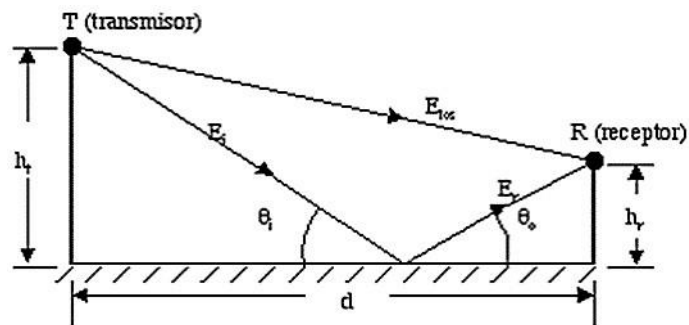


Tecnología Satelital en el entorno rural, Fuente: (Caballero, Castillo, Castro, & López, 2018)

De acuerdo con el modelo de propagación en el espacio libre, para estos entornos puede existir una clara línea de vista entre el transmisor y receptor, un ejemplo de esto serían los sistemas de comunicación satelital y los enlaces de microondas, donde la potencia recibida decae con la distancia entre transmisor y receptor.

Por otra parte, según el modelo de dos rayos, además de una transmisión directa, existe una componente de propagación reflejada en la tierra entre el transmisor y receptor, como se observa en la figura 2.6. Un ejemplo de esto sería el de las antenas celulares que deben tener una altura mínima de 50 metros, y separación entre celdas de unas decenas de kilómetros.

Figura 2.6. Modelo de dos rayos



Parámetros básicos para el modelo de dos rayos, Fuente: (Treviño, 2003)



Además, en las zonas rurales el tipo de células que se tiene son las hiper células, las mismas que tienen un radio de cobertura de entre 30 y 100 km (García, 2016).

En las zonas rurales hay menos recursos tecnológicos que en las zonas urbanas, pero si hay cierta tecnología inalámbrica en uso (algunas de las ya usadas en zonas urbanas), y además se plantean soluciones que ya se están llevando a cabo para lograr comunicar esta clase de zonas con otras, entre estas tecnologías inalámbricas se tiene (Mahecha, 2011) :

- Wi-Fi de largo alcance
- VHF
- HF
- WiMAX
- Conexión satelital

A continuación, en la tabla 2.3 se observan parámetros para algunas tecnologías inalámbricas empleadas en zonas rurales:

Tabla 2.3. Parámetros para tecnologías en zonas rurales

Fuente de propagación	Potencia de Tx	Umbral de Recepción	Frecuencias
Wi-Fi de largo alcance	100 a 200 W	-65 a -75 dBm	2,4 y 5 GHz
VHF	20 a 45 W	0,22 a 0,5 uV (valores de algunos equipos)	136 a 176 MHz
HF	100 a 150 W	0,22 a 0,5 uV (valores de algunos equipos)	1,5 a 30 MHz
WiMAX	24 dBm	-89 a -71 dBm, -92 a -74 dBm	10 a 66 GHz, 2 a 11 GHz, 2 a 6 GHz.

Algunos parámetros de tecnologías empleadas y próximas a emplearse en entornos rurales, Elaborado por: Juan Flores

### ***2.1.2.3 Las Ondas Radioeléctricas residuales***

De lo descrito anteriormente se puede apreciar que existen innumerables fuentes de generación de ondas EM que no serán receptadas en su totalidad dejando ondas residuales y remanentes en el ambiente (Tecnología, 2018).

Por lo tanto, se entiende por ondas electromagnéticas residuales o remantes a la energía electromagnética presente alrededor (y que algunas veces no se las está usando por un largo tiempo), producida principalmente por acción del hombre, proveniente de dispositivos y servicios de comunicaciones inalámbricas, aparatos y electrodomésticos. Todo esto genera una especie de contaminación denominada “electrosmog” (Alama, 2017).

## **2.2. Sistemas de transmisión – Recepción de ondas Radioeléctricas**

### **2.2.1. Dispositivos involucrados en la transmisión y recepción de Ondas radioeléctricas**

Las ondas radioeléctricas son empleadas para transportar información, por medio de una modulación sistemática de sus propiedades, como amplitud, frecuencia, fase o ancho de pulso. Por tanto, los sistemas de radio necesitan un transmisor que module o cambie alguna propiedad de la energía radiante que este emite, y de esta manera poder insertar una señal. Es necesaria también una antena, la misma que convierte la energía eléctrica en ondas radioeléctricas o viceversa, con lo cual las antenas pueden usarse para transmitir y/o recibir información.

En síntesis, en un sistema de radiocomunicación se necesita un transmisor y receptor, con una antena cada uno y equipo terminal adecuado, como por ejemplo en la comunicación por voz un micrófono para el transmisor y altavoz para el receptor. Pero a continuación se explicará todo el proceso y todo lo involucrado en una radiocomunicación.

### 2.2.1.1 Transmisor y modulación

Este contiene una fuente de energía eléctrica, la misma que sirve para producir corriente alterna que oscila a una cierta frecuencia solicitada. Además, el transmisor posee un sistema de modulación, el mismo que cambia alguna propiedad de la energía producida, y así poder insertar una cierta señal o información.

La modulación por ejemplo puede consistir en algo tan simple como prender o apagar la energía o alterar propiedades, tales como amplitud, frecuencia, fase, o combinaciones de estas. La información modulada se envía a una antena resonante sintonizada, la misma que convierte la energía eléctrica alterna en una onda electromagnética, que se propagará por el espacio (Mendez, 2018). A continuación, en la figura 2.7 se puede observar el esquema de un emisor básico AM, del cual se parte para poder entender cómo funcionan todos los demás sistemas de transmisión en radiocomunicaciones:

Figura 2.7 Transmisor básico

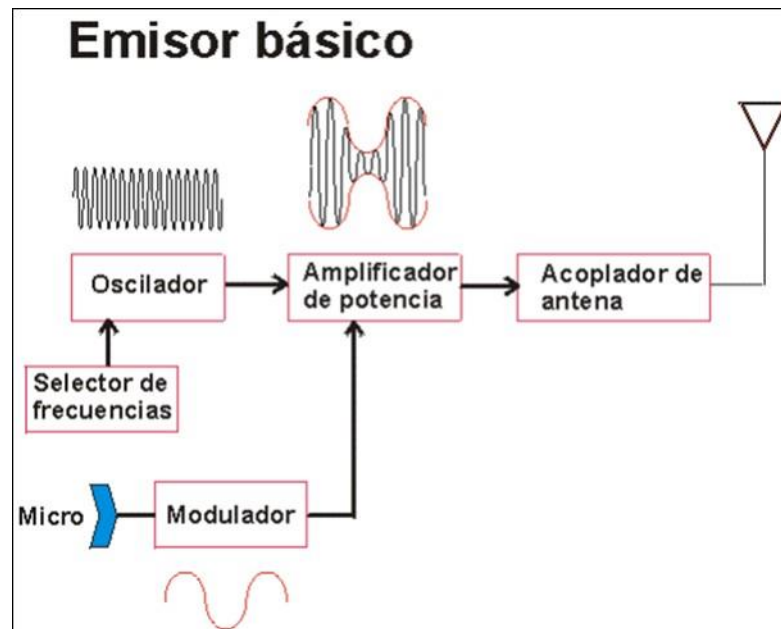


Diagrama de bloques de un emisor o transmisor básico, Fuente: (Suay, 2002)

De lo anterior, se empezará explicando el funcionamiento del oscilador, el cual genera una onda portadora de una frecuencia solicitada, mediante un selector de frecuencias. En este caso la información a transmitir es la voz, la misma que es capturada por un micrófono y enviada a un modulador.

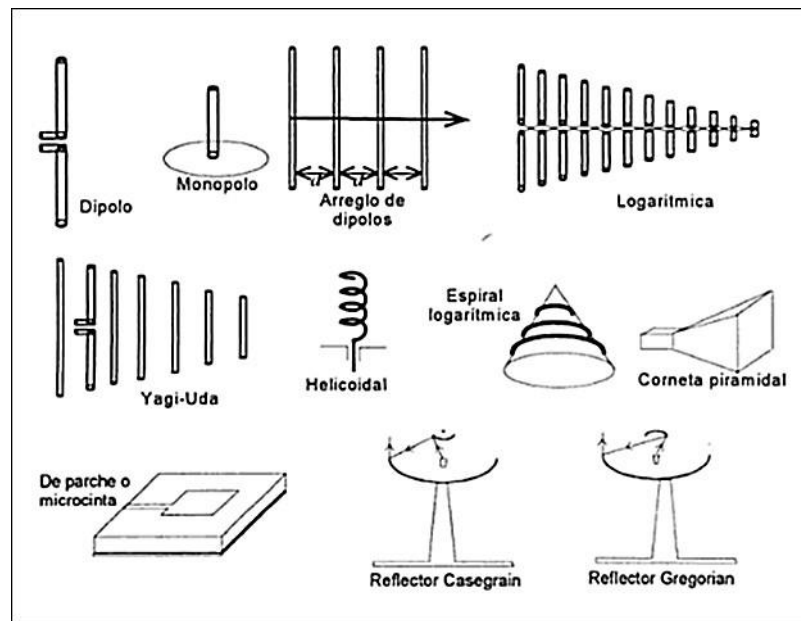
La señal del modulador es enviada a un amplificador de potencia junto con la onda portadora, donde se obtiene una señal modulada y se eleva la tensión e intensidad de esta, para posteriormente circular a la antena, y transformarla en una onda electromagnética.

Finalmente, el acoplador de antena es el circuito que se encarga de equiparar las magnitudes eléctricas a las físicas de la antena.

### ***2.2.1.2 Antena***

La antena es la conexión entre el transmisor y el medio de propagación. Recibe la señal portadora del transmisor, con lo cual se produce variaciones de voltaje y corriente a lo largo de ella, y así producir también la onda electromagnética a propagarse. Cabe destacar que la longitud de la antena debe ser un submúltiplo de la longitud de onda a transmitir, para de esta forma entrar en resonancia con el emisor y la transmisión sea posible. La antena también sirve de interfaz entre el medio de propagación y el receptor (Suay, 2002). A continuación, en la figura 2.8 se puede observar algunos tipos de antenas:

Figura 2.8. Diferentes tipos de antenas



Algunos ejemplos de antenas, Fuente: (Alonso, 2015)

### 2.2.1.3 Receptor y demodulación

Las ondas electromagnéticas son interceptadas en el receptor por una antena sintonizada. Se sintoniza el receptor para responder principalmente a las señales deseadas y rechazar señales no deseadas, por medio de un selector es posible sintonizar solo la frecuencia deseada y se envían las demás a tierra (Mendez, 2018). La señal proveniente del selector pasa a un amplificador, para luego pasar por un circuito detector o demodulador, el mismo que sirve para extraer la información de la portadora. En el caso de la radio AM la información extraída es voz o sonido que pasa a ser escuchada en un altavoz (Suay, 2002). En la figura 2.9 se puede observar un diagrama de bloques, donde se indican las partes de un receptor básico, en este caso para radio AM.

Figura 2.9. Receptor básico

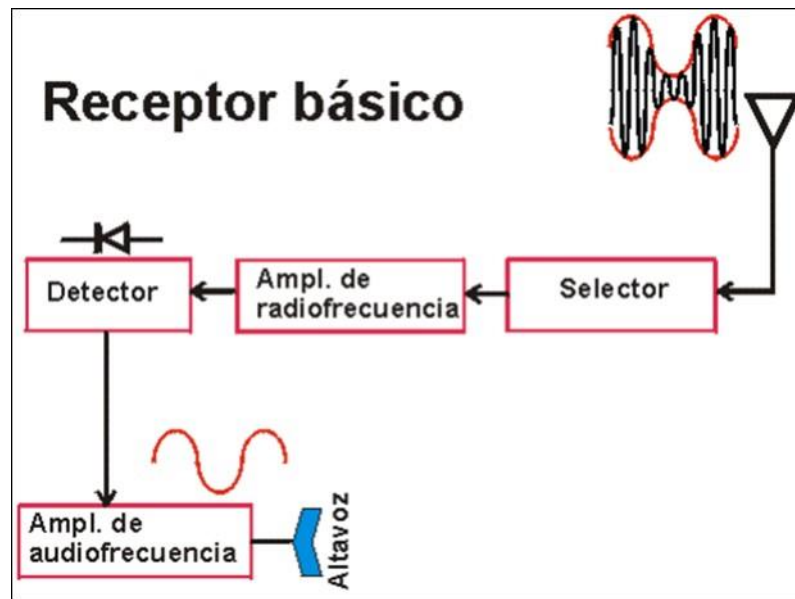


Diagrama de bloques de un receptor básico, Fuente: (Suay, 2002)

### 2.2.2. Formas de recepción y captación de ondas Radioeléctricas

Básicamente las ondas radioeléctricas son captadas para extraer la información, que estas llevan cifrada o modulada (como se explicó anteriormente), pero actualmente se está empezando a explotar otras aplicaciones, que es la de captar energía de estas ondas para alimentar, microcontroladores, sensores inalámbricos usados en la industria química, seguridad y vigilancia, identificación RFID, lo que más llama la atención es que esta energía captada se la puede transformar de AC a DC para almacenarla en capacitores o baterías de bajo consumo, de forma muy similar a como lo hacen las celdas solares (Paciente, 2011).

En la figura 2.10, se muestra un diagrama de bloques básico, que indica el mecanismo de almacenamiento de la energía de las ondas de radiofrecuencia.

Figura 2.10. Almacenamiento de energía RF

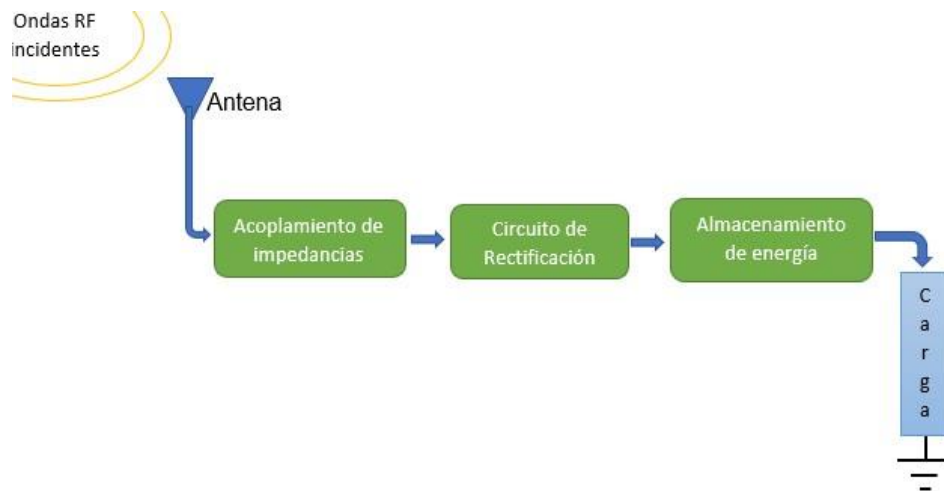


Diagrama de bloques de un sistema para captación y almacenamiento de energía RF, Elaborado por: Juan Flores

En primer lugar se observa la antena receptora, donde llegan las ondas RF incidentes, después se vincula a un circuito de acoplamiento de impedancias, pasa por circuito de rectificación, hasta aquí el principio de recepción de las ondas es esencialmente el mismo a como se lo explicaba antes para las radiocomunicaciones, después de rectificar la onda, se procede a almacenar la energía de la misma en algún dispositivo tales como capacitores o baterías, finalmente esta energía almacenada es consumida para alimentar algún otro dispositivo que requiera este nivel de energía eléctrica para funcionar (Takhedmit, Saddi, Karami, Basset, & Cirio, 2018).

A continuación, se explicarán más detalladamente las partes del diagrama de bloques de la figura 2.10, lo que servirá para el diseño de los prototipos de este proyecto.

### 2.2.3 Módulo de captación y antena

Se emplean diferentes módulos de captación de acuerdo con las antenas que se utilice para cada prototipo. Este módulo es el encargado de recibir las ondas radioeléctricas residuales del ambiente e introducirlas a todo el sistema.

### 2.2.4 Circuito de acoplamiento

Para el diseño del circuito de acoplamiento, se planifica crear un circuito tanque tipo RLC en paralelo (filtro pasa bandas de segundo orden), con el fin de poder lograr la resonancia y obtener la máxima transferencia de potencia desde la fuente hacia la carga, a una determinada frecuencia que es seleccionada de acuerdo con los componentes tales como capacitores y bobinas, propios de este circuito tanque.

De acuerdo con la ecuación 2.1, la frecuencia de resonancia en radianes sobre segundo se expresa:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \text{ [rad/s]} \quad \text{Ec. (2.1)}$$

Como  $\omega_0 = 2\pi f_0$  la ecuación 2.2 resultante queda

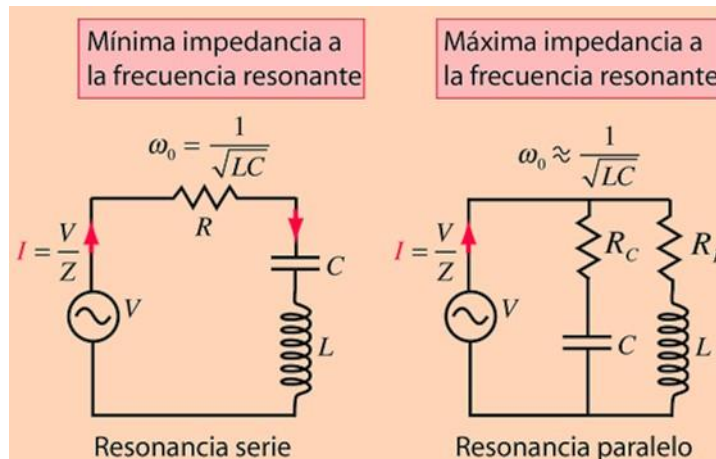
$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \text{ [Hz]} \quad \text{Ec. (2.2)}$$

Donde  $f_0$  es la frecuencia de resonancia expresada en Hertz, L y C corresponden a la inductancia de la bobina y capacitancia del capacitor que forman parte del circuito RLC (Pirela & González, 2013).

En la figura 2.11 se puede observar la configuración típica de un circuito RLC en serie y en paralelo.



Figura 2.11 Circuitos tanque RLC



Dos tipos de circuitos de acoplamiento RLC, uno en serie y el otro en paralelo, Fuente: (Nave, 2018)

De la figura anterior cabe destacar que en la resonancia para el circuito en serie se tiene una mínima impedancia, en cambio para el circuito en paralelo se logra una máxima impedancia.

El factor Q del circuito tanque, o también llamado factor de calidad, es aquel que mide la relación entre la energía máxima almacenada o pico, y la energía disipada por cada ciclo de oscilación. De acuerdo con la ecuación 2.3 el factor Q queda expresado:

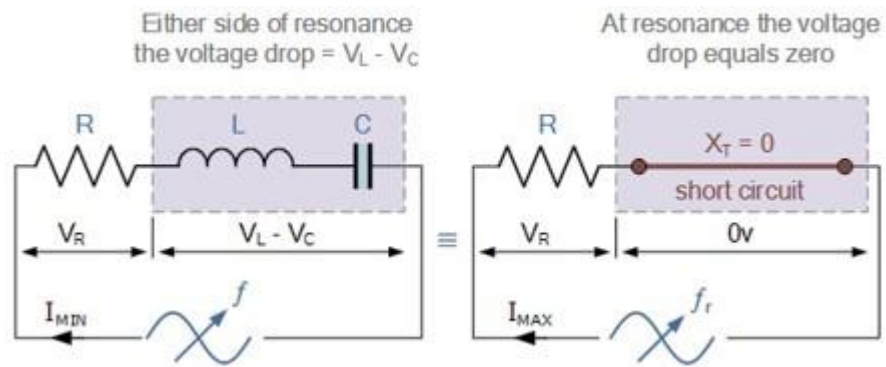
$$Q = \frac{2\pi \text{ Energía máxima almacenada por ciclo}}{\text{Energía disipada por ciclo}} \quad \text{Ec. (2.3)}$$

Se puede definir también como la raíz cuadrada de la relación entre la inductancia de la bobina y la capacitancia del circuito tanque multiplicado por el inverso de la resistencia tal como se observa en la ecuación 2.4 (Pirela & González, 2013):

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad \text{Ec. (2.4)}$$

En la figura 2.12 se puede observar el comportamiento típico de los componentes que definen el factor de calidad de un circuito RLC serie a la frecuencia de resonancia.

Figura 2.12 Circuito RLC serie



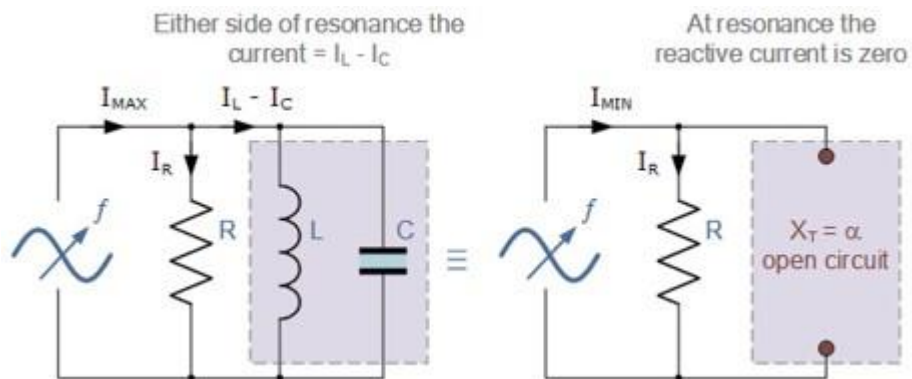
Se observa el comportamiento de un circuito RLC serie en la frecuencia de resonancia, Fuente: (Básica, 2016)

Para un circuito RLC en paralelo, en la ecuación 2.5 el factor Q queda expresado de la siguiente forma (Básica, 2016):

$$Q = R \sqrt{\frac{C}{L}} \quad \text{Ec. (2.5)}$$

En la figura 2.13 se puede observar el comportamiento típico de los tres componentes que definen el factor de calidad de un circuito RLC paralelo, a la frecuencia de resonancia.

Figura 2.13 Circuito tanque RLC paralelo



Se observa el comportamiento de un circuito RLC paralelo en la frecuencia de resonancia, Fuente: (Básica, 2016)

Con todo esto, la diferencia radica en que para un circuito RLC en serie se necesita una impedancia mínima R, en cambio para un circuito en paralelo se necesita que R sea la máxima posible (si es mínima será como un cortocircuito).

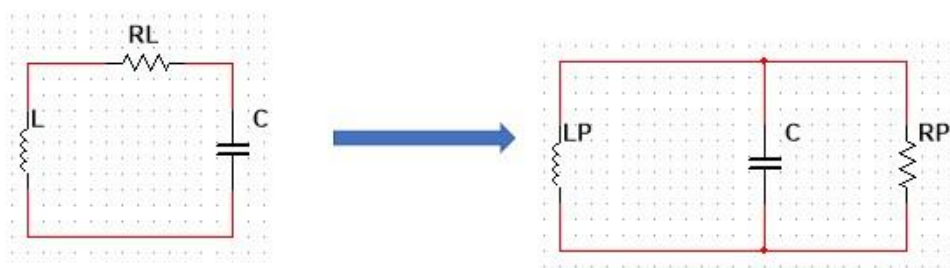
También se considera el factor de calidad de la bobina del circuito tanque, ya que en la práctica el alambre con el que está construida una bobina presenta una cierta componente resistiva, y mientras más pequeña es esta, la bobina tendrá un comportamiento muy similar a una bobina ideal, por tanto, el factor de calidad de la bobina es el cociente entre la reactancia y la resistencia, y se expresa mediante la ecuación 2.6:

$$Q = \frac{X_L}{R_L} = \frac{\omega_0 L}{R_L} = \frac{2\pi f L}{R_L} \quad \text{Ec. (2.6)}$$

Mientras mayor es Q, se tiene una mejor calidad de la bobina, por lo tanto, se desea una relación de alta XL y baja RL (Wikiradioamateur, 2019).

Además, hay que tomar en cuenta que debido a la componente resistiva que posee la bobina, en la práctica se puede obtener un circuito RLC equivalente como el de la figura 2.14:

Figura 2.14 Circuito tanque RLC equivalente



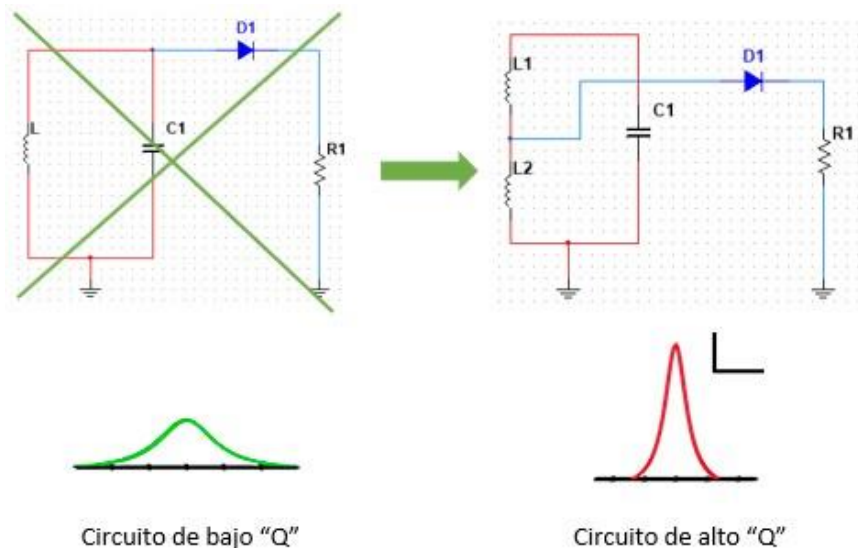
Se obtiene otro circuito equivalente RLC debido a la componente resistiva RL de la bobina, la componente resistiva del capacitor es despreciable, Elaborado por: Juan Flores

Con lo cual el circuito equivalente pasa a ser un circuito con todos los elementos en paralelo, donde por la misma razón de encontrarse todos los componentes en paralelo la impedancia total del circuito  $Z_c$  es igual a  $R_p$  (De la Cerda, 2010), por tanto:

$$|Z_c| = R_p = R = \frac{L}{C R_L} [\Omega] \quad \text{Ec. (2.7)}$$

También cabe destacar que para evitar un amortiguamiento del circuito tanque, o en otras palabras que el factor de calidad no disminuya, será necesario que el circuito posea una toma intermedia (Radioelectrónica.es, 2015), concretamente en la bobina, ya que de esta forma la impedancia tomada del circuito será menor, y por el contrario si se utilizan los dos terminales del capacitor como salida del circuito tanque, se estará obteniendo una impedancia muy grande y al conectar más elementos en paralelo a esta salida de impedancia  $R_p$  o  $Z_c$ , se obtiene una impedancia equivalente cada vez menor (atenuando el factor  $Q$ , véase ecuación 2.5), por lo cual se procurará que la toma intermedia sea de una impedancia similar o menor a la impedancia de entrada del circuito aledaño al circuito tanque, como se observa en la figura 2.15.

Figura 2.15 Toma intermedia de la bobina

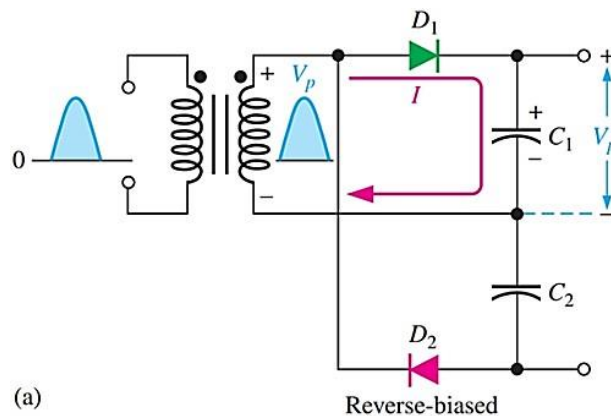


Se considera obtener la señal del circuito tanque a través de una toma intermedia para no amortiguar demasiado el  $Q$  del circuito, Elaborado por: Juan Flores

### 2.2.5 Circuito de rectificación

Para el circuito de rectificación primeramente se considera una configuración con dos diodos detectores, formando así un circuito duplicador de voltaje de onda completa, los diodos detectores a emplearse son de germanio o diodos Schottky, los primeros trabajan mejor solo en frecuencias de emisoras AM y FM, los otros trabajan también en el resto de las frecuencias VHF y UHF. Todos los diodos antes mencionados son diferentes a los diodos convencionales de silicio, ya que su voltaje umbral está entre 0,2 y 0,4 voltios (voltaje en el que empiezan a conducir en polarización directa), mientras que el voltaje umbral o de barrera en los diodos normales es de 0,7 voltios, siendo los diodos de germanio y Schottky los que mejor funcionan como detectores y rectificadores de señal. En el anexo 1 se observan las curvas características de todos estos diodos y da a entender mejor su desempeño. Para entender el funcionamiento del circuito de rectificación se empieza explicando el funcionamiento de un circuito doblador o duplicador de tensión de onda completa. El circuito duplicador de voltaje de onda completa funciona de manera similar a un rectificador de media onda que emplea un solo diodo, ya que cada uno de los dos diodos conduce la señal durante un determinado semiciclo, el primer diodo conducirá solo durante el semiciclo positivo de la señal y el segundo durante el semiciclo negativo de la señal. Sin embargo, es la configuración del circuito la que hace que toda la señal ya sea positiva o negativa, sea rectificada, algo similar a un puente rectificador de onda completa, esta señal rectificada es filtrada por dos capacitores puestos en serie. En la figura 2.16 se observa la operación del circuito durante el semiciclo positivo de la señal a rectificar.

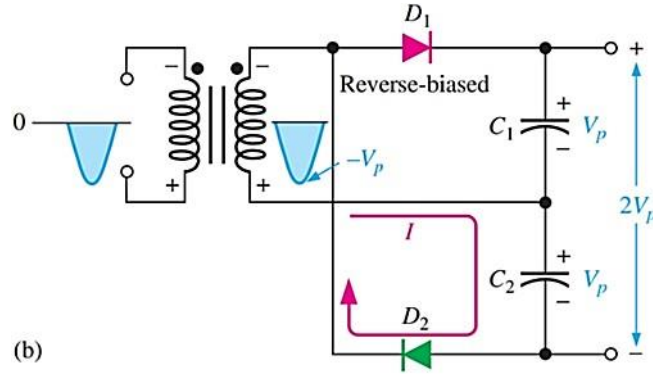
Figura 2.16 Rectificación durante el semiciclo positivo



Funcionamiento del circuito doblador de voltaje de onda completa durante la rectificación del semiciclo positivo de la onda senoidal, Fuente: (Costa, 2019)

En la figura 2.17 se observa lo ocurrido en el semiciclo negativo de la señal senoidal.

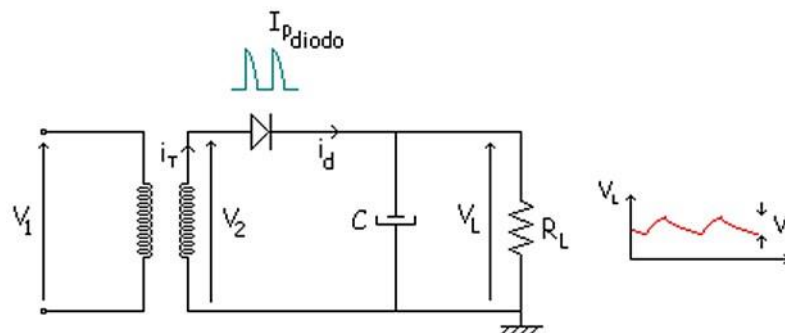
Figura 2.17 Rectificación durante el semiciclo negativo



Funcionamiento del circuito doblador de voltaje de onda completa durante la rectificación del semiciclo negativo de la onda senoidal, Fuente: (Costa, 2019)

Ahora se procede a calcular la parte del filtrado de la señal rectificada, para lo cual se deberá emplear un condensador adecuado para lograr tener una señal continua más pura. El tipo de rectificador a basarse es uno de media onda con filtro capacitivo como se observa en la figura 2.18, ya que esto equivale a tener un rectificador de media onda en cada semiciclo de la señal a rectificar.

Figura 2.18 Rectificador de media onda con filtro capacitivo



Circuito característico de un rectificador de media onda junto con filtro capacitivo y resistencia de carga, Fuente: (Olea, 2019)

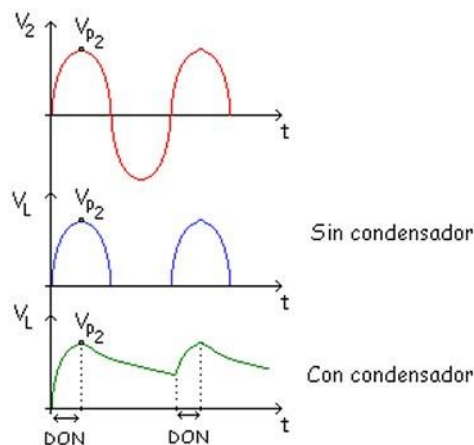
Hay que tomar en cuenta cómo afecta la frecuencia de la fuente a la impedancia del capacitor, lo cual se observa en la ecuación 2.8 (Olea, 2019).

$$Z = \frac{1}{j2\pi fC} \quad \text{Ec. (2.8)}$$

Por tanto, para más altas frecuencias la impedancia del capacitor decrece, y para bajas frecuencias esta aumenta. Lo mismo ocurre si varía la capacitancia, pero al utilizar un condensador de alta capacitancia se reduce el rizado, y se demora más tiempo en descargarse.

En la figura 2.19 se observan tres formas de onda características, la señal en rojo corresponde a la señal en alterna o senoidal de la fuente, la señal en azul es la señal rectificadora que cae sobre la carga sin pasar por ningún filtro, y la señal de color verde es la que se obtiene en la carga una vez que se ha colocado un capacitor como filtro.

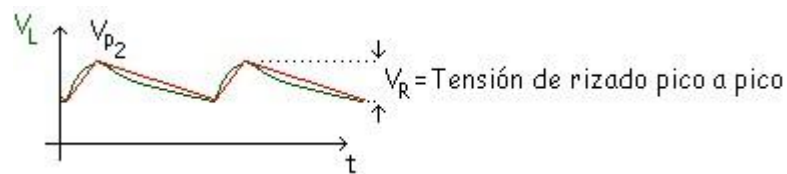
Figura 2.19 Señales del rectificador de media onda con y sin filtro capacitivo



Tres tipos de señales propias de un rectificador de media onda, Fuente: (Olea, 2019)

Se realiza una aproximación a la gráfica de la señal obtenida con filtro por condensador, esto se puede observar en la figura 2.20.

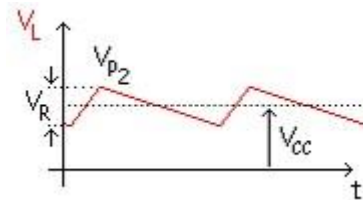
Figura 2.20 Señal obtenida en el capacitor del filtro



Se observa una señal en verde propia del condensador, y la señal en rojo es una aproximación lineal de la señal del condensador, Fuente: (Olea, 2019)

Para más facilidad se desea visualizar solamente la aproximación lineal, como se observa en la figura 2.21.

Figura 2.21 Aproximación lineal de la señal en el capacitor



Se visualiza solo la aproximación lineal de la señal del filtro, junto con los parámetros de voltaje de rizado VR, voltaje pico Vp2 y voltaje en continua Vcc, Fuente: (Olea, 2019)

El voltaje Vcc o de voltaje DC se expresa mediante la ecuación 2.9:

$$V_{CC} = V_{p2} - \frac{V_R}{2} \quad \text{Ec. (2.9)}$$

El valor del voltaje rizado se calcula mediante la ecuación 2.10 (Olea, 2019):

$$V_R = \frac{I_{CCL}}{fC} = \frac{V_{p2}}{fCR} \quad \text{Ec. (2.10)}$$

Y el factor de rizo se calcula con la ecuación 2.11:

$$\%r = \left( \frac{V_R}{V_{CC}} \right) \times 100\% \quad \text{Ec. (2.11)}$$



Aclarando también que para un rectificador de onda completa la frecuencia es el doble de la frecuencia de un rectificador de media onda por lo cual la ecuación 2.12 expresa el voltaje de rizado (Restrepo, 2015):

$$V_R = \frac{V_{p2}}{2fCR} \quad \text{Ec. (2.12)}$$

### **2.2.6 Módulo de almacenamiento**

En este módulo se emplean super capacitores o baterías de bajo consumo, también posee un sistema de elevación de voltaje y carga, todo esto con el objetivo de almacenar la energía y poder reutilizarla en la carga de baterías de pequeños dispositivos electrónicos.

### **2.2.7 Tierra**

Consta de un terminal libre para conectar el tipo de tierra que se necesite para cada prototipo. Da la referencia a las señales captadas permitiendo su reutilización.

### **CAPÍTULO 3**

## **DISEÑO DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE ONDAS RADIANTES RESIDUALES**

### **3.1. Parámetros de recepción de las ondas radioeléctricas residuales**

En el capítulo anterior se establecieron parámetros de ondas radioeléctricas de acuerdo con el entorno ya sea urbano o rural, para diferentes tipos de tecnologías empleadas en los mismos, la calidad de recepción mucho depende de las características del terreno y de los obstáculos entre el transmisor y receptor, así como también de la distancia entre los mismos, todo esto difiere en estos dos tipos de entornos. Pero en concreto los parámetros descritos en las tablas 2.2 y 2.3, sirven para poder entender de manera más general en qué condiciones va a funcionar el prototipo de almacenamiento de energía RF a construir, y con lo cual se procede a realizar un diagrama de bloques y el diseño correspondiente del mismo. El sistema o los próximos sistemas para implementar (de darse el caso) captarán un rango de frecuencias entre los 535 kHz hasta aproximadamente los 108 MHz, según la tabla 2.2 se tratan de emisiones analógicas en modulación AM y FM, se decide tomar estas frecuencias debido a su facilidad de detección al ser señales de audio y porque los transmisores son de altas potencias, lo que las vuelve señales muy abundantes. Se escoge AM y FM también por la facilidad del diseño de los circuitos de acoplamiento ya que para frecuencias más altas se requiere trabajar con circuitos de antenas microstrip y stub, lo que lleva a un análisis más complejo.

A continuación, se detallará los parámetros para las tecnologías empleadas en entornos urbanos y rurales.

