



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN,  
TELECOMUNICACIONES E INDUSTRIAL**

**Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones**

**TEMA:**

---

**“SISTEMA ELECTRÓNICO PORTÁTIL PARA LA RECARGA ELÉCTRICA DE  
DISPOSITIVOS MÓVILES MEDIANTE LA CAPTACIÓN DE ENERGÍA  
ELECTROMAGNÉTICA.”**

---

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

**SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** Fuentes de energías alternativas

**AUTOR:** Jorge Luis Mendoza Chicaiza

**PROFESOR REVISOR:** Ing. Mg. Julio Enrique Cuji Rodríguez

Ambato – Ecuador

Julio – 2019

## APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del Trabajo de Investigación sobre el tema: “SISTEMA ELECTRÓNICO PORTÁTIL PARA LA RECARGA ELÉCTRICA DE DISPOSITIVOS MOVILES MEDIANTE LA CAPTACIÓN DE ENERGÍA ELECTROMAGNÉTICA.”, elaborado por el señor Jorge Luis Mendoza Chicaiza, estudiante de la Carrera de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Tecnologías de la Información, Telecomunicaciones e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, considero que el informe investigativo reúne los requisitos suficientes para que continúe con los trámites y consiguiente aprobación de conformidad con el numeral 7.2 de los Lineamientos Generales para la aplicación de Instructivos de las Modalidades de Titulación de las Facultades de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato Julio, 2019

**EL TUTOR**



---

Ing. Julio Enrique Cuji Rodríguez. Mg.

## **AUTORÍA DE TRABAJO**

El presente Proyecto de Investigación titulado: “SISTEMA ELECTRÓNICO PORTÁTIL PARA LA RECARGA ELÉCTRICA DE DISPOSITIVOS MOVILES MEDIANTE LA CAPTACIÓN DE ENERGÍA ELECTROMAGNÉTICA.”, es absolutamente original, autentico y personal, en tal virtud, los contenidos académicos e instrumentos legales que se manifiestan del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato Julio, 2019

## **AUTOR**



---

Jorge Luis Mendoza Chicaiza

CC: 050364701-8

## DERECHOS DE AUTOR

Autorizó a la Universidad Técnica de Ambato, la potestad de este Trabajo de Titulación para uso como documento disponible para la lectura, consulta y procesos de investigación de acuerdo con las normas de la Institución

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

Ambato Julio, 2019



---

Jorge Luis Mendoza Chicaiza

CC: 050364701-8

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

El Tribunal de Grado del presente trabajo conformado por los señores docentes calificadores, revisado y aprobado el Informe Final del Proyecto de Investigación titulado: “SISTEMA ELECTRÓNICO PORTÁTIL PARA LA RECARGA ELÉCTRICA DE DISPOSITIVOS MOVILES MEDIANTE LA CAPTACIÓN DE ENERGÍA ELECTROMAGNÉTICA.”, presentado por el señor Jorge Luis Mendoza Chicaiza, de acuerdo al numeral 9.1 de los Lineamientos Generales para la aplicación de Instructivos de las Modalidades de Titulación de las Facultades de la Universidad Técnica de Ambato.



Ing. Mg. Elsa Pilar Urrutia Urrutia

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



Ing. Giovanni Brito

DOCENTE CALIFICADOR



Ing. Carlos Serra

DOCENTE CALIFICADOR

## DEDICATORIA

*El presente proyecto de investigación está dedicado principalmente a mi madre que gracias a su esfuerzo y perseverancia logre llegar a mi meta, a las personas más importantes en mi vida que son mi familia que siempre llenan de felicidad mi entorno y me dan valor para seguir adelante sin temor a nuevos retos, para poder cumplir mis objetivos sin miedo a fracasar.*



**Jorge Luis Mendoza Chicaiza**

## AGRADECIMIENTO

*A mi madre, por el apoyo incondicional que siempre me ha brindado, por tener siempre la fortaleza para salir adelante sin importar los obstáculos, por los valores que ha inculcado en mí, convirtiéndome en una persona de bien y por ser la mujer que me trajo a este mundo y me dio una buena vida.*

*A mi familia y amigos por sus palabras de aliento y sus buenos deseos para cumplir mis objetivos.*

*A mis profesores que contribuyeron en mi formación académica y profesional, especialmente a mi Tutor Ing. Julio Cují, por compartir sus conocimientos, por su tiempo y paciencia en el transcurso del desarrollo del proyecto de investigación.*



## INDICE GENERAL

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA DE TRABAJO .....	iii
DERECHOS DE AUTOR .....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTO .....	vii
INDICE GENERAL.....	viii
INDICE DE FIGURAS.....	xi
INDICE DE TABLAS .....	xiii
RESUMEN.....	xv
PALABRAS CLAVE .....	xv
ABSTRACT.....	xvi
GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ACRÓNIMOS.....	xvii
INTRODUCCION .....	xviii
CAPITULO I.....	1
EL PROBLEMA .....	1
1.1 Tema de investigación .....	1
1.2 Planteamiento del Problema.....	1
1.3 Delimitación.....	2
1.4 Justificación .....	2
1.5 Objetivo General .....	3
1.6 Objetivos Específicos.....	3
CAPITULO II .....	4
MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 Antecedentes Investigativos.....	4
2.2 Fundamentación Teórica.....	6
2.2.1 Campos electromagnéticos y espectro electromagnético.....	6
2.2.2 Frecuencias de Transmisión.....	6
2.2.3 Recolección o cosecha de energía.....	8
2.2.4 Sistema de captación de energía .....	9
2.2.5 Dispositivos Móviles.....	11
2.3 Propuesta de Solución.....	13
CAPITULO III.....	14



METODOLOGIA .....	14
3.1 Modalidad de la Investigación .....	14
3.2 Recolección de Información .....	14
3.3 Procesamiento y Análisis de Datos .....	14
3.4 Desarrollo del Proyecto.....	15
CAPITULO IV .....	16
DESARROLLO DE LA PROPUESTA.....	16
4.1 Introducción .....	16
4.2 Análisis de la factibilidad.....	17
4.2.1. Factibilidad técnica .....	17
4.2.2. Factibilidad Bibliográfica .....	17
4.2.3. Factibilidad Económica.....	17
4.3 Requerimientos del sistema .....	17
4.3.1. Descripción general del sistema.....	18
4.4 Necesidades de diseño .....	18
4.4.1. Selección del equipo de medición.....	19
4.4.2. Procedimiento para las mediciones .....	19
4.4.3. Lugares a efectuarse las mediciones .....	20
4.4.4. Ejecución de la medición de campos electromagnéticos .....	22
4.4.5. Análisis de los resultados de las mediciones.....	30
4.5 Información preliminar .....	31
4.5.1. Recarga eléctrica de dispositivos móviles.....	31
4.5.2. Métodos de recarga eléctrica de dispositivos móviles .....	31
4.5.3. Sistema de alimentación eléctrica para dispositivos móviles.....	33
4.5.4. Principio de captación de energía basado en radiofrecuencia.....	34
4.5.5. Plan Nacional de Frecuencias .....	35
4.5.6. Antenas planas o microstrip.....	36
4.6 Etapas del sistema electrónico .....	37
4.6.1. Antenas planas para captación de energía electromagnética .....	37
4.6.2. Multiplicador de tensión .....	48
4.6.3. Control de la energía de salida.....	52
4.6.4. Sistema de almacenamiento de energía.....	55
4.7 Ensamblaje del prototipo .....	57
4.7.1. Conexión de las antenas planas.....	57
4.7.2. Diseño y construcción del circuito.....	59

4.7.3.	Dimensiones y fabricación de la carcaza .....	61
4.7.4.	Montaje de todos los elementos .....	62
4.8	Pruebas de funcionamiento .....	64
4.8.1.	Pruebas previas a la implementación .....	64
4.8.2.	Pruebas del sistema sin el almacenamiento .....	65
4.8.3.	Pruebas del sistema con un capacitor como almacenamiento.....	65
4.8.4.	Pruebas del sistema con las baterías recargables como almacenamiento .....	66
4.8.5.	Pruebas del sistema alimentando un dispositivo móvil.....	67
4.9	Presupuesto del prototipo.....	68
CAPITULO V .....		71
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		71
5.1	Conclusiones .....	71
5.2	Recomendaciones .....	72
BIBLIOGRAFÍA .....		73
ANEXOS .....		77
ANEXO 1.....		78
MANUAL DE USUARIO DEL MEDIDOR/DETECTOR DE RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA GM3120 .....		78
ANEXO 2.....		80
FOTOGRAFÍAS DE LOS AMBIENTES A REALIZARSE LAS MEDICIONES ..		80
ANEXO 3.....		85
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL DIODO SHOTTKY BAT 43 .....		85
ANEXO 4.....		89
FOTOGRAFÍAS DEL PRODUCTO FINAL .....		89

## INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Espectro electromagnético de frecuencias.....	6
Figura 2.2: Tipos de métodos de Energy harvesting.....	8
Figura 2.3: Diagrama de un sistema Captador de energía. ....	10
Figura 2.4: Personal Digital Assintant .....	11
Figura 2.5: Smartphones .....	12
Figura 4.1: Diagrama general de bloques del sistema.....	18
Figura 4.2: Circuito cargador AC/DC .....	32
Figura 4.3: Circuito interior de un cargador de automóvil .....	32
Figura 4.4: Cargador Solar básico con Panel FV.....	33
Figura 4.5: Diagrama a bloques de un sistema de alimentación de dispositivos móviles.....	34
Figura 4.6: antena parche microstrip alimentada mediante ranura .....	36
Figura 4.7: Simulación en Software TX LINE para la Antena Wi-Fi.....	39
Figura 4.8: Antena tipo parche para captación de energía en Wi-Fi.....	40
Figura 4.9: Grafico 3D del campo radiado .....	40
Figura 4.10: Ganancia de la antena circular para $\Phi=0^\circ$ .....	41
Figura 4.11: Simulación en Software TX LINE para la Antena de telefonía móvil .....	42
Figura 4.12: Antena tipo parche para captación de energía en telefonía móvil .....	43
Figura 4.13: Grafico 3D del campo radiado .....	43
Figura 4.14: Ganancia de la antena circular para $\Phi=0^\circ$ .....	44
Figura 4.15: Simulación en Software TX LINE para la Antena de IMT .....	45
Figura 4.16: Antena tipo parche para captación de energía en telefonía móvil .....	46
Figura 4.17: Grafico 3D del campo radiado .....	46
Figura 4.18: Ganancia de la antena circular para $\Phi=0^\circ$ .....	47
Figura 4.19: Antenas tipo parche para Wi-Fi, Telefonía móvil e IMT respectivamente .....	47
Figura 4.20: Curva característica del diodo Schottky .....	48

Figura 4.21: Condiciones iniciales de la simulación del multiplicador de voltaje.....	49
Figura 4.22: Simulación del multiplicador de tensión de 1 etapa .....	49
Figura 4.23: Simulación del multiplicador de tensión de 2 etapa .....	50
Figura 4.24: Simulación del multiplicador de tensión de 3 etapa .....	50
Figura 4.25: Simulación del multiplicador de tensión de 3 etapa .....	51
Figura 4.26: Multiplicador de tensión de 2 etapas ensamblado en protoboard.....	52
Figura 4.27: Control para la salida del sistema .....	53
Figura 4.28: Sistema de control cuando $V_m$ es mayor a $V_a$ .....	54
Figura 4.29: Sistema de control cuando $V_m$ es menor a $V_a$ .....	54
Figura 4.30: Potencia versus energía para diferentes ESS .....	55
Figura 4.31: Arreglo de antenas.....	58
Figura 4.32: Parte frontal de las antenas conectadas en serie .....	58
Figura 4.33: Parte posterior de las antenas conectadas en serie.....	59
Figura 4.34: Simulación del sistema a implementar .....	59
Figura 4.35: Diagrama esquemático PCB del circuito.....	60
Figura 4.36: Circuito impreso .....	60
Figura 4.37: Placa de circuito impreso.....	60
Figura 4.38: Implementación del circuito .....	61
Figura 4.39: Dimensiones de la Carcasa.....	61
Figura 4.40: Carcasa construida en acrílico .....	62
Figura 4.41: Montaje del arreglo de antenas planas.....	62
Figura 4.42: Conexión del arreglo de antenas a la placa del sistema.....	63
Figura 4.43: Sistema implementado el almacenamiento.....	63
Figura 4.44: Sistema completo implementado.....	64
Figura 4.45: Pruebas de funcionamiento previas en protoboard.....	64
Figura 4.46: Pruebas de funcionamiento del sistema sin almacenamiento .....	65

Figura 4.47: Pruebas de funcionamiento del sistema con un capacitor de 100 uF .....	66
Figura 4.48: Sistema completo recargando un dispositivo móvil .....	68
Figura 5.1: Ambiente para las mediciones: Parque Vicente León .....	81
Figura 5.2: Ambiente para las mediciones: Calle Juan Abel Echeverría .....	82
Figura 5.3: Ambiente para las mediciones: Centro Comercial EL SALTO.....	83
Figura 5.4: Ambiente para las mediciones: Zona Rural del Barrio MONJAS.....	84
Figura 5.5: Dispositivo finalizado.....	90
Figura 5.6: Producto final funcional .....	91

## INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: División del espectro de frecuencias de transmisión .....	7
Tabla 4.1: Características de los equipos de medición .....	19
Tabla 4.2: Zonas o ambientes a realizarse las mediciones .....	21
Tabla 4.3: Mediciones realizadas en un PARQUE .....	22
Tabla 4.4: Mediciones realizadas en una CALLE URBANA.....	23
Tabla 4.5: Mediciones realizadas en un CENTRO COMERCIAL.....	25
Tabla 4.6: Mediciones realizadas en una ZONA RURAL.....	27
Tabla 4.7: Mediciones realizadas en el interior de la DOMICILIO.....	28
Tabla 4.8: Resultados promediados de todas las mediciones .....	30
Tabla 4.9: Comparación entre los métodos de alimentación de dispositivos móviles .....	33
Tabla 4.10: Frecuencias administradas en el PNF .....	35
Tabla 4.11: Canales de frecuencias para el diseño de las antenas.....	38
Tabla 4.12: Resultados de la simulación del multiplicador de tensión .....	51
Tabla 4.13: Resultados prácticos del multiplicador de tensión.....	51
Tabla 4.14: Comparación de baterías recargables.....	56
Tabla 4.15: Pruebas del prototipo en distintos ambientes sin almacenamiento .....	65

Tabla 4.16: Resultados del prototipo en distintos ambientes con un capacitor.....	66
Tabla 4.17: Resultados del prototipo en distintos ambientes con las baterías recargables ....	67
Tabla 4.18: Presupuesto de fabricación de las antenas planas .....	68
Tabla 4.19: Presupuesto del prototipo.....	69
Tabla 4.20: Presupuesto total del proyecto de investigación .....	70

## RESUMEN

El presente proyecto de investigación muestra los resultados de la implementación de un sistema electrónico portátil para la recarga eléctrica de dispositivos móviles aprovechando la energía electromagnética que se encuentra en el ambiente. Para desarrollar este trabajo fue necesario realizar un análisis previo de la potencia electromagnética disponible en los distintos ambientes de la ciudad de Latacunga, esto mediante la medición de campo eléctrico y magnético en cada punto. El sistema consta de un arreglo de antenas planas las cuales captan las ondas electromagnéticas de Wi-Fi, telefonía móvil e IMT, transformándolas a energía eléctrica de alta frecuencia, luego mediante un multiplicador de tensión Villard se amplifica y rectifica este voltaje, para finalmente ser almacenado en baterías recargables que serán aplicadas para recargar dispositivos móviles.