#### **3.1.1 Tecnologías empleadas en entornos urbanos**

Algunas de estas tecnologías, como las que se explicarán a continuación, también son empleadas en entornos rurales:

- La radio AM opera con transmisores de 250 a 100000 watts, en el receptor se necesita una sensibilidad de 50 microvoltios, las frecuencias van de 535 a 1605 kHz.
- Para FM se tiene potencias de 1 a 5000 watts para transmisión, sensibilidad de 0,2 a 0,3 microvoltios, y frecuencias desde 88 a 108 MHz.
- Para televisión la potencia de transmisión va desde los 500 watts a 10 kilowatts, la sensibilidad de receptor es 1 milivoltio y se opera en frecuencias VHF/UHF desde 54 hasta aproximadamente 806 Mega hertzios.
- Para telefonía celular por ejemplo para GSM se tiene potencias de transmisión para estaciones base desde 2,5 a 640 watts, se requiere una sensibilidad de -110 a -48 dBm, y las frecuencias utilizadas son 850 y 1900 MHz.

### **3.1.2 Tecnologías empleadas en entornos rurales**

Estas tecnologías son nuevas para entornos rurales y algunas solo se las ha planificado implementar:

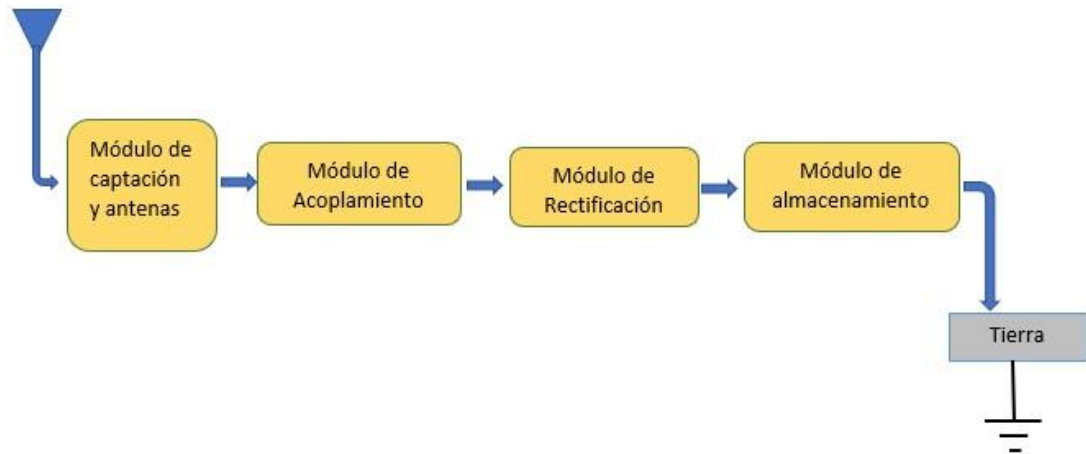
- En el Wi-Fi de largo alcance, se tiene potencias de transmisión de 100 a 200 watts, sensibilidad de receptor o umbral de -65 a 75 dBm, y se usa frecuencias 2,4 a 5 GHz.
- En VHF se tiene potencias de transmisión de 20 a 45 watts, umbral de 0,22 a 0,5 microvoltios, las frecuencias empleadas van de 136 a 176 MHz.
- En HF se tiene potencias de transmisión de 100 a 150 watts, umbral de 0,22 a 0,5 microvoltios, las frecuencias empleadas van de 1,5 a 30 MHz.
- Para WiMAX se tiene potencias de transmisión de 24 dBm, umbral de recepción de -89 a -71 y de -92 a -74 dBm, las frecuencias empleadas son 10 a 66 GHz, 2 a 11 GHz y de 2 a 6 GHz.

### **3.2. Diagrama de bloques del dispositivo**

Partiendo de un diagrama de bloques se empieza el diseño del sistema de captación de energía RF, se consideran dos prototipos, uno para radiodifusión AM y otro para FM. Cada prototipo consta básicamente de un sistema de captación o antena, circuito de

acoplamiento, circuito de rectificación, y módulo de almacenamiento. El correspondiente diagrama de bloques se observa en la figura 3.1.

Figura 3.1. Sistema de almacenamiento de energía RF



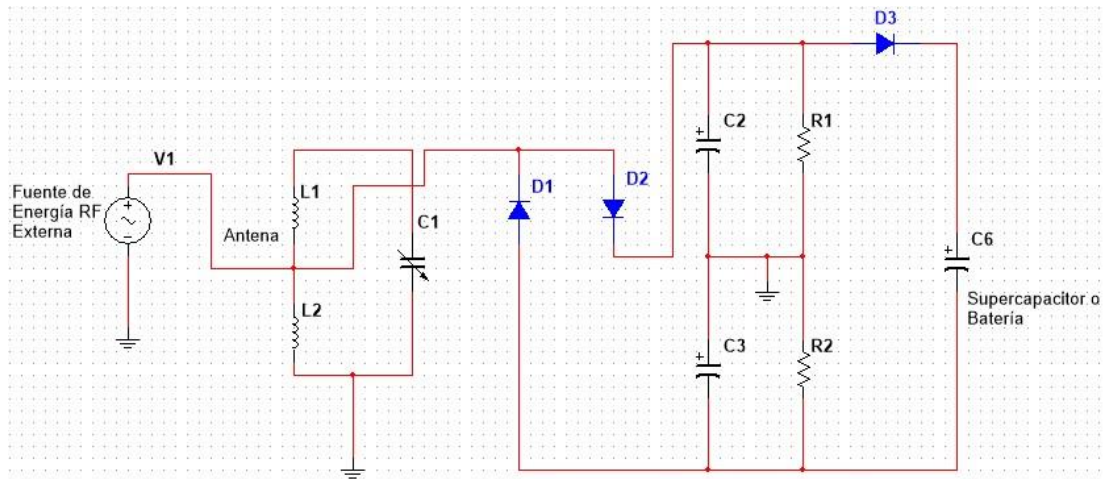
Diseño del diagrama de bloques del sistema para captación y almacenamiento de energía RF, Elaborado por: Juan Flores

### 3.3. Diseño general del sistema

Para el diseño del sistema, se emplean módulos desmontables, de tal manera que es posible cambiar los componentes, y poder utilizar todos los prototipos en una misma plataforma.

El circuito general para todos los prototipos se basa en una antena para el módulo de captación, dos bobinas y un capacitor para el módulo de acoplamiento, diodos de germanio o diodos Schottky se usan en el módulo de rectificación, en el módulo de almacenamiento se usan super capacitores y baterías recargables de bajo consumo, y la tierra varía mucho mientras se van captando frecuencias más altas. El diseño del circuito general se observa en la figura 3.2.

Figura 3.2. Circuito general de los prototipos a implementar



Esquema del diseño del sistema para captación y almacenamiento de energía RF, creado en Multisim, Elaborado por: Juan Flores

De la figura anterior, la fuente sinusoidal V1 representa la señal de radiofrecuencia externa a captarse por la antena misma que forma parte del módulo de captación, L1-L2, C1 forman el circuito de acoplamiento RLC, los diodos D1 y D2 forman parte del módulo de rectificación, C2 y C3 junto con R1 y R2 funcionan como filtros pasa bajas de este módulo, en el módulo de almacenamiento se emplea un diodo de protección D3 para evitar que regrese el voltaje que será almacenado en el super capacitor C6. También se empleará una batería además del capacitor para almacenar la energía.

### 3.3.3 Diseño de los prototipos para almacenamiento de radiofrecuencia

Los prototipos que se tienen planeados implementar son para captación de frecuencias AM y captación de frecuencias FM. Entre los materiales a utilizar están una antena monopolo de 1,5 metros para AM/FM, bobinas radiales de núcleo de ferrita (para AM), bobinas con núcleo de aire (para FM), capacitores variables, diodos Schottky 1N5711, capacitores electrolíticos (100uF), resistencias. Se decide emplear dos capacitores variables, uno reciclado de un radio AM viejo, y otro comprado, los mismos que permiten ir seleccionando una determinada frecuencia a captar, la misma que es la frecuencia de resonancia del circuito RLC. Se toma en cuenta los siguientes datos para el diseño del circuito de acoplamiento tal como se observa en la tabla 3.1:

Tabla 3.1. Datos para el diseño del circuito de acoplamiento de los prototipos AM y FM

	AM	FM
<b>Rango de frecuencias</b>	535-1605 kHz	88-108 MHz
<b>Frecuencia de trabajo</b>	1070 kHz (940)	98 MHz (98.10)
<b>Valor de capacitancia</b>	5 - 68 pF	2,1 - 10pF
<b>Valor de la inductancia de la bobina</b>	1360 uH	338 nH

Algunos parámetros previos que se consideran para el diseño de los circuitos de acoplamiento AM y FM, Elaborado por: Juan Flores

Ahora con la antena disponible, se verifica que esta sea adecuada para captar las frecuencias AM y FM, para lo cual se emplea la ecuación 3.1 para determinar el tamaño de antena que se necesita de acuerdo con las frecuencias centrales de AM y FM, o en base a la longitud de onda.

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad \text{Ec. (3.1)}$$

Siendo  $\lambda$  lambda la longitud de onda,  $f$  la frecuencia, y  $C$  es la velocidad de la luz que es igual  $3 \times 10^8$  metros sobre segundo. Posteriormente en la tabla 3.2 se muestran los resultados de las longitudes de onda calculadas de acuerdo con la frecuencia.

Tabla 3.2. Longitud de onda para las frecuencias AM y FM

	AM	FM
<b>Frecuencia (f)</b>	940 kHz	98.1 MHz
<b>Longitud de onda (<math>\lambda</math>)</b>	319,149 m	3,058 m

Algunos parámetros previos que se consideran para el diseño de los circuitos de acoplamiento AM y FM, Elaborado por: Juan Flores

De la tabla anterior se observa que la longitud de onda para AM es de 319,149 metros, lo que supone un tamaño de antena mucho mayor al de la antena disponible, cuya longitud máxima es de 1,5 metros, para FM en cambio podría ser más adecuado ya que su longitud de onda es 3,058 metros, lo que equivale a aproximadamente el doble de la longitud de la antena disponible. A pesar de que la longitud de onda es muy grande para AM se decide emplear la misma antena de 1,5 metros para captar en AM

y FM, ya que esta antena fue utilizada de manera estándar para un receptor de radio de un auto, que funcionaba en AM y FM.

Regresando al diseño del circuito de acoplamiento del prototipo de AM, se dispone de dos bobinas de 680 uH cada una, se decide ponerlas en serie, obteniendo así una inductancia total de 1360 uH, en base a esto se estima el valor del capacitor variable, se emplea la ecuación 3.2 para verificar que con los valores de inductancia y capacitancia del circuito tanque se pueda sintonizar todo el rango de frecuencias establecido para AM. El valor del factor Q se calcula mediante la ecuación 3.6. El valor de RL o componente resistiva (DCR) de la bobina se lo verifica en el datasheet, mismo que se mostrará en el anexo 2. Zc se calcula empleando la ecuación 3.7. En la tabla 3.2 se observan todos estos valores mencionados y los calculados.

Tabla 3.3. Datos calculados para el diseño del prototipo de AM

	Frecuencia mínima	Frecuencia máxima
<b>Inductancia</b>	1360 uH	1360 uH
<b>Capacitancia</b>	68 pF	5 pF
<b>Valor de la frecuencia calculada</b>	523 kHz	1930 kHz
<b>Valor de RL (DCR)</b>	3,2Ω	3,2 Ω
<b>Valor de Q calculado</b>	1396,6	5153,78
<b>Valor de Zc calculado</b>	6,25 MΩ	85 MΩ

Algunos parámetros observados y calculados para el diseño del circuito de acoplamiento para AM,  
Elaborado por: Juan Flores

Posteriormente, se realiza los cálculos de capacitancia, factor de calidad Q y Zc, empleando una frecuencia promedio o de trabajo, que sería una frecuencia central dentro del intervalo de estaciones AM, los resultados se muestran en la tabla 3.3.

Tabla 3.4. Datos calculados según la frecuencia central de AM

<b>Frecuencia central de AM</b>	940 kHz
<b>Inductancia</b>	1360 uH
<b>Capacitancia calculada</b>	21,078 pF
<b>Valor de RL</b>	3,2 $\Omega$
<b>Valor de Q calculado</b>	2510,13
<b>Valor de Zc</b>	20,16 M $\Omega$

Parámetros calculados para el diseño del circuito de acoplamiento para AM, a partir de la frecuencia central o de trabajo, Elaborado por: Juan Flores

De la tabla 3.4, el valor de Zc se divide entre 2, ya que de esta manera se determina la impedancia de cada una de las bobinas que forman la bobina con toma intermedia, por tanto el valor obtenido es 10,08 mega ohmios, con lo cual este también es el valor de cada una de las resistencias a emplear en el circuito de rectificación, por tanto el valor de cada resistencia es 10 mega ohmios, y debido al diseño del circuito de rectificación, estas se colocan en serie con los diodos detectores, con lo cual se obtiene una impedancia más cercana a los 10,08 mega ohmios o tal vez un poco mayor, dependiendo de la impedancia del diodo. El valor obtenido de las resistencias para el circuito de rectificación se empleará en los cálculos del anexo 4 en base a la simulación de la figura 4.1.

De la misma forma para FM, se escoge un valor de inductancia, este es de 338 nH, pero se emplean dos bobinas de 169 nH, ya que se necesita una toma intermedia en la bobina de manera similar que, en el prototipo de AM de igual manera se verifica el DCR de la bobina en el datasheet, mismo que se muestra en el anexo 3. Y se realizan los correspondientes cálculos para el circuito de acoplamiento de FM, los resultados se muestran en la tabla 3.5:



Tabla 3.5. Datos calculados para el diseño del prototipo de FM

	Frecuencia mínima	Frecuencia máxima
<b>Inductancia</b>	338 nH	338 nH
<b>Capacitancia</b>	10 pF	2,1 pF
<b>Valor de la frecuencia calculada</b>	86,6 MHz	188,9 MHz
<b>Valor de RL (DCR)</b>	0,05 $\Omega$	0,05 $\Omega$
<b>Valor de Q calculado</b>	3678,28	8023,4
<b>Valor de Zc</b>	676000 $\Omega$	3,22 M $\Omega$

Algunos parámetros observados y calculados para el diseño del circuito de acoplamiento para FM, Elaborado por: Juan Flores

De la misma forma se realizan los cálculos empleando una frecuencia central de trabajo para FM, los resultados se muestran en la tabla 3.6.

Tabla 3.6. Datos calculados según la frecuencia central de FM

<b>Frecuencia central de FM</b>	98,1 MHz
<b>Inductancia</b>	338 nH
<b>Capacitancia calculada</b>	7,7873 pF
<b>Valor de RL</b>	0,05 $\Omega$
<b>Valor de Q calculado</b>	4166,73
<b>Valor de Zc</b>	868080 $\Omega$

Parámetros calculados para el diseño del circuito de acoplamiento para FM, a partir de la frecuencia central o de trabajo, Elaborado por: Juan Flores

De la tabla anterior el valor de Zc al igual que en AM se emplea para encontrar la impedancia de las bobinas del circuito tanque, que sería la mitad, lo que da como resultado 434,040 kilo ohmios, con lo cual se encuentra el valor de las resistencias del circuito de rectificación, pero se decide emplear el mismo valor de resistencias del circuito de rectificación en AM, debido a que mientras mayor es el valor de las resistencias puestas en paralelo al circuito tanque, mayor es el valor de la resistencia equivalente en paralelo, y así no se atenúa demasiado el factor de calidad. Y así también en el anexo 5 se emplea el valor de la resistencia para los cálculos del circuito de rectificación en base a la simulación de la figura 4.2.

## CAPÍTULO 4

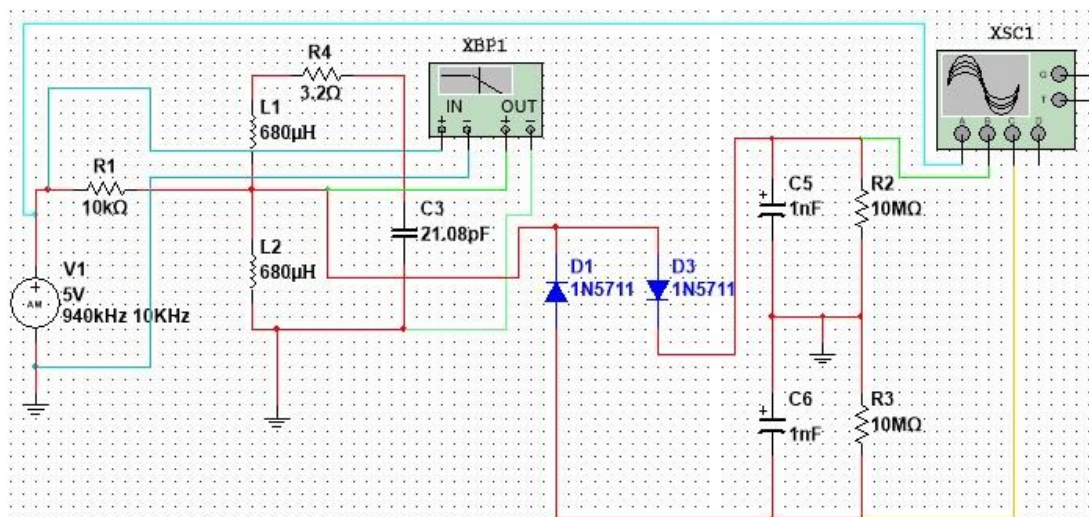
### IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN DE ONDAS RADIANTES RESIDUALES

#### 4.1 Verificación de los prototipos mediante simulación

##### 4.1.1 Prototipo de radiodifusión AM

Antes de la implementación física se procede a verificar mediante simulaciones el correcto funcionamiento de los prototipos, para lo cual se emplea el programa Multisim. En la figura 4.1 se muestra el circuito empleado para la simulación, el mismo que consta de los elementos con los respectivos valores calculados en la etapa de diseño de los prototipos, se emplea como fuente externa una señal sinusoidal de 5 voltios con una frecuencia de portadora de 940 kHz (frecuencia central) y 10 kHz de señal modulante.

Figura 4.1. Circuito del prototipo de radiodifusión AM



Se verifica el correcto funcionamiento de prototipo para radiodifusión AM en Multisim, Elaborado por: Juan Flores

En la tabla 4.1 se muestran los resultados principales obtenidos del osciloscopio XSC1 de la figura 4.1, en el anexo 4 se muestra el detalle del proceso de simulación del circuito.

Tabla 4.1. Resultados del osciloscopio XSC1 para AM

	Channel A (Cyan)	Channel B (Verde)	Channel C (Anaranjado)
<b>Voltaje</b>	8,256 v	8,4 v	-8,388 v
<b>Escala de tiempo</b>	500 ns/Div	500 ns/Div	500 ns/Div
<b>Escala en amplitud</b>	10 v/Div	10 v/Div	10 v/Div
<b>Tiempo</b>	2,613 ms	2,613 ms	2,613 ms

Se observan las mediciones en los tres canales del osciloscopio XSC1, Elaborado por: Juan Flores

Se procede a calcular el voltaje de rizado, el voltaje DC y el factor de rizado, al emplear capacitores de 1nF y 100 uF (anexo 4), los resultados se muestran en la tabla 4.2:

Tabla 4.2. Resultados de los cálculos de filtrado DC en AM

Capacitancia	1nF	100uF
<b>Voltaje de rizado (VR)</b>	$8,94 \times 10^{-4} V$	$8,94 \times 10^{-9} V$
<b>Voltaje DC (VCC)</b>	8,39955 V	8,4 V
<b>Factor de rizado (r%)</b>	0,010643%	$1,064 \times 10^{-7} \%$

Se observan los resultados obtenidos de los cálculos de filtrado DC empleando capacitores de 1nF y 100 uF, Elaborado por: Juan Flores

En la tabla 4.3 se observan los resultados obtenidos en el Bode plotter XBP1 de la figura 4.1, para el circuito tanque de AM:

Tabla 4.3. Resultados del Bode plotter XBP1 en AM

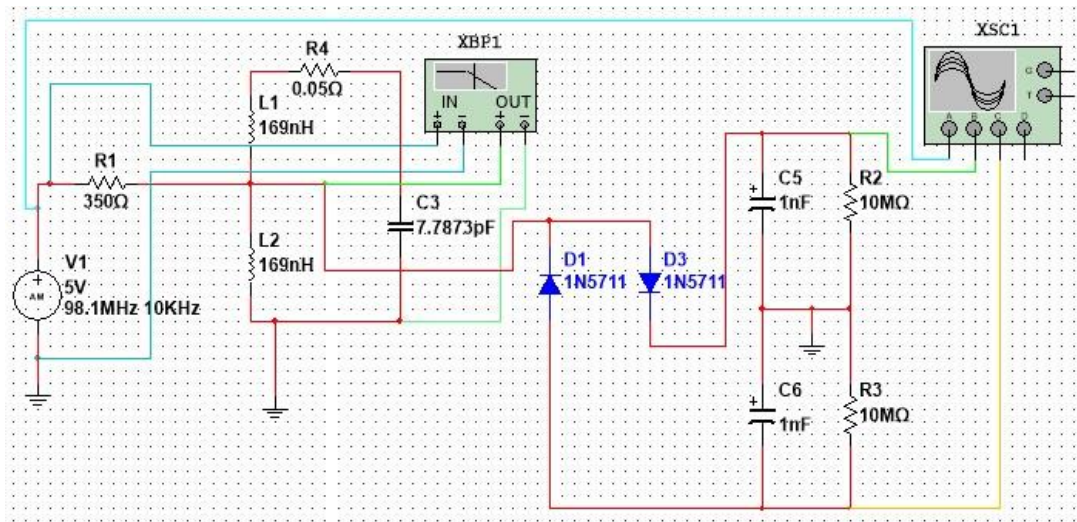
<b>Frecuencia (Intervalo de 700 kHz hasta 1,2MHz)</b>	941,272 kHz
<b>Magnitud o ganancia (Intervalo de -3 hasta 1dB)</b>	-0,324 dB
<b>Fase (Intervalo de -100 hasta 100°)</b>	-12,014 °

Se observan las mediciones de amplitud y fase para la frecuencia de 940 kHz, Elaborado por: Juan Flores

#### 4.1.2 Prototipo de radiodifusión FM

El siguiente prototipo para simular es el de FM. Para este prototipo la frecuencia de la señal portadora es 98,1 MHz (frecuencia central) y la de la señal modulante es 10 kHz. Dicho circuito FM se observa en la figura 4.2.

Figura 4.2. Circuito del prototipo de radiodifusión FM



Se verifica el correcto funcionamiento de prototipo para radiodifusión FM en Multisim, Elaborado por: Juan Flores

De la misma forma, el detalle de la simulación se muestra en el anexo 5. Los resultados obtenidos en el osciloscopio XSC1 de la figura 4.2 se muestran en la tabla 4.4:

Tabla 4.4. Resultados del osciloscopio XSC1 para FM

	Channel A (Cyan)	Channel B (Verde)	Channel C (Anaranjado)
<b>Voltaje</b>	4,977 v	4,390 v	-4,383 v
<b>Escala de tiempo</b>	5 ns/Div	5 ns/Div	5 ns/Div
<b>Escala en amplitud</b>	5 v/Div	5 v/Div	5 v/Div
<b>Tiempo</b>	61,217 us	61,217 us	61,217 us

Se observan las mediciones en los tres canales del osciloscopio XSC1, Elaborado por: Juan Flores

Se procede a calcular el voltaje de rizado, el voltaje DC y el factor de rizado, al emplear capacitores de 1nF y 100 uF (anexo 5), los resultados se muestran en la tabla 4.5:

Tabla 4.5. Resultados de los cálculos de filtrado DC de FM

Capacitancia	1nF	100uF
Voltaje de rizado (VR)	$4 \times 10^{-6} V$	$4,48 \times 10^{-11}$
Voltaje DC (VCC)	4,39 V	4,39 V
Factor de rizado (% r)	$9,1 \times 10^{-5}\%$	$1,02 \times 10^{-9}\%$

Se observan los resultados obtenidos de los cálculos de filtrado DC empleando capacitores de 1nF y 100 uF, Elaborado por: Juan Flores

En la tabla 4.6 se observa los resultados observados en el Bode plotter XBP1 de la figura 4.2, para el circuito tanque de FM:

Tabla 4.6. Resultados del Bode plotter XBP1 en FM

Frecuencia (Intervalo de 80 MHz hasta 108 MHz)	98,15 MHz
Magnitud o ganancia (Intervalo de -3 hasta 1dB)	-2,04 dB
Fase (Intervalo de -100 hasta 100°)	-35,866 °

Se observan las mediciones de amplitud y fase para la frecuencia de 98.1 MHz, Elaborado por: Juan Flores

## 4.2 Diseño de los circuitos impresos

Para el diseño de los circuitos impresos se utiliza el programa Ultiboard, mismo que da soporte para obtener los circuitos impresos de los circuitos creados en el programa Multisim. El prototipo final, está constituido por 4 placas, correspondientes a los módulos descritos. el detalle del diseño de las placas se muestra en el anexo 6.

## CAPÍTULO 5

### PRUEBAS Y RESULTADOS

#### 5.1 Pruebas preliminares del prototipo de AM en el laboratorio

Se procede a realizar las primeras pruebas, donde se analiza la respuesta en frecuencia del prototipo de AM especialmente para el circuito de acoplamiento, para lo cual se emplea un generador de señales y un osciloscopio. Y se resume los resultados de estas mediciones, lo cual se muestra en la tabla 5.1, la capacitancia calculada se obtiene con la ecuación 2.2. Todos los detalles de esta prueba se muestran en el anexo 7.

Tabla 5.1. Mediciones obtenidas en el laboratorio

Frecuencia (kHz)	570	720	940	1450
Voltaje de entrada (V+, V-)	1,12; -1,04	1,12; -1,04	1,12; -1,00	1,16; -1,00
Voltaje de salida (V+, V-)	1,00; -0,968	1,00; -1,00	1,04; -1,04	0,680; -0,648
Capacitancia calculada (p F)	57,32	35,93	21,0788	8,858
Capacitancia medida (p F)	63,8	24	15,7	5,2

Se observa un resumen de las mediciones efectuadas en el laboratorio, para el módulo de acoplamiento,  
Elaborado por: Juan Flores

#### 5.2 Pruebas preliminares de FM (Simulación)

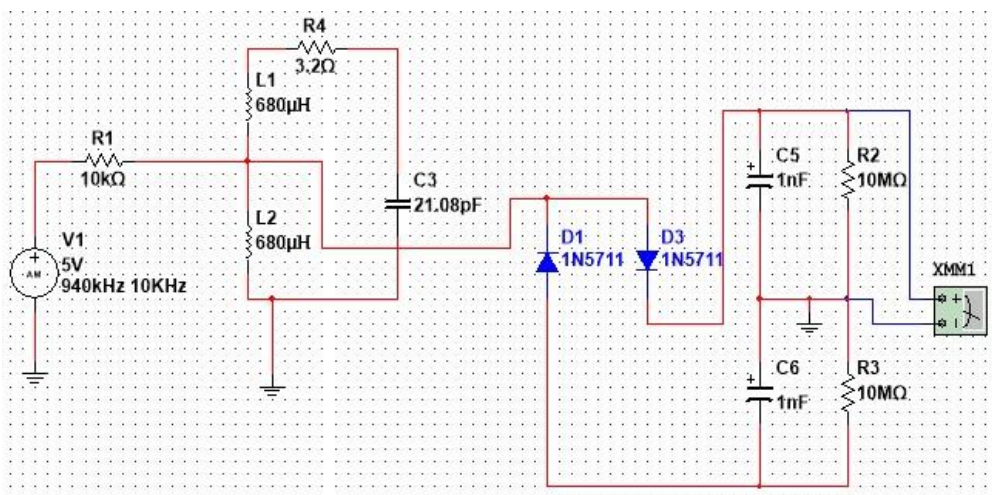
Debido a que el generador de señales utilizado en el laboratorio para las pruebas del prototipo AM, solo puede generar una frecuencia máxima de 3 MHz, se optó por comprobar la efectividad del prototipo de FM por medio de simulación, ya que se requiere generar frecuencias muy cercanas a los 100 MHz, y de esta forma si es posible seleccionar estas frecuencias y realizar las pruebas correspondientes. Las pruebas se centran en la comprobación de las señales de entrada y salida del circuito tanque de FM, para lo cual se varía el valor de capacitancia para seleccionar diferentes emisoras cuando se varía la frecuencia del generador. De la misma forma todos los detalles de esta prueba se observan en el anexo 8.

## 5.3 Pruebas de captación de la señal

### 5.3.1 Captación AM

Este procedimiento se lo realiza en una azotea de una casa, se coloca la antena en una parte alta, ya que es en esta parte donde es más abundante el campo electromagnético de ondas, para esto anteriormente se hizo una medición según la altura y el resultado es que, como era de esperarse, a mayor altura y sin obstáculos va incrementando la energía de las ondas de radiofrecuencia que circulan en el entorno. En la figura 5.1 se muestra un esquemático de simulación de la medición realizada. en este circuito se mide voltaje y corriente en la salida de media onda en los terminales de R2.

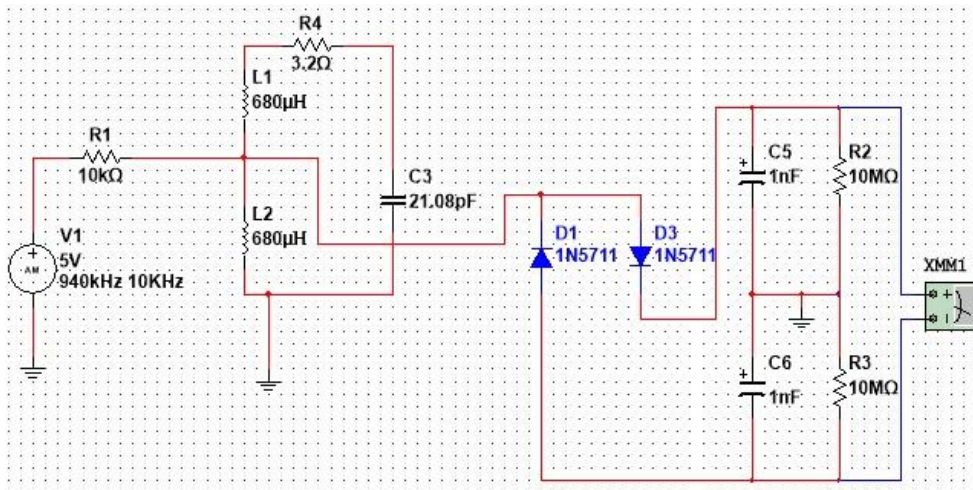
Figura 5.1. Primera medición de voltaje en AM



Se muestra el esquema de la medición efectuada en una salida de media onda para AM, mediante simulación, Elaborado por: Juan Flores

En la figura 5.2 se observa la medición realizada en R2 y R3 juntas, para comprobar que el voltaje se ha doblado.

Figura 5.2. Segunda medición de voltaje en AM



Se muestra el esquema de la medición efectuada en una salida de onda completa para AM, mediante simulación, Elaborado por: Juan Flores

Los resultados obtenidos en simulación y del prototipo físico se muestran en la tabla 5.2.

Tabla 5.2. Resultados de las mediciones de voltaje en AM

	Voltaje (V)	Corriente (uA)
<b>Simulación Media onda</b>	8,421	324,704
<b>Simulación de Onda Completa (Doblador de Voltaje)</b>	16,911	170,294
<b>Circuito físico de Media onda</b>	7,71	71
<b>Circuito físico de Onda Completa (Doblador de Voltaje)</b>	14,68	28

Se observan los resultados obtenidos de las mediciones efectuadas en la simulación y en el circuito de rectificación físico de AM, Elaborado por: Juan Flores

De la tabla 5.2, para el circuito físico, se procede a calcular la potencia en micro watts obtenida directamente de la antena en el módulo de rectificación para esto se multiplica voltaje por corriente, mediante la ecuación 5.1:

$$P = V \times I \text{ [uW]} \tag{Ec. (5.1)}$$

En la tabla 5.3 se muestran los resultados:



Tabla 5.3. Resultados de la potencia calculada para AM

	Potencia (uW)
Circuito físico de Media onda	547
Circuito físico de Onda Completa (Doblador de Voltaje)	411

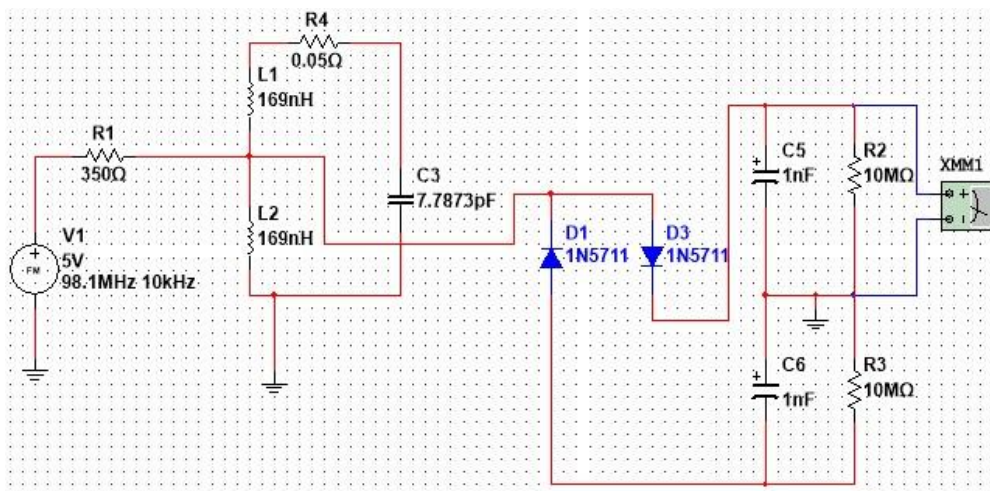
Se calcula la potencia obtenida de la antena, en el circuito rectificador, Elaborado por: Juan Flores

El detalle del procedimiento y de las imágenes tomadas con los circuitos físicos como evidencia se muestra en el anexo 9, para AM y FM.

### 5.3.2 Captación FM

De la misma forma se procede a realizar las pruebas de captación de las señales de radiofrecuencia FM, para lo cual se han cambiado los valores de los componentes del circuito tanque de tal modo de poder sintonizar el respectivo rango de frecuencias. En la figura 5.3 se observa el esquema de medición del voltaje en una de las salidas de media onda.

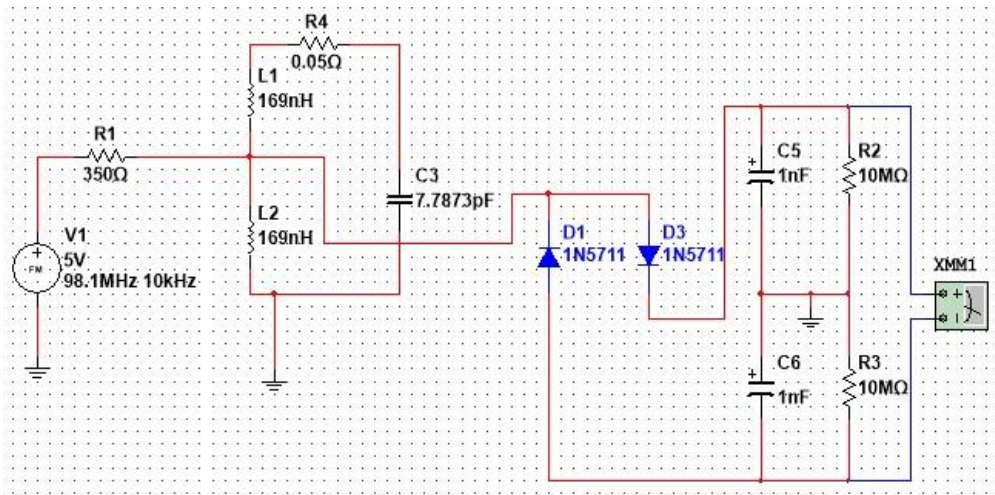
Figura 5.3. Primera medición de voltaje en FM



Se muestra el esquema de la medición efectuada en una salida de media onda para FM, mediante simulación, Elaborado por: Juan Flores

Ahora se mide el voltaje para comprobar que este se ha doblado, lo cual se esquematiza en la figura 5.4.

Figura 5.4. Segunda medición de voltaje en FM



Se muestra el esquema de la medición efectuada en una salida de onda completa para FM, mediante simulación, Elaborado por: Juan Flores

En la tabla 5.4 se muestran los resultados de las mediciones mediante simulación y del circuito físico.

Tabla 5.4. Resultados de las mediciones de voltaje en FM

	Voltaje (V)	Corriente (uA)
<b>Simulación Media onda</b>	4,418	6117
<b>Simulación de Onda Completa (Doblador de Voltaje)</b>	8,84	3097
<b>Circuito físico de Media onda</b>	1,72	329
<b>Circuito físico de Onda Completa (Doblador de Voltaje)</b>	3,45	180

Se observan los resultados obtenidos de las mediciones efectuadas en la simulación y en el circuito de rectificación físico de FM, Elaborado por: Juan Flores

Los valores de potencia obtenidos del circuito físico se ven en la tabla 5.5:

Tabla 5.5. Resultados de la potencia calculada para FM

	Potencia (uW)
Circuito físico de Media onda	566
Circuito físico de Onda Completa (Doblador de Voltaje)	621

Se calcula la potencia obtenida de la antena, en el circuito rectificador, Elaborado por: Juan Flores

## 5.4 Pruebas de almacenamiento de la señal

### 5.4.1 Almacenamiento de señal AM

En esta prueba se empieza a cargar un super capacitor cuya capacitancia es de 1 faradio y su voltaje máximo es de 5,5 v. También se carga una batería de Níquel Cadmio de 1,2 voltios de 100 mAh. Todas las imágenes que evidencian la carga de estos dispositivos se muestran en el anexo 9.

### 5.4.2 Almacenamiento de las señales FM

Para el almacenamiento de las señales FM se decide emplear el capacitor de 5,5 voltios a 1 Faradio y la misma batería de Níquel Cadmio empleada en la captación de señales AM. También se carga una batería de 1,2 voltios de 700 mAh. Todos los detalles igualmente se muestran en el anexo 9.

## 5.5 Prueba de carga con módulo elevador de voltaje

Con el fin de dar más funcionalidad al uso de las baterías cargadas con los respectivos prototipos de este proyecto, se emplean dos módulos elevadores de voltaje DC (step up), los mismos que se encargan de elevar el voltaje de las baterías. Los módulos elevadores de voltaje necesitan un cierto voltaje a la entrada para posteriormente elevarlo a un nivel de voltaje más coherente o necesario para accionar o cargar ciertos dispositivos que requieren un nivel de voltaje más alto del que las baterías entregan. El primer módulo requiere un voltaje mínimo de 1 voltio DC a la entrada para

transformarlo a 5 voltios DC los mismos que se obtienen a la salida con una corriente máxima de 500 mA. La salida posee un puerto USB y si se desea se puede solamente emplear los dos terminales 5v y GND para energizar dispositivos que no requieran conexión USB. Para activar este módulo se emplea una batería de 1,2 voltios de 700 mAh, en la figura 5.5 se observa este módulo.

Figura 5.5. Primer módulo elevador de voltaje DC



Módulo elevador de voltaje de 1-5 voltios de entrada y salida de 5 voltios a 500 mA, Elaborado por: Juan Flores

El otro módulo para emplearse requiere un voltaje de entre 2 y 14 voltios a la entrada, para luego elevarlos y obtener a la salida de entre 2 y 30 voltios, los mismos que son regulados por un potenciómetro. Por lo tanto, para hacer funcionar este módulo será necesario emplear dos baterías de 1,2 voltios puestas en serie. En la figura 5.6 se observa este segundo módulo.

Figura 5.6. Segundo módulo elevador de voltaje DC



Módulo elevador de voltaje de 2 a 14 voltios de entrada y salida de 2 a 30 voltios, Elaborado por: Juan Flores

En la figura 5.7 se observa la disposición del circuito de almacenamiento junto con el circuito elevador de voltaje colocados en una caja de acrílico.

Figura 5.7. Conexión del módulo de almacenamiento con el elevador de voltaje



Se conecta el módulo elevador de voltaje junta al módulo de almacenamiento para elevar el voltaje de la batería, Elaborado por: Juan Flores

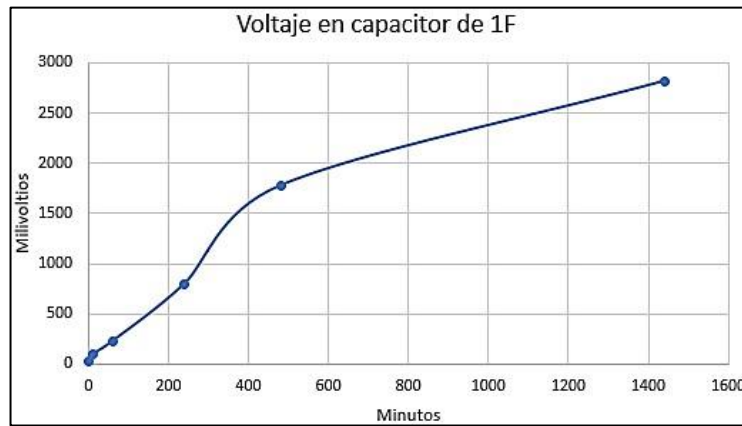
Luego se procede a realizar las pruebas de carga de tres dispositivos, de dos celulares y una batería externa o powerbank, el procedimiento y los resultados se muestran en el anexo 10.

## 5.6 Análisis

### 5.6.1 Análisis del tiempo de carga y descarga de los dispositivos de almacenamiento

Se presentan diferentes gráficas en base a datos registrados (anexo 9) de acuerdo con el voltaje almacenado en diferentes dispositivos y en determinados momentos. Se analizan y se comparan dichas gráficas. Se observa en la figura 5.8 la gráfica correspondiente a la carga del capacitor de 1F, para las frecuencias de AM. La prueba de carga finaliza un día después que se inicia.

Figura 5.8. Carga del super capacitor en recepción AM



Se observa la curva de carga de un capacitor de 1F, mediante la captación de energía de las frecuencias de radio AM, Elaborado por: Juan Flores

De la gráfica anterior se observa que el voltaje alcanzado por el super capacitor es de 2,82 voltios, con este dato se puede calcular la energía almacenada en el mismo, empleando la ecuación 5.2:

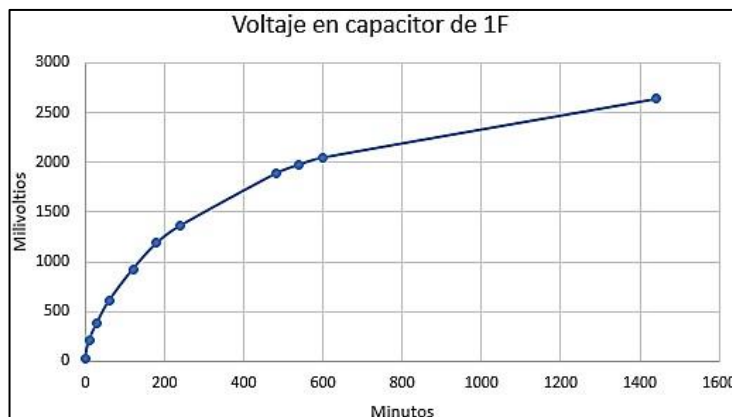
$$W = \frac{1}{2} CV^2 [J] \tag{Ec. (5.2)}$$

Siendo W la energía en julios, C la capacitancia y V el voltaje.

$$W = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 2,82^2 = 3,98 J$$

Ahora en la figura 5.9 se observa la gráfica de la carga del capacitor de 1F para las frecuencias de FM. La prueba de carga finaliza un día después que se inicia.

Figura 5.9. Carga del super capacitor en recepción FM



Se observa la curva de carga de un capacitor de 1F, mediante la captación de energía de las frecuencias de radio FM, Elaborado por: Juan Flores

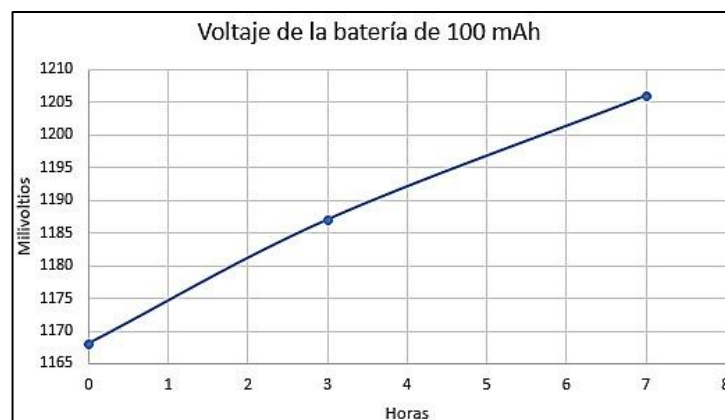
De la misma forma se procede a calcular la energía almacenada en el capacitor:

$$W = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 2,64^2 = 3,48 J$$

Después de calcular la energía almacenada en el capacitor para AM y FM, se observa que en AM se obtuvo más energía almacenada, esto ocurre debido a que en AM se obtuvo un mayor voltaje en el rectificador en comparación a FM, y también porque el voltaje nominal o útil del rectificador baja dependiendo de la carga que se le ponga. También se puede observar que en la gráfica de carga del super capacitor en AM esta crece lento al principio y después aumenta la velocidad de carga, esto ocurre porque en la noche las señales de AM son más fuertes que durante el día, por tanto, la prueba de carga inició durante el día con carga lenta y durante la noche y la madrugada esta carga fue un poco más rápida.

En la figura 5.10 se observa la carga de la batería 1,2v 100 mAh por medio de la energía de las frecuencias de AM. La prueba finaliza 7 horas después de su inicio.

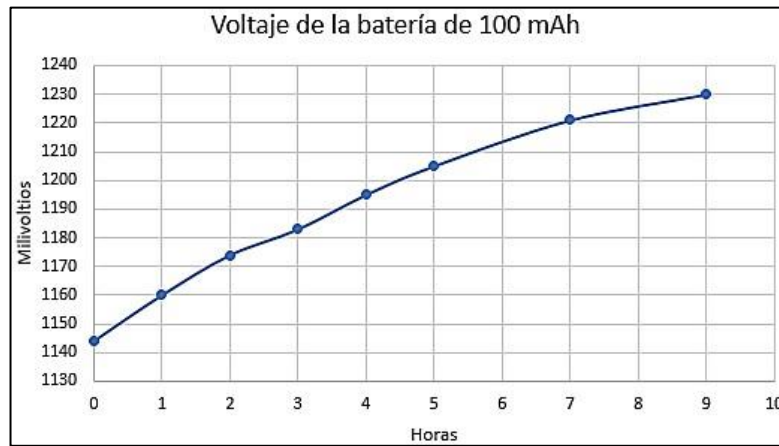
Figura 5.10. Carga de la batería de 100 mAh en recepción AM



Se observa la curva de carga de una batería de 1,2 voltios de 100 mAh, mediante la captación de energía de las frecuencias de radio AM, Elaborado por: Juan Flores

En la figura 5.11 se observa la carga de la batería 1,2v 100 mAh por medio de la energía de las frecuencias de FM. La prueba finaliza 9 horas después de su inicio.

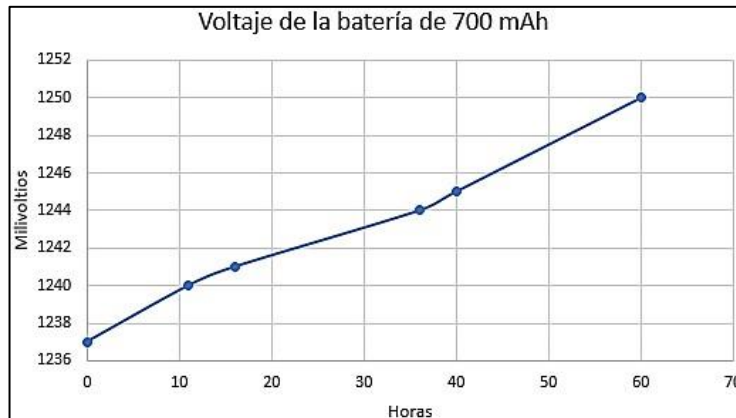
Figura 5.11. Carga de la batería de 100 mAh en recepción FM



Se observa la curva de carga de una batería de 1,2 voltios de 100 mAh, mediante la captación de energía de las frecuencias de radio FM, Elaborado por: Juan Flores

En la figura 5.12 se observa la carga de la batería 1,2v 700 mAh por medio de la energía de las frecuencias de FM. La prueba finaliza 60 horas después de su inicio.

Figura 5.12. Carga de la batería de 700 mAh en recepción FM



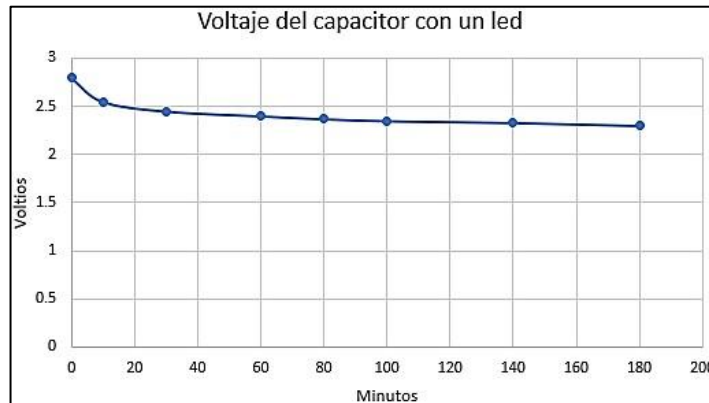
Se observa la curva de carga de una batería de 1,2 voltios de 700 mAh, mediante la captación de energía de las frecuencias de radio FM, Elaborado por: Juan Flores

De las anteriores gráficas de carga de la batería de 100 mAh para AM y FM se observa que la carga en FM fue más rápida ya que en 7 horas se alcanza un voltaje de 1220 milivoltios en comparación a AM que fue de 1205 milivoltios, y además la prueba de carga para FM empieza en un voltaje más bajo que fue de 1144 milivoltios, en comparación a AM que empezó en 1168 milivoltios. Y por todo esto se decide poner a cargar una batería de más capacidad 700 mAh mediante la captación FM. Ahora se



decide hacer funcionar los diferentes dispositivos con la energía almacenada. En la figura 5.13 se observa la descarga del capacitor al energizar un led azul grande 3,2 v y de 20 mA.

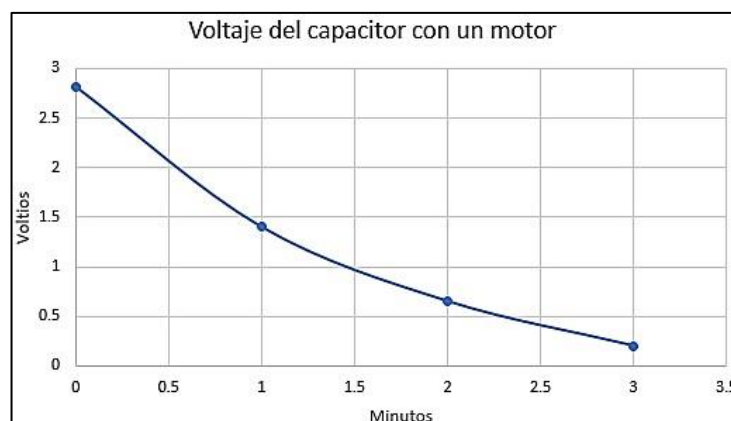
Figura 5.13. Descarga del capacitor empleando un led



Se observa la curva de descarga de un capacitor de 1 F, al energizar un led con el mismo, Elaborado por: Juan Flores

En la figura 5.14 se observa la descarga del capacitor al energizar un motor 5v DC.

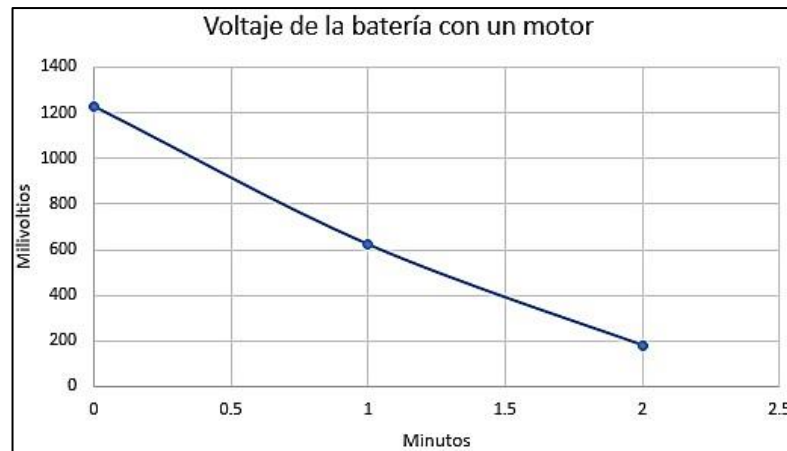
Figura 5.14. Descarga del capacitor empleando un motor



Se observa la curva de descarga de un capacitor de 1 F, al energizar un motor con el mismo, Elaborado por: Juan Flores

En la figura 5.15 se observa la descarga de la batería de 100 mAh al energizar un motor 5v DC.

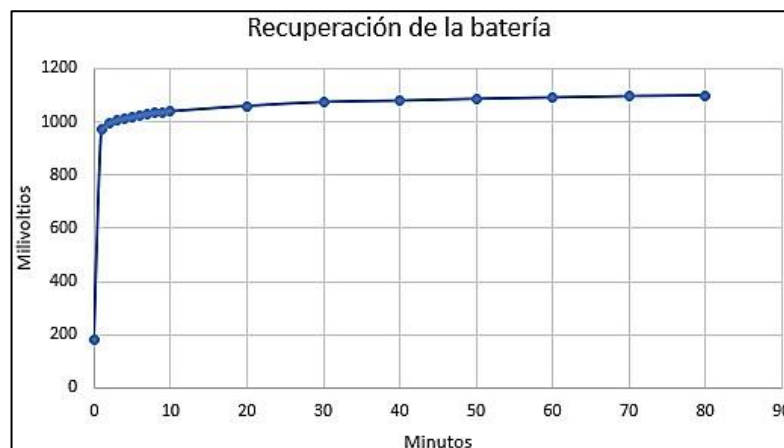
Figura 5.15. Descarga de la batería empleando un motor



Se observa la curva de descarga de una batería de 1,2 voltios de 100 mAh, al energizar un motor con el mismo, Elaborado por: Juan Flores

En la figura 5.16 se observa la recuperación de la batería 1,2v 100 mAh, luego de haber energizado el motor y desconectarlo.

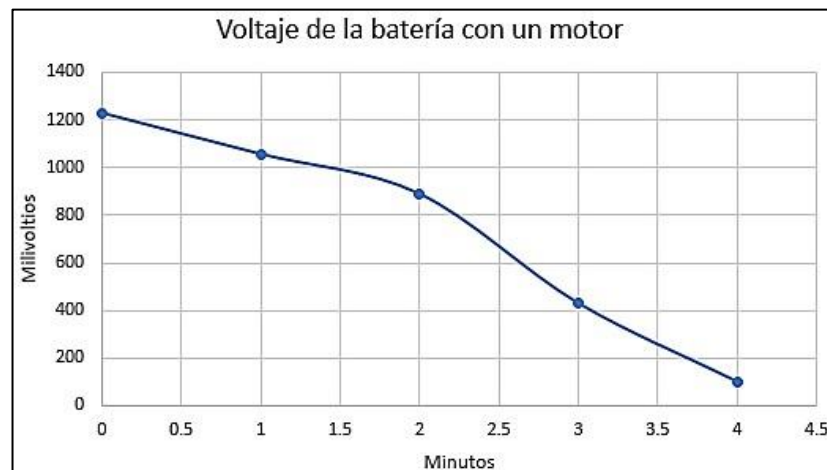
Figura 5.16. Recuperación de la batería después de accionar el motor



Se observa la curva de recuperación de una batería de 1,2 voltios de 100 mAh, después de energizar un motor, Elaborado por: Juan Flores

Posteriormente se desea realizar una prueba de descarga de la batería, a la vez que está siendo cargada por el sistema de captación RF y al mismo tiempo se energiza el motor 5v DC, la respectiva gráfica se observa en la figura 5.17.

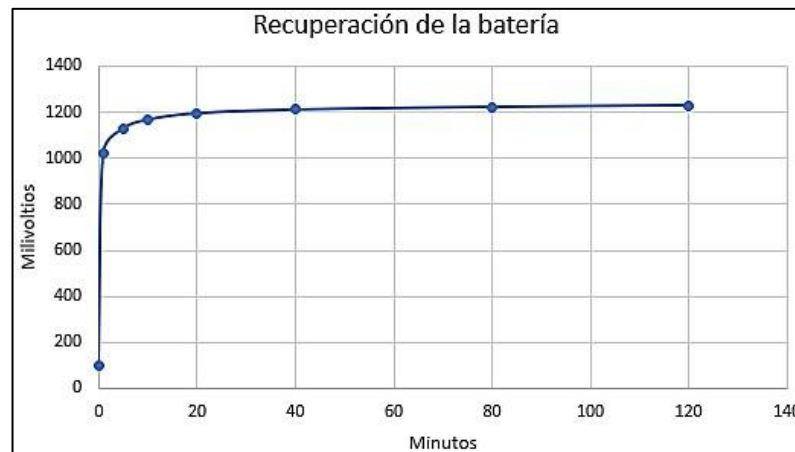
Figura 5.17. Carga y descarga simultánea de la batería mientras se acciona el motor



Se observa la curva de descarga de una batería de 1,2 voltios de 100 mAh, al energizar un motor y al mismo tiempo es cargada por la energía obtenida de la antena, Elaborado por: Juan Flores

En la figura 5.18 se observa la recuperación de la batería luego de haber energizado el motor y desconectarlo, y al mismo tiempo es cargada, por el sistema de captación RF.

Figura 5.18. Recuperación de la batería al mismo tiempo que es cargada



Se observa la curva de recuperación de una batería de 1.2 voltios de 100 mAh, mientras es cargada por la energía captada por la antena, después de energizar un motor, Elaborado por: Juan Flores

Para todas las pruebas efectuadas se han tomado señales del ambiente en entorno urbano. Puede ser importante mostrar el detalle del sitio donde provienen las ondas residuales que se están captando. Este análisis se muestra en el anexo 11.

## CONCLUSIONES

Se logró captar dos tipos de frecuencias abundantes en el ambiente que son las señales de radio AM y FM, ya que fueron más fáciles detectar debido a la información de audio que poseen, la misma que es fácilmente escuchada con cualquier amplificador a baterías o en el caso de las señales AM puede ser escuchada con audífonos de alta impedancia, sin baterías. Al ser escuchada esta información se puede sintonizar distintas estaciones que existen en este rango de frecuencias (535-1605 kHz para AM y 88 – 108 MHz para FM), y también se emplea un multímetro que mida el voltaje y corriente de estas señales para seleccionarlas mediante un condensador variable y así lograr obtener mayor voltaje y corriente para el correcto funcionamiento de este sistema de almacenamiento o captación de radiofrecuencia residual.

El máximo voltaje medido directamente en el doblador de voltaje sin conectar dispositivos de carga, para AM fue de 14,85 voltios con una corriente de 28 microamperios, para FM fue de 3,45 voltios y 180 microamperios, por lo tanto, en AM se obtuvo mayor voltaje que en FM, pero en FM se obtuvo mayor corriente.

El módulo de acoplamiento posee sócalos para poder poner y sacar fácilmente los dispositivos que componen el mismo, que son dos bobinas y un condensador variable, cuyos valores corresponden a los rangos de frecuencias a sintonizarse para las frecuencias AM y FM.

Se pudo verificar que el máximo tiempo de carga fue 60 horas para una batería de 1,2 voltios de 700 mAh, a través de la captación de señales FM.

Empleando el circuito captador FM se cargó una batería de 1,2 voltios 100 mAh, al mismo tiempo se hizo funcionar con esta un motor DC de 5 voltios durante unos 4 minutos, luego se retira solo el motor, y la batería al mismo tiempo que es cargada recupera todo su voltaje en 2 horas (ya que sin ser cargada la batería se recupera por sí sola, pero más lentamente), por ende, el motor empleó la energía de la batería y la obtenida de las radiofrecuencias, ya que haciendo funcionar el motor solo con la batería, esta se descarga en aproximadamente 2 minutos, debido al amperaje que demanda el accionamiento del motor.

Para cargar dispositivos que demandaron más consumo de energía tales como 2 celulares o una power bank fue necesario emplear módulos elevadores de voltaje step up, que elevaron el voltaje de la batería de 1,2 a 5 voltios, y de dos baterías puestas en serie, elevando de 2,4 a 5 voltios. Sin embargo, solo fue posible cargar correctamente uno de los dos celulares y este fue el de menor consumo (1050 mAh).

La potencia máxima obtenida directamente de la antena en el circuito rectificador fue de 547 micro watts para AM y de 621 micro watts para FM, estos valores fueron calculados multiplicando el voltaje por la corriente obtenidos en este circuito rectificador.

Se verificó también que la captación AM es más eficaz para almacenar energía en forma de voltaje por lo cual se obtuvo mayor energía almacenada en el super capacitor mediante AM, esta fue de 2,82 voltios (3,98 julios) en comparación a FM que fue 2,68 voltios de (3,48 julios), y además en AM se logró cargar dos capacitores simultáneamente puestas en serie, con un voltaje cada uno de 2,3 voltios, en cambio en FM se obtuvo mayor corriente pero con un menor voltaje, lo que logró cargar más rápido en comparación a AM, la batería de 1,2 voltios de 100 mAh.

## **RECOMENDACIONES**

Para la carga de dispositivos de mayor potencia de manera directa de los circuitos diseñados es necesario contar con algún dispositivo elevador que trabaje con las mismas ondas residuales.

Es necesario realizar un análisis comparativo de consumo de energía en dispositivos móviles de tal forma que se pueda contar con una clasificación previa para la utilización de este prototipo.

Se recomienda realizar un mapeo de la concentración de ondas en los entornos urbano y suburbano como referencia para la obtención de los sitios que se pueden recomendar para usar este dispositivo.

Los valores obtenidos de las mediciones como voltaje y corriente del circuito de rectificación pueden sufrir pequeños cambios de acuerdo con el clima y condiciones del entorno, ya que esto afecta en la recepción.

También se obtendrán diferentes valores de voltaje y corriente dependiendo del sitio en que se haga funcionar este sistema, obteniendo más o menos energía que la que se obtuvo en estas pruebas, y de acuerdo con las frecuencias que se logre sintonizar en ese sitio.

## REFERENCIAS

- Alama. (8 de Noviembre de 2017). *Alama*. Obtenido de <https://enfoquealama.com/electrosmog-efectos-la-salud/>
- Alonso, C. (8 de Febrero de 2015). *Radiadoresem*. Obtenido de <http://radiadoresem.blogspot.com/2015/02/tipos-de-antenas-y-sus-calculos.html>
- Básica, T. d. (1 de Junio de 2016). *Tutoriales de electrónica básica*. Obtenido de <http://tutorialesdeelectroncabasica.blogspot.com/2016/06/resonancia-en-paralelo-y-paralelo-rlc.html>
- Bismarks, J. (7 de 11 de 2018). *Una Energía*. Obtenido de <https://unaenergia.com/tipos-de-energia/energia-radiante/>
- Braga, N. (4 de Noviembre de 2015). *NCB*. Obtenido de <http://www.incb.com.mx/index.php/articulos/12-informacion-y-ideas-practicas-ip000s/189-cuadruplicadores-de-tension-ip039s>
- Caballero, S., Castillo, D., Castro, L., & López, R. (30 de Octubre de 2018). *ACADEMIA*. Obtenido de [http://www.academia.edu/17420602/Tecnologia\\_Inalambricas\\_1](http://www.academia.edu/17420602/Tecnologia_Inalambricas_1)
- Costa, U. d. (3 de Enero de 2019). *Educación Virtual*. Obtenido de [http://eduvirtual.cuc.edu.co/moodle/pluginfile.php/248944/mod\\_resource/content/1/3.%20Aplicaciones%20del%20Diodo.pdf](http://eduvirtual.cuc.edu.co/moodle/pluginfile.php/248944/mod_resource/content/1/3.%20Aplicaciones%20del%20Diodo.pdf)
- De la Cerda, J. (16 de Noviembre de 2010). *Diseño de Radioreceptores*. Obtenido de [https://disradiojdlc.blogspot.com/2010/11/sesion-14.html?m=1&fbclid=IwAR267Nzuo8tftSq-Q\\_fTkIkFqwsfjPF3dRFqNxrI2SdWBm0k9AaAMUsNXxY](https://disradiojdlc.blogspot.com/2010/11/sesion-14.html?m=1&fbclid=IwAR267Nzuo8tftSq-Q_fTkIkFqwsfjPF3dRFqNxrI2SdWBm0k9AaAMUsNXxY)

- Ecured. (7 de Noviembre de 2018). *Ecured*. Obtenido de <https://www.ecured.cu/Radiofrecuencia>
- Elena. (4 de Octubre de 2017). *Evoconfort*. Obtenido de <https://www.evoconfort.com/energia-radiante-que-es-y-donde/>
- García, F. (1 de Julio de 2016). *Universidad Politécnica de Madrid*. Obtenido de [http://oa.upm.es/44152/1/TFG\\_FRANCISCO\\_JAVIER\\_GARCIA\\_RUEDA.pdf](http://oa.upm.es/44152/1/TFG_FRANCISCO_JAVIER_GARCIA_RUEDA.pdf)
- Gómez, P. (1 de Febrero de 2014). *Práctias de electrónica*. Obtenido de <http://deimoshackelectronica.blogspot.com/2014/02/circuitos-con-diodos-i.html>
- Heimbuch, J. (29 de Enero de 2009). *Treehugger*. Obtenido de <https://www.treehugger.com/clean-technology/intel-demos-rf-energy-harvesting-technology.html>
- Hernandez, D. (2 de Diciembre de 2013). *Prezi*. Obtenido de <https://prezi.com/3icgxeacyrhg/ondas-electromagneticas-en-nuestra-vida-diaria/>
- Ibarz, B. (29 de Octubre de 2007). *Alexandre Wagemakers*. Obtenido de [https://awage.github.io/download/mpe\\_tema3.pdf](https://awage.github.io/download/mpe_tema3.pdf)
- ITU. (30 de Octubre de 2018). *Union Internacional de Telecomunicaciones*. Obtenido de <https://www.itu.int/itu-news/manager/display.asp?lang=es&year=2005&issue=05&ipage=trieste&ext=html>
- Lozano, A. (20 de Diciembre de 2018). *Monografías.com*. Obtenido de <https://www.monografias.com/trabajos7/diose/diose.shtml>



- Mahecha, V. (27 de Mayo de 2011). *SlideShare*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/vimahecha/redes-inalambricas-para-zonas-rurales-8126444>
- Martínez, J. (20 de Octubre de 2016). Transmisión de energía eléctrica por inducción para uso doméstico. *Transmisión de energía eléctrica por inducción para uso doméstico*. Barcelona, Cataluña, España.
- Mendez, I. (7 de Noviembre de 2018). *Deperiodismo*. Obtenido de <https://deperiodismo.com/periodismo/la-radio/>
- Nájera, A. (28 de Mayo de 2018). *RADIANDANDO*. Obtenido de <http://radiandando.es/2018/05/28/vemos-menos-que-un-pez-de-escayola-el-espectro-electromagnetico/>
- Nave, R. (10 de Diciembre de 2018). *Hyperphysics*. Obtenido de <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/electric/serres.html>
- Olea, A. (1 de Febrero de 2019). *Electrónica Básica*. Obtenido de [http://www.sc.ehu.es/sbweb/electronica/elec\\_basica/tema4/Paginas/Pagina7.htm](http://www.sc.ehu.es/sbweb/electronica/elec_basica/tema4/Paginas/Pagina7.htm)
- Paciente, P. (13 de Julio de 2011). *Tendencias 21*. Obtenido de [https://www.tendencias21.net/Un-novedoso-dispositivo-capta-la-energia-electromagnetica-ambiental\\_a7019.html](https://www.tendencias21.net/Un-novedoso-dispositivo-capta-la-energia-electromagnetica-ambiental_a7019.html)
- Pirela, R., & González, C. (1 de Junio de 2013). *Scielo*. Obtenido de [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1316-48212013000200003](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-48212013000200003)
- Price, C. (1 de Enero de 2018). *Tesla Universe*. Obtenido de Tesla Universe: <https://teslauniverse.com/nikola-tesla/patents/us-patent-685957-apparatus-utilization-radiant-energy>

- Radioelectrónica. (11 de Abril de 2017). *Radioelectrónica.es*. Obtenido de <http://www.radioelectronica.es/radioaficionados/179-receptor-de-cristal-radio-galena-para-fm>
- Radioelectrónica.es. (16 de Mayo de 2015). *Radioelectrónica.es*. Obtenido de <http://www.radioelectronica.es/radioaficionados/144-receptor-a-reaccion-para-onda-corta-ii>
- Ramos, I. (17 de Septiembre de 2014). *Departamento de Matemáticas Universidad de Puerto Rico*. Obtenido de <http://mate.uprh.edu/~iramos/fisi3143/lab5.pdf>
- Recio, J. (10 de Octubre de 2018). *Gobierno de España*. Obtenido de [http://newton.cnice.mec.es/materiales\\_didacticos/energia/radiante.htm](http://newton.cnice.mec.es/materiales_didacticos/energia/radiante.htm)
- Restrepo, J. (9 de Enero de 2015). *Universidad Simon Bolívar*. Obtenido de <http://www.labc.usb.ve/paginas/mgimenez/EC1177/Contenido/clase5-2.pdf>
- Rusell, R. (13 de Julio de 2005). *Ventanas Al Universo*. Obtenido de [https://www.windows2universe.org/physical\\_science/magnetism/em\\_radio\\_waves.html&lang=sp](https://www.windows2universe.org/physical_science/magnetism/em_radio_waves.html&lang=sp)
- Sanchis, E., & Ejea, J. (23 de Septiembre de 2008). *Universidad de Valencia*. Obtenido de [https://www.uv.es/~esanchis/cef/pdf/Temas/A\\_T1.pdf](https://www.uv.es/~esanchis/cef/pdf/Temas/A_T1.pdf)
- Shcherbak, M. (21 de Febrero de 2019). *WorldRadioMap*. Obtenido de <http://worldradiomap.com/ec/quito>
- Suay, J. (11 de Marzo de 2002). *ASELF*. Obtenido de <http://www.aself.org/AntiguaWeb/congresos/Radiocomunicaciones.pdf>
- Tahedmit, H., Saddi, Z., Karami, A., Basset, P., & Cirio, L. (1 de Febrero de 2018). *Science Direct*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1631070516301840>

Tecnología, F. E. (10 de Octubre de 2018). *Descubre La Energía*. Obtenido de <https://descubrelaenergia.fundaciondescubre.es/2013/09/11/que-es-la-energia-electromagnetica/>

Treviño, J. (11 de Diciembre de 2003). *Universidad de las Américas Puebla*. Obtenido de [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lem/trevino\\_c\\_jt/capitulo5.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/trevino_c_jt/capitulo5.pdf)

Valencia, U. I. (21 de Marzo de 2018). *VIU*. Obtenido de <https://www.universidadviu.com/algunas-cosas-acerca-del-espectro-radioelectrico/>

Wikiradioamateur. (28 de Febrero de 2019). *EA7AHG*. Obtenido de EA7AHG: <https://sites.google.com/site/ea7ahg/antena/bobinas-y-trampas/el-q-de-una-bobina>

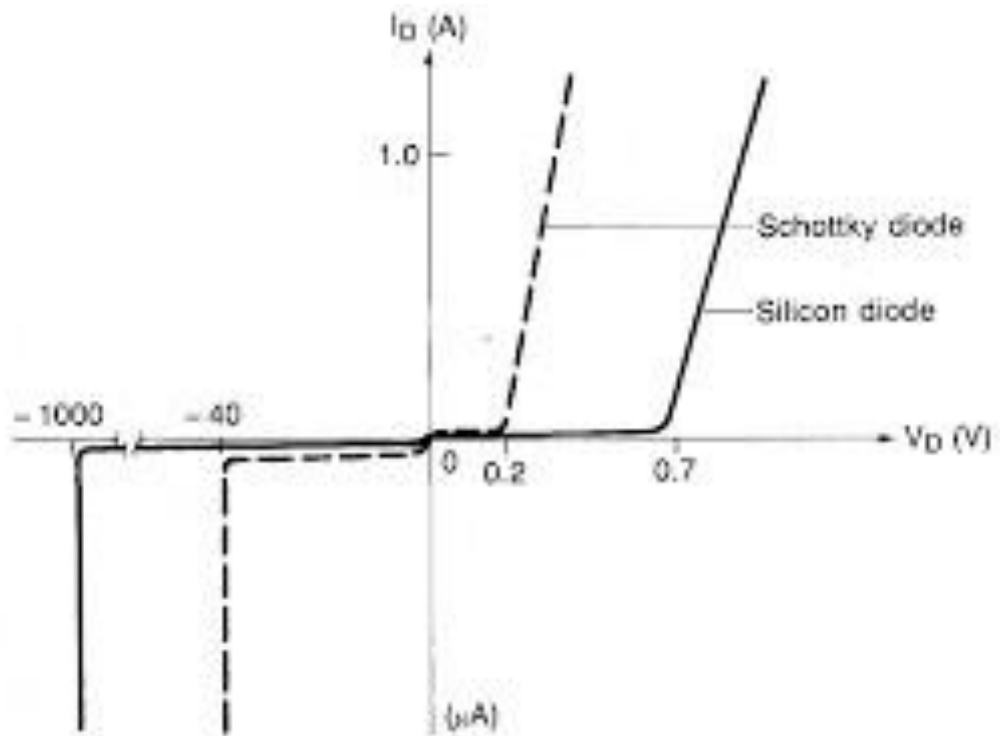
YPF, F. (28 de Octubre de 2018). *Los profesorados de exactas*. Obtenido de [http://www.ccpems.exactas.uba.ar/CDs/CDEnergia/II/contents/energia/hombre\\_ondas/hombres\\_ondas\\_home.htm](http://www.ccpems.exactas.uba.ar/CDs/CDEnergia/II/contents/energia/hombre_ondas/hombres_ondas_home.htm)

## ANEXOS

### ANEXO 1

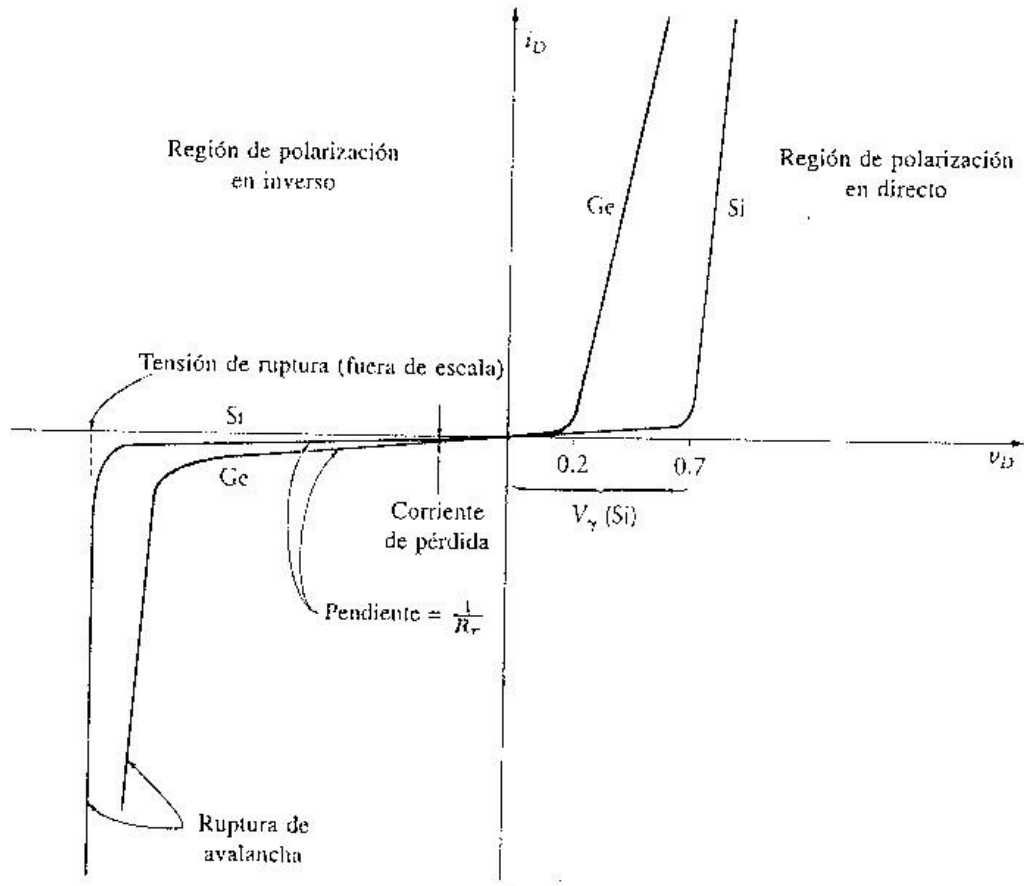
#### CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LOS DIODOS DE GERMANIO Y DIODOS SCHOTTKY VS DIODOS DE SILICIO.