Para comprobar el funcionamiento del sistema se realizaron pruebas en distintos ambientes: parque, calle urbana, centro comercial, zona rural y el interior del domicilio; mismos en que se efectuaron las mediciones del campo electromagnético.

**PALABRAS CLAVE:** Energy Harvesting, Campos electromagnéticos, Antenas planas, Multiplicadores Villard, Diodo Schottky, Dispositivos móviles.

## ABSTRACT

*The present research project shows the results of the implementation a portable electronic system for the electrical recharge of mobile devices taking advantage of the electromagnetic energy found in the environment. To develop this work was necessary to carry out a preliminary analysis of the electromagnetic power available in the different environments of the Latacunga's city, this by measuring the electric and magnetic field at each point. The system consists of an array of flat antennas which capture the electromagnetic waves of Wi-Fi, mobile telephony and IMT, transforming them into high frequency electric power, then using a voltage multiplier Villard amplifies and rectifies this voltage, to finally be stored in rechargeable batteries that will be applied to recharge mobile devices.*

*To check the functioning of the system tests were conducted in different environments: park, urban street, shopping center, rural area and the interior of the home; same as the measurements of the electromagnetic field.*

**KEYWORDS:** *Energy harvesting, Electromagnetic fields, Flat antennas, Villard multipliers, Schottky diode, Mobile devices.*



## GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ACRÓNIMOS

**ARCOTEL:** Agencia de Regulación y Control de la Telecomunicaciones

**dB:** Decibelios

**ENERGY HARVESTING:** Recolección de energía

**ESS:** Energy Storage Systems o Sistemas de Almacenamiento de Energía

**FPGA:** Field Programmable Gate Array o Matriz de puertas programables

**GND:** Tierra

**IMT:** International Mobile Telecommunications

**kWh:** Kilovatios/ hora

**mV:** mili Voltios

**mA:** mili Amperios

**PDA:** Personal Digital Assistant o Asistente Personal Digital

**PNF:** Plan Nacional de Frecuencias

**RF:** Radiofrecuencia

**SMES:** Almacenamiento de Energía por Superconductores

**UHF:** Ultra High Frequency o Frecuencias ultra altas

**USD:** United States Dollars

**USB:** Universal Serial Bus

**Wi-Fi:** Wireless Fidelity o Fidelidad Inalámbrica

## INTRODUCCION

En el presente proyecto de investigación se implementa un Sistema portátil de recarga eléctrica mediante la captación de ondas electromagnéticas, el mismo que permitió tener una fuente energética alternativa al modelo de carga regular de los dispositivos móviles, evitando el uso de los tradicionales cargadores de pared los cuales tienen limitaciones de distancia y de accesibilidad a la red eléctrica residencial. El procedimiento del trabajo está basado en la investigación bibliográfica referente al método de Energy harvesting enfocado a la radiofrecuencia y los elementos en los cuales el fenómeno mencionado está presente, además se empleó la investigación experimental para determinar las condiciones que permitan obtener energía eléctrica y en qué magnitud se la puede adquirir.

A continuación, se realiza una breve descripción de la estructura por capítulos que componen esta investigación:

En el Capítulo I, se presenta información sobre el problema de consumo energético y la importancia de la funcionalidad ininterrumpida de los dispositivos móviles. En esta sección también se plantean los objetivos, mediante los cuales se determina el alcance y las necesidades del proyecto.

El Capítulo II, contiene los antecedentes investigativos acerca de proyectos relacionados a los sistemas de aprovechamiento de energía eléctrica alternativos haciendo uso del Energy harvesting, además muestra el contenido de la teoría que fundamentó esta investigación, revisando conceptos como el espectro radioeléctrico utilizable, Captura de energía, características y definiciones de los dispositivos móviles.

El Capítulo III, analiza la modalidad de la investigación, que sirve como guía para el proyecto, la forma de recopilar la de información, el procesamiento y análisis de los datos, además se enlista los pasos para el desarrollo del proyecto de una manera lógica y ordenada.

En el Capítulo IV, se presenta la propuesta, el desarrollo paso a paso de las etapas para la construcción de un prototipo del sistema de recarga eléctrica para dispositivos móviles, mediante la captación de energía electromagnética, además se describe la justificación y factibilidad, la respectiva información técnica concerniente al desarrollo e implementación del sistema y los criterios que debe cumplir el sistema para posteriormente realizar las pruebas de funcionamiento.

En el Capítulo V, se redactan las conclusiones y recomendaciones obtenidas una vez finalizado el desarrollo, la implementación y las pruebas de funcionamiento del sistema.

# **CAPITULO I**

## **EL PROBLEMA**

### **1.1 Tema de investigación**

SISTEMA ELECTRÓNICO PORTÁTIL PARA LA RECARGA ELÉCTRICA DE DISPOSITIVOS MÓVILES MEDIANTE LA CAPTACIÓN DE ENERGÍA ELECTROMAGNÉTICA

### **1.2 Planteamiento del Problema**

A nivel mundial, de una población total de 7,6 mil millones de habitantes, el número de usuarios de telefonía móvil para el año 2018 es de 5.135 millones y con un ritmo de crecimiento del 4% anual. Cabe señalar que a pesar de su utilidad, los dispositivos móviles de última generación pueden llegar a tener un consumo eléctrico superior al de un refrigerador de tamaño mediano, clasificado por la Energy Star, el cuál consume aproximadamente 322 kWh por año y un teléfono inteligente utiliza 388 kWh. [1], [2]

Los dispositivos móviles, así como cualquier otro dispositivo que pueda ser considerado autónomo, poseen limitaciones en su funcionamiento continuo debido a la corta duración de carga de sus baterías. En teléfonos inteligentes la batería puede llegar a durar hasta 48 horas con carga cuando el dispositivo está en estado inactivo, pero en uso de múltiples aplicaciones este tiempo se reduce a aproximadamente 4 horas o menos. Debido a todo esto el usuario suele recargar el dispositivo con mayor frecuencia y esto se traduce en un gasto energético y a su vez económico. [3], [4]

En el Ecuador, existe un aproximado total de 14'802.099 líneas activas de servicio móvil avanzado, es decir, celulares siendo utilizados por los ciudadanos, lo que se traduce en un alto consumo de energía eléctrica anual de aproximadamente 5,74 GWh. Siendo que durante todo el año 2017 el país registro una demanda energética residencial de 6.058,87 GWh, una gran parte de éste es provocado por el uso del cargador del celular. [5], [6]

Para la provincia de Tungurahua, el porcentaje de personas que poseen un celular activo esta alrededor del 57% de su población total que es de 577.551 habitantes,

especialmente en Ambato la mayoría de usuarios de smartphones ha experimentado que la batería de su celular se agota rápidamente teniendo que llegar al punto de usar el dispositivo mientras está cargando la batería. Por esta razón los mismos fabricantes han planteado diseñar el hardware y el software de los dispositivos con premisas de eficiencia energética para reducir los niveles de energía consumidos. No obstante, si un dispositivo es utilizado en zonas donde las posibilidades de recarga son limitadas (regiones rurales, parques, calles, transportes, etc.) significaría un gran problema en casos de emergencia en que se requiera el equipo en pleno funcionamiento. [7], [8]

### **1.3 Delimitación**

#### **Delimitación de contenidos**

Área académica: Física y Electrónica.

Línea de investigación: Energía renovables y desarrollo sostenible.

Sublínea de investigación: Fuentes de energías alternativas.

**Delimitación espacial:** El proyecto de investigación está destinado a realizarse en la Provincia de Tungurahua, ciudad de Ambato y en la Facultad de Tecnologías de la Información, Telecomunicaciones e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato.

**Delimitación temporal:** El proyecto de investigación se realizó durante el periodo académico Marzo – Agosto del año 2018, esto de acuerdo a lo establecido en el Reglamento de Graduación para obtener el Título Terminal de Tercer Nivel de la Universidad Técnica de Ambato, aprobado mediante Resolución 0533-CU-P-2015 del 31 de marzo de 2015 (RGTTTNUTA).

### **1.4 Justificación**

La actual necesidad de las personas por intercambiar información entre sí, hace que se implementen nuevas tecnologías de recarga de dispositivos móviles, siendo esta la opción más óptima tomando en cuenta la relación costo/ beneficio. Un hardware que oferte el servicio gratuito de alimentación eléctrica para teléfonos inteligentes en cualquier lugar; al cual se acceda en cualquier momento y mediante el puerto micro USB de su dispositivo, disponible en todos los celulares inteligentes, realice una carga eficaz y completa de la batería mediante la captura de la energía electromagnética dispersa en el ambiente.

El trabajo de investigación genera un incremento en el tiempo de actividad constante de cualquier dispositivo móvil mediante un nuevo método de carga eléctrica, esto sin la limitación de permanecer en un lugar fijo y/o tener accesibilidad a la red eléctrica mientras su batería es cargada. Por esta razón, los beneficiarios directos del proyecto son los usuarios de dispositivos móviles. Cabe recalcar que al poseer una fuente de energía limpia, se considera beneficiario al planeta ya que con el desarrollo de esta alternativa se busca reducir el impacto ambiental que las fuentes convencionales de generación de energía eléctrica ocasionan.

Se considera que el proyecto es factible debido a los avances en el ámbito de captación de energía basado en radiofrecuencia presentados en los últimos años y los elementos que se empleó para el proyecto, como el medidor de energía en campos electromagnéticos y los elementos del sistema rectificador, son de fácil adquisición en el Ecuador a precios muy accesibles. Además, que para su elaboración se cuenta con amplias fuentes bibliográficas, conocimientos necesarios, predisposición de la infraestructura perteneciente a la Facultad de Tecnologías de la Información, Telecomunicaciones e Industrial, tiempo y recursos económicos del investigador.

### **1.5 Objetivo General**

Implementar un sistema electrónico portátil para la carga eléctrica de dispositivos móviles mediante la captación de energía electromagnética.

### **1.6 Objetivos Específicos**

- Determinar el nivel de energía electromagnética a través del uso de un medidor de intensidad de campo eléctrico y magnético en distintas condiciones ambientales.
- Analizar las características principales de los métodos de alimentación eléctrica para dispositivos móviles.
- Diseñar un sistema electrónico captador energía electromagnética para la alimentación eléctrica de dispositivos móviles.

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes Investigativos

Durante el proceso de investigación bibliográfica, se encontraron proyectos afines al tema del presente trabajo de investigación, los cuales sirven de soporte para el proyecto propuesto.

En el artículo científico “Práctica de Laboratorio de Captura de Energía de Radio Frecuencia” de L. Boquete, R. Barea, J. M. Rodríguez-Ascariz, J. J. Cantos, y J. M. Miguel, publicado en el 2012 y ejecutado en la Universidad de Alcalá en España, se realiza la construcción de una antena tipo parche básica (a través del simulador de antenas Sonnet Lite) la cuál es sintonizada a distintas señales de RF y mediante una rectena (combinación de antena y rectificador) se obtiene energía eléctrica a su salida. El sistema se probó a distintas distancias de una fuente de señales RF (2 m, 1.5 m, 50 cm y 20cm) teniendo a su salida valores entre los -6 dBm y -30 dBm. [9]

En la tesis de grado “Sistemas de cosecha de energía para sistemas electrónicos autónomos” del señor Miguel Casanova Gómez, realizado en la Universidad Rey Juan de Dios en España durante el año 2013, mediante un análisis de los sistemas de Energy harvesting hasta el momento se diseña y construye un propio prototipo aprovechando el movimiento de ondas vibratorias, empleando una bobina y un imán para captador la energía con una placa FPGA como circuito complementario, y un pequeño sistema capador de ondas de RF y almacenando esa energía en condensadores. El sistema de cosecha de ondas vibratorias luego de varias pruebas obtuvo una potencia de 832  $\mu$ W a su salida, mientras que el captador de ondas de RF consiguió 2.32 voltios cerca de una fuente de ondas RF. [10]

La tesis “Diseño de antenas para aplicaciones de captación de energía en la banda UHF” realizado por Alonso Martínez Castillo, implementado durante el año 2014 en la Universidad Politécnica de Valencia en España, realiza el diseño de antenas tipo parche a las cuales modifica sus características hasta obtener el mejor resultado y empleando un multiplicador de voltaje y rectificador de señal acondiciona la energía.