Figura 1. Curva característica de diodos Schottky y silicio



Comparativa entre la curva característica de diodo Schottky y diodo común de silicio, Fuente: (Sanchis & Ejea, 2008)

Figura 2. Curvas características de diodos de germanio (Ge) y silicio (Si)



Comparativa entre la curva característica de diodo de germanio y diodo común de silicio, Fuente: (Lozano, 2018)

## ANEXO 2

### DATASHEET DE LAS BOBINAS EMPLEADAS EN EL PROTOTIPO DE AM, DE 680 MICRO HENRIOS.

#### Radial Lead RF Chokes



Model 6000 is currently available, although not recommended for new designs. Model RLB9012 is preferred.

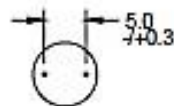
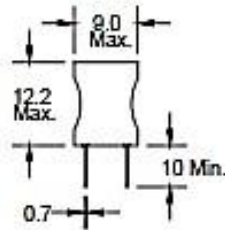
#### Special Features

- High current capacity
- Ferrite bobbin core
- Low core loss at frequency
- High reliability, efficiency
- Winding covered with shrink tubing
- Fixed lead spacing
- Operating temperature -55 to +105 °C

#### Notes

\* Current to cause 5 % max. Inductance drop

† RoHS Directive 2002/95/EC Jan 27 2003  
Including Annex.



Dimensions: mm

6000 Series						
Part Number	L (µH) ±20 %	Q Min.	Test	SRF	DCR	I, DC*
			Freq. (MHz)	(MHz)	Ω Max.	
6000-1R0M-RC	1.0	20	7.96	150	0.013	10
6000-1R5M-RC	1.5	20	7.96	130	0.016	8.5
6000-2R2M-RC	2.2	20	7.96	100	0.021	6.5
6000-3R3M-RC	3.3	20	7.96	79	0.025	5.5
6000-4R7M-RC	4.7	20	7.96	51	0.030	4.6
6000-6R8M-RC	6.8	20	7.96	29	0.035	4.1
±10 %						
6000-100K-RC	10	50	2.52	14	0.045	3.4
6000-120K-RC	12	50	2.52	13	0.050	3.1
6000-150K-RC	15	50	2.52	12	0.056	2.9
6000-180K-RC	18	40	2.52	11	0.061	2.66
6000-220K-RC	22	40	2.52	9.2	0.070	2.4
6000-270K-RC	27	40	2.52	8.5	0.080	2.22
6000-330K-RC	33	30	2.52	7.8	0.090	2.05
6000-390K-RC	39	30	2.52	6.9	0.10	1.85
6000-470K-RC	47	30	2.52	6.5	0.16	1.77
6000-560K-RC	56	30	2.52	5.4	0.18	1.48
6000-680K-RC	68	30	2.52	4.9	0.21	1.36
6000-820K-RC	82	30	2.52	4.1	0.23	1.3
6000-101K-RC	100	20	0.796	3.7	0.28	1.4
6000-121K-RC	120	20	0.796	3.4	0.32	1.25
6000-151K-RC	150	20	0.796	3.2	0.37	1.15
6000-181K-RC	180	20	0.796	2.8	0.58	1.08
6000-221K-RC	220	20	0.796	2.7	0.65	1.0
6000-271K-RC	270	20	0.796	2.4	0.75	0.90
6000-331K-RC	330	20	0.796	2.3	0.85	0.78
6000-391K-RC	390	20	0.796	2.1	1.0	0.74
6000-471K-RC	470	20	0.796	1.9	1.1	0.68
6000-561K-RC	560	20	0.796	1.8	1.4	0.64
6000-681K-RC	680	20	0.796	1.6	1.6	0.59
6000-821K-RC	820	20	0.796	1.5	1.8	0.56
6000-102K-RC	1000	20	0.252	1.3	2.9	0.51
6000-122K-RC	1200	15	0.252	1.2	3.4	0.48
6000-152K-RC	1500	15	0.252	1.1	3.8	0.43
6000-182K-RC	1800	15	0.252	1.0	5.3	0.39
6000-222K-RC	2200	15	0.252	0.8	5.9	0.36
6000-272K-RC	2700	15	0.252	0.7	8.2	0.32
6000-332K-RC	3300	15	0.252	0.6	9.1	0.29
6000-392K-RC	3900	15	0.252	0.55	9.9	0.27
6000-472K-RC	4700	15	0.252	0.5	13.6	0.24
6000-562K-RC	5600	15	0.252	0.45	14.9	0.22
6000-682K-RC	6800	15	0.252	0.4	20.7	0.20
6000-822K-RC	8200	15	0.252	0.35	22.7	0.18
6000-103K-RC	10,000	15	0.079	0.32	25.1	0.17
6000-123K-RC	12,000	15	0.079	0.28	34.7	0.15
6000-153K-RC	15,000	15	0.079	0.25	48.9	0.14
6000-183K-RC	18,000	15	0.079	0.23	53.6	0.12
6000-223K-RC	22,000	15	0.079	0.21	59.3	0.11
6000-273K-RC	27,000	15	0.079	0.19	82.7	0.10
6000-333K-RC	33,000	15	0.079	0.17	91.5	0.09
6000-393K-RC	39,000	15	0.079	0.15	125.5	0.08
6000-473K-RC	47,000	15	0.079	0.12	137.8	0.08

\*-RC" suffix indicates RoHS compliance.

## ANEXO 3

# DATASHEET DE LAS BOBINAS EMPLEADAS EN EL PROTOTIPO DE FM, DE 169 NANO HENRIOS.



Document 185-1



## Maxi Spring™ Air Core Inductors



- Air core inductors feature higher Q, L and current ratings
- Rigid package provides a flat surface for pick and place
- Leads are locked in position for precise terminal spacing

**Weight:** 0.42 – 0.59 g  
**Terminations:** RoHS compliant tin-silver (96.5/3.5) over copper. Other terminations available at additional cost.  
**Ambient temperature:** –40°C to +125°C with 1rms current  
**Maximum part temperature:** +140°C (ambient + temp rise)  
**Storage temperature:** Component: –40°C to +140°C. Tape and reel packaging: –40°C to +80°C  
**Resistance to soldering heat:** Max three 40 second reflows at +260°C, parts cooled to room temperature between cycles  
**Temperature Coefficient of Inductance (TCL):** +5 to +70 ppm/°C  
**Moisture Sensitivity Level (MSL):** 1 (unlimited floor life at –30°C / 85% relative humidity)  
**Failures in Time (FIT) / Mean Time Between Failures (MTBF):** One per billion hours / one billion hours, calculated per Telcor's SR-332  
**Packaging:** 800/13" reel. Plastic tape: 24 mm wide, 0.3 mm thick, 12 mm/pocket spacing, 6.1 mm pocket depth  
**PCB washing:** Tested to MIL-STD-202 Method 215 plus an additional aqueous wash. See Doc767\_PCB\_Washing.pdf.

Part number <sup>1</sup>	Turns	Inductance <sup>2</sup> (nH)	Percent tolerance <sup>3</sup>	Q <sup>2</sup> typ	Q <sup>2</sup> min	Test freq. (MHz)	SRF min <sup>4</sup> (GHz)	DCR max <sup>5</sup> (mΩ/m)	I <sub>rms</sub> <sup>6</sup> (A)
132-09SM_L_	9	90	<b>5,2</b>	114	95	50	1.140	15	3.5
132-10SM_L_	10	111	<b>5,2</b>	104	87	50	1.020	15	3.5
132-11SM_L_	11	130	<b>5,2</b>	104	87	50	0.900	20	3.0
132-12SM_L_	12	160	<b>5,2</b>	114	95	50	0.875	25	3.0
132-13SM_L_	13	206	<b>5,2</b>	114	95	50	0.800	30	3.0
132-14SM_L_	14	222	<b>5,2</b>	110	92	50	0.730	35	3.0
132-15SM_L_	15	246	<b>5,2</b>	114	95	50	0.685	35	3.0
132-16SM_L_	16	307	<b>5,2</b>	114	95	50	0.660	35	3.0
132-17SM_L_	17	380	<b>5,2</b>	114	95	50	0.500	50	2.5
132-18SM_L_	18	422	<b>5,2</b>	114	95	50	0.540	60	2.5
132-19SM_L_	19	491	<b>5,2</b>	114	95	50	0.535	65	2.0
132-20SM_L_	20	538	<b>5,2</b>	104	87	50	0.490	90	2.0

1. When ordering, specify tolerance, termination and packaging codes:

132-20SM**5,2**L**B**

**Termination:** L = RoHS compliant tin-silver (96.5/3.5) over copper.  
 Special order: T = RoHS tin-silver-copper (96.5/40.5) or B = non-RoHS tin-lead (93/7).

**Tolerance:** G = 2% J = 5%

**Packaging:** D = 12" machine-ready reel, SIA-401 embossed plastic tape (300 parts per full reel).

B = Less than full reel. In tape, but not machine-ready. To have a leader and trailer added (50¢ charge), use code letter D instead.

2. Inductance and Q tested at 50 MHz on an Agilent/HP 4291A with a 16193 fixture and correction.

3. Tolerances in bold are stocked for immediate shipment.

4. SRF tested on the Agilent/HP 8753D and a Coilcraft CGF1248 test fixture.

5. DCR tested on the Cambridge Technology Model 510 Micro Ohmmeter.

6. Current that causes a 15°C temperature rise from 25°C ambient. This information is for reference only and does not represent absolute maximum ratings.

7. Electrical specifications at 25°C.

Refer to Doc 362 "Soldering Surface Mount Components" before soldering.

**S-Parameter files**  
ON OUR WEB SITE

**SPICE models**  
ON OUR WEB SITE



US +1-847-639-6400 sales@coilcraft.com  
 UK +44-1296-730506 sales@coilcraft-europe.com  
 Taiwan +886-2-2264-9646 sales@coilcraft.com.tw  
 China +86-21-6218-8074 sales@coilcraft.com.cn  
 Singapore +65-6484-5412 sales@coilcraft.com.sg

Document 185-1 Revised 10/13/15

© Coilcraft Inc. 2017  
 This product may not be used in medical or high risk applications without prior Coilcraft approval. Specifications subject to change without notice. Please check web site for latest information.

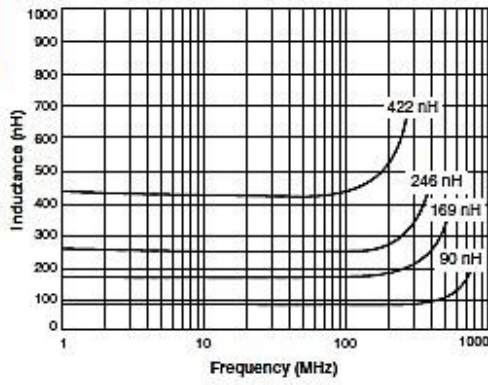
Designer's Kit C319 contains 8 each of all 5% values.  
 Designer's Kit C319-2 contains 8 each of all 2% values.



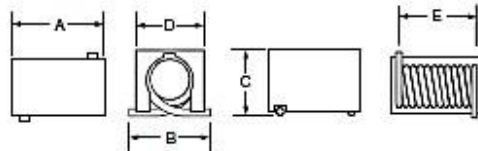
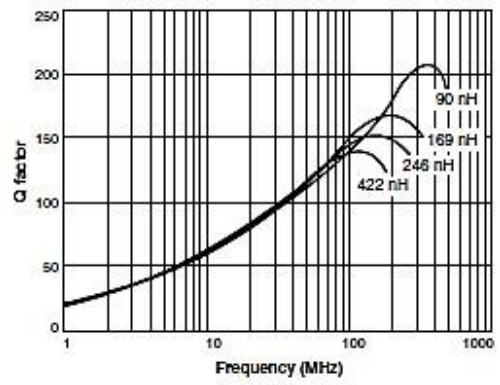
# Maxi Spring™ Air Core Inductors



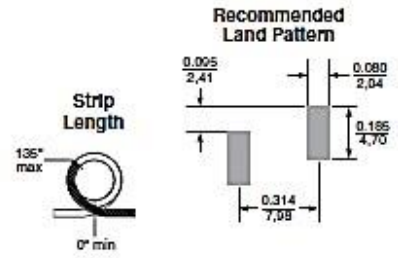
### Typical L vs Frequency



### Typical Q vs Frequency



A max	B max	C max	D	E	
0.415	0.260	0.225	0.240 ±0.015	0.314 ±0.020	inches
10,55	6,60	5,97	6,10 ±0,38	7,98 ±0,51	mm



Dimensions are in inches/mm

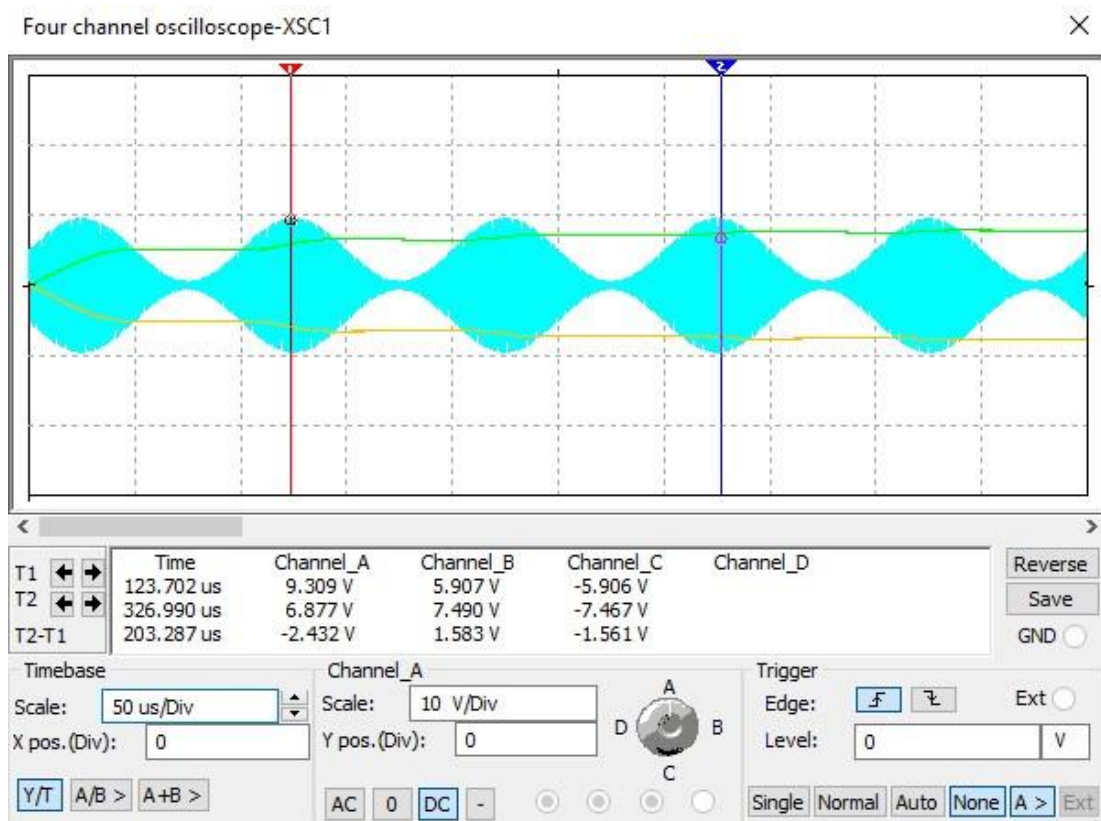


## ANEXO 4

**EN ESTE ANEXO SE PRESENTA EL DETALLE DE LA SIMULACIÓN DEL PROTOTIPO DE RADIODIFUSIÓN AM OBSERVADO EN EL CAPÍTULO 4.**

En el osciloscopio XSC1 se procede a observar las señales de la fuente de tensión V1, y las que se obtienen en las resistencias R2 y R3. Las tres señales se observan en la figura 3.

Figura 3. Visualización de señales en osciloscopio XSC1

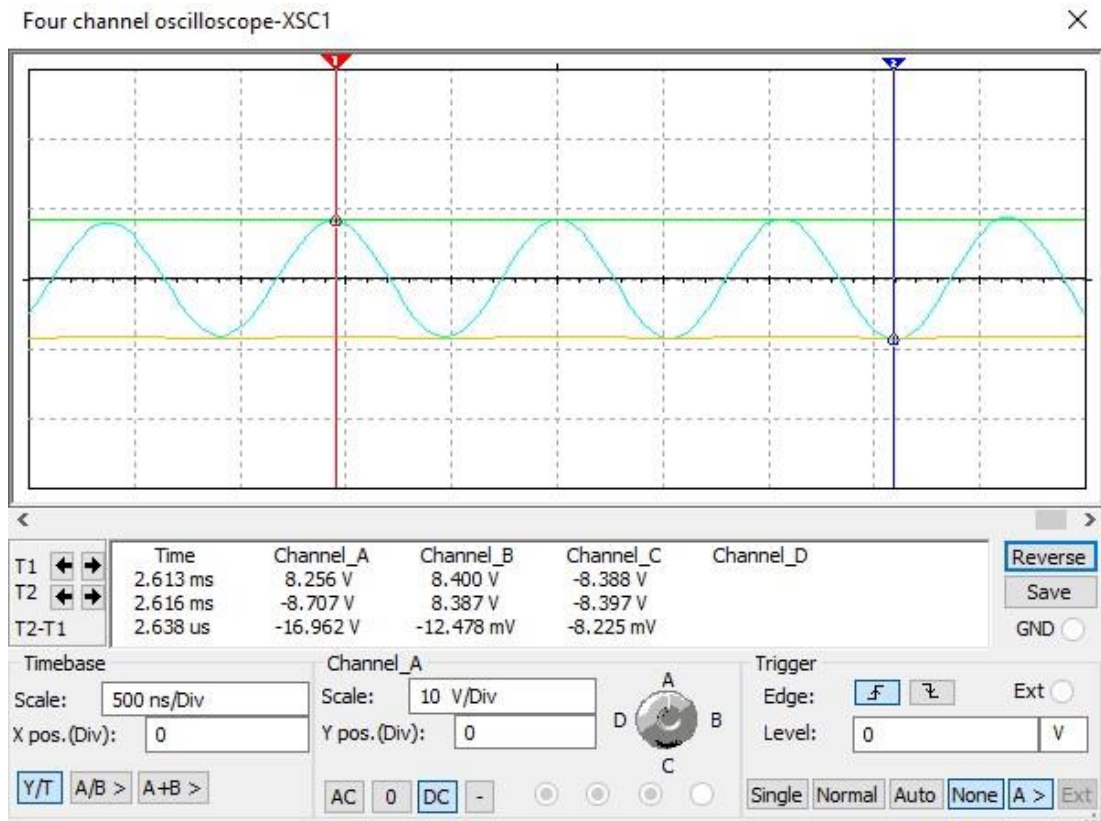


Se procede a visualizar en el osciloscopio XSC1 las señales de entrada y salida en el prototipo de recepción AM, Elaborado por: Juan Flores

En la figura 4 se observan más de cerca las señales de la figura 3, la onda senoidal en el medio y a los extremos las señales rectificadas y filtradas que caen sobre las resistencias R1 y R2, que sumadas ambas dan como resultado la señal de salida DC del circuito duplicador de tensión. Se disminuye la escala de tiempo a 500ns/Div y la de voltaje se mantiene en 10V/Div. El voltaje pico de la señal V1 senoidal es de 8.256

v (señal color cyan en channel A), en R2 se tiene un voltaje de 8.4 v (señal verde channel B) y en R3 -8.388 v (señal anaranjada en channel C).

Figura 4. Visualización de señales en osciloscopio XSC1



Visualización de las señales del osciloscopio XSC1 a una escala de tiempo (eje x) más reducida, Elaborado por: Juan Flores

Entonces se procede a calcular el voltaje de rizado, voltaje CC o DC y el factor de rizado, para lo cual se emplearán las ecuaciones 2.9, 2.10 y 2.11. Se tiene como dato de la figura 4  $V_{p2} = 8.4$  v,  $f = 940$  kHz,  $C = 1$  nF,  $R = 10$  M $\Omega$ .

$$V_R = \frac{8.4}{940 \times 10^3 \times 1 \times 10^{-9} \times 10 \times 10^6} = 8.94 \times 10^{-4} V$$

$$V_{CC} = 8.4 - \frac{8.94 \times 10^{-4}}{2} = 8.39955 V$$

$$\%r = \frac{8.94 \times 10^{-4}}{8.39955} \times 100\% = 0.010643\%$$

Ahora se procede a realizar los mismos cálculos con la diferencia de que el capacitor es de 100 microfaradios.

$$V_R = \frac{8.4}{940 \times 10^3 \times 100 \times 10^{-6} \times 10 \times 10^6} = 8.94 \times 10^{-9}V$$

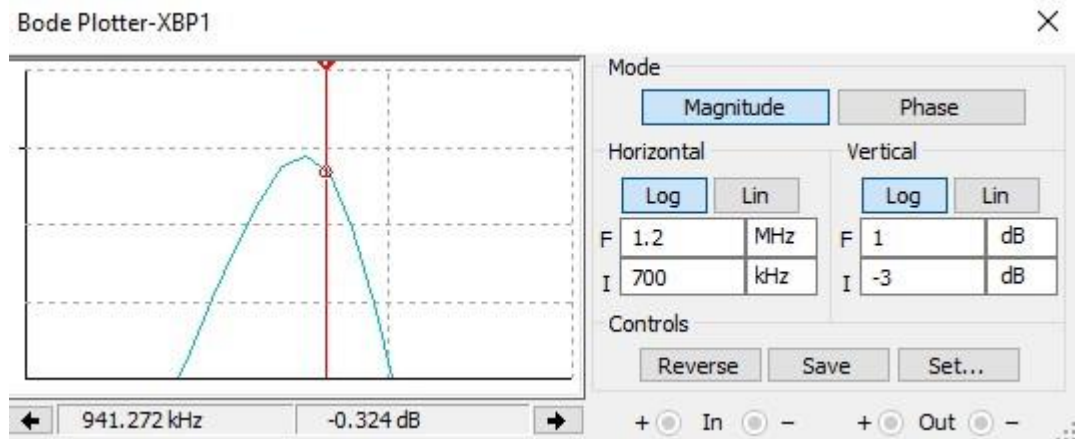
$$V_{CC} = 8.4 - \frac{8.94 \times 10^{-9}}{2} = 8.4 V$$

$$\%r = \frac{8.94 \times 10^{-4}}{8.4} \times 100\% = 1.064 \times 10^{-7}\%$$

Posteriormente se procede a observar el diagrama de Bode, a través del bode plotter XBP1, donde se comprueba la selectividad del circuito tanque, y la respuesta en frecuencia.

El primer diagrama de Bode observado en la figura 5 es el de la magnitud, en el intervalo de 700 kHz y 1.2 MHz (eje horizontal), y en el intervalo de -3 a 1 dB (eje vertical). Para la frecuencia de la fuente que es similar a 941 kHz, se tiene una ganancia de -0.349 dB (la ganancia teórica esperada es de 0 dB, con lo cual se obtendría una señal de salida del circuito tanque idéntica a la entrada, lo cual se comprobará si se cumple para diferentes frecuencias en los anexos 7 y 8).

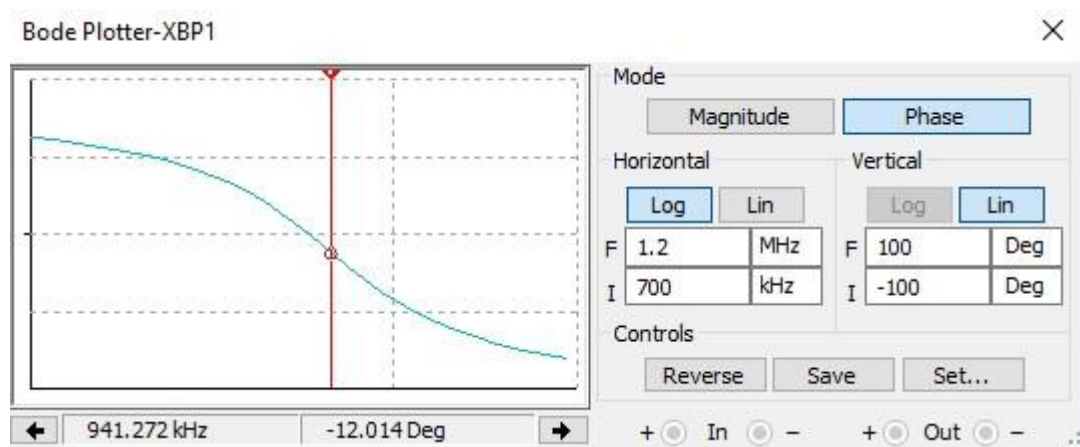
Figura 5. Diagrama de Bode de la magnitud para AM



Visualización del diagrama de Bode en Magnitud, para la frecuencia de 940 kHz, Elaborado por: Juan Flores

Y en la figura 6 se observa el diagrama de Bode en fase, donde el ángulo para la frecuencia de 941 kHz es de -12.014 grados, dentro del intervalo de -100 a 100 grados (eje vertical).

Figura 6. Diagrama de Bode de la fase para AM



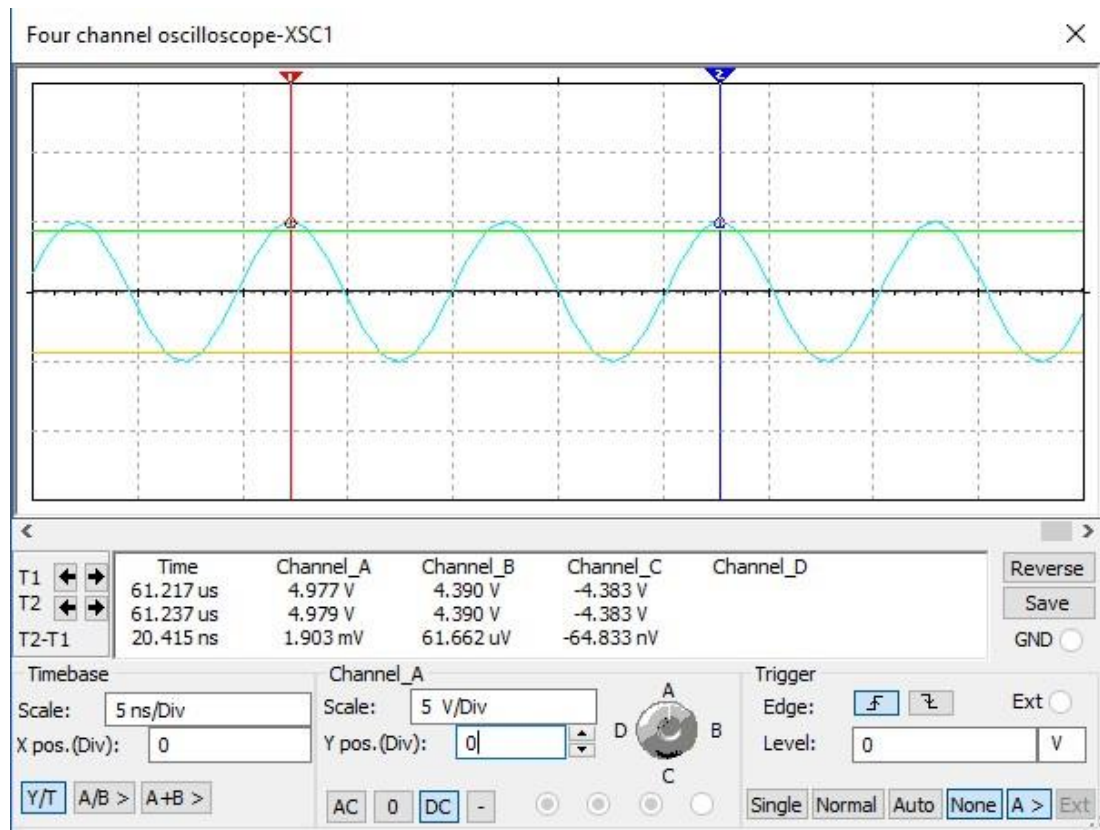
Visualización del diagrama de Bode en fase, para la frecuencia de 940 kHz, Elaborado por: Juan Flores

## ANEXO 5

### EN ESTE ANEXO SE PRESENTA EL DETALLE DE LA SIMULACIÓN DEL PROTOTIPO DE RADIODIFUSIÓN FM OBSERVADO EN EL CAPÍTULO 4.

En el osciloscopio XSC1 se observan las señales de la fuente V1, y las de R2 y R3. En la figura 7 se observa la señal en color cian, onda senoidal proveniente de la fuente V1, y a los extremos la señal en verde es la que recibe R2 y la señal anaranjada es la de R3.

Figura 7. Visualización de señales en osciloscopio XSC1



Visualización de las señales del osciloscopio XSC1 a una escala de tiempo (eje x) más reducida, Elaborado por: Juan Flores

Entonces se procede a calcular el voltaje de rizado, voltaje DC y el factor de rizado, para lo cual se emplearán las ecuaciones 2.9, 2.10 y 2.11. Se tiene como dato de la figura 7  $V_{p2} = 4.390$  v,  $f = 98.1$  MHz,  $C = 1$  nF,  $R = 10$  M $\Omega$ .

$$V_R = \frac{4.390}{98.1 \times 10^6 \times 1 \times 10^{-9} \times 10 \times 10^6} = 4 \times 10^{-6} V$$

$$V_{CC} = 4.390 - \frac{4 \times 10^{-6}}{2} = 4.39 V$$

$$\%r = \frac{4 \times 10^{-6}}{4.39} \times 100\% = 9.1 \times 10^{-5}\%$$

Ahora se procede a realizar los cálculos empleando un capacitor de 100 microfaradios:

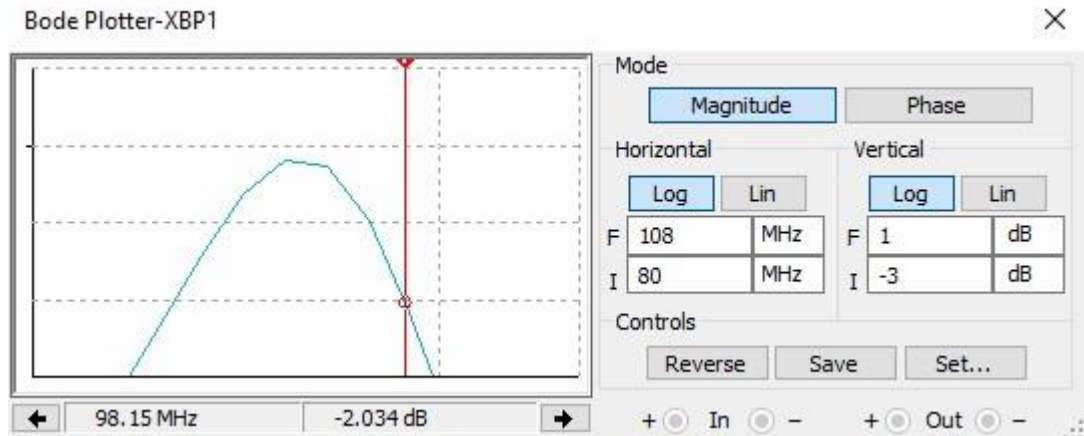
$$V_R = \frac{4.390}{98.1 \times 10^6 \times 100 \times 10^{-6} \times 10 \times 10^6} = 4.48 \times 10^{-11} V$$

$$V_{CC} = 8.530 - \frac{8.7 \times 10^{-11}}{2} = 4.39 V$$

$$\%r = \frac{4.48 \times 10^{-11}}{4.39} \times 100\% = 1.02 \times 10^{-9}\%$$

Posteriormente se procede a verificar la selectividad del circuito tanque mediante el diagrama de Bode. De acuerdo con la gráfica del Bode plotter, tal como se observa en la figura 8, existe una ganancia de -2.03 dB para la frecuencia de 98.15 MHz, en el intervalo de 80 a 108 MHz.

Figura 8. Diagrama de Bode de la magnitud para FM

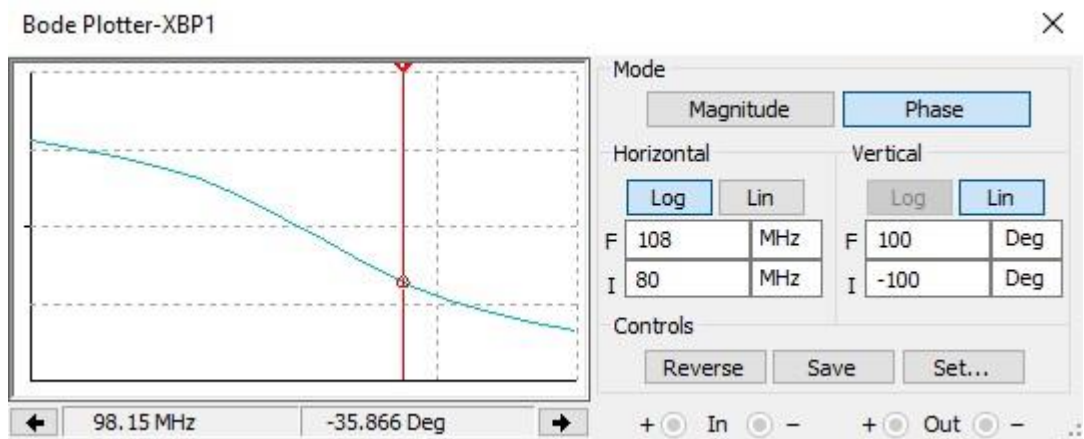


Visualización del diagrama de Bode en Magnitud, para la frecuencia de 98.1 MHz, Elaborado por: Juan Flores

De la figura anterior se observa que la frecuencia central de 98.15 MHz, se encuentra alejada a la derecha del centro de la curva de respuesta, pero esto tendría cierta lógica, ya que para las frecuencias que se reciben en FM, se busca que la frecuencia central se sitúe en la mitad o cerca de la mitad de cualquiera de los dos flancos de la curva (izquierdo o derecho), por cuestiones de demodulación (Discriminador) (Radioelectrónica, 2017).

En la figura 9 se observa según el diagrama de bode que para la frecuencia de 98.15 MHz se tiene un ángulo  $-35.866$  grados, en el intervalo de  $-100$  a  $100$  grados.

Figura 9. Diagrama de Bode de la fase para FM



Visualización del diagrama de Bode en fase, para la frecuencia de 98.1 MHz, Elaborado por: Juan Flores



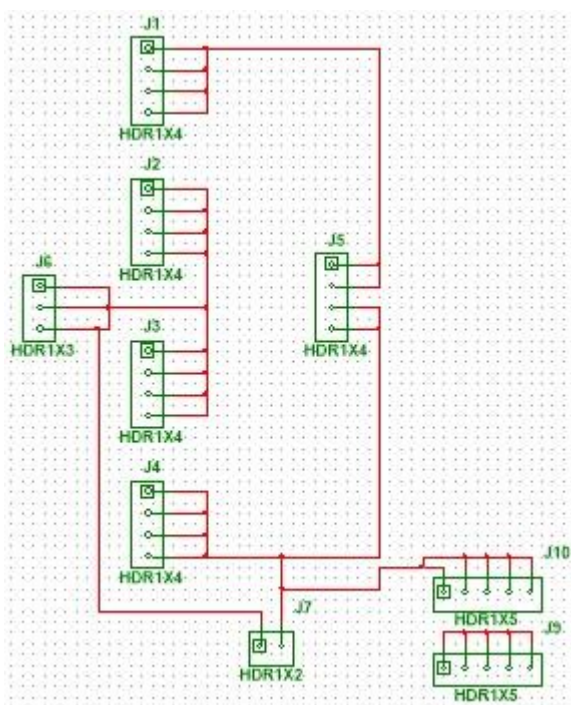
## ANEXO 6

### DISEÑO DE LOS CIRCUITOS IMPRESOS EN NI ULTIBOARD 14.1

#### Módulo de acoplamiento

Para el módulo de acoplamiento se decide poner únicamente sócalos para poder montar y desmontar fácilmente los componentes, y así lograr probar en este mismo módulo los circuitos de acoplamiento de diferentes prototipos. El correspondiente diseño se observa en la figura 10.

Figura 10. Diseño del circuito de acoplamiento en Multisim

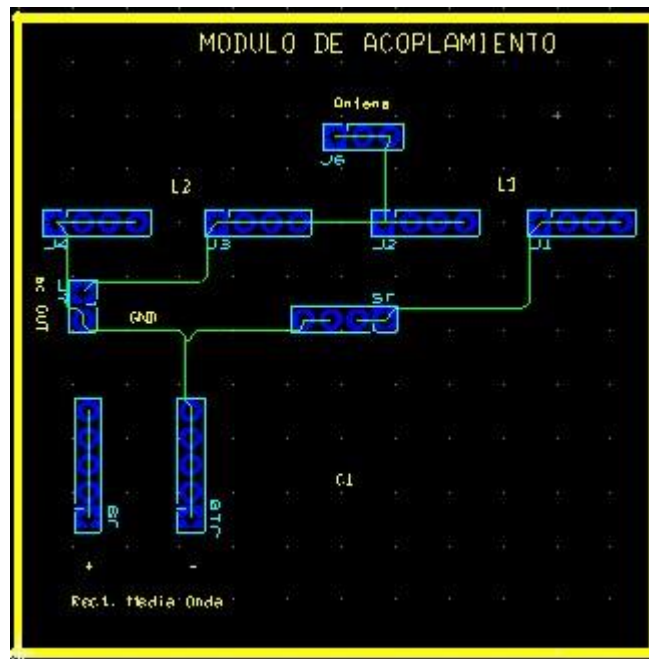


Se realiza un diseño del módulo de acoplamiento en Multisim, para exportarlo como circuito impreso, Elaborado por: Juan Flores

Posteriormente se realiza la exportación de Multisim a Ultiboard, donde se finaliza el diseño del circuito a impreso, tal como se observa en la figura 11.