Se vale del software FEKO para el diseño y simulación de las distintas antenas. Como demuestra durante el trabajo, esta forma de suministro energético para dispositivos no es muy eficiente, debido, a los componentes electrónicos existentes hasta el momento que no están adecuados para este tipo de aplicaciones. [11]

El artículo “Sistema de Cosechamiento de Energía con Radio Frecuencia” publicado por Richard Torrealba Meléndez, Vidal Crispín Santiesteban, Roberto Carlos Ambrosio Lázaro, Luz del Carmen Gómez Pavón y Edna Iliana Tamariz Flores, realizado durante el año 2015 en los predios de la Universidad Autónoma de Puebla en México, contempla el diseño y caracterización de un circuito de cosecha de energía de RF empleando un multiplicador de voltaje del tipo Villard y siendo acoplado a la antena mediante un acoplador de impedancias. Realizó un estudio de la potencia obtenida al final del multiplicador con diferentes resistencias para de esta forma encontrar la resistencia de carga que proporcione la máxima potencia. Como resultado final se obtuvo una potencia de  $4.49 \times 10^{-10}$  W con una impedancia óptima de salida de  $85 \Omega$ . [12]

Carlos Rodrigo Jinez Jines contempla en su tesis “sistema electrónico para recarga eléctrica en teléfonos celulares inteligentes en espacios cerrados empleando tecnología inalámbrica”, realizado durante el año 2016 en la Universidad Técnica de Ambato en Ecuador, un sistema de carga rápida construyendo su propio generador y receptor de ondas electromagnéticas aplicando los principios de la inducción magnética o inducción de campo cercano y generando un programa en AndroidStudio 1.5.1. para visualizar el nivel energético de la batería. La eficiencia alcanzada por el prototipo está alrededor del 70%, con una distancia de separación de aire de 5 cm entre el transmisor y la recepción de los resonadores de origen y carga. [13]



## 2.2 Fundamentación Teórica

### 2.2.1. Campos electromagnéticos y espectro electromagnético

#### Energía de los campos electro magnéticos

Existe un gran interés en el estudio de los campos electromagnéticos debido a una razón fundamental: su capacidad de transportar energía. Desde un punto de vista tecnológico, para transmitir información de un punto a otro necesitamos “escribirla” sobre algún soporte y transportarla. El soporte óptimo es la energía y el medio de transporte más eficaz son los campos electromagnéticos, el transporte de energía está asociado a la propagación de ondas electromagnéticas través del aire. [14]

#### Espectro electromagnético

El espectro electromagnético se puede definir como el conjunto de subsecciones o bandas de frecuencias, contando cada una con un nombre y sus límites. Este espectro de frecuencias va desde las subsónicas (unos pocos hertz) hasta los rayos cósmicos ( $10^{22}$  Hz). [15]

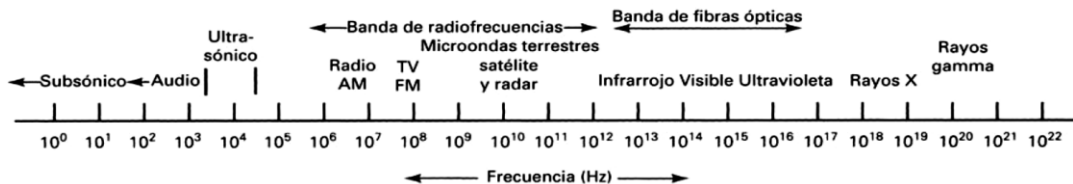


Figura 2.1: Espectro electromagnético de frecuencias. [15]

### 2.2.2. Frecuencias de Transmisión

Las frecuencias exactas asignadas a transmisores específicos que funcionan en las diversas clases de servicio se actualizan y alteran en forma constante, para cumplir con las necesidades de comunicaciones en una nación. El espectro total útil de radiofrecuencias (RF) se divide en bandas de frecuencia más angostas, a las que se dan nombres y números descriptivos, y algunas de ellas se subdividen a su vez en diversos tipos de servicios. En la tabla 2.1 se muestra las designaciones de cada sub-banda. [15]

Tabla 2.1: División del espectro de frecuencias de transmisión

Margen de Frecuencias	Designación por su Frecuencia	Longitud de Onda
30 Hz – 300 Hz	ELF Frecuencias extremadamente bajas	10000 km a 1000 km
300 Hz – 3KHz	VF Frecuencias de voz	1000 km a 100 km
3 kHz a 30 kHz	VLF Frecuencias muy bajas	100 km a 10 km
30 kHz a 300 kHz	LF Frecuencias bajas	10 km a 1 km
300 kHz a 3.000 kHz	MF Frecuencias medias	1 km a 100 m
3 MHz a 30 MHz	HF Frecuencias altas	100 m a 10 m
30 MHz a 300 MHz	VHF Frecuencias muy altas	10 m a 1 m
300 MHz a 3000 MHz	UHF Frecuencias ultra altas	1m a 10cm
3 GHz a 30 GHz	SHF Frecuencias súper altas	10 cm a 1 cm
30 GHz a 300 GHz	EHF Frecuencias extremadamente altas	1 cm a 1 mm

Elaborado por: Investigador basado en [15]

Cuando se manejan ondas de radiofrecuencia se acostumbra usar unidades de longitud de onda, y no de frecuencia. La longitud de onda es la distancia que ocupa en el espacio un ciclo de una onda electromagnética, es decir, la distancia entre los puntos correspondientes en una onda repetitiva. La longitud de onda es inversamente proporcional a la frecuencia de la onda, y directamente proporcional a su velocidad de propagación. Se supone que la velocidad de propagación de la energía electromagnética en el espacio libre es  $3 \times 10^8$  m/s. Esta relación se expresa matemáticamente de la siguiente manera. [15]

$$\lambda = \frac{c}{f} \tag{1}$$

Donde

$\lambda$  = longitud de onda (metros por ciclo)

$c$  = velocidad de la luz (300'000,000 metros por segundo)

$f$  = frecuencia (hertz)

### 2.2.3. Recolección o cosecha de energía

Este tema generalmente está relacionado con el uso, almacenamiento y gestión de la energía encontrada en el ambiente, y que es convertido principalmente en energía eléctrica para su uso en aplicaciones que requieren pequeña potencia. Este concepto no es nuevo, ya que se conocen procesos a gran escala que se utilizan desde hace bastante tiempo, por ejemplo las instalaciones de paneles fotovoltaicos o de aerogeneradores. Pero la novedad ahora es su aplicación en el uso en el campo de la electrónica de baja potencia y de redes móviles. [16]

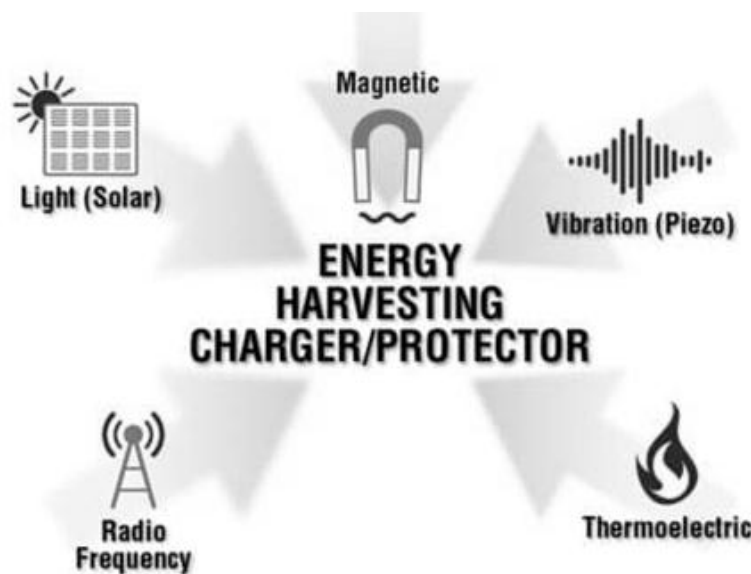


Figura 2.2: Tipos de métodos de Energy harvesting. [16]

#### Cosecha de energía para aplicaciones remotas y portátiles

Si bien la recolección de energía puede considerarse como "energía gratuita", el costo de la energía no es lo que motiva a la mayoría de las soluciones. Se utiliza la recolección de energía moderna porque elimina la necesidad de colocar cables de energía costosos en lugares remotos o la necesidad de reemplazar baterías primarias caras con frecuencia. En términos simples, los sistemas de captación de energía son más convenientes y reducen los costos para muchas aplicaciones. [16]

#### Los retos técnicos de la recolección de energía.

Las soluciones de captación de energía exigen mucho soporte de la electrónica, por lo que hay que considerar algunos de estos desafíos de diseño. Si el recurso de energía

no siempre está presente, entonces el sistema necesita almacenar energía en una batería, un supercondensador o una celda de microenergía. Además, como las fuentes de energía varían, el sistema debe convertir, regular y controlar esa energía. Los circuitos y la celda de almacenamiento de energía deben estar protegidos contra el exceso de voltaje o picos de potencia. La electrónica de soporte debe ser altamente eficiente desde el punto de vista energético, ya que la fuente de energía es generalmente pequeña. [16]

### **Captación de energía basada en la radiofrecuencia**

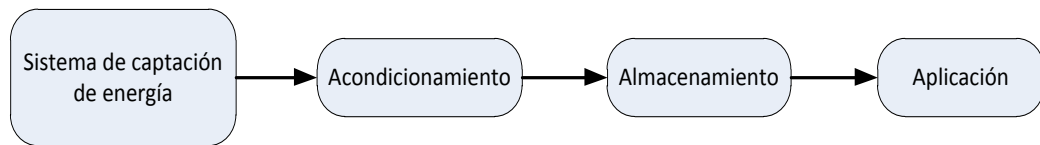
Las emisiones de ondas de radiofrecuencia son muy abundantes a lo largo de todo el espectro radioeléctrico. Se trata de un tipo de energía emitida en todas las direcciones en forma de ondas desde el centro transmisor, esta energía que puede ser aprovechada o almacenada. Debido a ello se trata de un tipo de energía con alta disponibilidad y barata. Pero resulta algo más complejo a la hora de captar este tipo de energía y poder utilizarla. [10]

#### **2.2.4. Sistema de captación de energía**

Es un sistema que se encarga de captar cualquier tipo de energía (solar, electromagnética, termoeléctrica, piezoeléctrico, radiofrecuencia...) y de transformarlo en energía eléctrica. Según la naturaleza de la señal generada por el sistema de captación, se pueden clasificar como fuentes de corriente continua (DC) o fuentes de corriente alterna (AC). Las fuentes de corriente continua producen una corriente y tensión continua. Por otra parte, las fuentes de energía de corriente alterna producen una señal alterna y oscilante en el tiempo. [10]

### **Arquitectura de un sistema de captador de energía**

La tecnología de captación de energía se basa sobre todo en su utilidad en dispositivos autónomos. Teniendo en cuenta que en estos dispositivos, la potencia que aporta es el factor limitante, la combinación de métodos de absorción de energía, junto con una gestión inteligente de las redes expandiría el mercado de estas aplicaciones. Además, los sistemas de “cosecha de energía” tienen cuatro partes fundamentales para poder captar, almacenar y gestionar la energía. Se disponen en el siguiente orden: [10]



*Figura 2.3: Diagrama de un sistema Captador de energía. [10]*

**Acondicionamiento:** La energía que se genera mediante los captadores de energía tiene tres características iguales para todos los casos: [10]

- La tensión de salida no está regulada por lo tanto no puede emplearse directamente para alimentar circuitos eléctricos.
- En la mayoría de casos no proporciona una potencia continua.
- Generan una potencia media muy baja (ente los 60 y los 7500  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ).

**Almacenamiento:** Tiene dos funciones principales: almacenar la energía en las baterías y suministrar la potencia regulada a la aplicación. Hoy en día existen varias alternativas para almacenar la energía en los sistemas de captación de energía siendo los más empleados son los supercondensadores y las microbaterías. [10]

**Aplicación:** El uso final que se va hacer la energía producida. La aplicación para los sistemas de captación de energía puede estar formada por cualquier dispositivo que no necesite una potencia de alimentación muy elevada. [10]

### **Especificaciones de un sistema de captación de energía**

Con el fin de adquirir la máxima energía posible para la alimentación de dispositivos electrónicos, el sistema cumple con ciertas especificaciones: [17]

- Captar la máxima potencia posible de la señal emitida o existente en el aire.
- Tener una eficiencia muy alta, es decir, que las pérdidas internas de energía sean lo más pequeñas posibles.
- Peso y dimensiones ajustadas, teniendo en cuenta su ámbito de funcionamiento.

Durante la captación de energía puede darse el caso de que la potencia sea muy pequeña y no sea capaz de alimentar eléctricamente a los sistemas de acondicionamiento y almacenamiento. Por lo tanto, existen alternativas para poder eliminar el problema de la baja potencia, entre las que se podemos mencionar: [17]

- Instalar el sistema de captación de energía cerca de una fuente que emita más ondas de radiofrecuencia.
- Utilizar materiales que ofrezcan menor resistencia al paso de la corriente, es decir sean de bajo consumo.
- Instalando en serie varios de los circuitos elevadores de tensión y aumentando el tamaño de la antena.

### 2.2.5. Dispositivos Móviles

También denominados como PDAs (Personal Digital Assistant), es una computadora de mano originalmente diseñada como agenda electrónica con un sistema de reconocimiento de escritura. Hoy en día estos dispositivos, pueden realizar muchas de las funciones de una computadora de escritorio pero con la ventaja de ser portátil. Las características del PDA moderno son pantalla sensible al tacto, conexión a una computadora para sincronización, ranura para tarjeta de memoria, y al menos Infrarrojo, Bluetooth o Wi-Fi, actualmente comunicaciones inalámbricas (Bluetooth, Wi-Fi, IrDA, GPS,) que los hace tremendamente atractivos hasta para cosas tan inverosímiles como su uso para domótica o como navegadores GPS. La Figura 2.4 muestra un PDA. [18]



*Figura 2.4: Personal Digital Assistant [18]*

### Teléfonos inteligentes

Según Theodore Roberto, un “smartphone” es un dispositivo electrónico que funciona como un teléfono móvil con características similares a las de un ordenador personal. Es un elemento a medio camino entre un teléfono móvil clásico y una PDA ya que permite hacer llamadas y enviar mensajes de texto como un móvil convencional pero

además incluye características cercanas a las de un ordenador personal. Generalmente, los teléfonos con pantallas táctiles son los llamados “teléfonos inteligentes”, además que permiten la instalación de programas para incrementar el procesamiento de datos y la conectividad. La Figura 2.5 muestra algunos tipos de smartphones de diferentes fabricantes. [19]



*Figura 2.5: Smartphones [19]*

### **Baterías de teléfonos móviles**

Esencialmente, una batería es un recipiente de sustancias químicas que transmiten electrones. Es una máquina electroquímica; o sea, una máquina que crea electricidad mediante reacciones químicas. Las baterías tienen dos polos, uno positivo (+) y otro negativo (-). Los electrones (de carga negativa) van del polo negativo hacia el polo positivo, caso contrario la reacción química no ocurre. Esto significa que la electricidad solo se genera cuando se conectan los dos polos. [20]

Para los teléfonos móviles, existen tres tipos de baterías: las NiCd21 (níquel-cadmio), las NiMH22 (níquel-hidruro metálico) y las de litio. Inicialmente, las baterías más comunes para los teléfonos móviles eran de NiMH, debido a que tienen un tamaño y un peso reducido. También se usan a veces las baterías de iones de litio, ya que son más ligeras y no tienen la depresión de voltaje que tienen las baterías de NiMH. Los fabricantes de teléfonos móviles han estado experimentando con otras fuentes de energía, entre las que se incluyen células solares. Por otro lado, algunas entidades están desarrollando chips capaces de disminuir las necesidades de energía de los teléfonos móviles. [20]

## **Cargadores de teléfonos móviles**

Los teléfonos móviles obtienen generalmente la energía eléctrica de baterías recargables. Hay varias formas de recargar estas baterías, entre las que se encuentran el USB, las baterías portables, los enchufes (con un adaptador AC) y un adaptador. La mayor parte de la pérdida de energía en un teléfono móvil se produce cuando no lo estamos cargando, cuando el teléfono móvil no está conectado, pero se deja el cargador enchufado al móvil y usando energía. Para combatir esto, Nokia, Samsung, LG, Sony Ericsson y Motorola confeccionaron un sistema de calificación basado en estrellas para calificar la eficiencia de sus cargadores en la condición de no-carga antes mencionada. Empezando por cero estrellas para pérdidas inferiores a 0,5 W, el sistema llega hasta las cinco estrellas para pérdidas superiores 0,03 W (30 mW). [20]

### **2.3 Propuesta de Solución**

La implementación de un sistema electrónico portátil que genera suficiente electricidad para alimentar un dispositivo móvil, captando la energía electromagnética dispersa en el ambiente, puede ser validada como una opción de sustentabilidad energética para teléfonos inteligentes y similares, incrementando su tiempo de funcionamiento continuo.



## **CAPITULO III**

### **METODOLOGIA**

#### **3.1 Modalidad de la Investigación**

La modalidad del proyecto de investigación fue aplicada, puesto que se partió de una situación problemática que requirió ser intervenida y mejorada, para lo cual se planteó la propuesta de solución, que se desarrolló utilizando:

Investigación bibliográfica, porque se basó en fuentes documentales de libros, revistas, artículos, y base de datos científicas disponibles en sitios oficiales y repositorios digitales de universidades y organizaciones nacionales e internacionales, de donde se obtuvo información necesaria para fundamentar el trabajo en base a teorías, resultados experimentales, herramientas de simulación y técnicas de diseño e implementación.

Investigación experimental, ya que para el desarrollo del proyecto se requirió de pruebas de funcionamiento permitiendo obtener información verídica al momento de exponer los resultados y las conclusiones del trabajo.

#### **3.2 Recolección de Información**

Para la recolección de información fue necesario el uso de repositorios digitales en línea y base de datos que permitió acceder a las fuentes bibliográficas permitiendo ampliar la visión del proyecto, tutoriales, hojas de especificaciones de los componentes para garantizar un óptimo uso, además se realizó las pruebas necesarias con el prototipo con el fin de observar su funcionamiento y comparar resultados.

#### **3.3 Procesamiento y Análisis de Datos**

Para el procesamiento y análisis de datos se llevó a cabo las siguientes actividades:

- Organización de la información recolectada.
- Revisión de la información obtenida.
- Análisis de la información que permita establecer la mejor alternativa de solución al problema.
- Planteamiento de la propuesta de solución.

### 3.4 Desarrollo del Proyecto

La siguiente, es la metodología planteada que se llevó a cabo en el desarrollo del proyecto investigativo:

- Selección del equipo necesario para la medición de energía de los campos electromagnéticos.
- Medición de la intensidad de campo eléctrico y magnético en determinados ambientes.
- Determinación de la cantidad de energía electromagnética mínima disponible para el diseño.
- Establecimiento de las características mínimas aceptables para energizar un teléfono inteligente.
- Estudio de los diferentes métodos de alimentación eléctrica de dispositivos móviles.
- Descripción general de las características de un sistema de carga eléctrica de dispositivos móviles.
- Determinación de las características del principio de captación de energía basado en radiofrecuencia.
- Evaluación de las tecnologías idóneas para el adecuado diseño del sistema captador de energía electromagnética.
- Desarrollo del sistema electrónico portátil para carga eléctrica de dispositivos móviles mediante captación de energía electromagnética.
- Ejecución de pruebas de funcionamiento del prototipo.
- Análisis de resultados y la obtención de conclusiones
- Elaboración del informe final.

## CAPITULO IV

### DESARROLLO DE LA PROPUESTA

#### 4.1 Introducción

En los últimos años, el Ecuador se ha enfocado a la generación de electricidad por medio del uso de fuentes y recursos tradicionales, siendo las más dominantes el petróleo, la hidroelectricidad y la biomasa. A medida que el país se ha ido modernizando, los porcentajes entre estas tres fuentes han ido cambiando, provocando la necesidad de renovar la matriz energética del país, buscando nuevas alternativas de generación, como complemento o como fuentes primarias, basadas en recursos renovables y mecanismos de desarrollo limpio. Como ejemplo tenemos la energy harvesting enfocado a la radiofrecuencia, que es el método empleado en este proyecto. [21]

La energía propagada como ondas de radiofrecuencia actualmente se emite por miles de millones de radiotransmisores alrededor del mundo, incluyendo teléfonos móviles, radios portátiles, emisoras de radio y televisión, etc. La idea de captar la energía emitida en forma de RF es poder aprovecharla al máximo, no solo para transmitir o receptor información sino que se pueda usar esa energía y con esto permitir cargar inalámbricamente dispositivos de baja potencia, por lo tanto estos estarían libres de conectores, cables y baterías, permitiéndoles con esto una movilidad durante la carga y el uso. [22]

En comparación con las computadoras personales o servidores, los dispositivos móviles tienen recursos más limitados. En este contexto, un punto importante es el de minimizar el consumo de energía ya que los dispositivos móviles dependen de sus baterías para el suministro energético. Por otra parte, la cantidad de aplicaciones que uno de estos dispositivos puede ejecutar es muy amplio por lo que esto provoca un elevado consumo de la carga del mismo. [23]

El presente proyecto de investigación tiene como objetivo el estudio y posterior desarrollo de un sistema de generación de energía eléctrica haciendo uso del energy harvesting enfocado a la radiofrecuencia o la captación de energía electromagnética presente en el ambiente, un método que en la actualidad está siendo objeto de estudio para su desarrollo, se presenta como una alternativa que con el tiempo se espera contribuya a ser una fuente de obtención de energía eléctrica limpia y renovable.

## **4.2 Análisis de la factibilidad**

Los apartados siguientes del proyecto de investigación, representan las instancias de factibilidad que se tomaron en cuenta para el desarrollo de la propuesta.

### **4.2.1. Factibilidad técnica**

El desarrollo del proyecto de investigación es técnicamente factible debido a que los elementos y dispositivos electrónicos utilizados para la elaboración del prototipo son accesibles ya que se les puede adquirir en cualquier tienda de electrónica dentro del País.

### **4.2.2. Factibilidad Bibliográfica**

El proyecto es bibliográficamente factible, debido a que la información necesaria para el desarrollo del proyecto está al alcance del investigador ya que se puede encontrar en libros, revistas científicas, artículos científicos, tesis de grado, publicaciones de periódicos relacionadas al tema, publicaciones web y demás fuentes de información.

### **4.2.3. Factibilidad Económica**

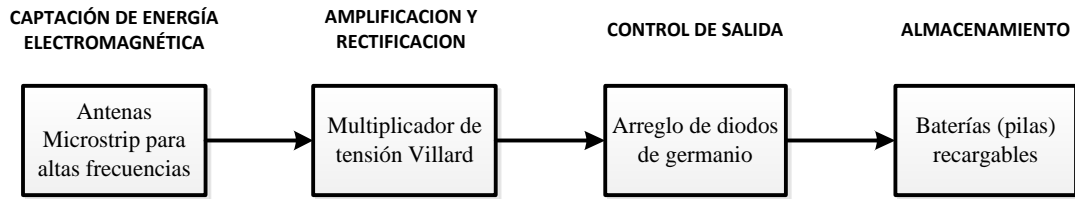
Es económicamente factible debido a que el investigador está en capacidad de costear los gastos necesarios del mismo.

## **4.3 Requerimientos del sistema**

El sistema electrónico contemplado para este proyecto consta principalmente de 4 etapas:

- Captación de energía electromagnética
- Amplificación y rectificación
- Control de salida
- Almacenamiento

En la figura 4.1 se muestra un diagrama a bloques básico de las etapas que componen el sistema.



*Figura 4.1: Diagrama general de bloques del sistema  
Elaborado por: Investigador*

#### 4.3.1. Descripción general del sistema

El sistema utiliza antenas tipo parche (Microstrip) para captar las ondas electromagnéticas que viajan a altas frecuencias, y transformarlas en energía eléctrica. Esta energía es amplificada y rectificadora mediante el uso de un multiplicador de tensión Villard, para tener un voltaje continuo a la salida y ser almacenado en las baterías recargables. Para reducir el desgaste paulatino que se genera en el almacenamiento se realiza un control que dependa del nivel de voltaje, mediante un arreglo de diodos, para que la energía se almacene o alimente al dispositivo.

#### 4.4 Necesidades de diseño

Para el desarrollo del prototipo se realizó un análisis previo de la densidad de energía electromagnética existente en el ambiente, por lo cual fue necesario adquirir un equipo medidor de campos electromagnéticos. Debido a la naturaleza del proyecto no es esencial contar con un equipo de medición muy complejo, se requiere básicamente un dispositivo que mida el campo electromagnético o el nivel de energía en el ambiente, por lo que las características técnicas mínimas para el medidor son las siguientes:

- Ancho de banda entre 700 Mhz – 4 GHz
- Visualización numérica de los valores de los campos medidos
- Alto nivel de exactitud
- Portabilidad

#### 4.4.1. Selección del equipo de medición

Para la medición de los campos electromagnéticos se tomó en consideración los siguientes equipos, tomando en cuenta que cumplan con los requerimientos técnicos mínimos. En la tabla 4.1 se muestra detalles de cada equipo.

Tabla 4.1: Características de los equipos de medición

Características	Narda SRM 3000 	Sparta Hr 	Gm3120 
<b>Ancho de banda</b>	100 kHz a 3 GHz	50MHz a 2 GHz	5Hz a 3,5GHz
<b>Pantalla</b>	Digital	Digital	Digital
<b>Exactitud</b>	+/- 2dB	No especificado	Precisión de 1V/m y 0.01 uT
<b>Portabilidad</b>	SI	SI	SI
<b>Precio</b>	\$ 45.000,00	\$45,00	\$ 64,99
<b>Disponibilidad en el país</b>	NO	SI	SI

Elaborado por: Investigador basado en [24], [25] y [26]

Según los datos que se muestran en la tabla 4.1, se determinó que el dispositivo que cumple con todas las características deseadas es el medidor/detector de radiación electromagnética Gm3120. En el ANEXO 1 se muestra el manual de usuario del equipo.

#### 4.4.2. Procedimiento para las mediciones

Para la medición de las emisiones de ondas electromagnéticas se tomó en cuenta las recomendaciones otorgadas por las respectivas entidades reguladoras, siendo en nuestro país la ARCOTEL, la cual de forma general sugiere: establecer una zona de medición, que el valor alcanzado deberá contener al menos dos cifras decimales y las mediciones deberán ser confiables y de fácil verificación.

Tomando en cuenta estas recomendaciones se generó un procedimiento adecuado para la medición de los campos electromagnéticos existentes en el ambiente, el cual se detalla a continuación:

- Para la elección de los sitios o lugares fue necesario una evaluación de las características geográficas en que se hallara el prototipo a construir.
- Se efectuó las mediciones en sitios con características distintas.
- Las mediciones se realizaron en dos periodos del día, siendo: en la mañana a partir de las 8 am y en la tarde a partir de las 2 pm.
- Cada toma de datos se hizo durante un tiempo aproximado de 2 a 3 minutos en cada sitio.
- El equipo debe estar debidamente calibrado antes de realizar las mediciones en los diferentes sitios seleccionados para el efecto.

#### **4.4.3. Lugares a efectuarse las mediciones**

Siendo la zona total de análisis el cantón de Latacunga, se puede afirmar que posee básicamente un entorno urbano en parte central y suburbano en sus límites territoriales, por lo tanto los ambientes con los que cuenta la ciudad son:

- Parques monumentales y recreacionales
- Calles urbanas
- Centros comerciales
- Instituciones públicas y/o privadas
- Plazoletas
- Colegios y escuelas
- Iglesias
- Terminales, aeropuertos y estaciones
- Estadios
- Sembradíos
- Calles suburbanas
- Lotes vacíos
- Planicies de pastado de ganado

Todos los sectores enlistados anteriormente se pueden englobar en 5 grandes grupos, teniendo en cuenta la cantidad de energía electromagnética y la concurrencia de los pobladores en cada lugar, los cuales son:

- PARQUE (Parques y plazoletas)
- CALLE URBANA (Calles urbanas y/o suburbanas)
- CENTRO COMERCIAL (Centros comerciales, Instituciones públicas y/o privadas, Colegios, escuelas, terminales, aeropuertos y estaciones)
- DOMICILIO (no engloba a ninguno, pero es un ambiente que debe medirse pues corresponde al interior de la vivienda de cualesquier usuario)
- ZONA RURAL (Sembradíos, lotes vacíos, planicies de pastado de ganado y Estadios)

A continuación en la tabla 4.2 se muestra los lugares seleccionados para realizar las mediciones de los campos electromagnéticos. En el ANEXO 2 se muestran fotografías de cada uno de los ambientes.

Tabla 4.2: Zonas o ambientes a realizarse las mediciones

AMBIENTE	LUGAR	POSICION (Lat. - long.)
Parque	Parque Vicente León	-0,9056652 -78,6133954
Calle urbana	Calle Juan Abel Echeverría	-0,9311499 -78,6165983
Centro Comercial	C. C. "El Salto"	-0,9310837 -78,6186502
Zona Rural	Barrio "Monjas"	-0,8882852 -78,6142054
Domicilio	Urbanización "Buenaventura"	-0,8939568 -78,6238828

**Elaborado por:** Investigador



#### 4.4.4. Ejecución de la medición de campos electromagnéticos

Las mediciones se realizaron en los principales ambientes durante el mes de abril del año 2018 en dos periodos del día; en la mañana desde las 08h00 y en la tarde a partir de las 14h00. A continuación se muestran los resultados de las mediciones por ambiente.