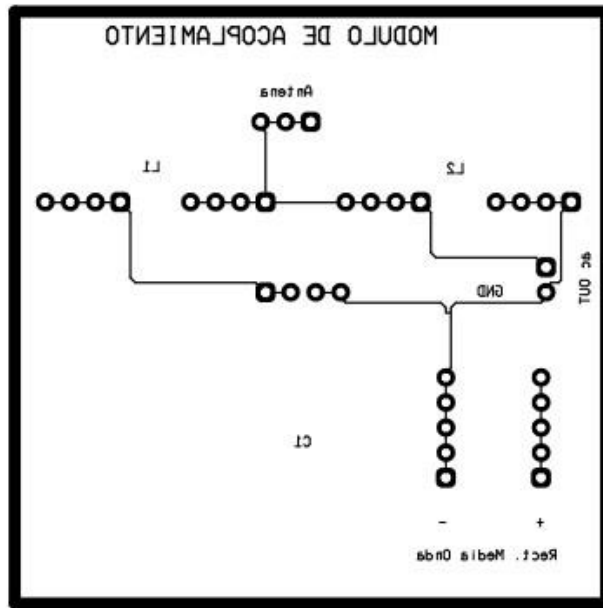
Figura 11. Diseño del circuito impreso del módulo de acoplamiento



Se exporta el diseño de Multisim a Ultiboard, Elaborado por: Juan Flores

Y se finaliza y se guarda el circuito en formato PDF, listo para imprimir y usarlo para la construcción del circuito físico. En la figura 12 se observa el circuito a imprimir, este es una imagen espejo debido a que cuando se imprime sobre la baquelita, vuelve a quedar derecho.

Figura 12. Circuito impreso del módulo de acoplamiento en formato PDF

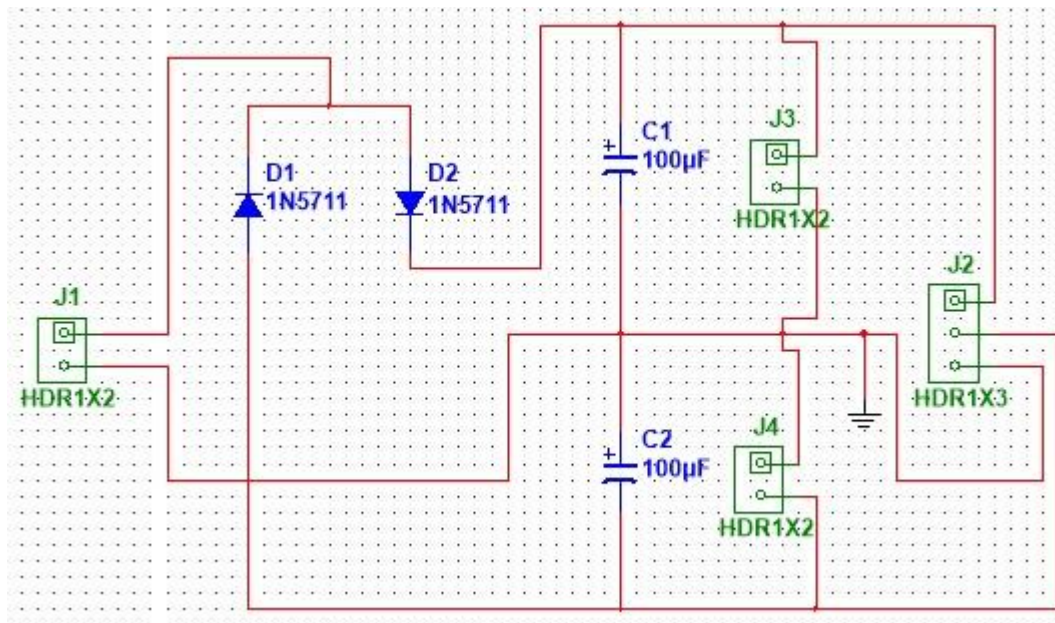


Se obtiene un archivo PDF del circuito, el mismo que se usará para dibujar en una baquelita, Elaborado por: Juan Flores

### Módulo de Rectificación

Igualmente se realiza el diseño en Multisim, para posteriormente exportarlo a Ultiboard, el circuito diseñado se lo observa en la figura 13.

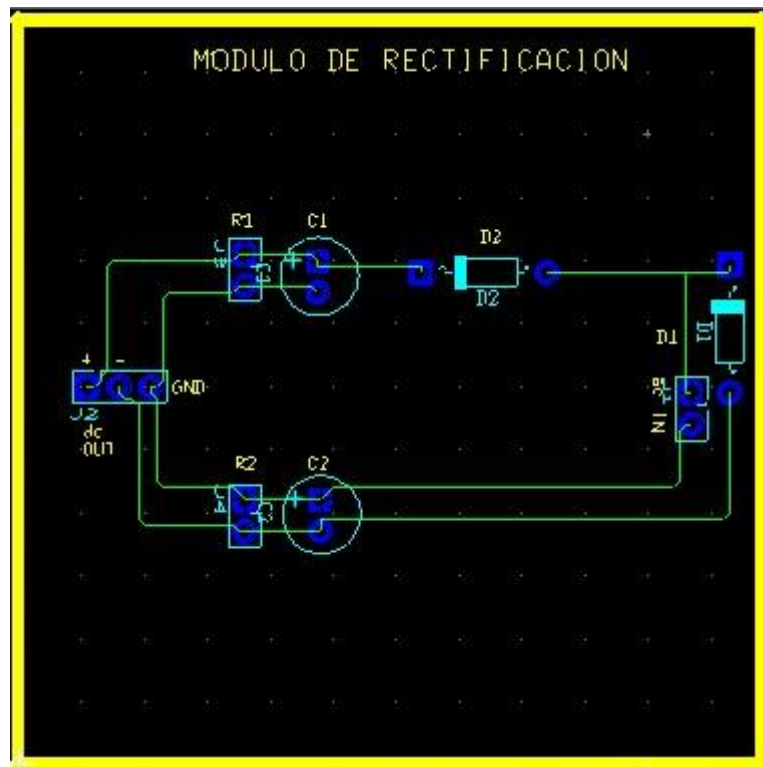
Figura 13. Diseño del circuito de rectificación en Multisim



Se realiza un diseño del módulo de rectificación en Multisim, para exportarlo como circuito impreso, Elaborado por: Juan Flores

Una vez que se exporta a Ultiboard, se procede a verificar la correcta distribución de los componentes electrónicos, y a continuar editando el circuito de manera que se lo pueda adecuar para implementar en una placa física. En la figura 14 se puede observar el diseño del circuito impreso.

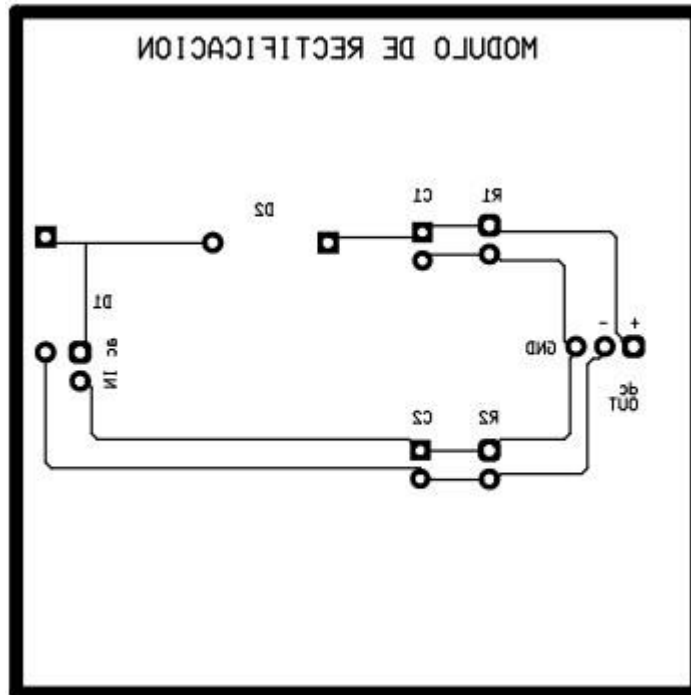
Figura 14. Diseño del circuito impreso del módulo de rectificación



Se exporta el diseño de Multisim a Ulti Board, Elaborado por: Juan Flores

Finalmente se guarda el diseño del circuito en formato PDF, para de esta forma imprimirlo y poder usarlo para dibujar el diseño del circuito sobre una baquelita, y así implementar el módulo de rectificación con todos sus componentes electrónicos. El circuito en PDF se observa en la figura 15.

Figura 15. Circuito impreso del módulo de rectificación en formato PDF

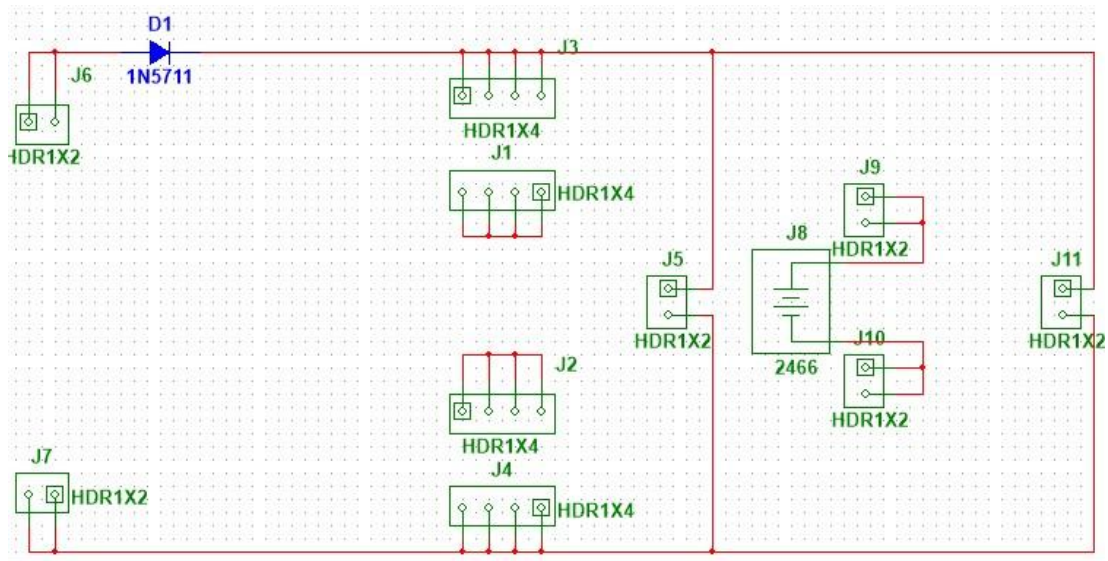


Se obtiene un archivo PDF del circuito, el mismo que se usará para dibujar en una baquelita, Elaborado por: Juan Flores

### **Módulo de almacenamiento**

Para la implementación del módulo de almacenamiento de igual manera se dejan disponibles terminales, de tal manera que se puedan conectar los dispositivos de almacenamiento en serie, paralelo, combinados o como se desee que estos sean cargados. En la figura 16 se observa el diseño del circuito en Multisim.

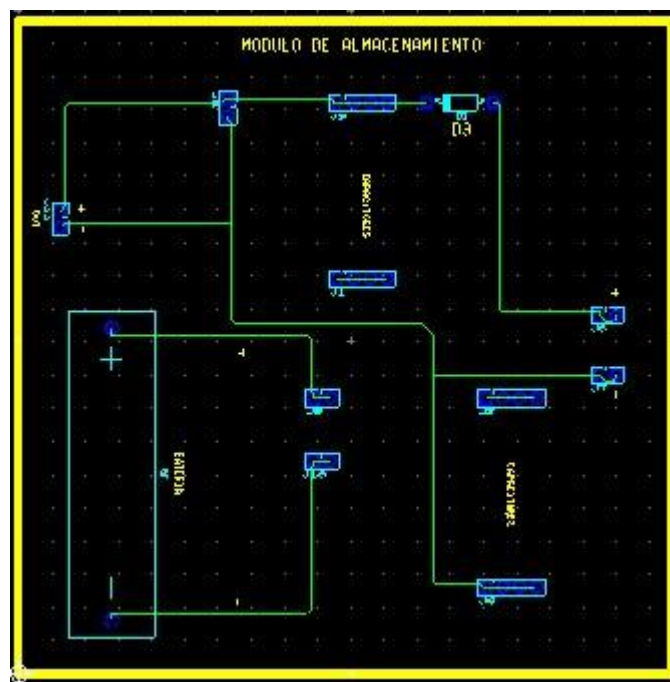
Figura 16. Diseño del circuito de almacenamiento en Multisim



Se realiza un diseño del módulo de almacenamiento en Multisim, para exportarlo como circuito impreso, Elaborado por: Juan Flores

En la figura 17 se observa el diseño del circuito impreso en Ultiboard.

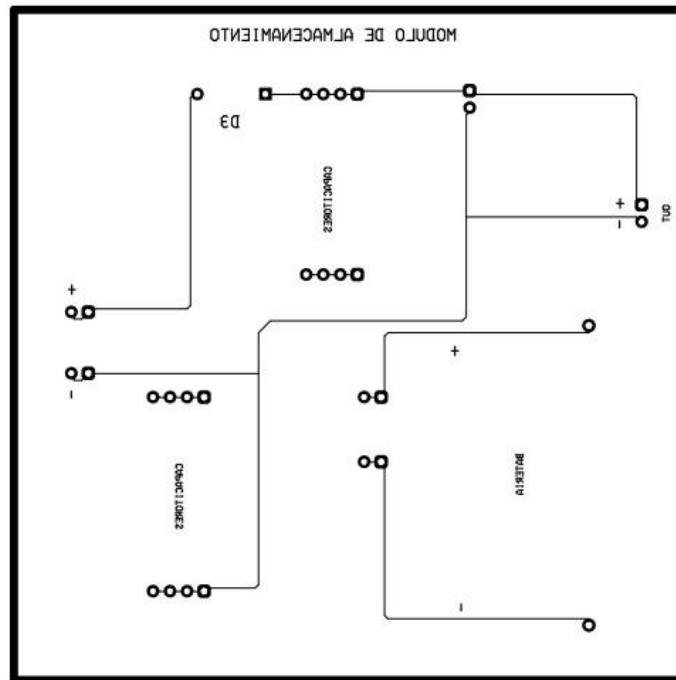
Figura 17. Diseño del circuito impreso del módulo de almacenamiento



Se exporta el diseño de Multisim a Ultiboard, Elaborado por: Juan Flores

Y finalmente en la figura 18 se observa el circuito en formato PDF que se utilizará para la fabricación del circuito en la baquelita.

Figura 18. Circuito impreso del módulo de almacenamiento en formato PDF

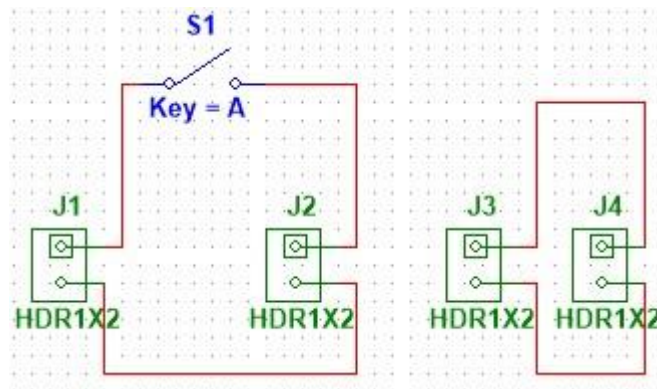


Se obtiene un archivo PDF del circuito, el mismo que se usará para dibujar en una baquelita, Elaborado por: Juan Flores

También se utilizará un módulo Step up para mantener el voltaje estable hasta 5v, esto debido a que el super capacitor, va perdiendo voltaje rápidamente, al utilizar esta clase de convertidores el voltaje se mantiene constante por un buen tiempo mientras haya energía en el capacitor, de la misma forma el convertidor Step up eleva el voltaje de la batería de 1.2 v a 5 v, y trata de mantenerlo estable mientras dure la carga de la batería.

En la figura 19 se observa el diseño del circuito que sirve para vincular el Step Up a la salida del módulo de almacenamiento.

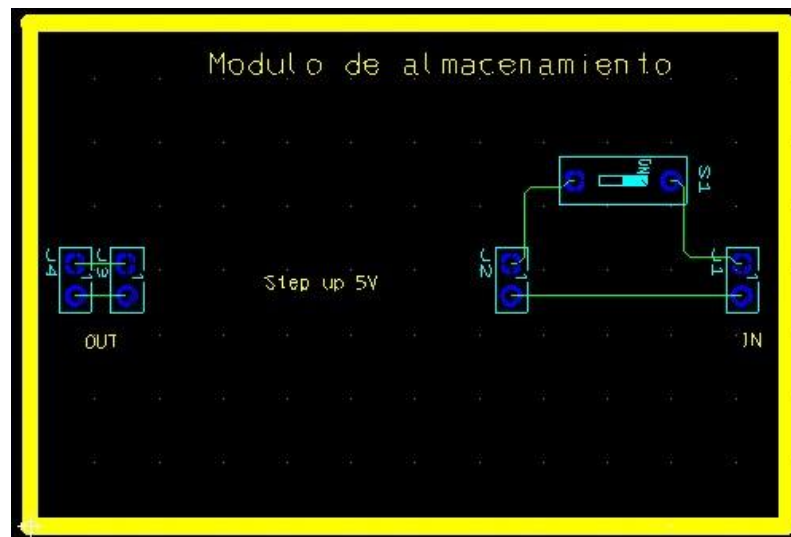
Figura 19. Circuito para el módulo elevador de voltaje en Multisim



Se realiza un diseño del módulo de almacenamiento en Multisim, para exportarlo como circuito impreso, Elaborado por: Juan Flores

En la figura 20 se observa el circuito impreso final en Ultiboard.

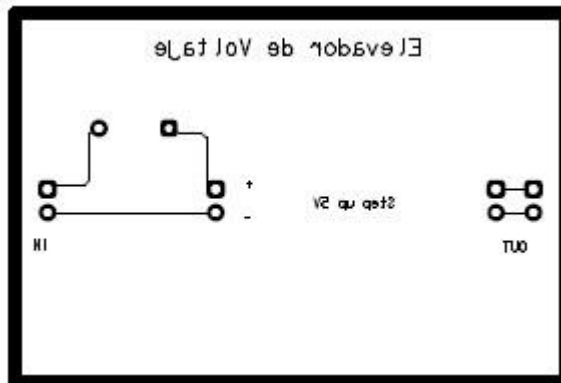
Figura 20. Diseño del circuito impreso para el elevador de voltaje



Se exporta el diseño de Multisim a Ulti Board, Elaborado por: Juan Flores

Y en la figura 21 se observa el circuito en formato PDF exportado desde Ultiboard para imprimir.

Figura 21. Circuito impreso del elevador de voltaje en formato PDF

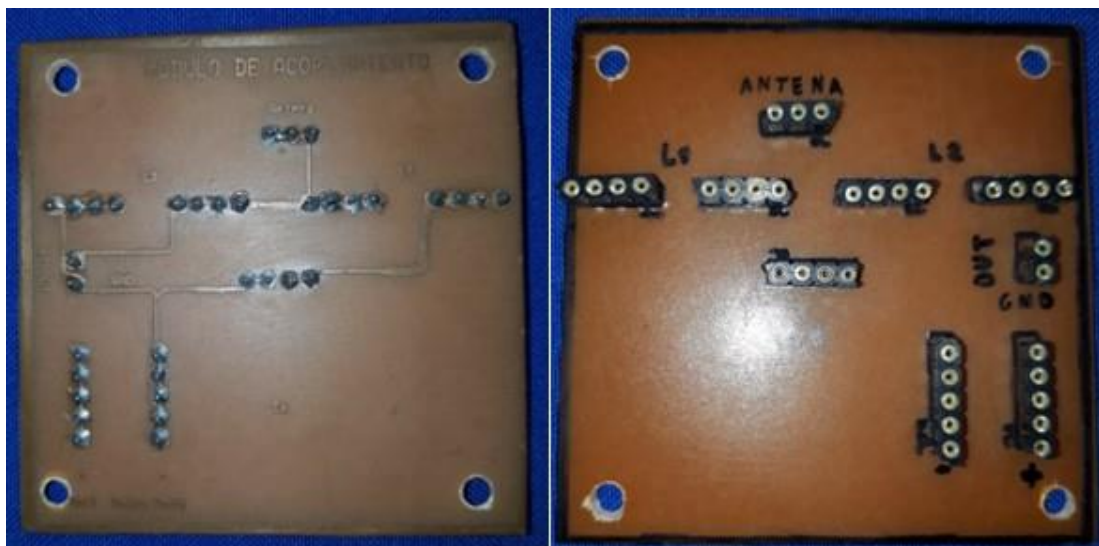


Se obtiene un archivo PDF del circuito, el mismo que se usará para dibujar en una baquelita, Elaborado por: Juan Flores

Posteriormente se muestran todas las placas o tarjetas electrónicas de los circuitos físicos terminados:

En la figura 22 se observa el circuito impreso del módulo de acoplamiento, a la izquierda se observa el lado de las pistas, junto con las soldaduras y a la derecha se observan los sócalos donde se colocarán los respectivos componentes.

Figura 22. Circuito impreso del módulo de acoplamiento

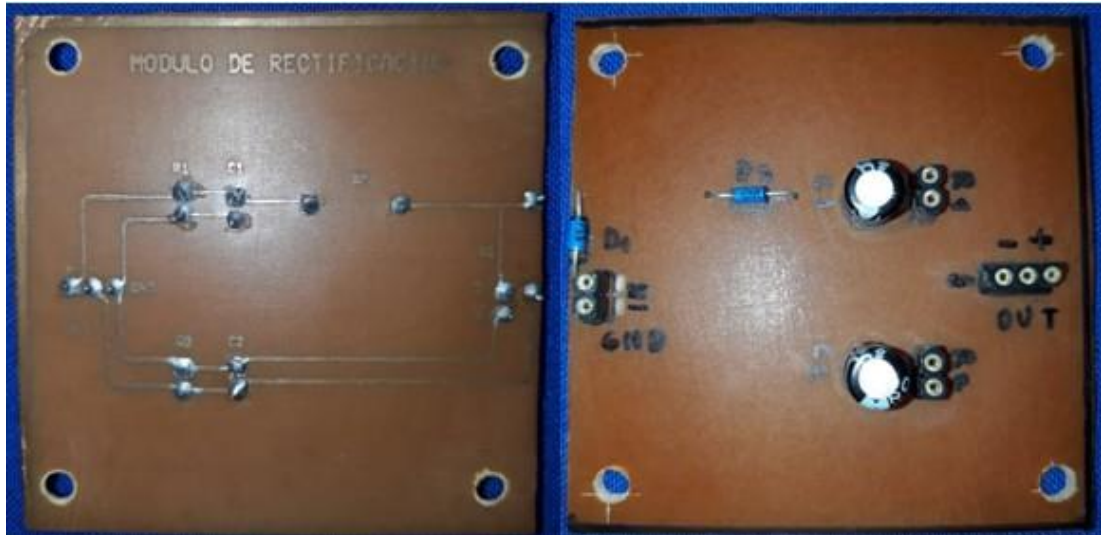


Se observan ambos lados del circuito físico del módulo de acoplamiento, Elaborado por: Juan Flores



En la figura 23 se observa el circuito impreso del módulo de rectificación.

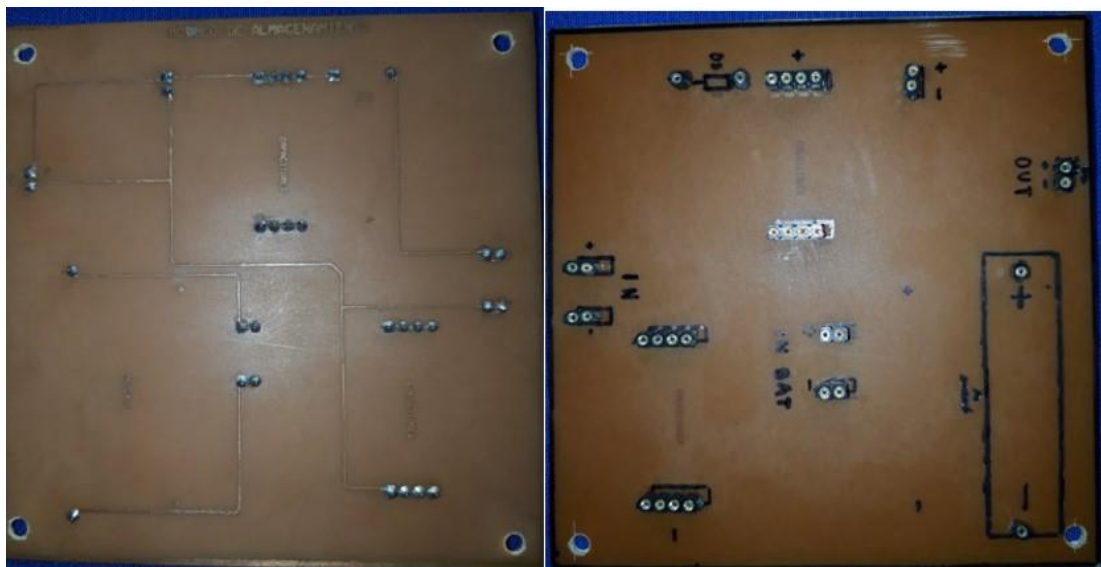
Figura 23. Circuito impreso del módulo de rectificación



Se observan ambos lados del circuito físico del módulo de rectificación, Elaborado por: Juan Flores

En la figura 24 se observa el circuito impreso del módulo de almacenamiento.

Figura 24. Circuito impreso del módulo de almacenamiento



Se observan ambos lados del circuito físico del módulo de almacenamiento, Elaborado por: Juan Flores

Finalmente, en la figura 25 se observa el circuito impreso del elevador de voltaje que irá conectado al módulo de almacenamiento.

Figura 25. Circuito impreso del elevador de voltaje



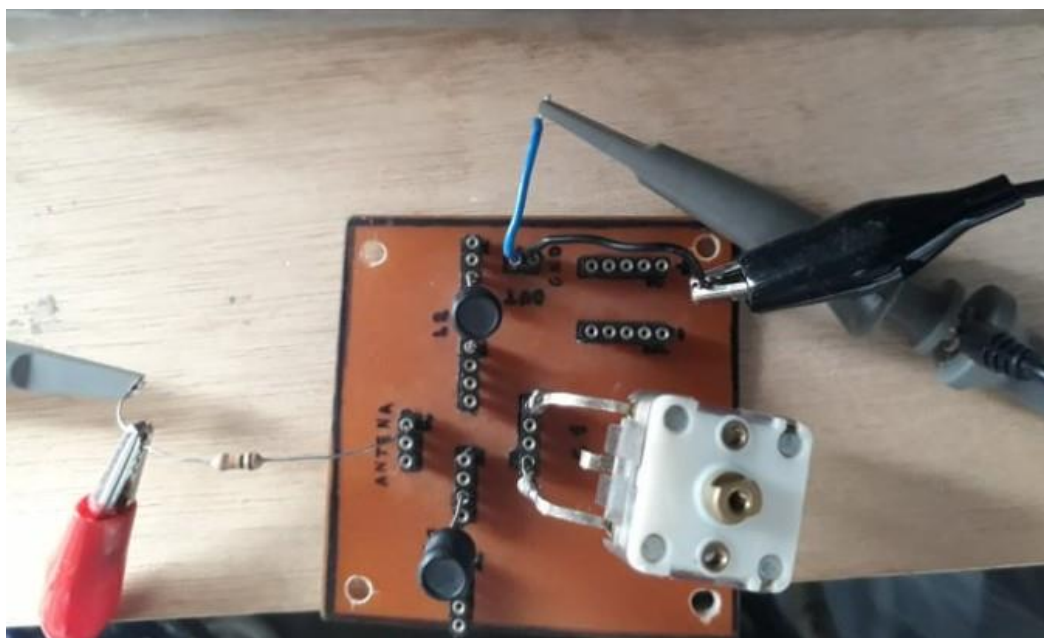
Se observan ambos lados del circuito físico donde se colocará el elevador de voltaje, Elaborado por:  
Juan Flores

## ANEXO 7

### DETALLE DE LAS PRUEBAS PRELIMINARES DEL CAPÍTULO 5 DEL PROTOTIPO DE AM EN EL LABORATORIO

En la figura 26, se observa el circuito de acoplamiento o circuito tanque del prototipo de captación AM y se realizan las mediciones a la entrada y salida de este, para lo cual a la entrada se emplea una resistencia de 10 kilo ohmios en lugar de la antena debido a que esto representa la impedancia de antena tanto del transmisor como del receptor, y a través de esta ingresa la señal del generador (que hace la función de transmisor) por medio del caimán rojo, mismo que se vincula con un conector BNC a través de un cable coaxial, el conector BNC se conecta a la salida del generador de frecuencia. Al lado del caimán se observa la punta de osciloscopio, misma que se conecta al channel 1 del osciloscopio. En la salida del circuito tanque o de acoplamiento se observa conectada otra punta de osciloscopio a un cable celeste, y el caimán negro que se vincula a esta punta se conecta un cable negro que a su vez se conecta a la parte de tierra de del circuito de acoplamiento.

Figura 26. Medición del circuito tanque de AM



Se observa el circuito tanque del prototipo de AM, Elaborado por: Juan Flores

La primera señal para evaluar se establece a una frecuencia de 570 kHz, misma que se selecciona en el generador de funciones o señales, como se observa en la figura 27.

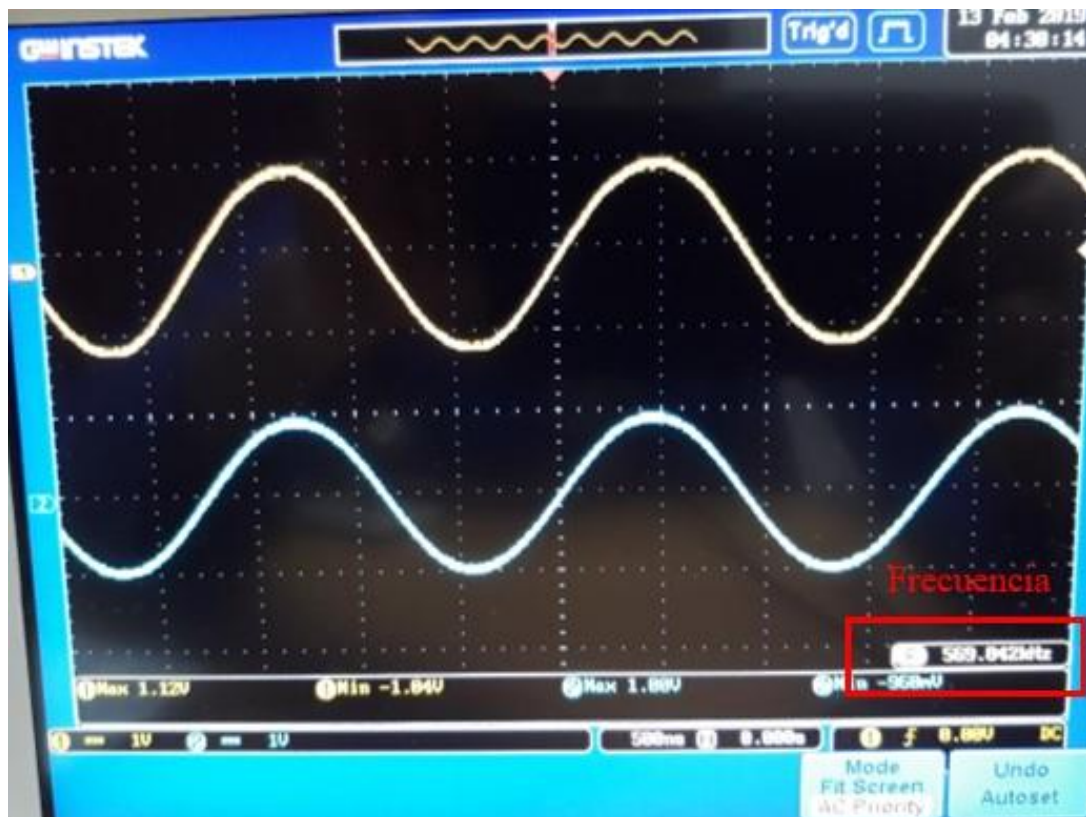
Figura 27. Generador de señales a 570 kHz



Se observa la frecuencia de 570 kHz, seleccionada en el generador de señales, Elaborado por: Juan Flores

Se procede a sintonizar el circuito tanque a la frecuencia antes seleccionada, para lo cual se gira la perilla del capacitor variable de tal forma que se visualice dos señales muy similares, en la figura 28 la señal en amarillo o channel 1 (1V/Div) es la señal del generador y la señal en celeste o channel 2 (1V/Div) es la señal de salida del circuito tanque.

Figura 28. Visualización de señales de entrada y salida a 570 kHz



Se visualizan las señales de entrada y salida del circuito tanque sintonizado a 570 kHz, en la pantalla del osciloscopio, Elaborado por: Juan Flores

Además, se procede a medir la capacitancia del condensador variable para posteriormente comparar con el valor de capacitancia calculada u obtenida de forma teórica. El valor de capacitancia medido para la frecuencia de 570 kHz es de 63.8 picofaradios tal como se observa en la figura 29.

Figura 29. Medición de capacitancia para 570 kHz



Se observa la capacitancia medida con un medidor de capacitancia, para la frecuencia de 570 KHz,  
Elaborado por: Juan Flores

En la figura 30 se observa que la siguiente frecuencia por analizar es de 720 kHz.



Figura 30. Generador de señales a 720 kHz



Se observa la frecuencia de 720 kHz, seleccionada en el generador de señales, Elaborado por: Juan Flores

Posteriormente en la figura 31 se visualiza las señales de entrada y salida del circuito tanque sintonizado a 720 kHz.

Figura 31. Visualización de señales de entrada y salida a 720 kHz



Se visualizan las señales de entrada y salida del circuito tanque sintonizado a 720 kHz, en la pantalla del osciloscopio, Elaborado por: Juan Flores

Se procede a medir la capacitancia del condensador, en la figura 32 se observa que esta es de 24 picofaradios.

Figura 32. Medición de capacitancia para 720 kHz



Se observa la capacitancia medida con un medidor de capacitancia, para la frecuencia de 720 KHz,  
Elaborado por: Juan Flores

En la figura 33 se observa que la siguiente frecuencia que se selecciona en el generador de frecuencias es la de 940 kHz.

Figura 33. Generador de señales a 940 kHz



Se observa la frecuencia de 940 kHz, seleccionada en el generador de señales, Elaborado por: Juan Flores

Posteriormente en la figura 34 se visualiza las señales de entrada y salida del circuito tanque a 940 kHz.

Figura 34. Visualización de señales de entrada y salida a 940 kHz



Se visualizan las señales de entrada y salida del circuito tanque sintonizado a 940 kHz, en la pantalla del osciloscopio, Elaborado por: Juan Flores



Se procede a medir la capacitancia del condensador, en la figura 35 se observa que esta es de 15.7 picofaradios.

Figura 35. Medición de capacitancia para 940 kHz



Se observa la capacitancia medida con un medidor de capacitancia, para la frecuencia de 940 KHz,  
Elaborado por: Juan Flores

La siguiente frecuencia que se selecciona en el generador de frecuencias es la de 1450 kHz o 1.448 MHz, como se observa en la figura 36.

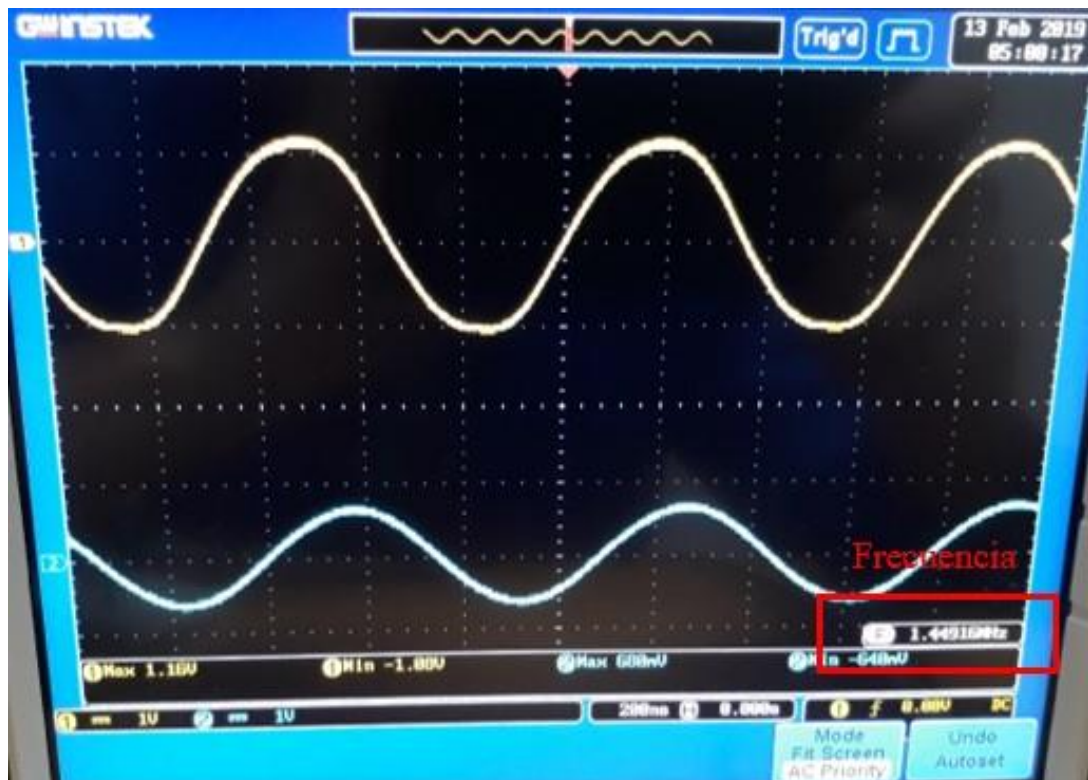
Figura 36. Generador de señales a 1450 kHz



Se observa la frecuencia de 1450 kHz, seleccionada en el generador de señales, Elaborado por: Juan Flores

En la figura 37 e visualiza en el osciloscopio las señales de entrada y salida para esta frecuencia.

Figura 37. Visualización de señales de entrada y salida a 1450 kHz



Se visualizan las señales de entrada y salida del circuito tanque sintonizado a 1450 kHz, en la pantalla del osciloscopio, Elaborado por: Juan Flores

Y se mide la capacitancia del capacitor del circuito tanque, en la figura 38 se observa que esta es de 5.2 picofaradios.

Figura 38. Medición de capacitancia para 1450 kHz



Se observa la capacitancia medida con un medidor de capacitancia, para la frecuencia de 1450 KHz, Elaborado por: Juan Flores

Ahora se decide verificar la señal convertida a continua, para lo cual se conecta el módulo de rectificación, y se conecta el channel 2 a la salida de este, como se observa en la figura 39.