Tabla 4.3: Mediciones realizadas en un PARQUE

PARQUE				
Fecha	Hora	Campo eléctrico (V/m)	Campo magnético (A/m)	Densidad de potencia electromagnética (W/m)
02/04/2018	08h30	1	0,421760599	0,2108803
	14h00	1	0,33422538	0,16711269
03/04/2018	08h30	1	0,262605656	0,131302828
	14h00	1	0,381971863	0,190985932
04/04/2018	08h30	1	0,22281692	0,11140846
	14h00	1	0,358098622	0,179049311
05/04/2018	08h30	1	0,246690162	0,123345081
	14h00	1	0,310352139	0,15517607
06/04/2018	08h30	1	0,151197196	0,075598598
	14h00	1	0,381971863	0,190985932
07/04/2018	08h30	1	0,175070437	0,087535219
	14h00	1	0,262605656	0,131302828
08/04/2018	08h30	1	0,175070437	0,087535219
	14h00	1	0,198943679	0,099471839
09/04/2018	08h30	1	0,151197196	0,075598598
	14h00	1	0,262605656	0,131302828
10/04/2018	08h30	1	0,22281692	0,11140846
	14h00	1	0,175070437	0,087535219
11/04/2018	08h30	1	0,22281692	0,11140846
	14h00	1	0,33422538	0,16711269
12/04/2018	08h30	1	0,198943679	0,099471839
	14h00	1	0,310352139	0,15517607
13/04/2018	08h30	1	0,22281692	0,11140846
	14h00	1	0,22281692	0,11140846
14/04/2018	08h30	1	0,198943679	0,099471839
	14h00	1	0,246690162	0,123345081
15/04/2018	08h30	1	0,198943679	0,099471839
	14h00	1	0,175070437	0,087535219
	08h30	1	0,22281692	0,11140846

16/04/2018	14h00	1	0,262605656	0,131302828
17/04/2018	08h30	1	0,246690162	0,123345081
	14h00	1	0,22281692	0,11140846
18/04/2018	08h30	1	0,22281692	0,11140846
	14h00	1	0,262605656	0,131302828
19/04/2018	08h30	1	0,151197196	0,075598598
	14h00	1	0,262605656	0,131302828
20/04/2018	08h30	1	0,198943679	0,099471839
	14h00	1	0,22281692	0,11140846
21/04/2018	08h30	1	0,151197196	0,075598598
	14h00	1	0,175070437	0,087535219
22/04/2018	08h30	1	0,22281692	0,11140846
	14h00	1	0,286478898	0,143239449
23/04/2018	08h30	1	0,151197196	0,075598598
	14h00	1	0,262605656	0,131302828
24/04/2018	08h30	1	0,151197196	0,075598598
	14h00	1	0,262605656	0,131302828
25/04/2018	08h30	1	0,151197196	0,075598598
	14h00	1	0,262605656	0,131302828
26/04/2018	08h30	1	0,198943679	0,099471839
	14h00	1	0,246690162	0,123345081
27/04/2018	08h30	1	0,22281692	0,11140846
	14h00	1	0,22281692	0,11140846
28/04/2018	08h30	1	0,151197196	0,075598598
	14h00	1	0,22281692	0,11140846
29/04/2018	08h30	1	0,175070437	0,087535219
	14h00	1	0,198943679	0,099471839
30/04/2018	08h30	1	0,198943679	0,099471839
	14h00	1	0,22281692	0,11140846

Elaborado por: Investigador

Tabla 4.4: Mediciones realizadas en una CALLE URBANA

CALLE URBANA				
Fecha	Hora	Campo eléctrico (V/m)	Campo magnético (A/m)	Densidad de potencia electromagnética (W/m)
02/04/2018	08h30	1	1,973521294	0,986760647
	14h00	1	0,962887406	0,481443703
03/04/2018	08h30	1	0,421760599	0,2108803
	14h00	1	1,838239593	0,919119796

04/04/2018	08h30	1	2,689718538	1,344859269
	14h00	1	6,087676573	3,043838287
05/04/2018	08h30	1	2,801126998	1,400563499
	14h00	1	3,199014356	1,599507178
06/04/2018	08h30	1	1,838239593	0,919119796
	14h00	1	4,806479281	2,403239641
07/04/2018	08h30	1	8,085071109	4,042535555
	14h00	1	8,769437364	4,384718682
08/04/2018	08h30	1	0,413802852	0,206901426
	14h00	1	0,493380324	0,246690162
09/04/2018	08h30	1	6,063803332	3,031901666
	14h00	1	6,644718874	3,322359437
10/04/2018	08h30	1	2,761338263	1,380669131
	14h00	1	1,885986076	0,942993038
11/04/2018	08h30	1	2,474859365	1,237429683
	14h00	1	2,904577711	1,452288856
12/04/2018	08h30	1	1,504014212	0,752007106
	14h00	1	1,67908465	0,839542325
13/04/2018	08h30	1	1,273239545	0,636619772
	14h00	1	0,891267681	0,445633841
14/04/2018	08h30	1	2,514648101	1,25732405
	14h00	1	2,403239641	1,20161982
15/04/2018	08h30	1	0,381971863	0,190985932
	14h00	1	0,485422576	0,242711288
16/04/2018	08h30	1	0,692324002	0,346162001
	14h00	1	1,480140971	0,740070485
17/04/2018	08h30	1	1,169788832	0,584894416
	14h00	1	1,67908465	0,839542325
18/04/2018	08h30	1	0,692324002	0,346162001
	14h00	1	1,233450809	0,616725404
19/04/2018	08h30	1	0,381971863	0,190985932
	14h00	1	0,851478946	0,425739473
20/04/2018	08h30	1	0,803732463	0,401866231
	14h00	1	0,891267681	0,445633841
21/04/2018	08h30	1	0,33422538	0,16711269
	14h00	1	0,891267681	0,445633841
22/04/2018	08h30	1	0,692324002	0,346162001
	14h00	1	0,891267681	0,445633841
23/04/2018	08h30	1	0,310352139	0,15517607
	14h00	1	0,668450761	0,33422538
	08h30	1	0,310352139	0,15517607

24/04/2018	14h00	1	0,668450761	0,33422538
24/04/2018				
25/04/2018	08h30	1	0,310352139	0,15517607
	14h00	1	0,851478946	0,425739473
26/04/2018	08h30	1	0,358098622	0,179049311
	14h00	1	0,358098622	0,179049311
27/04/2018	08h30	1	0,461549335	0,230774667
	14h00	1	0,891267681	0,445633841
28/04/2018	08h30	1	0,493380324	0,246690162
	14h00	1	1,344859269	0,672429635
29/04/2018	08h30	1	0,413802852	0,206901426
	14h00	1	0,493380324	0,246690162
30/04/2018	08h30	1	0,803732463	0,401866231
	14h00	1	0,81169021	0,405845105

Elaborado por: Investigador

Tabla 4.5: Mediciones realizadas en un CENTRO COMERCIAL

<b>CENTRO COMERCIAL</b>				
<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>	<b>Campo eléctrico (V/m)</b>	<b>Campo magnético (A/m)</b>	<b>Densidad de potencia electromagnética (W/m)</b>
02/04/2018	08h30	1	2,220211456	1,110105728
	14h00	1	1,010633889	0,505316944
03/04/2018	08h30	1	0,915140923	0,457570461
	14h00	1	1,074295866	0,537147933
04/04/2018	08h30	1	0,421760599	0,2108803
	14h00	1	1,456267729	0,728133865
05/04/2018	08h30	1	0,509295818	0,254647909
	14h00	1	0,835563451	0,417781726
06/04/2018	08h30	1	0,358098622	0,179049311
	14h00	1	2,108802996	1,054401498
07/04/2018	08h30	1	0,915140923	0,457570461
	14h00	1	1,209577567	0,604788784
08/04/2018	08h30	1	0,485422576	0,242711288
	14h00	1	0,565000048	0,282500024
09/04/2018	08h30	1	0,381971863	0,190985932
	14h00	1	1,233450809	0,616725404
10/04/2018	08h30	1	0,493380324	0,246690162
	14h00	1	0,915140923	0,457570461
11/04/2018	08h30	1	0,421760599	0,2108803

	14h00	1	1,456267729	0,728133865
12/04/2018	08h30	1	0,763943727	0,381971863
	14h00	1	0,81169021	0,405845105
13/04/2018	08h30	1	0,33422538	0,16711269
	14h00	1	0,803732463	0,401866231
14/04/2018	08h30	1	0,413802852	0,206901426
	14h00	1	0,891267681	0,445633841
15/04/2018	08h30	1	0,493380324	0,246690162
	14h00	1	0,541126807	0,270563403
16/04/2018	08h30	1	0,358098622	0,179049311
	14h00	1	0,827605704	0,413802852
17/04/2018	08h30	1	0,509295818	0,254647909
	14h00	1	0,915140923	0,457570461
18/04/2018	08h30	1	0,827605704	0,413802852
	14h00	1	1,456267729	0,728133865
19/04/2018	08h30	1	0,262605656	0,131302828
	14h00	1	0,891267681	0,445633841
20/04/2018	08h30	1	0,33422538	0,16711269
	14h00	1	0,541126807	0,270563403
21/04/2018	08h30	1	0,533169059	0,26658453
	14h00	1	0,604788784	0,302394392
22/04/2018	08h30	1	0,358098622	0,179049311
	14h00	1	0,692324002	0,346162001
23/04/2018	08h30	1	0,33422538	0,16711269
	14h00	1	1,122042349	0,561021174
24/04/2018	08h30	1	0,33422538	0,16711269
	14h00	1	1,122042349	0,561021174
25/04/2018	08h30	1	0,358098622	0,179049311
	14h00	1	0,891267681	0,445633841
26/04/2018	08h30	1	0,421760599	0,2108803
	14h00	1	1,233450809	0,616725404
27/04/2018	08h30	1	0,33422538	0,16711269
	14h00	1	0,541126807	0,270563403
28/04/2018	08h30	1	0,684366255	0,342183128
	14h00	1	0,875352187	0,437676094
29/04/2018	08h30	1	0,485422576	0,242711288
	14h00	1	0,572957795	0,286478898
30/04/2018	08h30	1	0,732112738	0,366056369
	14h00	1	0,763943727	0,381971863

Elaborado por: Investigador

Tabla 4.6: Mediciones realizadas en una ZONA RURAL

<b>ZONA RURAL</b>				
<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>	<b>Campo eléctrico (V/m)</b>	<b>Campo magnético (A/m)</b>	<b>Densidad de potencia electromagnética (W/m)</b>
02/04/2018	08h30	1	0,286478898	0,143239449
	14h00	1	0,286478898	0,143239449
03/04/2018	08h30	1	0,175070437	0,087535219
	14h00	1	0,286478898	0,143239449
04/04/2018	08h30	1	0,22281692	0,11140846
	14h00	1	0,22281692	0,11140846
05/04/2018	08h30	1	0,151197196	0,075598598
	14h00	1	0,175070437	0,087535219
06/04/2018	08h30	1	0,22281692	0,11140846
	14h00	1	0,198943679	0,099471839
07/04/2018	08h30	1	0,198943679	0,099471839
	14h00	1	0,175070437	0,087535219
08/04/2018	08h30	1	0,151197196	0,075598598
	14h00	1	0,151197196	0,075598598
09/04/2018	08h30	1	0,151197196	0,075598598
	14h00	1	0,262605656	0,131302828
10/04/2018	08h30	1	0,151197196	0,075598598
	14h00	1	0,22281692	0,11140846
11/04/2018	08h30	1	0,175070437	0,087535219
	14h00	1	0,22281692	0,11140846
12/04/2018	08h30	1	0,16711269	0,083556345
	14h00	1	0,151197196	0,075598598
13/04/2018	08h30	1	0,127323954	0,063661977
	14h00	1	0,175070437	0,087535219
14/04/2018	08h30	1	0,151197196	0,075598598
	14h00	1	0,175070437	0,087535219
15/04/2018	08h30	1	0,175070437	0,087535219
	14h00	1	0,151197196	0,075598598
16/04/2018	08h30	1	0,198943679	0,099471839
	14h00	1	0,175070437	0,087535219
17/04/2018	08h30	1	0,151197196	0,075598598
	14h00	1	0,175070437	0,087535219
18/04/2018	08h30	1	0,22281692	0,11140846
	14h00	1	0,151197196	0,075598598
19/04/2018	08h30	1	0,198943679	0,099471839
	14h00	1	0,175070437	0,087535219
20/04/2018	08h30	1	0,151197196	0,075598598

20/04/2018	14h00	1	0,175070437	0,087535219
21/04/2018	08h30	1	0,151197196	0,075598598
	14h00	1	0,175070437	0,087535219
22/04/2018	08h30	1	0,175070437	0,087535219
	14h00	1	0,175070437	0,087535219
23/04/2018	08h30	1	0,151197196	0,075598598
	14h00	1	0,175070437	0,087535219
24/04/2018	08h30	1	0,151197196	0,075598598
	14h00	1	0,175070437	0,087535219
25/04/2018	08h30	1	0,198943679	0,099471839
	14h00	1	0,175070437	0,087535219
26/04/2018	08h30	1	0,151197196	0,075598598
	14h00	1	0,175070437	0,087535219
27/04/2018	08h30	1	0,151197196	0,075598598
	14h00	1	0,175070437	0,087535219
28/04/2018	08h30	1	0,151197196	0,075598598
	14h00	1	0,175070437	0,087535219
29/04/2018	08h30	1	0,151197196	0,075598598
	14h00	1	0,175070437	0,087535219
30/04/2018	08h30	1	0,198943679	0,099471839
	14h00	1	0,175070437	0,087535219

Elaborado por: Investigador

Tabla 4.7: Mediciones realizadas en el interior de la DOMICILIO

<b>DOMICILIO</b>				
<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>	<b>Campo eléctrico (V/m)</b>	<b>Campo magnético (A/m)</b>	<b>Densidad de potencia electromagnética (W/m)</b>
02/04/2018	08h30	1	0,358098622	0,179049311
	14h00	1	0,421760599	0,2108803
03/04/2018	08h30	1	0,381971863	0,190985932
	14h00	1	0,493380324	0,246690162
04/04/2018	08h30	1	0,461549335	0,230774667
	14h00	1	0,445633841	0,22281692
05/04/2018	08h30	1	0,429718346	0,214859173
	14h00	1	0,485422576	0,242711288
06/04/2018	08h30	1	0,533169059	0,26658453
	14h00	1	0,493380324	0,246690162
07/04/2018	08h30	1	0,493380324	0,246690162
	14h00	1	0,421760599	0,2108803

08/04/2018	08h30	1	0,33422538	0,16711269
	14h00	1	0,33422538	0,16711269
09/04/2018	08h30	1	0,445633841	0,22281692
	14h00	1	0,493380324	0,246690162
10/04/2018	08h30	1	0,358098622	0,179049311
	14h00	1	0,445633841	0,22281692
11/04/2018	08h30	1	0,461549335	0,230774667
	14h00	1	0,445633841	0,22281692
12/04/2018	08h30	1	0,262605656	0,131302828
	14h00	1	0,413802852	0,206901426
13/04/2018	08h30	1	0,397887358	0,198943679
	14h00	1	0,413802852	0,206901426
14/04/2018	08h30	1	0,413802852	0,206901426
	14h00	1	0,421760599	0,2108803
15/04/2018	08h30	1	0,358098622	0,179049311
	14h00	1	0,381971863	0,190985932
16/04/2018	08h30	1	0,262605656	0,131302828
	14h00	1	0,397887358	0,198943679
17/04/2018	08h30	1	0,358098622	0,179049311
	14h00	1	0,350140875	0,175070437
18/04/2018	08h30	1	0,286478898	0,143239449
	14h00	1	0,33422538	0,16711269
19/04/2018	08h30	1	0,469507082	0,234753541
	14h00	1	0,493380324	0,246690162
20/04/2018	08h30	1	0,33422538	0,16711269
	14h00	1	0,413802852	0,206901426
21/04/2018	08h30	1	0,262605656	0,131302828
	14h00	1	0,33422538	0,16711269
22/04/2018	08h30	1	0,262605656	0,131302828
	14h00	1	0,413802852	0,206901426
23/04/2018	08h30	1	0,358098622	0,179049311
	14h00	1	0,310352139	0,15517607
24/04/2018	08h30	1	0,358098622	0,179049311
	14h00	1	0,310352139	0,15517607
25/04/2018	08h30	1	0,381971863	0,190985932
	14h00	1	0,358098622	0,179049311
26/04/2018	08h30	1	0,286478898	0,143239449
	14h00	1	0,286478898	0,143239449
27/04/2018	08h30	1	0,33422538	0,16711269
	14h00	1	0,413802852	0,206901426
28/04/2018	08h30	1	0,262605656	0,131302828



28/04/2018	14h00	1	0,358098622	0,179049311
29/04/2018	08h30	1	0,33422538	0,16711269
	14h00	1	0,358098622	0,179049311
30/04/2018	08h30	1	0,246690162	0,123345081
	14h00	1	0,33422538	0,16711269

Elaborado por: Investigador

#### 4.4.5. Análisis de los resultados de las mediciones

Luego de haberse realizado las mediciones, se puede observar que el campo eléctrico posee aproximadamente 1 V/m en todos los ambientes mientras que el magnético varía mucho en cada sitio. En lugares muy cercanos a un equipo electrónico, distancias menores a 10 cm, el campo eléctrico se incrementa hasta superar los 50 V/m y el campo magnético los 3 A/m.

Para el cálculo de la potencia electromagnética aproximada en cada ambiente, se hace uso de la fórmula del Teorema de Poynting la cual proporciona la potencia promedio de un campo electromagnético. [14]

$$P = \frac{1}{2} E \cdot H \quad (2)$$

Donde:

P: potencia promedio (W/m<sup>2</sup>)

E: Campo eléctrico (V/m)

H: Campo magnético (A/m)

A continuación en la tabla 4.8 se muestra los valores promedio de cada ambiente.

Tabla 4.8: Resultados promediados de todas las mediciones

VALORES PROMEDIO			
Ambiente	Campo eléctrico (V/m)	Campo magnético (A/m)	Densidad de potencia Electromagnética (W/m <sup>2</sup> )
Parque	1	0,231735085	0,115867543
Calle urbana	1	1,732456437	0,866228218
C. Comercial	1	0,757906815	0,378953408
Zona Rural	1	0,181381754	0,090690877
Domicilio	1	0,380462636	0,190231318

Elaborado por: Investigador

## **4.5 Información preliminar**

### **4.5.1. Recarga eléctrica de dispositivos móviles**

La alimentación eléctrica de los dispositivos móviles (celulares) depende de la energía suministrada del cargador a la batería, el cual maneja un voltaje de 3.7 Voltios y una corriente de 500 mA a 900 mA como máximo a su salida. Estos valores representan la cantidad promedio de energía eléctrica necesaria para cargar una batería, pero esto en la práctica no resulta ser la cantidad mínima ya que una batería recargable puede cargarse con valores menores a la unidad y corrientes relativamente menores. [27]

### **4.5.2. Métodos de recarga eléctrica de dispositivos móviles**

En la actualidad, existen varias formas de recargar las baterías recargables de los dispositivos móviles, entre las que se encuentran: el USB, las baterías portables, los enchufes (con un adaptador AC) y los mecheros eléctricos (con un adaptador). Además podemos obtener una subdivisión dependiendo de la fuente primaria de energía en: cargadores convencionales (Red eléctrica proveniente de hidroeléctricas) y cargadores solares. [20], [28]

- **Cargadores Convencionales (AC - DC)**

El cargador común transforma los 120 VAC que habitualmente llegan a través de la red eléctrica en los 5 VDC que son necesarios para cargar la batería de un dispositivo de bajo voltaje. El precio de un cargador común es de aproximadamente 15 USD, pudiendo ser éste más caro con respecto al modelo y la marca del dispositivo móvil. [29]

Como se puede observar en la figura 4.2, un cargador AC-DC consta de varias etapas de acondicionamiento. En este ejemplo, primero se hacen pasar los 120 VAC por un transformador que disminuye la tensión, después por un rectificador de onda completa y posteriormente por diversos condensadores que actuarán como filtro de componentes de frecuencia y adecuarán la señal para que sea DC. De esta manera, se consigue obtener los 5V de salida que hacen posible la carga de dispositivos. [29]

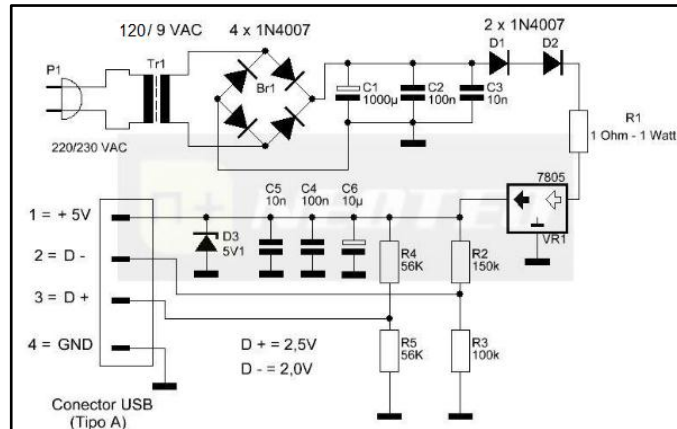


Figura 4.2: Circuito cargador AC/DC [29]

- **Cargador común de automóvil (DC-DC)**

El componente principal de este cargador es el regulador de voltaje MC34063 y los componentes extras son los necesarios para configurar el circuito como un reductor de voltaje en corriente continua. El precio de estos cargadores es alrededor de 10 USD y será más elevado según la cantidad de salidas USB y la corriente que aporte. En este caso, el circuito está configurado de forma que entregue 5V y 500 mA recibiendo 12V a la entrada. En la figura 4.3 se muestra el circuito cargador de dispositivos móviles para automóvil. [29]

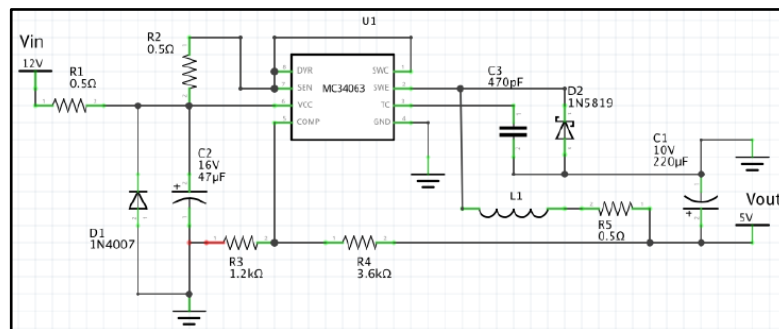


Figura 4.3: Circuito interno de un cargador de automóvil [29]

- **Cargadores Solares**

Los sistemas fotovoltaicos son muy utilizados en comunidades rurales donde hubo intervención de proyectos de energías renovables, pero el aprovechamiento de la energía solar para la carga de dispositivos móviles no está lo suficientemente difundido. Esto debido a que los cargadores solares son un producto relativamente novedoso y su uso cotidiano aún no se ha generalizado, lo que implica la ausencia de información técnica de los mismos. [8], [29]

Se puede encontrar una gran variedad de cargadores solares a la venta cuyos precios varían desde los 20 USD y una corriente de salida de alrededor de 0.5 A y voltaje de 4.5 voltios por lo que se supone que la carga del dispositivo será considerablemente lenta. Su principal ventaja es que es ligero y compacto, siendo un recurso para ocasiones de emergencia, aunque no muy práctico para recargas periódicas. [29]



*Figura 4.4: Cargador Solar básico con Panel FV [29]*

Se ha de descrito de forma rápida las características de los métodos de alimentación de dispositivo móviles actuales, los cuales se encuentran en el mercado. A continuación en la tabla 4.9 se realiza una comparación entre estos métodos:

Tabla 4.9: Comparación entre los métodos de alimentación de dispositivos móviles

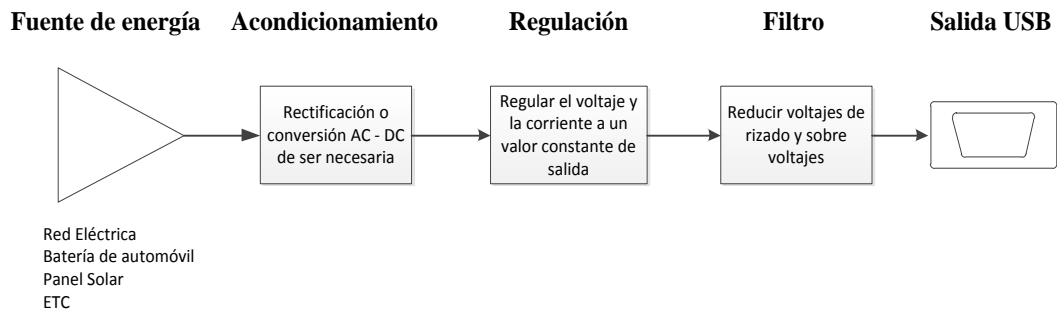
<b>CARACTERISTICAS</b>	<b>Cargadores Tradicionales</b>	<b>Cargadores de Automóvil</b>	<b>Cargadores Solares</b>
<b>Voltaje de salida (V)</b>	4.5 - 5	5	4.5
<b>Corriente de salida (mA)</b>	700 - 1500	500	500
<b>Disponibilidad</b>	Alta	Media	Media
<b>Portabilidad</b>	No	No	Si
<b>Precio (USD)</b>	Desde los 15.00	Desde 10.00	Desde los 20.00
<b>Velocidad de carga</b>	Rápida	Media	Lenta
<b>Número de salidas</b>	1	1 - 6	1 - 4

Elaborado por: Investigador basado en [20], [28] y [29]

#### **4.5.3. Sistema de alimentación eléctrica para dispositivos móviles**

Una vez realizado la descripción de los métodos de alimentación de dispositivos móviles en el apartado anterior, se puede definir un esquema general con los elementos o etapas que son comunes en estos. En la figura 4.5 se muestra un diagrama de bloques

que representa de forma general a un sistema de alimentación eléctrica para dispositivos móviles.



**Figura 4.5:** Diagrama a bloques de un sistema de alimentación de dispositivos móviles  
*Elaborado por:* Investigador basado en [29]

Como se ha mencionado anteriormente, para este proyecto se toma la energía directamente de la batería conectada al sistema de captación de ondas electromagnéticas, la cual nos proporcionará Corriente Continua (DC). Es por este motivo no es necesario implementar un sistema de acondicionamiento para la recarga del dispositivo sino que se lo puede hacer directamente.

#### **4.5.4. Principio de captación de energía basado en radiofrecuencia**

Se llama onda electromagnética a la forma de propagación de la radiación electromagnética, la cual se produce al aplicarle una tensión variable a una antena. El cambio de voltaje y la circulación de corriente producen un campo electromagnético que se propaga por el aire transportando la energía. Esta energía se capta con otra antena, generando corriente y voltaje aparentemente de la nada. El modo de extraer energía eléctrica a partir de la radiofrecuencia del ambiente se puede enfocar de 3 maneras diferentes: [30]

- A través de una antena de banda ancha para todo tipo de radiofrecuencia, intentando captar toda la energía posible en todo el espectro de frecuencias.
- Con una antena diseñada para aprovechar una frecuencia específica que se sabe que se encuentra en el entorno.
- Mediante un sistema que genere potencia en una frecuencia conocida y con una antena sintonizada.

#### 4.5.5. Plan Nacional de Frecuencias

El Plan Nacional de Frecuencias es el documento que expresa la soberanía del Estado Ecuatoriano en materia de administración del espectro radioeléctrico. Establece las normas para la atribución de las bandas y canales radioeléctricos para los diferentes servicios de radiocomunicaciones, convirtiéndose éste en el documento de referencia para normalizar el uso del espectro radioeléctrico. A continuación en la tabla 4.10 se muestra de forma general los canales de frecuencia y su aplicación en el país. [31]

Tabla 4.10: Frecuencias administradas en el PNF

Frecuencias de Utilización	Unidad	Aplicación
535 – 1705; 2300 – 2495; 3200 – 3400; 4750 – 4995 & 5005 - 5060	KHz	Radiodifusión de emisoras en AM
88 - 108	MHz	Radiodifusión de emisoras en FM
26965 - 27405	KHz	Servicio Móvil
54 -72; 76 – 88; 174 – 216; 482 – 488; 512 – 608 & 614 - 698	MHz	Difusión de televisión (canales del 2 al 38)
138 – 144; 148 – 149.9; 150.05 – 156.0125; 157.4375 – 160.6125; 160.9625 – 161.4875; 162.0375 - 174; 440 – 452.5; 457.475 – 462.5; 467.475 – 482 & 488 - 512	MHz	Servicio Móvil y Sistemas de radio de 2 vías
222 – 243; 246 – 248; 417.5 – 430; 928 – 940 & 1670 - 1690	MHz	Radioenlaces para difusión de emisiones sonoras
2200 – 2300; 3600 – 3800; 6425 – 7100 & 12700 - 12849	MHz	Radioenlaces para difusión de emisiones de TV
243 – 245; 360 – 370; 430 – 440; 928 – 940; 3800 – 4200 & 5925 - 8500	MHz	Operación de enlaces radioeléctricos
12.2 – 12.7; 14.4 – 15.35; 17.7 – 19.7; 21.2 – 23.6; 27.5 – 28.35; 29.1 – 29.25; 31 - 31.3; 57 – 64; 71 – 76 & 81 - 86	GHz	
452.5 – 457.475; 462.5 – 467.475 & 10150 - 10650	MHz	Telefonía fija, portador y acceso a internet
806 – 824 & 851 - 869	MHz	Servicios troncalizados para el servicio móvil
450 – 470; 698 – 806; 824 – 849; 869 – 915; 940 – 960; 1427 – 1518; 1710 – 1780; 1850 – 1910; 1930 – 1990; 2110 – 2180; 2500 – 2690 & 3300 - 3600	MHz	IMT (Telecomunicaciones Móviles Internacionales)
915 – 928; 2400 – 2483.5; 5150 – 5350 & 5470 - 5725	MHz	Sistemas de modulación digital de banda ancha fijo y móvil
24.05 – 24.25	GHz	