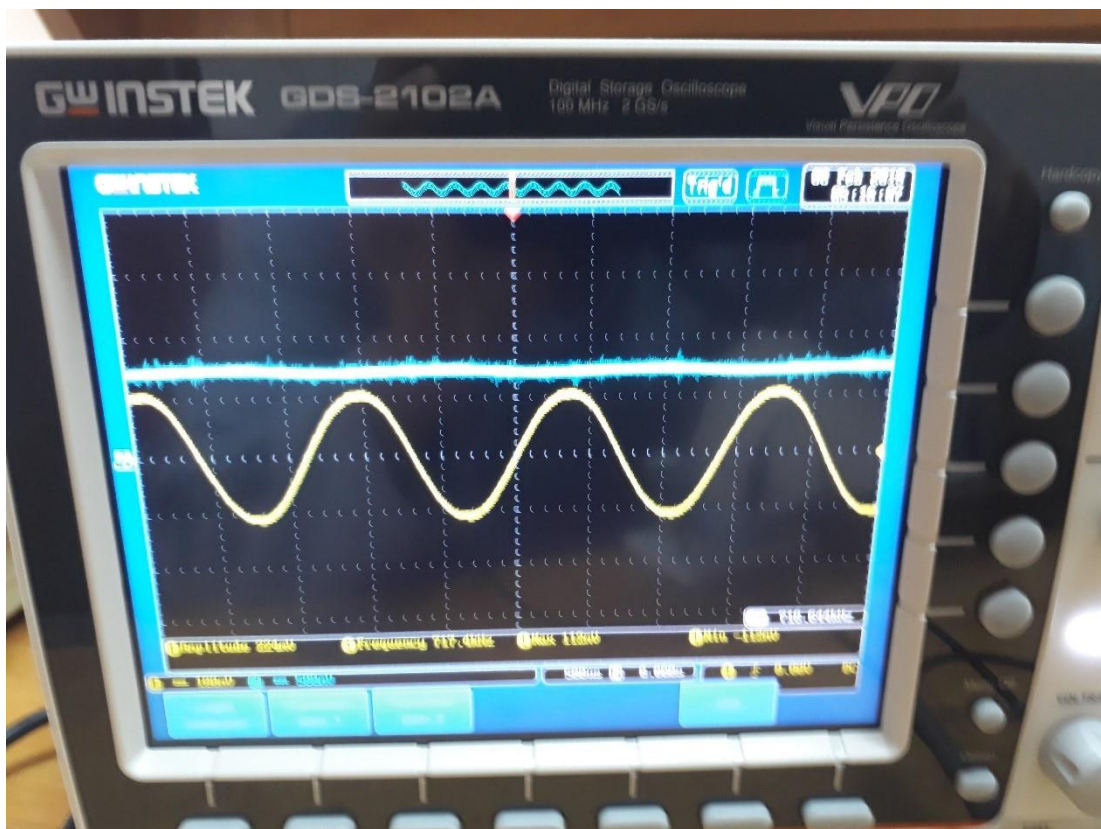
Figura 39. Conectando módulo de rectificación



Se conecta módulo de rectificación para comprobar la salida en DC, Elaborado por: Juan Flores

En la figura 40 se visualiza las señales de entrada del circuito tanque en amarillo y de salida del circuito de rectificación en celeste.

Figura 40. Visualización de la señal rectificada

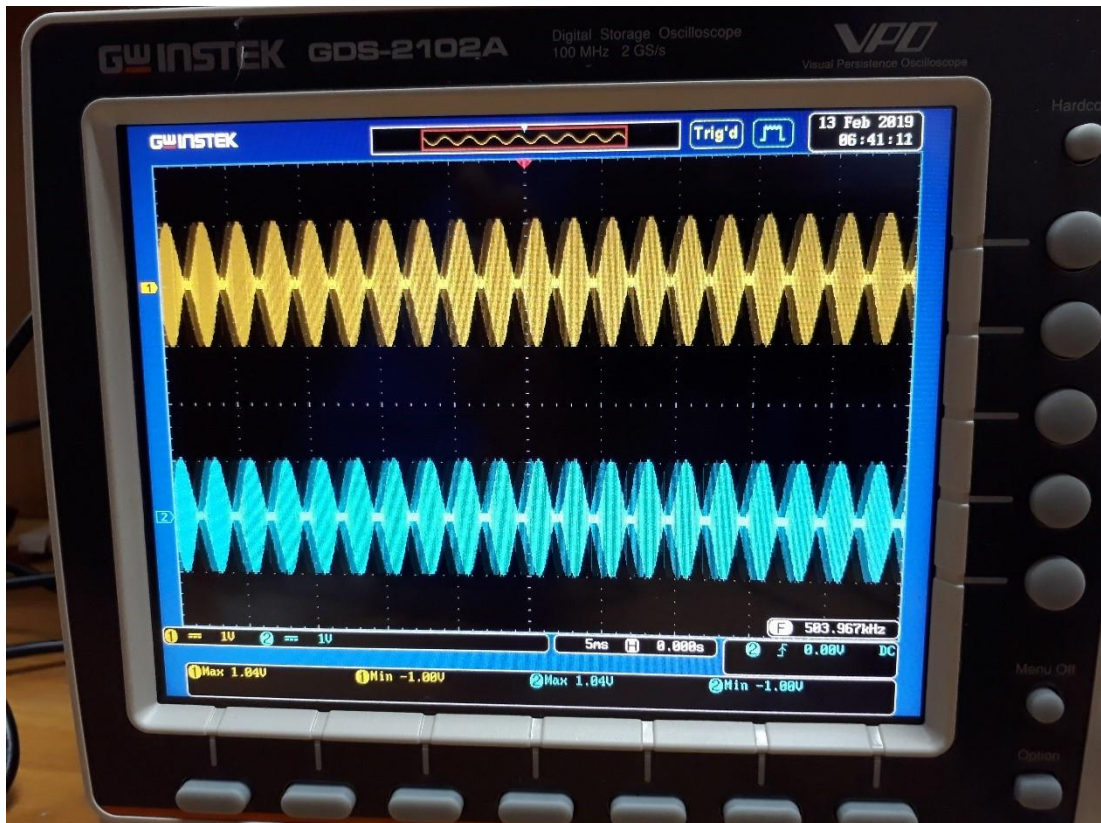


Se observan la señal de entrada y la salida rectificada en la pantalla del osciloscopio, Elaborado por: Juan Flores



Por último, se verifica el correcto funcionamiento para una modulación AM y FM, que son las más comunes en las señales analógicas transmitidas por los medios de comunicación. En la figura 41 se observa la señal de entrada y salida del circuito tanque en modulación AM.

Figura 41. Visualización de modulación AM



Se observan la señal de entrada y la salida con modulación AM en la pantalla del osciloscopio,  
Elaborado por: Juan Flores

En la figura 42 se observa las señales de entrada y salida del circuito tanque con una modulación FM.

Figura 42. Visualización de modulación FM



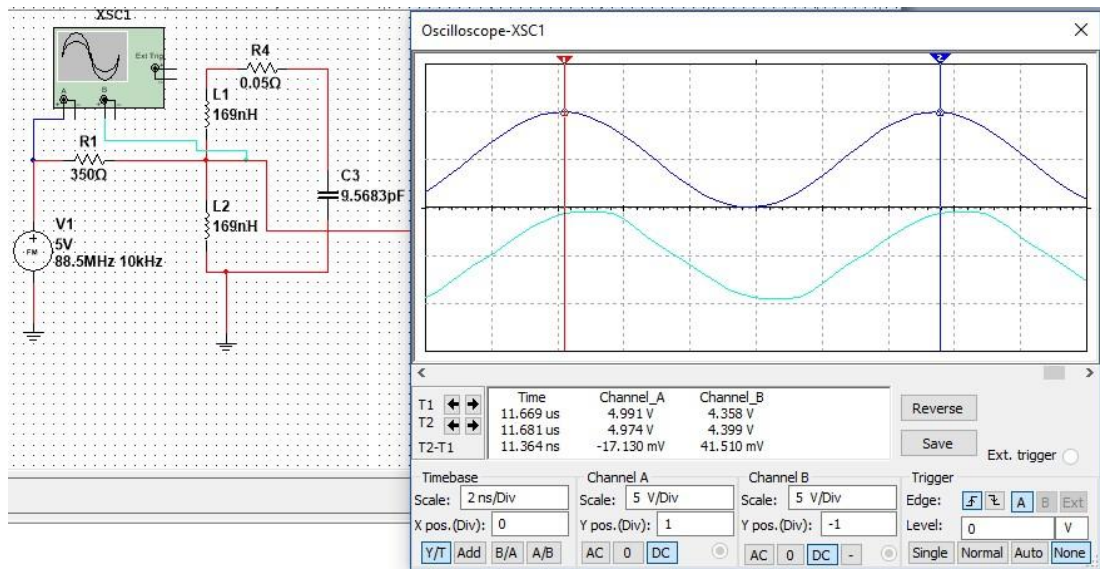
Se observan la señal de entrada y la salida con modulación FM en la pantalla del osciloscopio, Elaborado por: Juan Flores

## ANEXO 8

### DETALLES DE LAS PRUEBAS PRELIMINARES DEL CAPÍTULO 5, DEL PROTOTIPO DE FM

La primera frecuencia seleccionada es la de 88.5MHz. En la figura 43 se observa que se conecta el channel A del osciloscopio a la fuente emisora, y el channel B a la salida del circuito tanque en la bobina L2, después se observa en la pantalla del osciloscopio dos señales, la de azul channel A y la de color cyan channel B, y se comprueba que se obtiene una señal de salida muy similar a la de entrada.

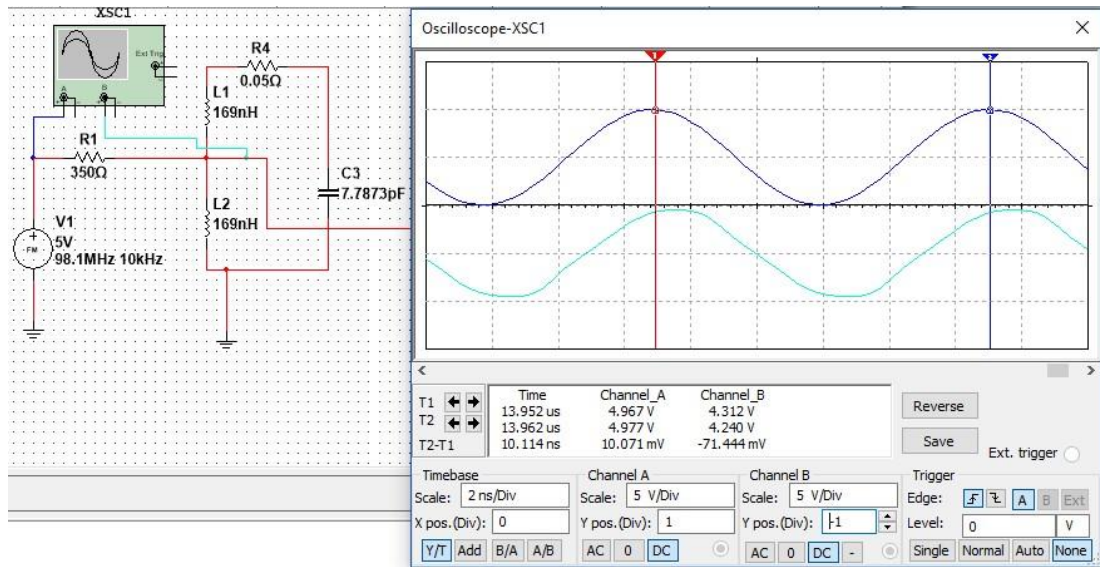
Figura 43. Visualización de señales de entrada y salida a 88.5 MHz



Se comprueba la selectividad para la frecuencia 88.5 MHz, valor de inductancia 338 nH y de capacitancia 9.5683 pF, Elaborado por: Juan Flores

La segunda frecuencia seleccionada es la de 98.1MHz. Y de la misma forma en la figura 44 se comprueba las señales de entrada y salida del circuito tanque.

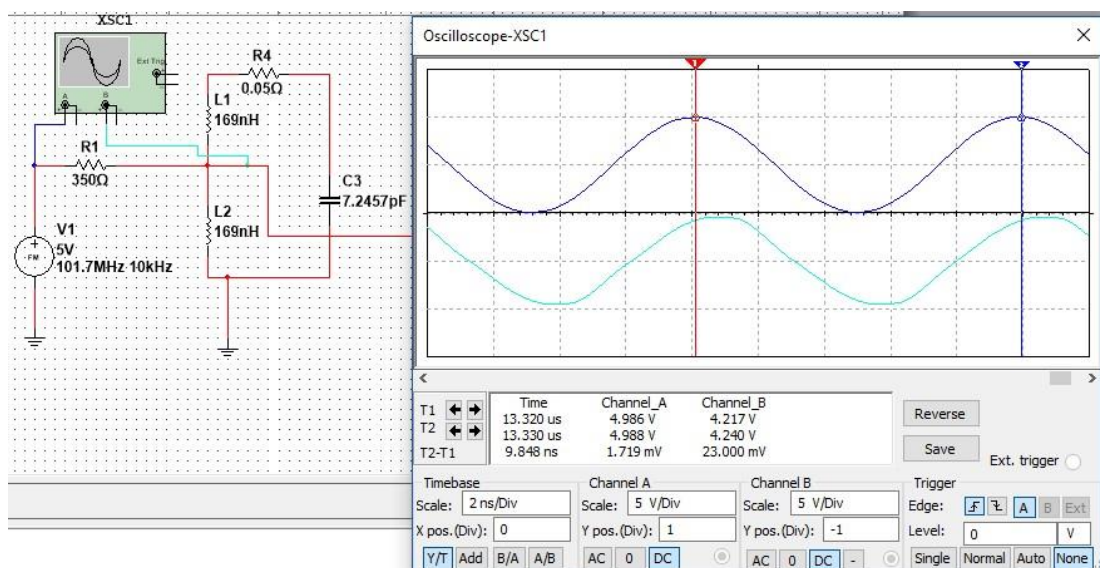
Figura 44. Visualización de señales de entrada y salida a 98.1 MHz



Se comprueba la selectividad para la frecuencia 98.1 MHz, valor de inductancia 338 nH y de capacitancia 7.7873 pF, Elaborado por: Juan Flores

Después se selecciona la frecuencia 101.7 MHz, en la figura 45 se verifica la respuesta para esta frecuencia.

Figura 45. Visualización de señales de entrada y salida a 101.7 MHz

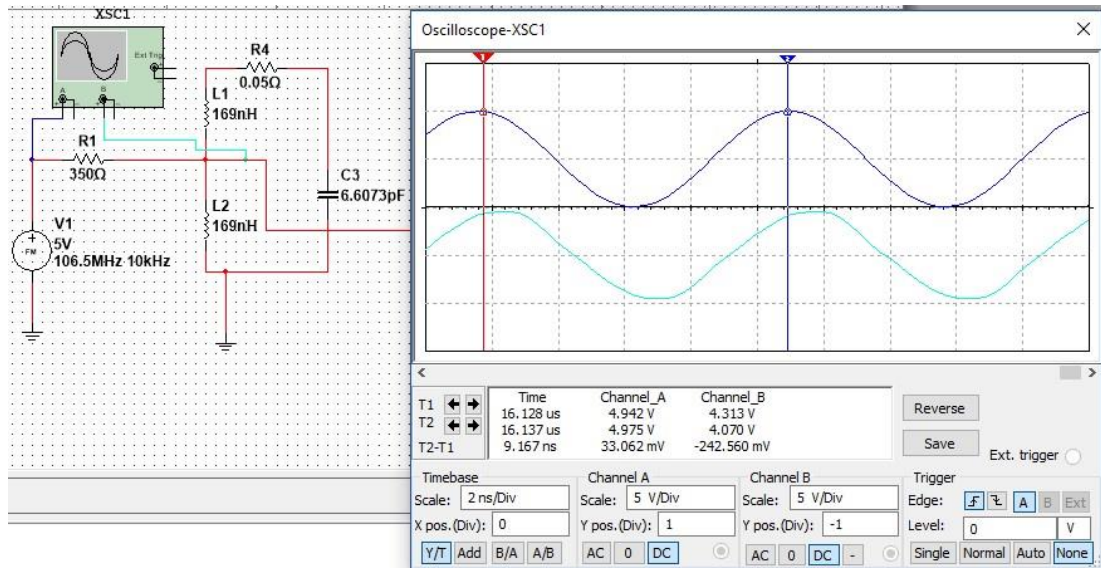


Se comprueba la selectividad para la frecuencia 101.7 MHz, valor de inductancia 338 nH y de capacitancia 7.2457 pF, Elaborado por: Juan Flores



Por último, se selecciona la frecuencia de 106.5 MHz, los resultados se visualizan en la figura 46.

Figura 46. Visualización de señales de entrada y salida a 106.5 MHz



Se comprueba la selectividad para la frecuencia 106.5 MHz, valor de inductancia 338 nH y de capacitancia 6.6073 pF, Elaborado por: Juan Flores

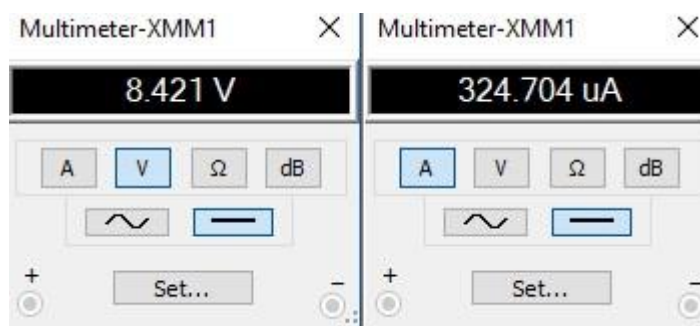
## ANEXO 9

### DETALLE DE MEDICIONES Y RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DEL CAPÍTULO 5

#### Mediciones del prototipo de AM mediante simulación

Se procede a revisar los correspondientes valores medidos por el multímetro XMM1 en la figura 47 se observa que el voltaje obtenido en la salida de media onda del circuito rectificador es de alrededor de 8.4 voltios y la corriente obtenida es de 324.7 uA.

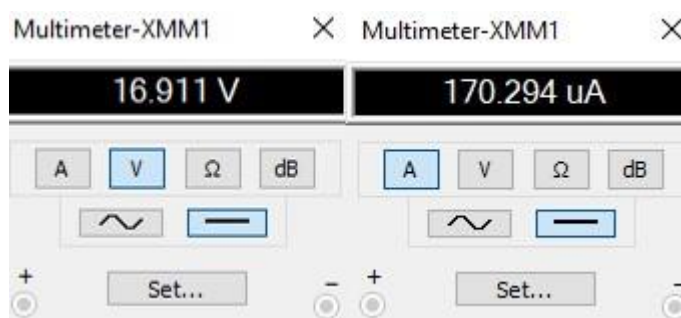
Figura 47. Primera medición en AM (Figura 5.1)



Se muestra la medición de voltaje y corriente efectuada en una salida de media onda para AM, mediante simulación, Elaborado por: Juan Flores

Luego en la figura 48 se verifica que el voltaje se logró doblar al medir este en la salida de onda completa, y de la misma forma se procede a medir la corriente:

Figura 48. Segunda medición en AM (Figura 5.2)

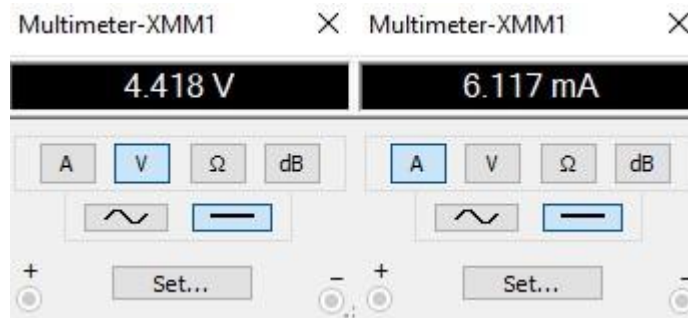


Se muestra la medición de voltaje y corriente efectuada en la salida de onda completa para AM, mediante simulación, Elaborado por: Juan Flores

### Mediciones del prototipo de FM mediante simulación

Ahora se procede a realizar las mediciones para FM, de la misma forma se empieza midiendo el voltaje y la corriente en la salida de media onda como se muestra en la figura 49:

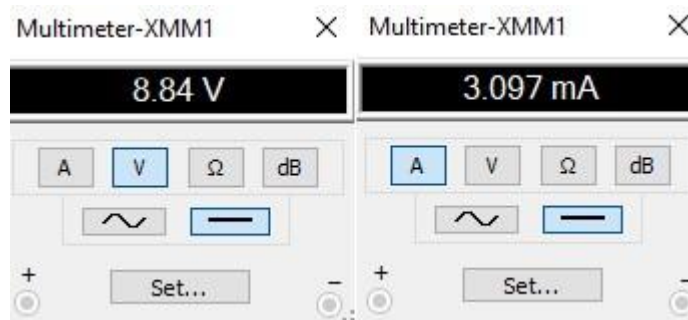
Figura 49. Primera medición en FM (Figura 5.3)



Se muestra la medición de voltaje y corriente efectuada en una salida de media onda para FM, mediante simulación, Elaborado por: Juan Flores

Luego se verifica la salida de voltaje en el doblador y la corriente tal como se muestra en la figura 50.

Figura 50. Segunda medición en FM (Figura 5.4)



Se muestra la medición de voltaje efectuada en la salida de onda completa para FM, mediante simulación, Elaborado por: Juan Flores

## Escenario de pruebas físicas

Se procede a mostrar los resultados de las pruebas de captación y carga efectuadas con el dispositivo después de su construcción.

En la figura 51 se observa el lugar donde se coloca el sistema para realizar las respectivas pruebas con el prototipo ya construido y colocado en una caja de acrílico.

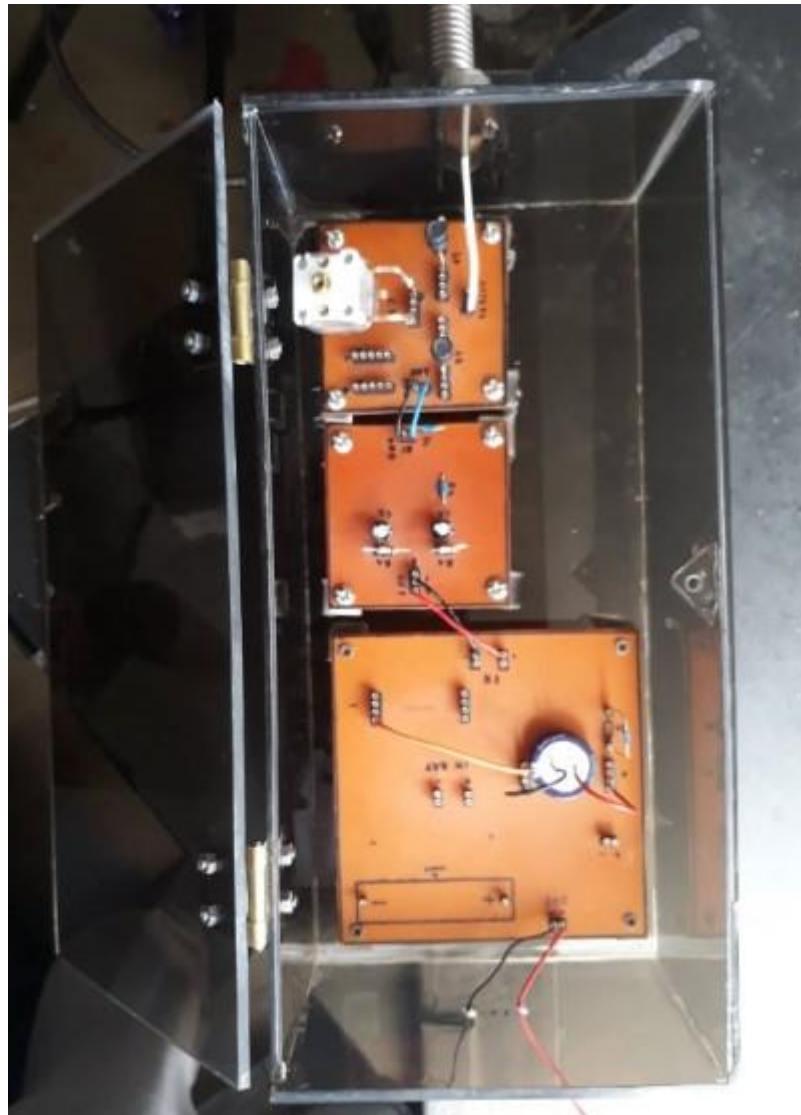
Figura 51. Colocación de la antena y sistema RF



Se observa el lugar donde se coloca el dispositivo para realizar las pruebas respectivas, Elaborado por: Juan Flores

En la figura 52 se observa algunos de los circuitos colocados (módulo de acoplamiento, módulo de rectificación y módulo de almacenamiento) junto a la antena antes de subir todo el sistema.

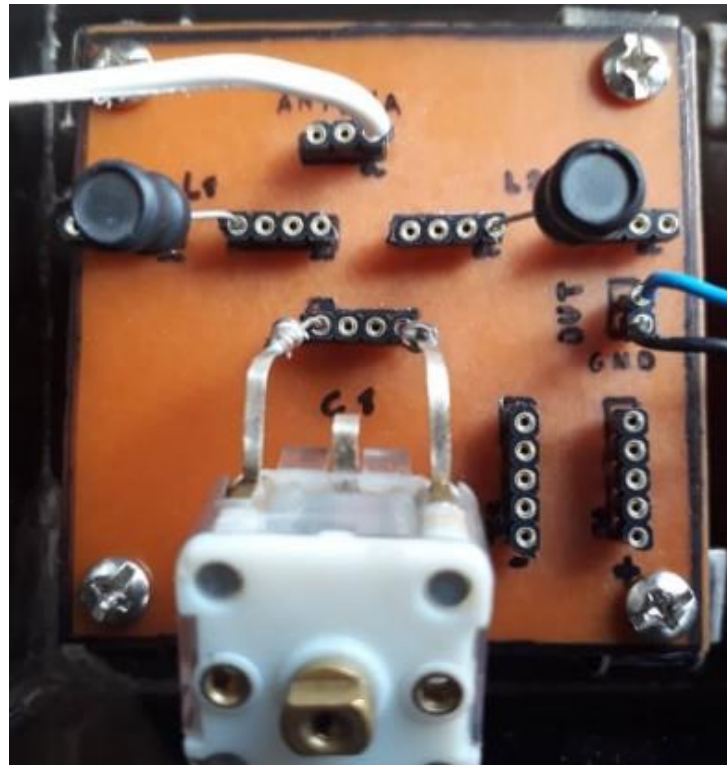
Figura 52. Colocación de algunos circuitos del sistema RF



Se observan los circuitos a colocarse en el interior de la caja antes de subirlos y realizar las pruebas,  
Elaborado por: Juan Flores

La primera prueba de captación es la de señales de radiodifusión AM. En la figura 53 se observan más detenidamente los componentes del circuito del módulo de acoplamiento para AM.

Figura 53. Circuito de acoplamiento de AM



Se observan los elementos colocados para sintonizar las frecuencias de AM (dos bobinas L1 y L2 de 680 uH cada una y un capacitor variable de 5 a 68 pF), Elaborado por: Juan Flores

Posteriormente se mide con un multímetro el voltaje y la corriente que entrega el circuito rectificador, mismo que se conecta después del circuito de acoplamiento, se conectan unos cables que bajarán desde las salidas de media onda y onda completa, para realizar las mediciones abajo. En la figura 54 se observa que el voltaje entregado en la salida de media onda es de alrededor de 7.71 voltios y la corriente 71 microamperios.



Figura 54. Medición de voltaje y corriente en la salida de media onda en AM



Se mide el voltaje y el amperaje (7.71 V y 71  $\mu$ A) obtenidos a la salida de media onda del circuito rectificador, Elaborado por: Juan Flores

En la siguiente figura 55 se observan las mediciones de voltaje y corriente, obtenidas de la salida de onda completa.

Figura 55. Medición de voltaje y corriente en onda completa AM



Se mide el voltaje y el amperaje (14 V y 28  $\mu$ A) obtenidos a la salida de onda completa del circuito rectificador, Elaborado por: Juan Flores

Además, se emplea como tierra física una lámina de cobre de aproximadamente 30 por 30 centímetros como la que se observa en la figura 56, con lo cual es posible obtener el voltaje y corriente antes mostrados.

Figura 56. Tierra física para la captación AM



Se observa la tierra física, que se conecta a la terminal de tierra del sistema de almacenamiento de radiofrecuencia, Elaborado por: Juan Flores

Posteriormente se procede a cambiar los componentes (bobinas y capacitor) del circuito tanque para sintonizar las frecuencias FM, esto se comprueba en la figura 57.



Figura 57. Circuito de acoplamiento de FM



Se observan los elementos colocados para sintonizar las frecuencias de FM (dos bobinas L1 y L2 de 169 nH cada una y un capacitor variable blanco de 2.1 a 10 pF), Elaborado por: Juan Flores

Entonces se procede a realizar las mediciones respectivas. En la figura 58 se observa que el voltaje obtenido en la salida de media onda del módulo de rectificación es de 1.72 voltios y la corriente 325 microamperios.

Figura 58. Medición de voltaje y corriente a la salida de media onda en FM



Se mide el voltaje y el amperaje (1.72 V y 325 uA) obtenidos a la salida de media onda del circuito rectificador, Elaborado por: Juan Flores

De la misma forma se procede a realizar las respectivas mediciones en la salida de onda completa, lo que se observa en la figura 59.

Figura 59. Medición de voltaje y corriente en onda completa FM



Se mide el voltaje y el amperaje (3.45 V y 180 uA) obtenidos a la salida de onda completa del circuito rectificador, Elaborado por: Juan Flores

Para FM no fue necesario emplear tierra física, ya que se obtiene el mismo voltaje y corriente que sin estar conectado a tierra.

Luego de realizar las pruebas de captación de energía se procede a realizar las pruebas de carga de diferentes dispositivos mediante señales AM, entonces el primer dispositivo a cargar es un super capacitor de 1 faradio, con un voltaje máximo de almacenamiento de 5.5 voltios, para lo cual se emplea la salida de media onda para cargarlo, el capacitor se coloca en el módulo de almacenamiento como se observa en la figura 60.

Figura 60. Colocación de super capacitor de 1 faradio y 5.5 voltios



Se observa el super capacitor colocado en el módulo de almacenamiento, Elaborado por: Juan Flores

En la figura 61 se observa el voltaje almacenado en el capacitor al inicio, y este es de 22.8 milivoltios.

Figura 61. Primera medición de voltaje en el capacitor



Se mide el voltaje del capacitor al inicio de la prueba de carga, Elaborado por: Juan Flores

Transcurridos diez minutos se vuelve a medir el voltaje del capacitor, y este voltaje es de 97.5 milivoltios, como se observa en la figura 62.

Figura 62. Voltaje obtenido en 10 minutos



Se mide el voltaje del capacitor luego de 10 minutos, Elaborado por: Juan Flores

Después de cuatro horas se vuelve a medir el voltaje del capacitor y este es de 800 milivoltios, como se observa en la figura 63.

Figura 63. Voltaje obtenido en 4 horas



Se mide el voltaje del capacitor luego de 4 horas, Elaborado por: Juan Flores



Finalmente, conforme se va cargando el capacitor, este va poniendo cada vez más resistencia al paso de la corriente que lo carga, con una corriente contraria que proviene del mismo, y así paulatinamente tarda más en cargarse, por tanto, se decide realizar una medición al día siguiente. Y en la figura 64 se observa que la medición registrada después de un día es de 2.82 voltios, y el capacitor continúa cargando, pero cada vez más lento.

Figura 64. Voltaje obtenido en un día



Se mide el voltaje del capacitor luego de un día de iniciada la prueba de carga, Elaborado por: Juan Flores

Se realiza también una prueba de carga empleando dos capacitores puestos en serie, por lo cual se muestra en la figura 65 el circuito de almacenamiento en donde se colocan los dos capacitores, y para esta prueba se emplea la salida de onda completa.

Figura 65. Colocación de super capacitores en serie



Se colocan dos capacitores puestos en serie para realizar la prueba de carga de estos, Elaborado por: Juan Flores

Después de un poco más de un día se procede a medir el voltaje almacenado en los capacitores en serie, y este es de 4.6 voltios, lo que equivale a 2.3 voltios almacenados en cada capacitor, lo que se evidencia en la figura 66.

Figura 66. Voltaje obtenido en un día



Se mide el voltaje almacenado en los super capacitores luego de un día, Elaborado por: Juan Flores

También se comprueba que el sistema por si solo y sin ayuda de baterías, capacitores, o energía adicional es capaz de encender un led grande con una luminosidad algo considerable, y por lo cual se optó en usar el circuito de rectificación aledaño al módulo de acoplamiento que se encuentra en la misma placa, y por lo cual solamente se coloca un diodo entre la salida y el conjunto de sócalos de la parte de abajo, como se observa en la figura 67.

Figura 67. Led encendido por el sistema de captación RF



A la izquierda se observa un led encendido por la energía de la radiofrecuencia AM y a la derecha se observa el circuito empleado para encender el led, Elaborado por: Juan Flores

Después se procede a realizar una prueba de carga con una batería de Níquel Cadmio de 1.2 voltios de 100 mAh, la misma que se coloca en el módulo de almacenamiento como se observa en la figura 68, y se emplea la salida de onda completa.

Figura 68. Batería níquel cadmio de 1.2 voltios



Se coloca una batería de 1.2 voltios y 100 mAh para realizar la prueba de carga, Elaborado por: Juan Flores

El voltaje medido al inicio de esta prueba de carga es de 1168 milivoltios tal como se observa en la figura 69.

Figura 69. Medición de voltaje al inicio



Se mide el voltaje de la batería al inicio de la prueba de carga, Elaborado por: Juan Flores



Transcurridas tres horas se vuelve a realizar la medición, y el voltaje obtenido en la batería es de alrededor de 1187 milivoltios, tal como se observa en la figura 70.

Figura 70. Voltaje obtenido en 3 horas



Se mide el voltaje de la batería luego de 3 horas, Elaborado por: Juan Flores

Finalmente, luego de transcurrir 7 horas, en la figura 71 se observa que el voltaje alcanzado es de 1206 milivoltios, y continúa cargando.

Figura 71. Voltaje obtenido en 7 horas



Se mide el voltaje de la batería luego de 7 horas, Elaborado por: Juan Flores

Ahora se procede a realizar las pruebas de carga a través de la captación de señales FM.

Se comienza realizando una prueba de carga con el capacitor de 1F y de la misma forma se realizan las mediciones de voltaje respectivas y después de un día de inicio de la prueba se observa el voltaje almacenada en este capacitor es de 2.68 tal como se indica en la figura 72.

Figura 72. Voltaje obtenido en un día



Se mide el voltaje del capacitor luego de un día, Elaborado por: Juan Flores

La siguiente prueba de carga se hace con la batería de 1.2 voltios de 100 mAh. Al inicio se mide el voltaje de la batería, y el valor es 1146 milivoltios, tal como se observa en la figura 73.

Figura 73. Voltaje de la batería al inicio



Se mide el voltaje de la batería al inicio de la prueba de carga, Elaborado por: Juan Flores

Se vuelve a realizar la medición luego de una hora y el voltaje obtenido es de 1160 milivoltios, lo que se observa en la figura 74.

Figura 74. Voltaje obtenido en 1 hora



Se mide el voltaje de la batería luego de 1 hora, Elaborado por: Juan Flores

En la figura 75 se observa que luego de 2 horas el voltaje almacenado es de 1174 milivoltios.

Figura 75. Voltaje obtenido en 2 horas



Se mide el voltaje de la batería luego de 2 horas, Elaborado por: Juan Flores

Finalmente, después de 9 horas, en la figura 76 se observa que el voltaje almacenado en la batería es de 1230 milivoltios.

Figura 76. Voltaje obtenido en 9 horas



Se mide el voltaje de la batería luego de 9 horas, Elaborado por: Juan Flores

En la figura 77 se muestra el motor empleado en el análisis del capítulo 5, correspondiente a las gráficas de las figuras 5.14, 5.15 y 5.17.

Figura 77. Motor de 5 voltios DC



Se observa el motor empleado en la prueba de carga y descarga de la batería de 1.2 voltios de 100 mAh del capítulo 5, Elaborado por: Juan Flores

Ahora se realiza una prueba de carga con una batería recargable de 1.2 voltios a 700 mAh, la misma que se conecta en el módulo de almacenamiento como se observa en la figura 78.

Figura 78. Colocación de la batería de 1.2 voltios 700mAh



Se coloca una batería de 1.2 voltios y 700 mAh para realizar la prueba de carga, Elaborado por: Juan Flores



Al inicio de la prueba, el voltaje que se mide en esta batería es de alrededor de 1237 milivoltios, lo cual se ve en la figura 79.

Figura 79. Voltaje de la batería al inicio



Se mide el voltaje de la batería al inicio de la prueba de carga, Elaborado por: Juan Flores

Transcurridas 11 horas, en la figura 80 se observa que el voltaje medido en la batería es de 1240 milivoltios.

Figura 80. Voltaje obtenido en 11 horas



Se mide el voltaje de la batería luego de 11 horas, Elaborado por: Juan Flores

Después de 16 horas el voltaje obtenido en la batería es de 1241 milivoltios, como se observa en la figura 81.

Figura 81. Voltaje obtenido en 16 horas



Se mide el voltaje de la batería luego de 16 horas, Elaborado por: Juan Flores

En 36 horas el voltaje que se mide es de 1244 milivoltios, lo que se observa en la figura 82.

Figura 82. Voltaje obtenido en 36 horas



Se mide el voltaje de la batería luego de 36 horas, Elaborado por: Juan Flores

Transcurridas 40 horas, en la figura 83 se observa que el voltaje medido es de 1245 milivoltios.

Figura 83. Voltaje obtenido en 40 horas



Se mide el voltaje de la batería luego de 40 horas, Elaborado por: Juan Flores

Finalmente, después de 60 horas del inicio de la prueba de carga de la batería, En la figura 84 se observa que el voltaje almacenado por la batería es de 1250 milivoltios.