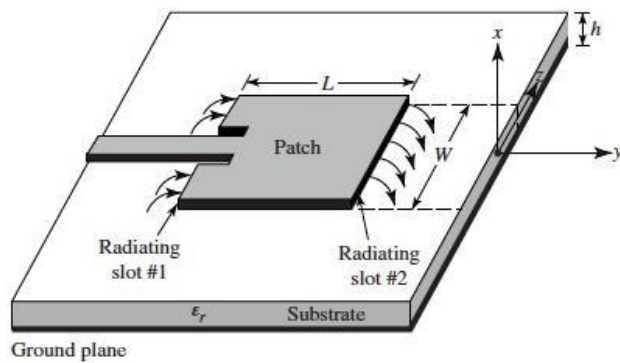
Elaborado por: Investigador basado en [31]

#### 4.5.6. Antenas planas o microstrip

Las antenas parche microstrip son uno de los desarrollos más versátiles en la historia de las antenas, gracias a su flexibilidad tanto en su forma como en tamaño, la facilidad para su integración en una agrupación de antenas y la facilidad para la obtención de polarización circular. Pueden definirse como cavidades planas resonantes en las que el campo electromagnético se desborda por sus límites, lo que genera la radiación. Existen antenas que se diferencian por su forma como: rectangulares, circulares, ovaladas, etc. [32]

##### Principio de funcionamiento de las antenas Microstrip

Cuando se aplica un voltaje al punto de alimentación de la antena, se excita en el parche un modo (se genera una corriente eléctrica) lo que genera campos verticales entre los bordes de la antena y el plano de masa. Debido a que estos campos están separados una distancia equivalente a la mitad de la longitud de onda, se produce una interferencia constructiva, creando una antena resonante eficiente. La eficiencia de radiación depende del material, ya que el confinamiento de los campos está determinado por la constante dieléctrica del material empleado para el substrato y del grosor del mismo. [32]



*Figura 4.6: antena parche microstrip alimentada mediante ranura [32]*

En este proyecto se empleó antenas circulares cuya eficiencia en la recepción de señales es mejor que el de las rectangulares, para su construcción se procedió a utilizar las siguientes formulas: [32]

$$W = \frac{c}{2f} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (3)$$

$$r_e = \frac{8.79108 \times 10^7}{f \sqrt{\epsilon_r}} \quad (4)$$

$$r = \frac{r_e}{\sqrt{1 + \frac{2h}{\pi \epsilon_r a_e} \left[ \ln \left( \frac{\pi a_e}{2h} \right) + 1.7726 \right]}} \quad (5)$$

Dónde:

W: ancho total de la antena (m)

$r_e$ : radio efectivo (m)

r: radio real (m)

f: frecuencia central (MHz)

c: velocidad de la luz equivalente a  $3 \times 10^8$  (m/s)

$\epsilon_r$ : permitividad relativa

h: altura del sustrato (m)

#### **4.6 Etapas del sistema electrónico**

Para el desarrollo e implementación del SISTEMA ELECTRÓNICO PORTÁTIL PARA LA CARGA ELÉCTRICA DE DISPOSITIVOS MOVILES MEDIANTE LA CAPTACIÓN DE ENERGÍA ELECTROMAGNÉTICA se procede con la construcción de cada etapa en que consiste el prototipo, tal y como se menciona en la sección 4.3 Requerimientos del sistema.

##### **4.6.1. Antenas planas para captación de energía electromagnética**

En el desarrollo de un sistema de captación de energía electromagnética, la antena es uno de los elementos más importantes del circuito, por lo que se puso especial interés en su fabricación. Es por esto que se tomó como base el análisis hecho por Alonso Martínez en su tesis Antenas para aplicaciones de captación de energía en la banda UHF, siendo el resultado más favorable la antena circular con un plano de tierra de distancia igual al de la línea de alimentación. [11]

Estas antenas poseen una impedancia característica deseada, pero tienen baja eficiencia en cuanto al ancho de banda y acoplamiento, ya que se convierten en resonantes solo para su frecuencia de diseño, rechazando potencia en las bandas adyacentes. Es por esto que se opta por diseñar antenas para tres distintos canales de frecuencias los cuales se muestran en la tabla 4.11.



Tabla 4.11: Canales de frecuencias para el diseño de las antenas

Canales	Frecuencias (MHz)	Frecuencia central (MHz)
Wi-Fi	2400 - 2483	2442
Telefonía móvil	1710 - 1780; 1850 - 1910; 1930 - 1990	1850
IMT	1427 - 1518	1472.5

Elaborado por: Investigador basado en [31]

Para la fabricación de las antenas primero se calculó sus dimensiones mediante las ecuaciones mostradas en el apartado 4.5.7. *Principio de funcionamiento de las antenas Microstrip* y para la línea de alimentación recurriremos al software TX LINE, con el cual se determinó su longitud y con ello las dimensiones del plano de tierra. Además, las placas que se empleó poseen un dieléctrico de fibra de vidrio cuya permitividad relativa es de 5.5 y su grosor es de 1.5 mm entre cada plano conductor, siendo éste la altura del sustrato y dato necesario para el diseño. Posteriormente se determinó la ganancia de cada antena mediante el software FEKO versión 5.5.

- **ANTENA 1 (WI-FI)**

Datos

Frecuencia: 2442 MHz

Permitividad relativa: 5.5

Altura del sustrato: 1.5 mm

ANCHO TOTAL DE LA ANTENA

$$W = \frac{c}{2f} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} = \frac{3 \times 10^8}{(2)(2442 \times 10^6)} \sqrt{\frac{2}{5.5 + 1}}$$

$$W = 0.0419 \text{ m}$$

RADIO EFECTIVO DE LA ANTENA CIRCULAR

$$r_e = \frac{8.79108 \times 10^7}{f \sqrt{\epsilon_r}} = \frac{8.79108 \times 10^7}{(2442 \times 10^6) \sqrt{5.5}}$$

$$r_e = 0.0154 \text{ m}$$

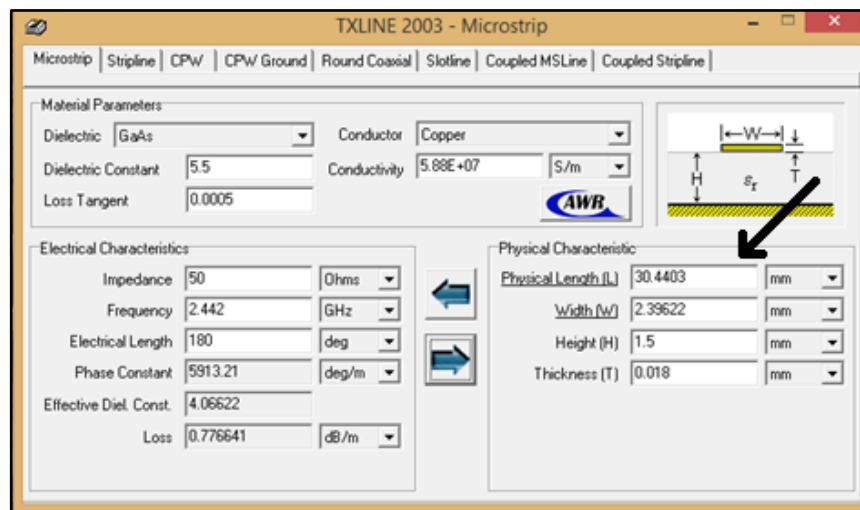
RADIO REAL DE LA ANTENA CIRCULAR

$$r = \frac{a_e}{\sqrt{1 + \frac{2h}{\pi \epsilon_r a_e} \left[ \ln \left( \frac{\pi a_e}{2h} \right) + 1.7726 \right]}}$$

$$= \frac{0.0154}{\sqrt{1 + \frac{2(0.0015)}{\pi (5.5)(0.0154)} \left[ \ln \left( \frac{\pi(0.0154)}{2(0.0015)} \right) + 1.7726 \right]}}$$

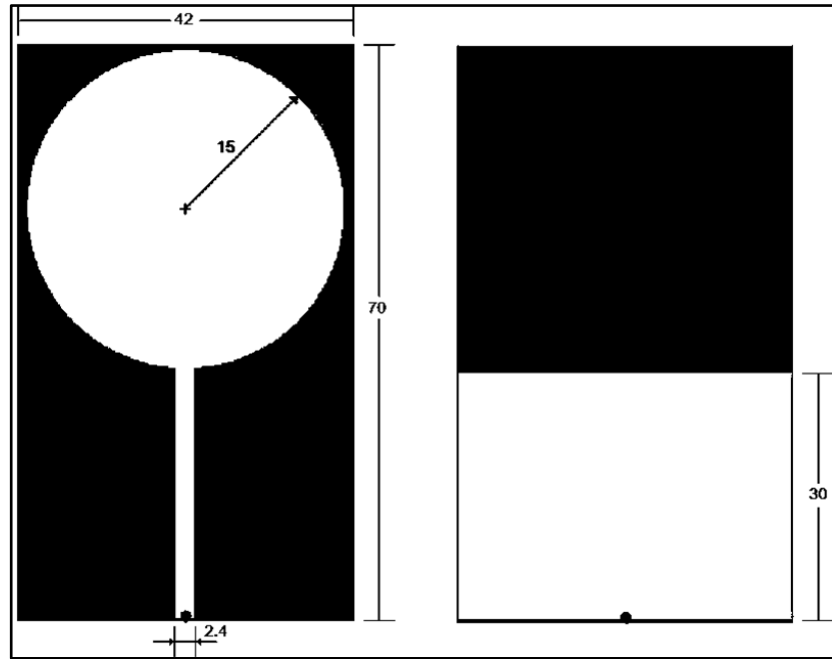
$$r = 0.0154 \text{ m}$$

Empleando el software TX LINE se obtiene una línea de alimentación de 30 x 2.4 mm



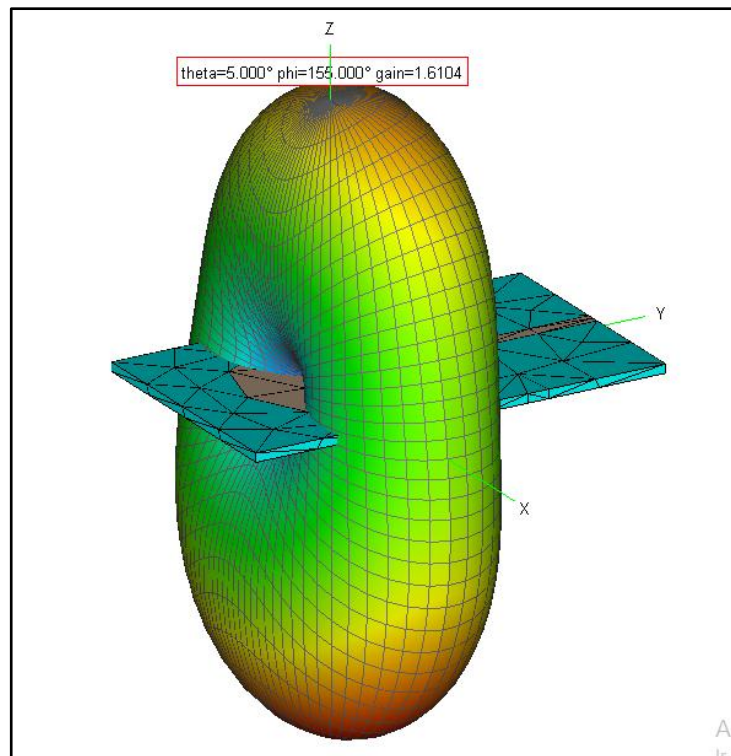
**Figura 4.7:** Simulación en Software TX LINE para la Antena Wi-Fi  
*Elaborado por:* Investigador

Luego de realizados los respectivos cálculos se muestra el resultado final de la antena en la figura 4.8.



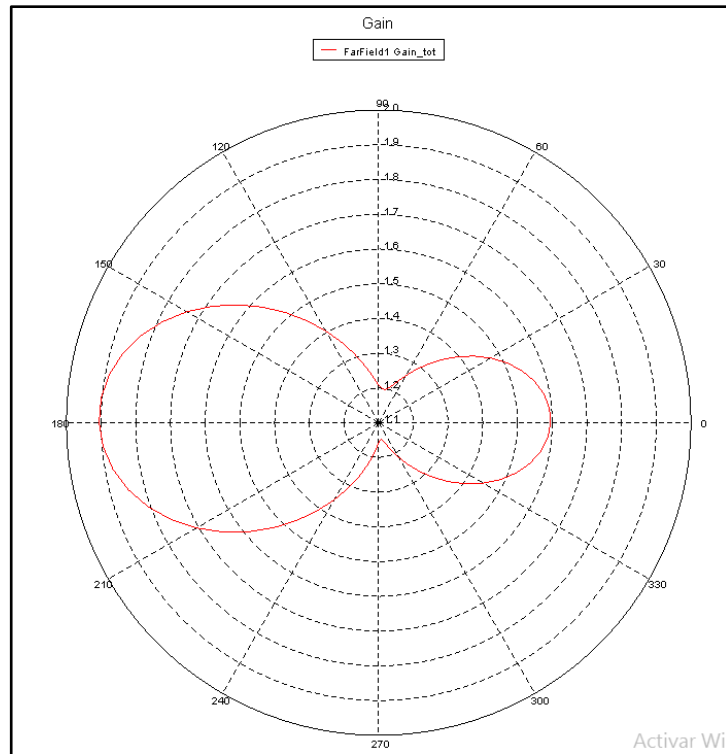
**Figura 4.8:** Antena tipo parche para captación de energía en Wi-Fi  
*Elaborado por:* Investigador

La ganancia se obtuvo a través del plano de campo perpendicular a la antena, el cual se muestra en la Figura 4.9.



**Figura 4.9:** Grafico 3D del campo radiado  
*Elaborado por:* Investigador

Este parámetro es el de mayor interés pues el diseño de la antena se enfocó en la capacidad de recibir potencia en cualquier dirección.



**Figura 4.10:** Ganancia de la antena circular para  $\Phi=0^\circ$   
**Elaborado por:** Investigador

Como se puede apreciar en la figura 4.10 la antena diseñada tiene una ganancia aproximada de 1.6 dB. Este valor no es muy alto, pero es el precio que se debe pagar por tener una antena omnidireccional.