Figura 84. Voltaje obtenido en 60 horas



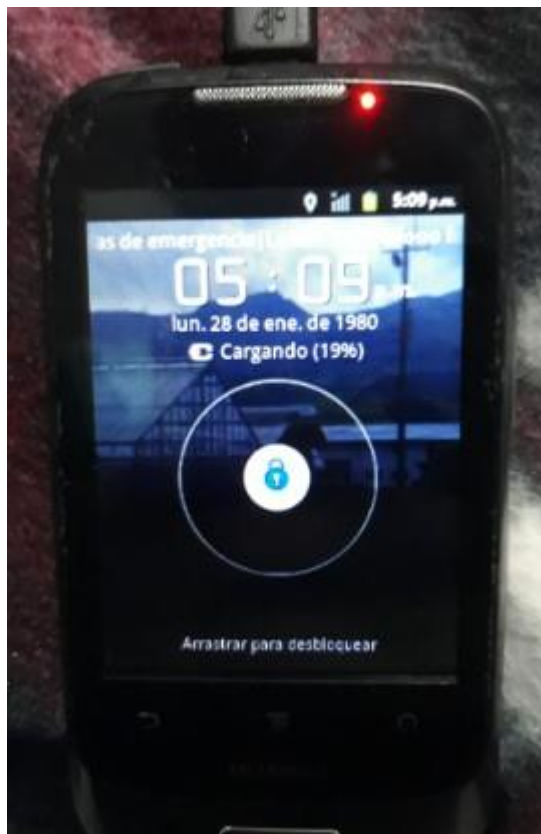
Se mide el voltaje de la batería luego de 60 horas, Elaborado por: Juan Flores



**ANEXO 10**  
**DETALLE DE LAS PRUEBAS DE CARGA CON LOS MÓDULOS**  
**ELEVADORES DE VOLTAJE**

Se realiza una prueba de carga de un teléfono celular (Huawei U8180 con batería de 1050 mAh) con el módulo que se observó en la figura 5.5 en el capítulo 5. En la figura 85 se observa que el porcentaje de carga de la batería al inicio es de 19%.

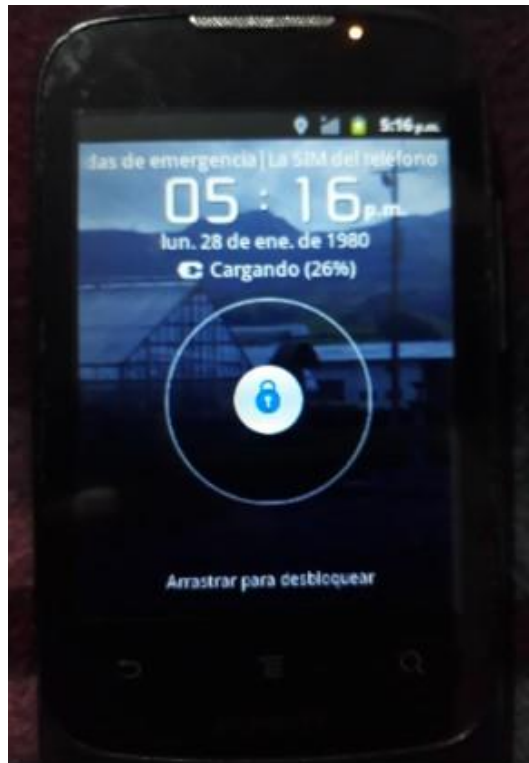
Figura 85. Porcentaje de carga del celular al inicio



Se verifica el porcentaje de carga de la batería del celular al inicio de la prueba de carga, Elaborado por: Juan Flores

Luego en la figura 86 se observa que, transcurridos 15 minutos, la batería está cargada un 26%.

Figura 86. Porcentaje de carga después de 15 minutos



Se verifica el porcentaje de carga de la batería del celular luego de 15 minutos, Elaborado por: Juan Flores

Posteriormente se procede a realizar una prueba de carga empleando el siguiente módulo elevador de voltaje que se observó en la figura 5.6, para este módulo se requiere a la entrada, el voltaje de dos baterías puestas en serie. En la figura 87 se observa el porcentaje de carga del celular mediante este módulo al inicio.

Figura 87. Porcentaje de carga del celular al inicio



Se verifica el porcentaje de carga de la batería del celular al inicio de la prueba de carga con el segundo módulo elevador de voltaje, Elaborado por: Juan Flores

En la figura 88 se observa que después de 5 minutos el porcentaje de carga de la batería es 34%.

Figura 88. Porcentaje de carga del celular después de 5 minutos



Se verifica el porcentaje de carga de la batería del celular después de 5 minutos, Elaborado por: Juan Flores

Luego se realiza una prueba de carga con otro teléfono (Samsung J7 prime con batería de 3300 mAh) cuya batería demanda más consumo, para lo cual se emplea el segundo módulo elevador de voltaje que funcionó con dos baterías puestas en serie, el teléfono se observa en la figura 89.

Figura 89. Carga de un celular de más potencia



Se realiza una prueba de carga con un celular de más potencia, Elaborado por: Juan Flores

En la figura 90 se observa que el porcentaje de la batería al inicio es de 92%.

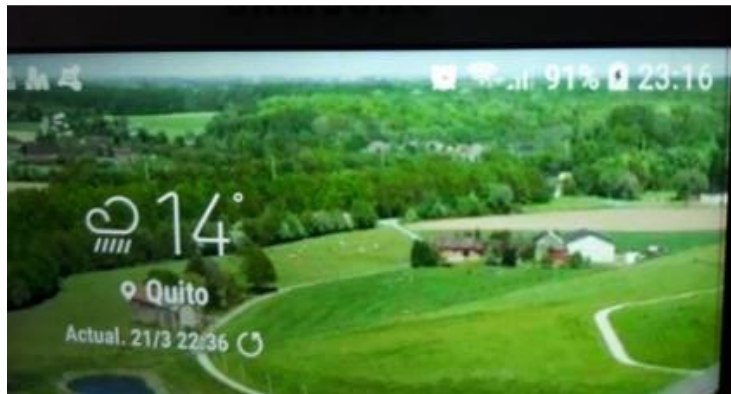
Figura 90. Porcentaje de carga del celular al inicio



Se verifica el porcentaje de carga de la batería del celular al inicio de la prueba de carga, Elaborado por: Juan Flores

Pero luego de un minuto el porcentaje de la batería baja a 91%, lo cual se observa en la figura 91.

Figura 91. Porcentaje de carga después de un minuto



Se verifica el porcentaje de carga de la batería del celular después de un minuto, Elaborado por: Juan Flores

En la figura 92 se observa que después de 10 minutos el porcentaje de la batería continúa bajando, entonces este es de 90 %.

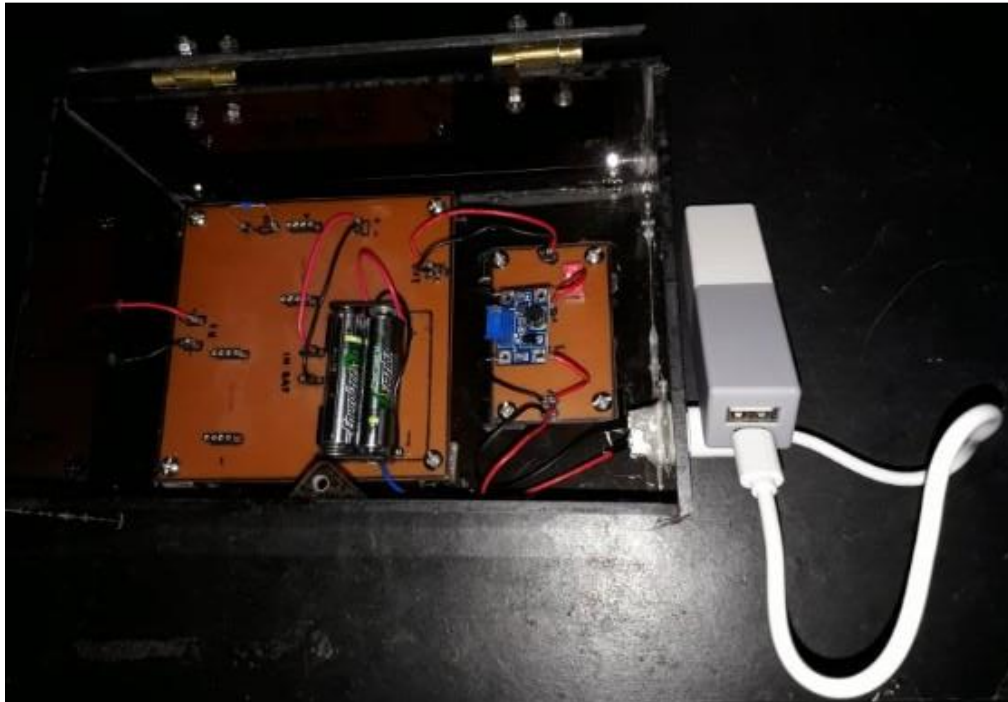
Figura 92. Porcentaje de carga después de 10 minutos



Se verifica el porcentaje de carga de la batería del celular después de 10 minutos, Elaborado por: Juan Flores

Posteriormente se realiza otra prueba de carga, para lo cual se pone a cargar una batería externa para celulares o power bank. En la figura 93 se observa la prueba de carga de la power bank, la misma que tiene una capacidad de 2600 mAh y requiere un voltaje de alimentación de 5 voltios y corriente de alrededor de 800 mA, y entrega a la salida un voltaje de 5 voltios con una corriente de 1 amperio.

Figura 93. Prueba de carga de la power bank



Se realiza una prueba de carga de una power bank, Elaborado por: Juan Flores

En la anterior figura se observa que la power bank no puede ser cargada ya que al momento de ser cargada se enciende un led de color rojo justo al lado derecho del socalo, USB. En la figura 94 se observa una carga exitosa de una power bank por medio de un cargador USB convencional, por lo cual el led rojo enciende.

Figura 94. Carga de la power bank con cargador estándar



Se realiza una prueba de carga con un cargador estándar, Elaborado por: Juan Flores



## ANEXO 11

### ANÁLISIS DEL RADIOENLACE

Para el radioenlace se analiza el trayecto de las señales enviadas desde el transmisor hasta el receptor, para lo cual se toma como referencia dos puntos geográficos de la ciudad de Quito. Para el transmisor el lugar seleccionado es donde se encuentran las Antenas del Pichincha como se observa en la figura 95, debido a que en este sitio se concentran la mayoría de las repetidoras de las emisoras de radio de Quito (Shcherbak, 2019), sin embargo es una ubicación solo tentativa ya que en la realidad se desconoce la ubicación exacta de cada una de las repetidoras, esta información no está ciento por ciento abierta al público por cuestiones de seguridad.

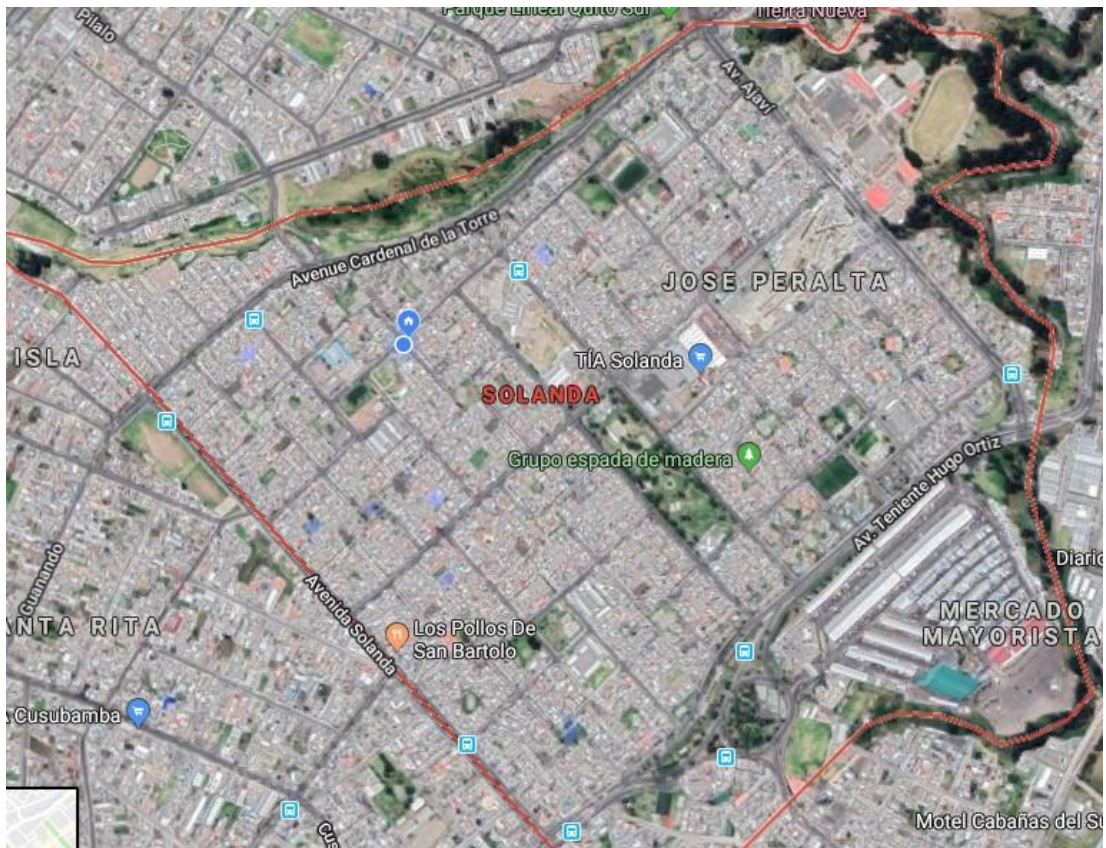
Figura 95. Visualización del sitio del transmisor



En Google Maps se busca el lugar donde se encuentra ubicado el transmisor, Elaborado por: Juan Flores

El receptor es el sitio donde se realizaron las pruebas, el sitio escogido está ubicado en el barrio de Solanda, el cual se visualiza en la figura 96.

Figura 96. Visualización del sitio de recepción

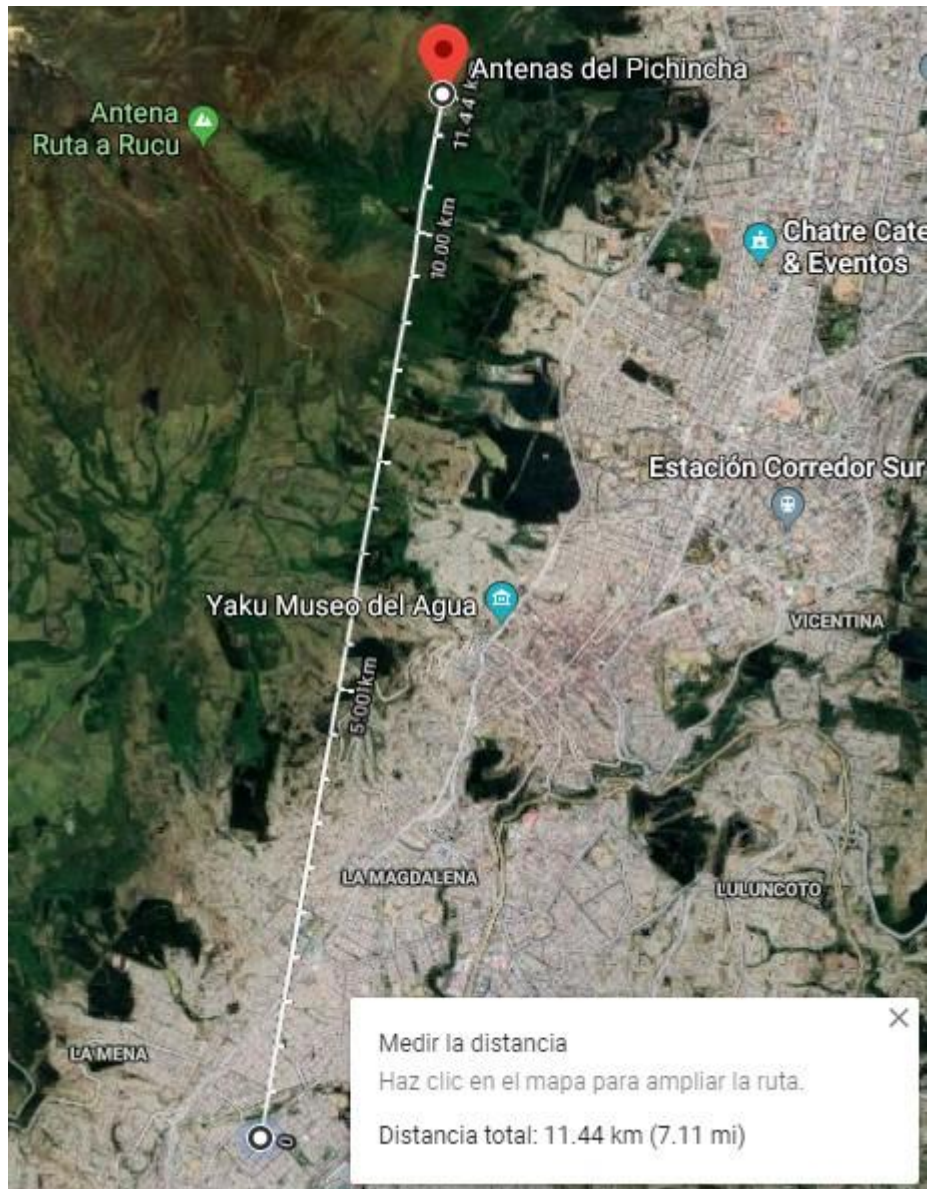


En Google Maps se busca el lugar donde se encuentra ubicado el receptor, Elaborado por: Juan Flores

En la figura 97 se observa que la distancia entre estos puntos es de aproximadamente 11 kilómetros.



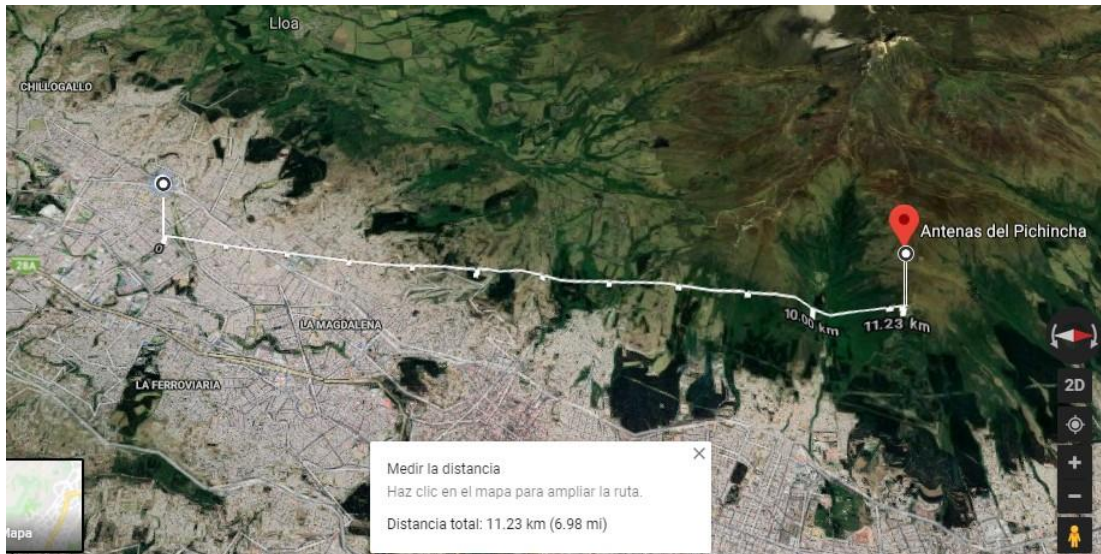
Figura 97. Medición de la distancia entre el transmisor y receptor



En Google Maps se verifica la distancia entre el transmisor y receptor, Elaborado por: Juan Flores

En la figura 98 se observa la geografía del terreno y el trayecto en tres dimensiones.

Figura 98. Geografía del terreno entre el transmisor y receptor



Se observa la geografía del terreno entre el transmisor y receptor, Elaborado por: Juan Flores

Además, es posible observar desde el sitio de recepción el sitio donde se encuentra ubicado el transmisor o emisor, lo cual se evidencia en la figura 99.

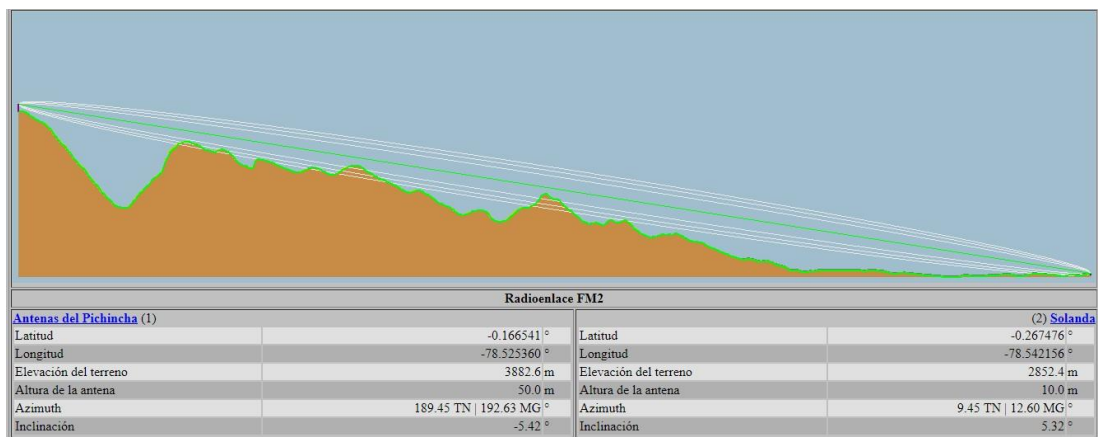
Figura 99. Visualización del transmisor



Visualización del transmisor desde el sitio de recepción, Elaborado por: Juan Flores

Con el programa Radio Mobile se verifica las condiciones del radioenlace. Se ingresan datos tales como longitud y latitud de los puntos de transmisión y recepción, altura del terreno, altura de las antenas, azimut e inclinación. Posteriormente el programa RadioMobile genera un gráfico donde se observa el haz de radiación (color verde) del radioenlace a través del terreno, junto con las zonas de Fresnel (color blanco), todo esto se visualiza en la figura 100.

Figura 100. Visualización del radioenlace en Radiomobile



Se observa el gráfico del radioenlace obtenido del programa Radiomobile, junto con algunos parámetros ingresados, Elaborado por: Juan Flores

También se ingresan datos como potencia del transmisor que es de 2000 Watts (63.01 dBm), pérdida del cable del transmisor de 3dB, ganancia de antena del transmisor de 8.14 dBi, ganancia de antena del receptor 2 dBi, pérdida del cable en el receptor, 0.5 dB y sensibilidad del receptor de alrededor de -113.02 dBm. En lo que respecta a la propagación, el mismo programa genera o calcula estos parámetros que son pérdidas en el espacio libre de 96.73 dB, pérdida por construcción 0.4 dB, pérdida por bosque 1dB, pérdida por urbanización 0 dB, pérdida estadística de 6.57 dB, y sumando toda una pérdida total de 104.69 dB. En lo que respecta al performance, de igual manera el programa calcula estos parámetros que son distancia del radioenlace de 11.378 km, el margen de error de esta distancia es de alrededor de +10 o -10 metros (Precisión), exceptuando la frecuencia esta si fue ingresada pero el programa no permite trabajar en el rango preciso de AM y FM, sino que en su lugar se escogió una frecuencia permitida (144MHz) por el programa que es algo cercana a las frecuencias de FM. El PIRE (Potencia Radiada isotrópica) es de 6531.757 Watts, la ganancia total del sistema es de 185.31 dB, la fiabilidad requerida es del 70%, la señal recibida es de -35.04 dBm



y 3961.16uV, el margen de escucha es de 77.98 dB, todo esto se observa en la figura 101.

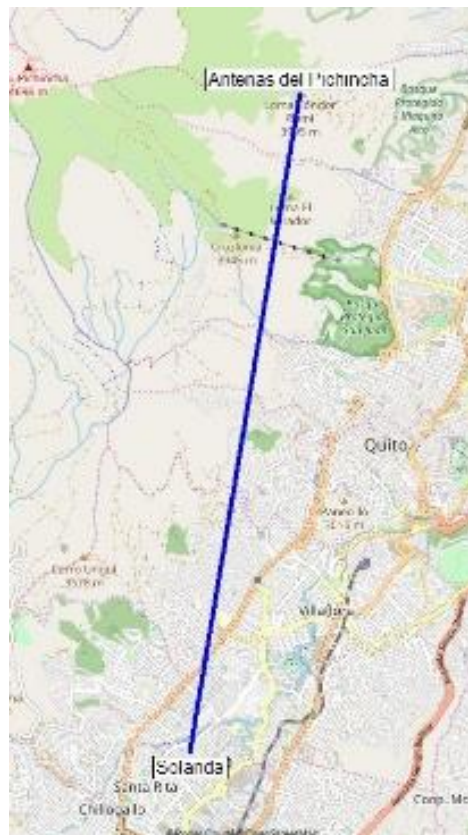
Figura 101. Parámetros del radioenlace en Radiomobile

Sistema de radio		Propagation	
Potencia TX	63.01 dBm	Pérdida en espacio libre	96.73 dB
Pérdida en cable TX	3.00 dB	Pérdida por obstrucción	0.40 dB
Ganancia de antena TX	8.14 dBi	Pérdida por bosque	1.00 dB
Ganancia de antena RX	2.00 dBi	Pérdida por urbanización	0.00 dB
Pérdida en cable RX	0.50 dB	Pérdida estadística	6.57 dB
Sensibilidad RX	-113.02 dBm	Pérdida total	104.69 dB
Performance			
Distance			11.378 km
Precisión			10.0 m
Frecuencia			144.000 MHz
Potencia de Radiación Isotrópica Equivalente			6531.757 W
Ganancia del sistema			182.67 dB
Fiabilidad requerida			70.000 %
Señ recibida			-35.04 dBm
Señ recibida			3961.16 µV
Márgen de escucha			77.98 dB

Se observan los parámetros ingresados y calculados del radioenlace, Elaborado por: Juan Flores

Finalmente, en la figura 102 se verifica la línea de vista del radioenlace, desde el transmisor en el cerro Pichicha hasta el receptor en Solanda, y se observa de acuerdo con la línea azul que no hay interrupciones en la recepción de la señal.

Figura 102. Línea de vista del radioenlace



Se verifica una correcta línea de vista (línea azul) entre el transmisor y receptor, a través del programa Radiomobile, Elaborado por: Juan Flores

En síntesis, todas señales captadas fueron señales de radiodifusión AM y FM, debido a que estas son más fáciles de detectar, al ser escuchadas con algún dispositivo de audio.

Entre todas las emisoras captadas para AM en el sitio de recepción están:

- Radio Municipal (720 kHz)
- Radio Casa de la Cultura (940 kHz)
- Radio Monumental (1510 kHz)

Para FM algunas de las emisoras captadas fueron:

- La Otra (91.3 MHz)
- Radio sucesos (101.7 MHz)
- Radio Canela (106.5 MHz)

# ANEXO 12

# MANUAL DE USO

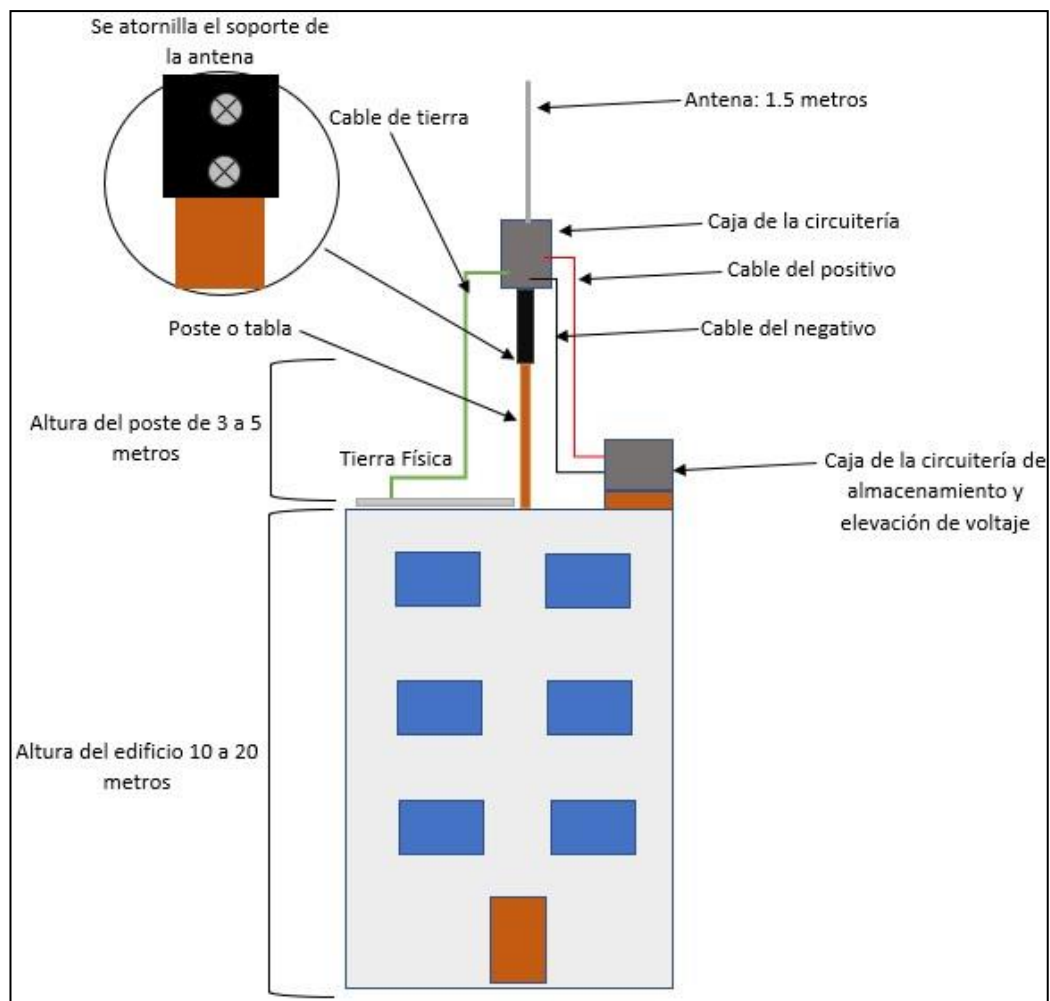
## 1. Colocación del dispositivo

Primero se debe buscar un sitio a una cierta altura (a unos 10 o 20 metros del suelo) y donde no haya obstrucción de la línea de vista de la antena, o que no haya edificaciones que obstaculicen su recepción, un sitio ideal podría ser la azotea de una vivienda alta, edificio, etc.

Para la colocación del dispositivo, se deberá atornillar a alguna tabla o algún poste con una cierta longitud recomendable de entre 3 y 5 metros, esto debido a que se necesita que la antena esté a una cierta altura del suelo, ya que a nivel del suelo chocan y se reflejan muchas señales de distintas procedencias, y esto hace que exista mucha interferencia en las señales a recibir, atenuándolas y reduciendo la eficiencia.

Todo esto se resume en la figura 103.

Figura 103. Colocación del sistema de captación de radiofrecuencia residual



Elaborado por: Juan Flores

## 2. Reconocimiento de las estructuras

En la figura 104 se muestra la estructura principal del sistema que consta de una antena, la caja de circuitería y el soporte de antena.

Figura 104. Estructura principal del sistema

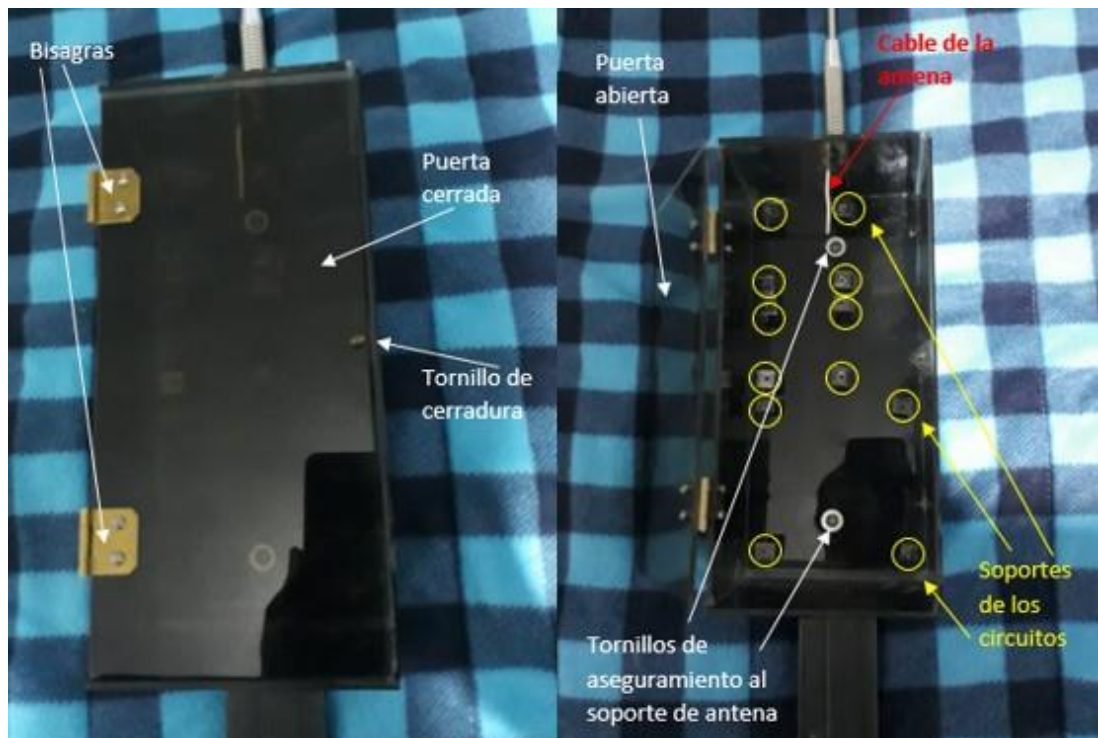


Elaborado por: Juan Flores

Ahora en la figura 105 se muestra más detenidamente la caja de circuitería, a la izquierda se la observa con la puerta cerrada y a la derecha se observa su interior al momento de abrir la puerta, y se indican sus partes tales como los soportes de los circuitos, tornillos de aseguramiento de la caja al soporte, cable de antena.



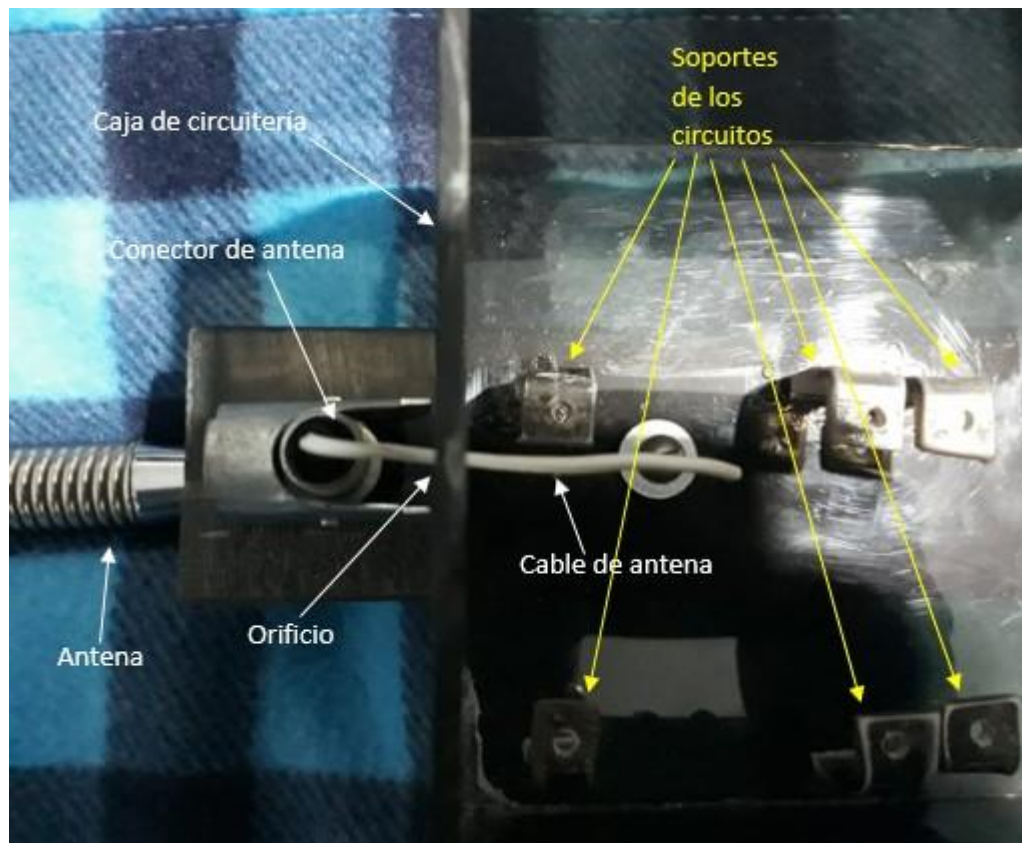
Figura 105. Detalle de la caja de circuitería de antena



Elaborado por: Juan Flores

En la figura 106 se observa que la caja de circuitería se encuentra cerca a la antena, por lo tanto, existe un orificio por donde se hace pasar un cable que se vincula al conector de antena, también es posible observar más detenidamente algunos soportes para colocar los circuitos.

Figura 106. Conexiones de Antena



Elaborado por: Juan Flores

Visto desde la parte lateral, existe además un sujetador que permite mantener anclada la antena al soporte, existe además una articulación con tornillo ajustable, que permite girar la antena hasta 180 grados a la derecha, todo esto se observa en la figura 107.

Figura 107. Vista lateral de las conexiones de antena



Elaborado por: Juan Flores

Ahora en la figura 108 se muestra la antena inicialmente alzada y después doblada completamente hacia atrás o girada 180 grados, gracias a la articulación.

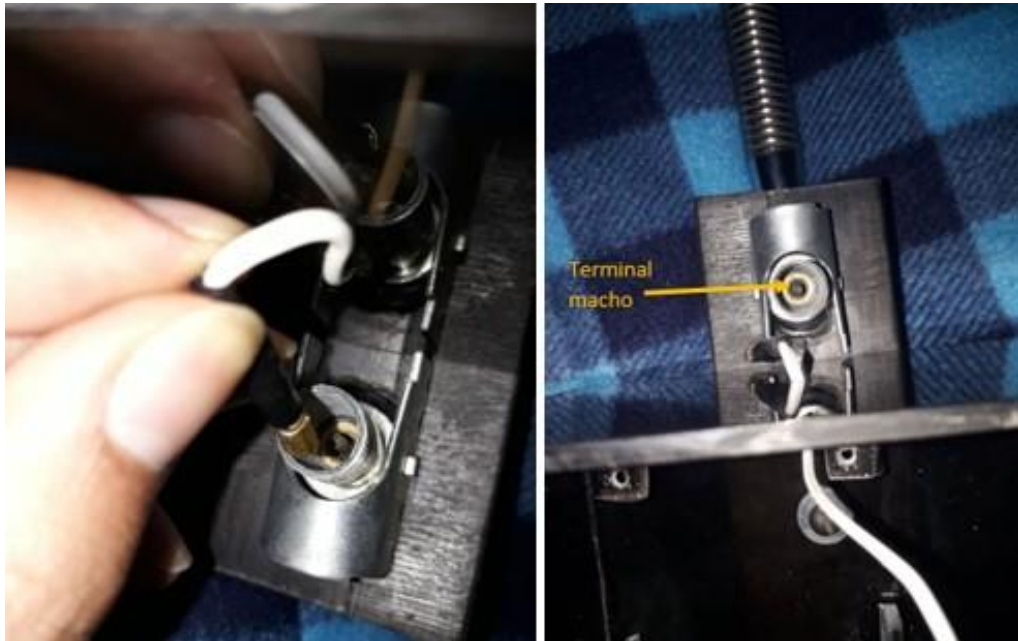
Figura 108. Inclinación de antena



Elaborado por: Juan Flores

Posteriormente, en la figura 109 se observa la parte del conector al retirar el cable de antena.

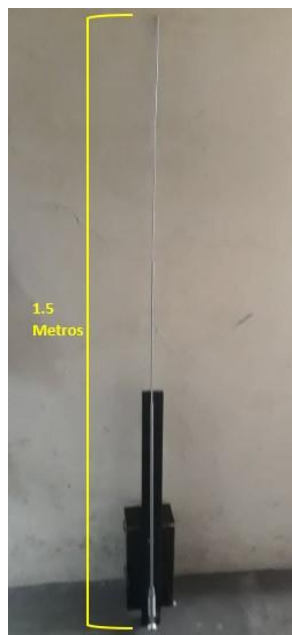
Figura 109. Verificando conector



Elaborado por: Juan Flores

En la figura 110 se observa la antena totalmente extendida, la cual tiene una longitud de 1.5 metros (media longitud de onda para FM que es 3 metros).

Figura 110. Extensión total de la antena

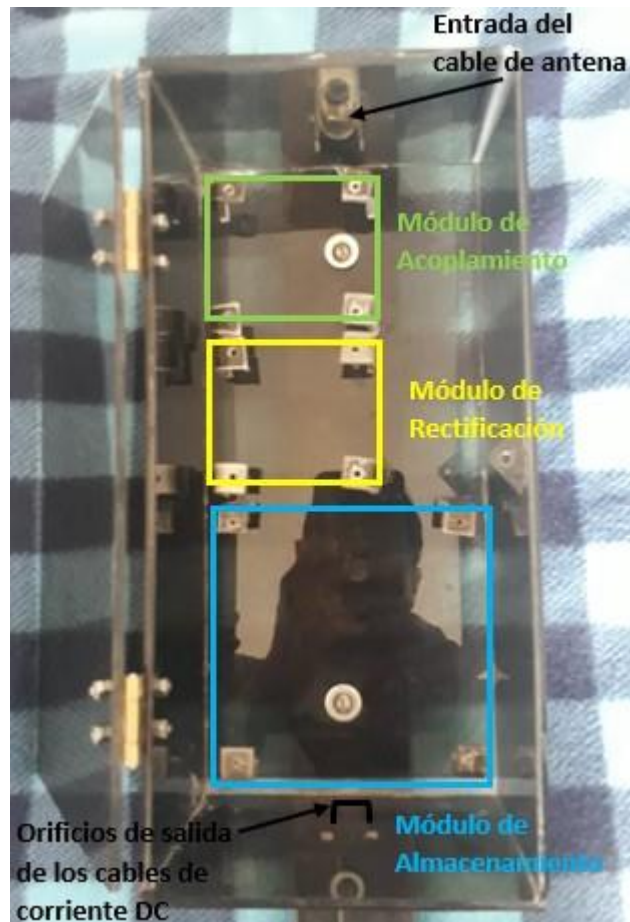


Elaborado por: Juan Flores



En la figura 111 se muestran los lugares de colocación de los módulos o circuitos en sus respectivos soportes dentro de la caja de acrílico de la antena y además los orificios de entrada y salida de esta caja.

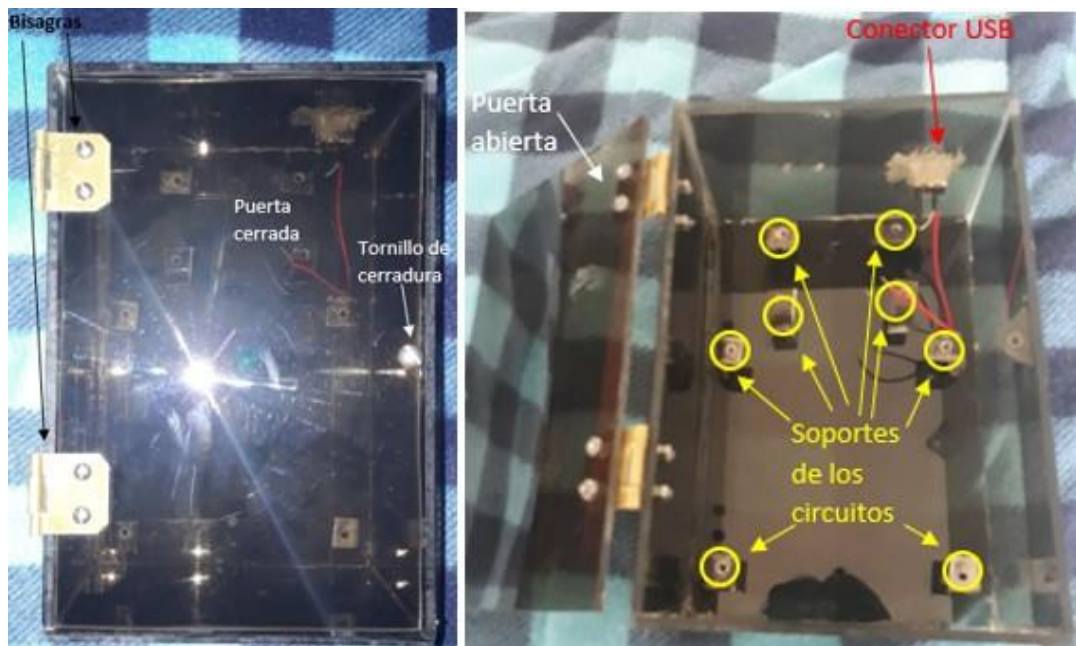
Figura 111. Verificando lugar de los circuitos



Elaborado por: Juan Flores

Ahora en la figura 112 se muestra la caja de acrílico para el módulo de almacenamiento junto con su respectivo elevador de voltaje, de la misma forma se la observa con la puerta cerrada a la izquierda y con la puerta abierta a la derecha, donde se observa los soportes para la colocación de los circuitos y un conector USB.

Figura 112. Caja del módulo de almacenamiento

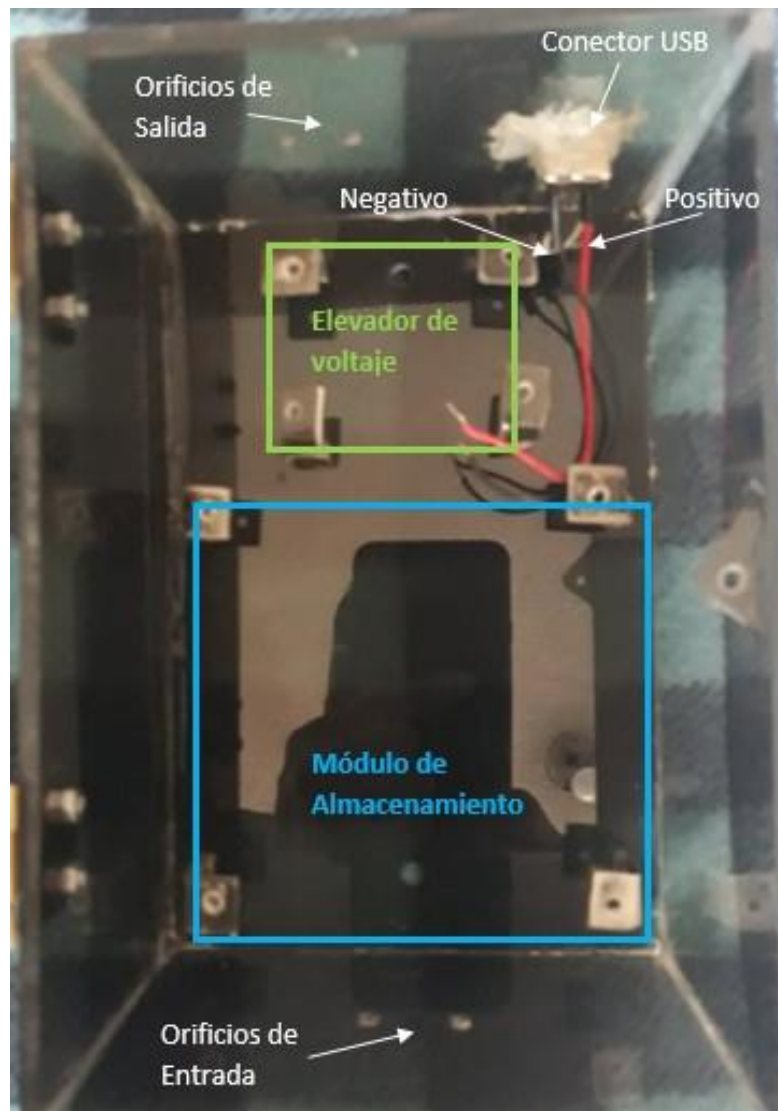


Elaborado por: Juan Flores

En la figura 113 se observa más de cerca el interior de la caja señalando los lugares para colocar los respectivos circuitos, además de orificios y conectores.



Figura 113. Verificando lugar de los circuitos



Elaborado por: Juan Flores

Ahora en la figura 114, se muestra a la izquierda la parte delantera con los orificios de entrada y a la derecha la parte de atrás de la caja de acrílico, con los orificios de salida y el conector USB.

Figura 114. Verificando entradas y salidas de la caja del módulo de almacenamiento



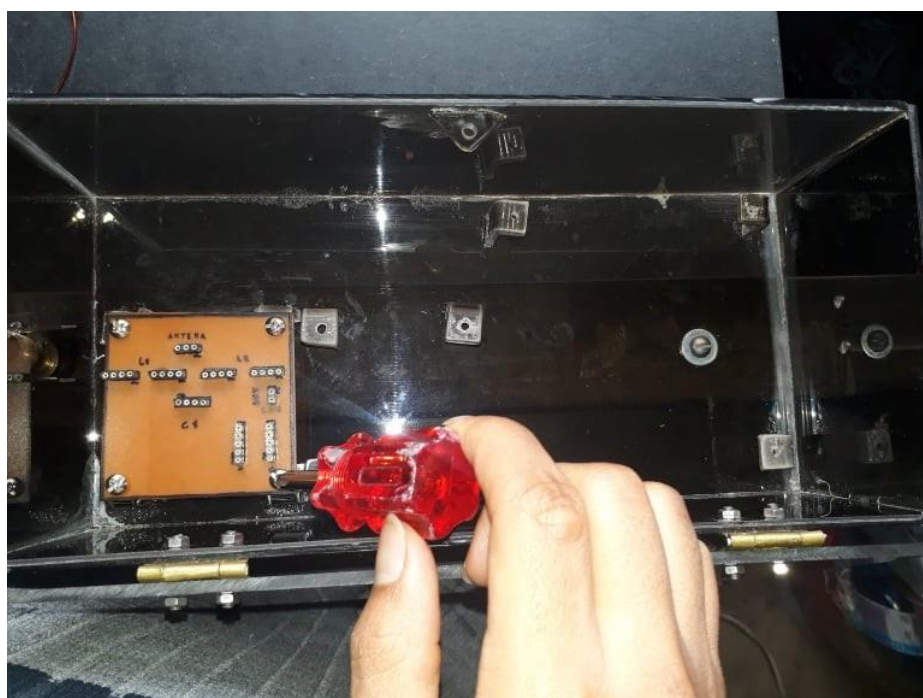
Elaborado por: Juan Flores

### 3. Colocación de las placas de los circuitos en las cajas de acrílico

Para la colocación de los circuitos en los respectivos soportes en el interior de las cajas, estos se atornillan.

En la figura 115 se muestra la colocación de los circuitos en la caja de circuitería cerca a la antena.

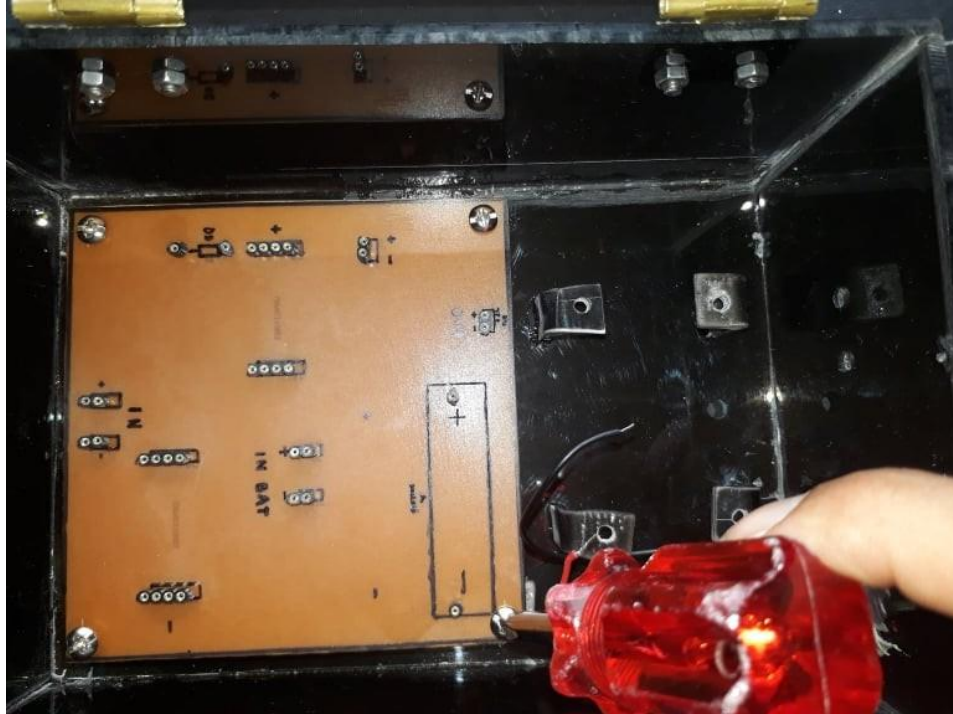
Figura 115. Colocación de los circuitos de antena



Elaborado por: Juan Flores

En la figura 116 se observa la colocación de los circuitos en la caja del módulo de almacenamiento.

Figura 116. Colocación de los circuitos de almacenamiento



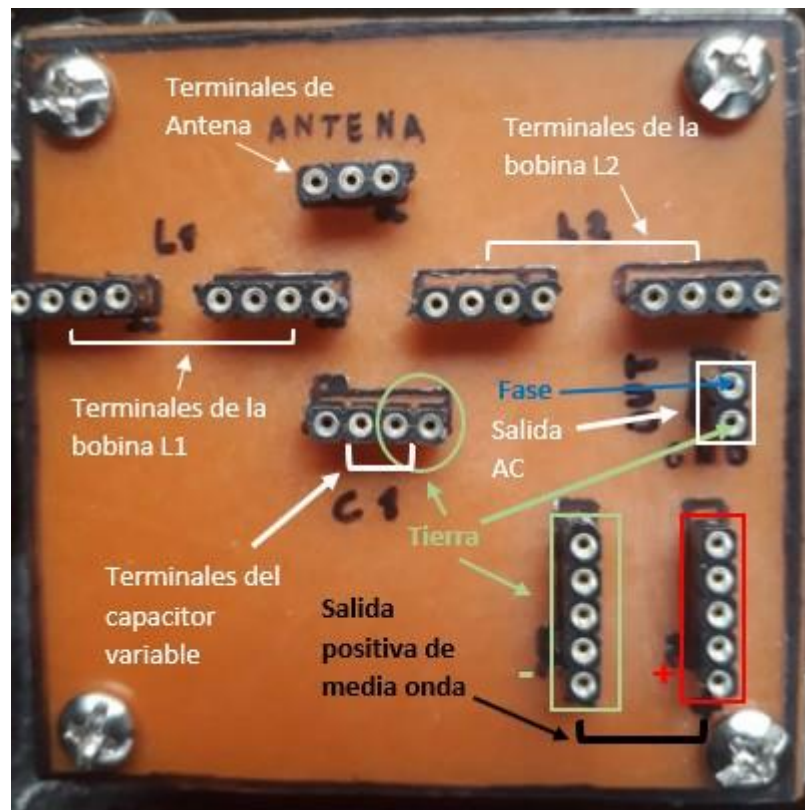
Elaborado por: Juan Flores

#### **4. Detalle de los terminales de los circuitos y sus componentes**

Ahora se indican más detalladamente los respectivos terminales de cada uno de los circuitos.

En la figura 117 se indican los terminales del circuito de acoplamiento, estos son terminales de antena, terminales de las bobinas, terminales del capacitor variable y salida AC. Así también se indica la parte de tierra, fase, salida AC y de media onda de un rectificador que es posible incorporar a este circuito y que se explicará más adelante.

Figura 117. Terminales del circuito de acoplamiento



Elaborado por: Juan Flores

En la figura 118 se detalla el circuito de rectificación, entre los terminales que este posee están la entrada en alterna o AC, los terminales para las resistencias de 10 mega ohmios y las salidas de media onda y onda completa. Así también se observan los capacitores electrolíticos y los diodos.

Figura 118. Detalle del circuito de rectificación

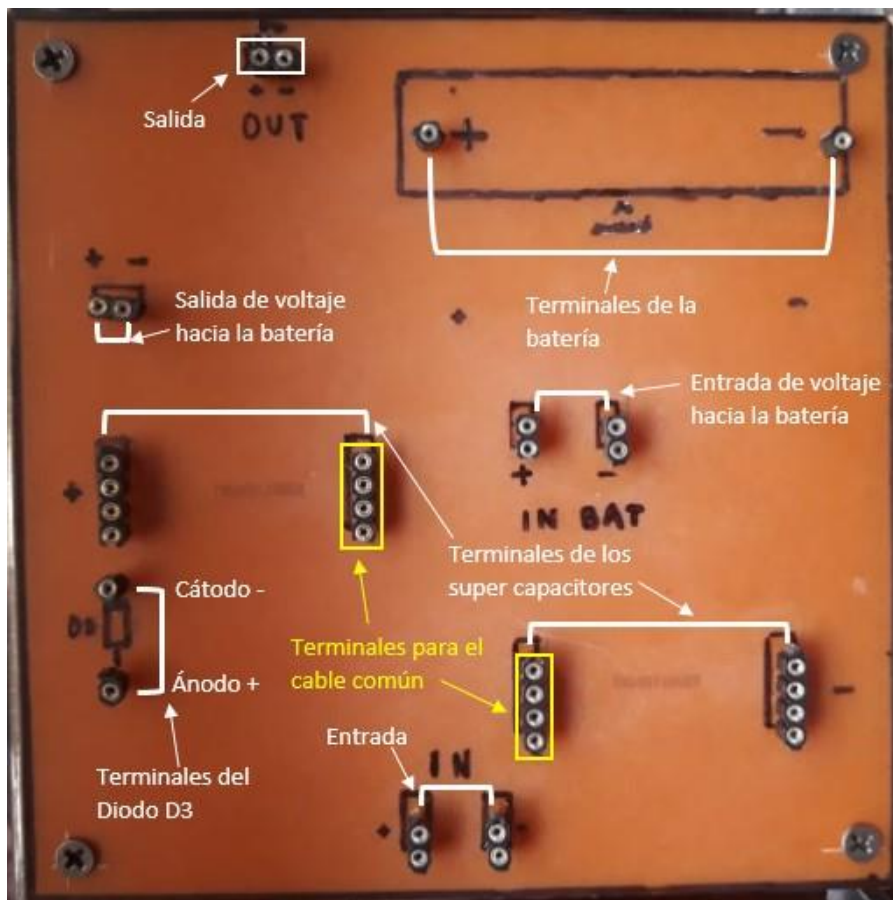


Elaborado por: Juan Flores

En la figura 119 se muestra el detalle de los terminales del circuito de almacenamiento tales como entradas, salidas, del diodo, de los capacitores y de la batería.



Figura 119. Terminales del circuito de almacenamiento



Elaborado por: Juan Flores

En la figura 120 se observa la placa para colocar por medio de unos terminales el módulo step-up o elevador de voltaje (voltaje de los dispositivos de almacenamiento de energía), y además posee un interruptor para activar este módulo solo en el momento que se desee, este interruptor se activa al ponerlo hacia arriba, se observa dos interruptores, pero solo sirve el de la izquierda, ya que no se consiguió un dip switch de un solo interruptor.

Figura 120. Terminales del circuito elevador de voltaje



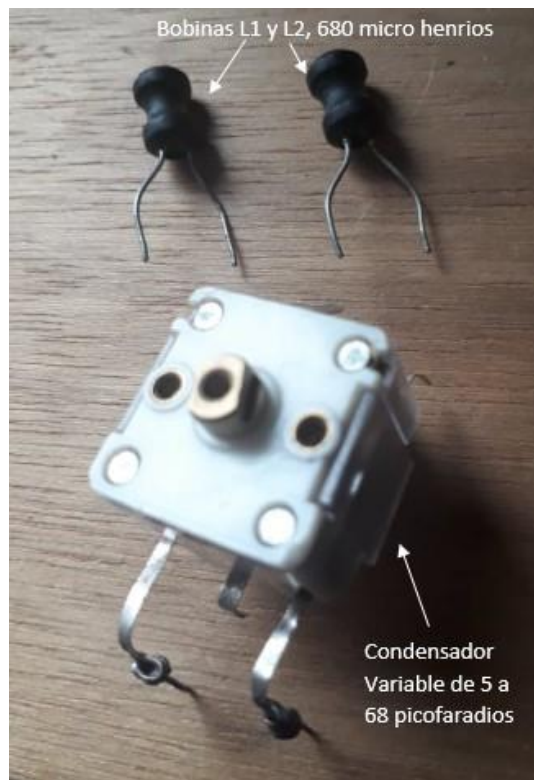
Elaborado por: Juan Flores

Ahora se indican más detalladamente los materiales utilizados en los circuitos de acoplamiento.

En la figura 121 se muestran los elementos empleados en el circuito de acoplamiento para AM y estos son dos bobinas de 680 micro henrios cada una (unidas se obtiene una inductancia de 1360 micro henrios) y un capacitor variable de 5 a 68 picofaradios, mismo que permite ir variando la capacitancia para seleccionar diferentes frecuencias AM.



Figura 121. Elementos del circuito de acoplamiento AM



Elaborado por: Juan Flores

Luego en la figura 121 se muestran los elementos empleados en el circuito de acoplamiento para FM y estos son dos bobinas de 169 nano henrios cada una (unidas se obtiene una inductancia de 338 nano henrios) y un capacitor variable de 2.1 a 10 picofaradios, mismo que permite ir variando la capacitancia para seleccionar diferentes frecuencias. FM

Figura 122. Elementos del circuito de acoplamiento FM



Elaborado por: Juan Flores

A continuación, se observa el respectivo sentido de giro de los condensadores para seleccionar las frecuencias.

En la figura 123 se observa el sentido de giro para frecuencia AM, al girar a la izquierda se seleccionan las frecuencias más bajas del dial, y al girar a la derecha se van seleccionando las últimas frecuencias del dial o las más altas.

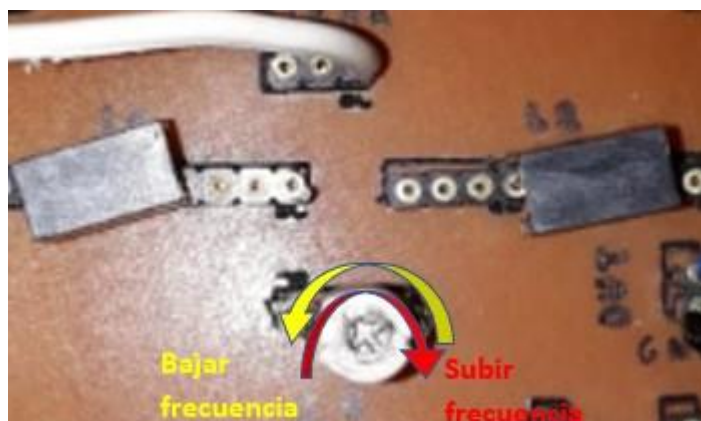
Figura 123. Selectividad del condensador en AM



Elaborado por: Juan Flores

En la figura 124 se observa que para FM básicamente se tiene el mismo principio de funcionamiento del condensador de AM, con la diferencia que, si se gira más y más a la derecha después de llegar a las últimas frecuencias del dial, se vuelve a seleccionar las frecuencias más bajas y si se continúa girando se vuelven a seleccionar las frecuencias altas, el ciclo se repite, no tiene fin. Lo mismo ocurre si se gira a la izquierda para seleccionar las frecuencias más bajas del dial de FM.

Figura 124. Selectividad del condensador en FM



Elaborado por: Juan Flores

Ahora se muestran otros componentes. En la figura 125 se muestra el diodo D3, el mismo que se usa en el módulo de almacenamiento, o si se desea se puede emplear en el rectificador de media onda que se puede montar y desmontar en el circuito de acoplamiento que se explicará más adelante.

Figura 125. Diodo D3 (1N5711)



Elaborado por: Juan Flores

En la figura 126 se observa las dos resistencias R1 y R2, que se insertan en los correspondientes terminales del circuito de rectificación de la figura 118, se les soldó unos dos trozos de alambre, con el fin de poder calzar correctamente en los orificios, ya que sus patas son muy delgadas.

Figura 126. Resistencias de 10 mega ohmios, del módulo de rectificación



Elaborado por: Juan Flores

Ahora se detallan los módulos step up o elevadores de voltaje. En la figura 127 se observa el primer módulo, que admite voltajes de entrada de 1 a 5 voltios y a la salida siempre da un voltaje de 5 voltios, se detalla también la ubicación de su entrada y salida, así como también su polaridad. Posee, además una salida mediante conector USB.

Figura 127. Módulo step-up 5 voltios de salida

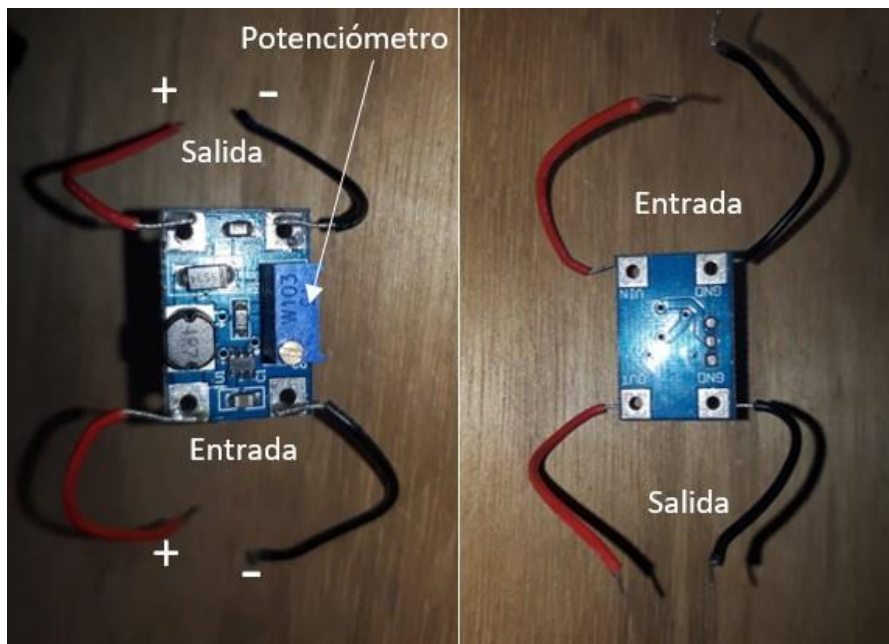


Elaborado por: Juan Flores

En la figura 128 se observa el segundo módulo step-up, cuyo voltaje de entrada es admisible desde 2 voltios hasta 14 voltios, y su salida es regulable mediante potenciómetro, cuyo voltaje varía entre 2 y 30 voltios



Figura 128. Módulo step-up 2 a 14 voltios de salida



Elaborado por: Juan Flores

En la figura 129 se muestran también otros elementos tales como los super capacitores, cuya capacitancia es de 1 faradio, permite almacenar un voltaje de hasta 5.5 voltios.

Figura 129. Super condensadores 5.5 voltios 1 faradio



Elaborado por: Juan Flores

En la figura 130 se observan los principales elementos empleados en el módulo de almacenamiento como son dos clases de baterías, una de 1.2 voltios 100 mAh y otras

dos de 1.2 voltios de 700 mAh, además se observa la porta pilas donde se colocan todas estas.

Figura 130. Baterías de 700 mAh y 100 mAh



Elaborado por: Juan Flores

## 5. Conexión de circuitos y dispositivos

En la figura 131 se muestra la forma de conectar los circuitos en la caja de circuitería de antena, de arriba hacia abajo se observan los módulos de acoplamiento, módulo de rectificación y circuito de almacenamiento, aclarando que el circuito de almacenamiento si se desea se puede colocar en esta caja o en la otra, en su respectiva caja, para este caso que se decidió ponerlo en esta caja, se conectarán dos cables que bajen desde la salida del módulo de almacenamiento, para medir abajo el voltaje de los dispositivos a cargar mediante este módulo cuando se decide poner arriba toda esta estructura de la antena. Se tiene la opción también de solamente bajar unos cables desde el módulo de rectificación para abajo recibir en el otro extremo de los cables la energía de la antena transformada a continua (como se observa en la figura 103), y



estos extremos conectarlos al circuito de almacenamiento que en esta ocasión está atornillado en su respectiva caja que se encuentra abajo, y donde se puede elevar el voltaje. Al solamente bajar los cables desde los terminales de salida del circuito de rectificación, es posible verificar la energía de radiofrecuencia que está captando la antena, al medir voltaje y corriente con un multímetro.

Figura 131. Circuitos colocados en la caja de la antena



Elaborado por: Juan Flores

Ahora se muestra la configuración del rectificador de media onda que se puede implementar en el mismo módulo de acoplamiento, lo que se observa en la figura 132. La implementación del rectificador es sencilla solamente se debe conectar un diodo entre la fase de alterna y el conjunto de sócalos que se encuentra abajo, donde también

se colocó un cable rojo que sería el terminal positivo, en cambio donde se encuentra el cable negro es el terminal negativo mismo que se encuentra unido a todos los terminales de tierra de este circuito. Este rectificador de media onda se utilizó para encender un led con la energía obtenida y también puede ser usado para escuchar las señales mediante algún audífono o algún sistema de audio.

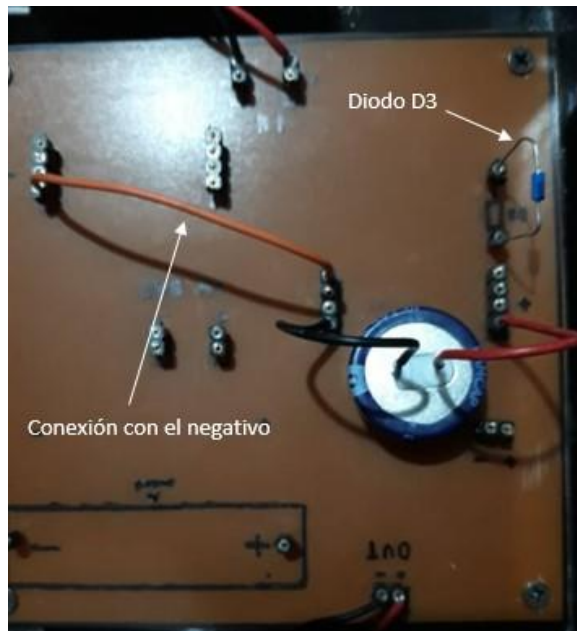
Figura 132. Rectificador de media onda del circuito de acoplamiento



Elaborado por: Juan Flores

Ahora en la figura 133 se observa la colocación de un super capacitor en el módulo de almacenamiento para lo cual se lo conecta a los respectivos sócalos por medio de los cables que tiene soldados, y se conecta un cable desde el terminal negativo del capacitor hacia el negativo del circuito. También se observa el diodo D3 colocado en el respectivo terminal permitiendo el paso de la corriente por el terminal positivo hacia el capacitor y no desde el capacitor en reversa.

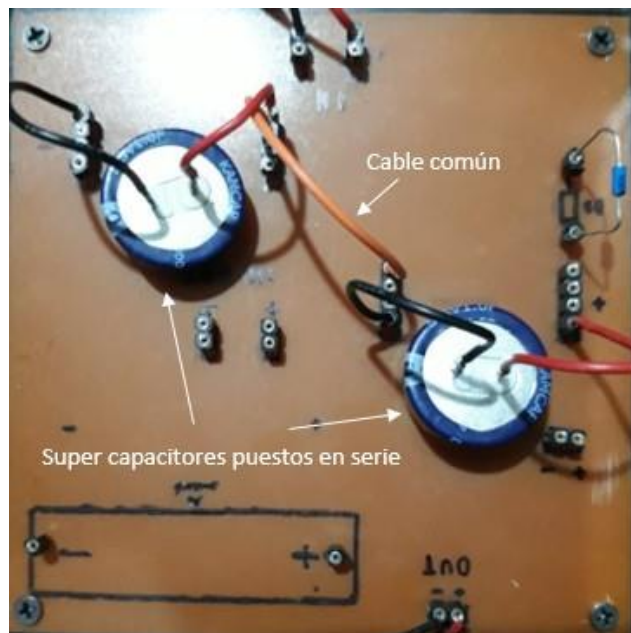
Figura 133. Capacitor colocado en el módulo de almacenamiento



Elaborado por: Juan Flores

En la figura 134 se observa la manera de colocar los capacitores en serie, para lo cual se los coloca en sus respectivos terminales y luego se los vincula a través de un cable común.

Figura 134. Capacitores colocados en serie



Elaborado por: Juan Flores

En la figura 135 se observa la colocación de una batería o pila, para lo cual se la coloca en dentro de una porta pilas y este a su vez se conecta a los respectivos terminales del módulo de almacenamiento a través de los cables que tiene soldados.

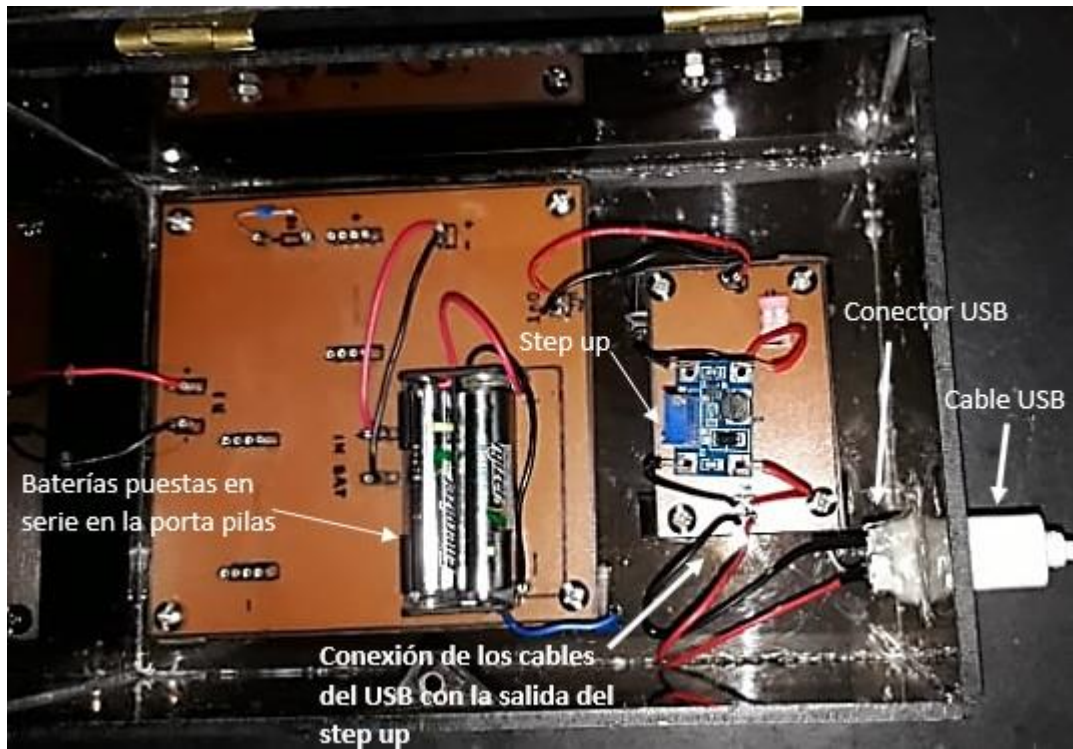
Figura 135. Batería colocada en el módulo de almacenamiento



Elaborado por: Juan Flores

Finalmente, en la figura 136 se observa la colocación de todos los circuitos del módulo de almacenamiento junto con los dispositivos correspondientes para su funcionamiento. Se tiene dos baterías puestas en serie en el módulo de almacenamiento, el voltaje de estas se obtiene a la salida del módulo de almacenamiento que se conecta a la entrada de la placa del elevador de voltaje, se enciende el interruptor y se activa el step-up, obteniendo a la salida un voltaje más elevado que pasa a los cables rojo y negro del conector USB, y a la salida de este conector USB se puede conectar un cable USB como el que se emplea en los cargadores de los celulares, para cargar diferentes dispositivos que requieran conexión USB.

Figura 136. Circuitería del módulo de almacenamiento



Elaborado por: Juan Flores

Hay que aclarar también que las baterías se cargan una por una por medio del sistema de captación de radiofrecuencia residual y no las dos a la vez, ya que si se lo hace así estas van disminuyendo su voltaje porque se necesita un nivel algo considerable de corriente para empezar a cargar, como el obtenido por medio de la captación de FM.