- **ANTENA 2 (TELEFONÍA MÓVIL)**

Datos

Frecuencia: 1850 MHz

Permitividad relativa: 5.5

Altura del sustrato: 1.5 mm

ANCHO TOTAL DE LA ANTENA

$$W = \frac{c}{2f} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} = \frac{3 \times 10^8}{(2)(1850 \times 10^6)} \sqrt{\frac{2}{5.5 + 1}}$$

$$W = 0.0450 \text{ m}$$

## RADIO EFECTIVO DE LA ANTENA CIRCULAR

$$r_e = \frac{8.79108 \times 10^7}{f \sqrt{\epsilon_r}} = \frac{8.79108 \times 10^7}{(1850 \times 10^6) \sqrt{5.5}}$$

$$r_e = 0.0203 \text{ m}$$

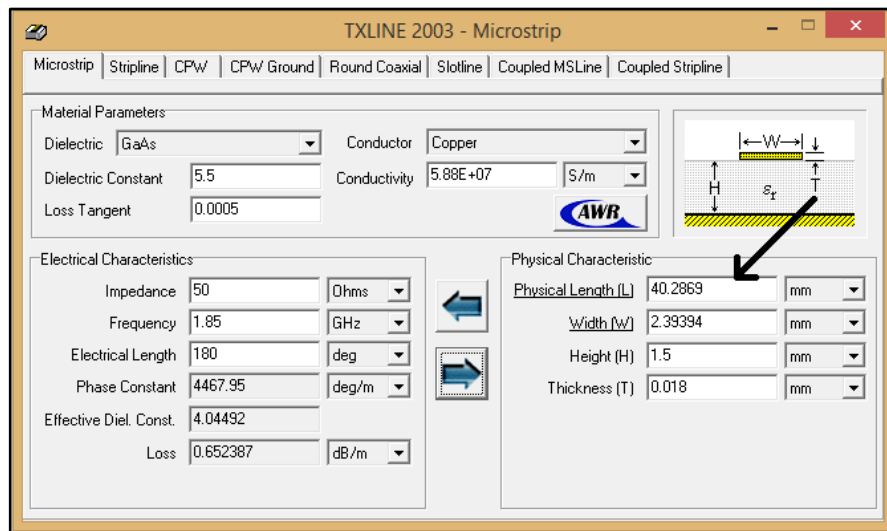
## RADIO REAL DE LA ANTENA CIRCULAR

$$r = \frac{a_e}{\sqrt{1 + \frac{2h}{\pi \epsilon_r a_e} \left[ \ln \left( \frac{\pi a_e}{2h} \right) + 1.7726 \right]}}$$

$$= \frac{0.0203}{\sqrt{1 + \frac{2(0.0015)}{\pi (5.5)(0.0203)} \left[ \ln \left( \frac{\pi(0.0203)}{2(0.0015)} \right) + 1.7726 \right]}}$$

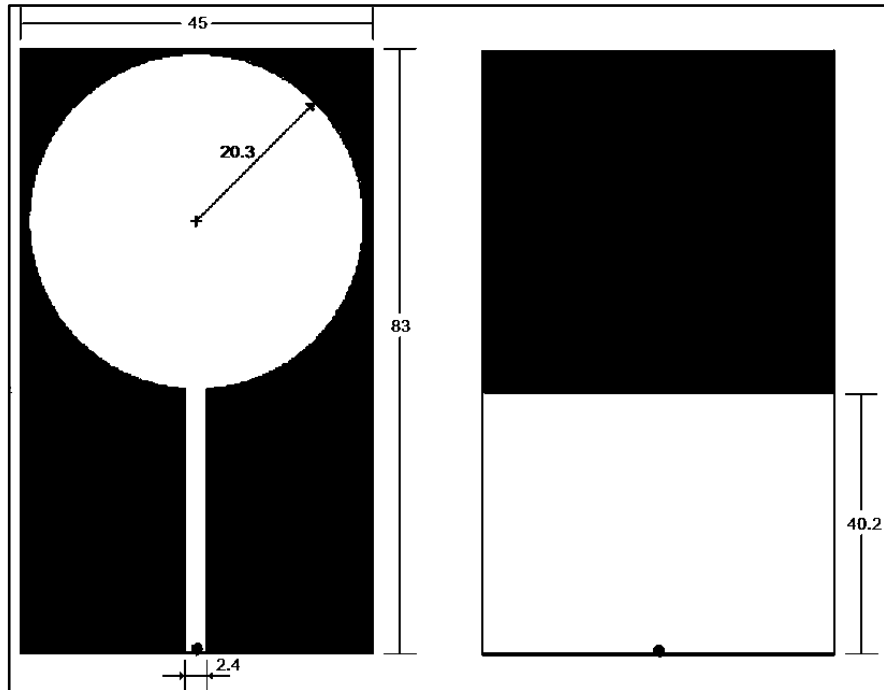
$$r = 0.0203 \text{ m}$$

Empleando el software TX LINE se obtiene una línea de alimentación de 40.2 x 2.4 mm



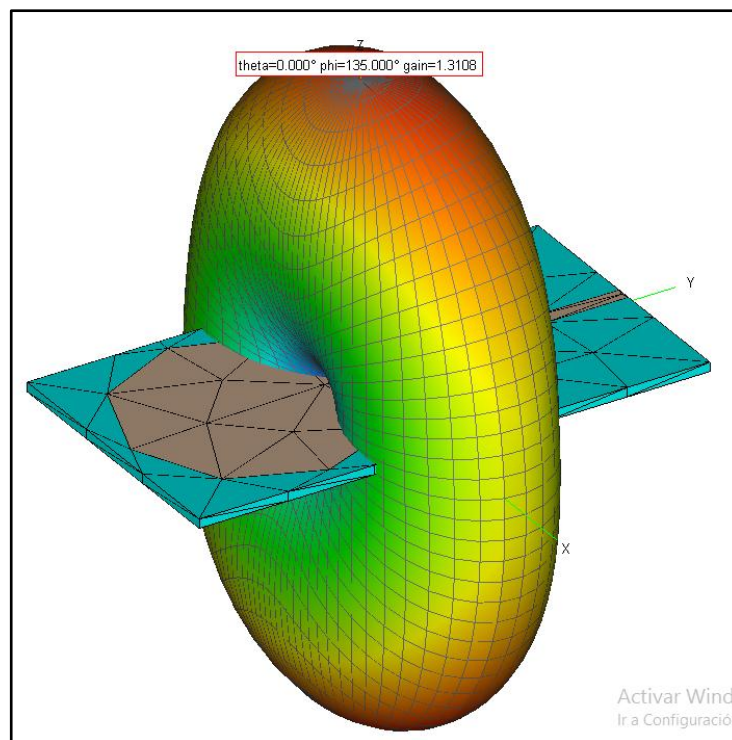
**Figura 4.11:** Simulación en Software TX LINE para la Antena de telefonía móvil  
Elaborado por: Investigador

Luego de realizados los respectivos cálculos se muestra el resultado final de la antena en la figura 4.12.



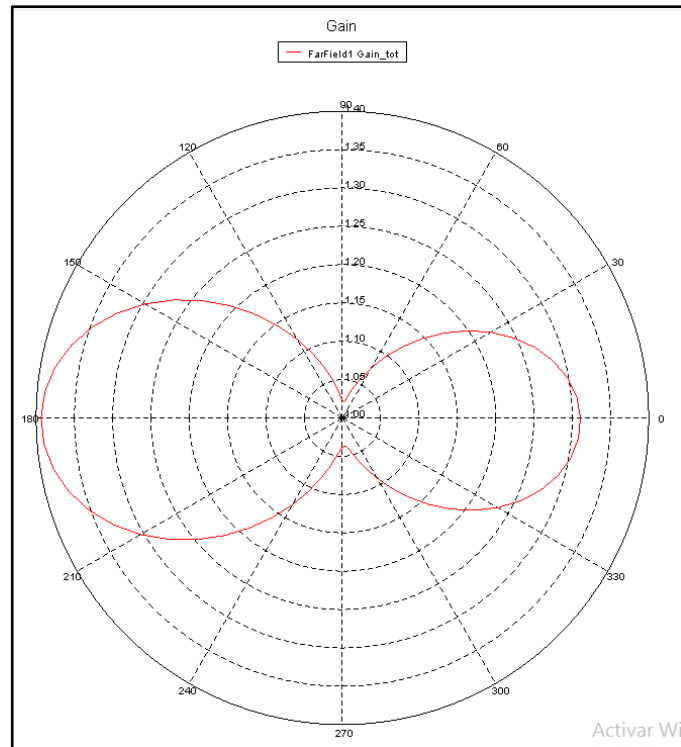
**Figura 4.12:** Antena tipo parche para captación de energía en telefonía móvil  
*Elaborado por:* Investigador

En la figura 4.13 se muestra el campo radiado y la ganancia de la antena en el plano perpendicular a la misma.



**Figura 4.13:** Grafico 3D del campo radiado  
*Elaborado por:* Investigador

La ganancia es el parámetro de mayor interés pues el objetivo de la antena es recibir potencia en cualquier dirección.



**Figura 4.14:** Ganancia de la antena circular para  $\Phi=0^\circ$   
*Elaborado por:* Investigador

Como se puede apreciar en la figura 4.14 la antena diseñada tiene una ganancia aproximada de 1.3 dB. Este valor es aún menor comparado con el de la antena de Wi-Fi, pero es necesario para que la antena sea omnidireccional.

- **ANTENA 3 (IMT)**

Datos

Frecuencia: 1472.5 MHz

Permitividad relativa: 5.5

Altura del sustrato: 1.5 mm

ANCHO TOTAL DE LA ANTENA

$$W = \frac{c}{2f} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} = \frac{3 \times 10^8}{(2)(1472.5 \times 10^6)} \sqrt{\frac{2}{5.5 + 1}}$$

$$W = 0.0565 \text{ m}$$

## RADIO EFECTIVO DE LA ANTENA CIRCULAR

$$r_e = \frac{8.79108 \times 10^7}{f \sqrt{\epsilon_r}} = \frac{8.79108 \times 10^7}{(1472.5 \times 10^6) \sqrt{5.5}}$$

$$r_e = 0.0255 \text{ m}$$

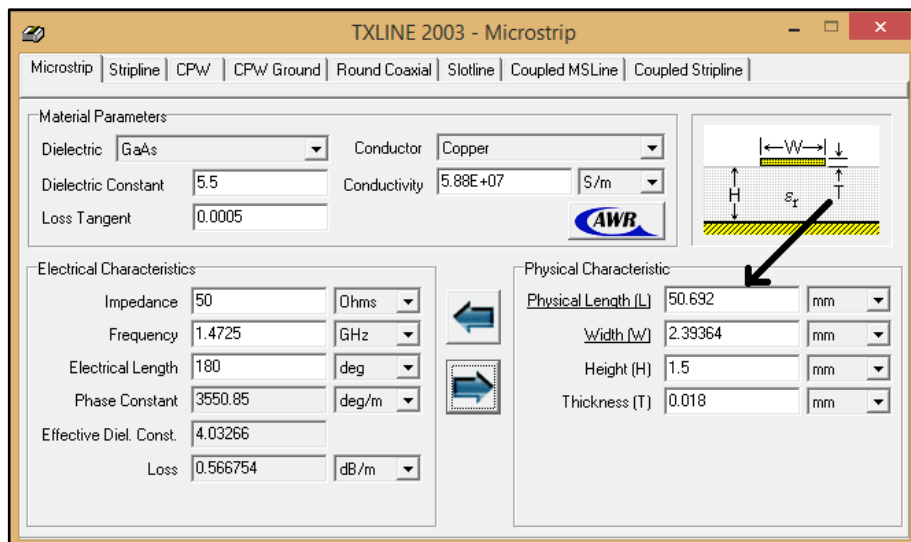
## RADIO REAL DE LA ANTENA CIRCULAR

$$r = \frac{a_e}{\sqrt{1 + \frac{2h}{\pi \epsilon_r a_e} \left[ \ln \left( \frac{\pi a_e}{2h} \right) + 1.7726 \right]}}$$

$$= \frac{0.0255}{\sqrt{1 + \frac{2(0.0015)}{\pi (5.5)(0.0255)} \left[ \ln \left( \frac{\pi(0.0255)}{2(0.0015)} \right) + 1.7726 \right]}}$$

$$r = 0.0255$$

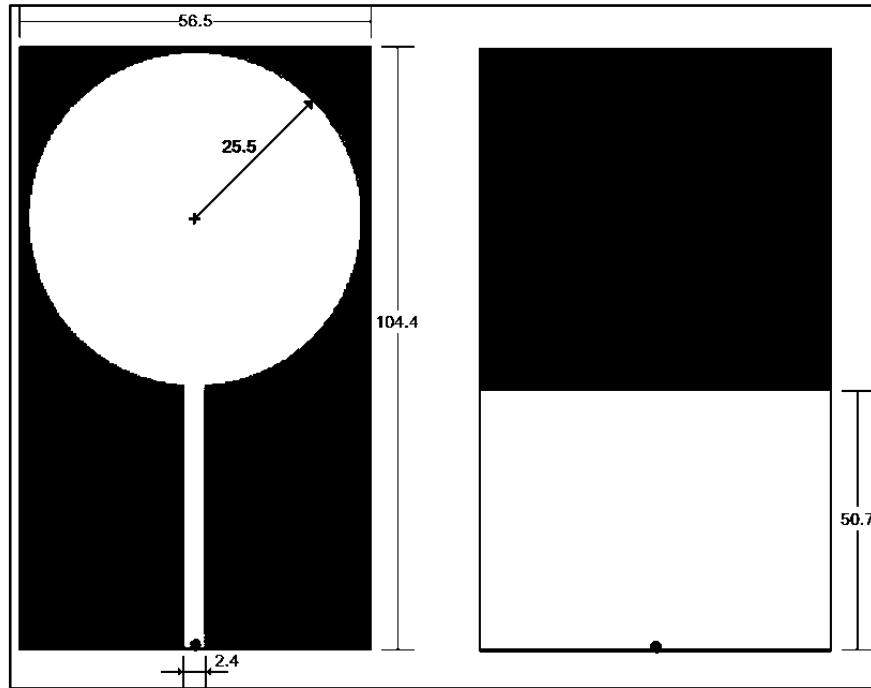
Empleando el software TX LINE se obtiene una línea de alimentación de 50.7 x 2.4 mm



**Figura 4.15:** Simulación en Software TX LINE para la Antena de IMT  
*Elaborado por:* Investigador

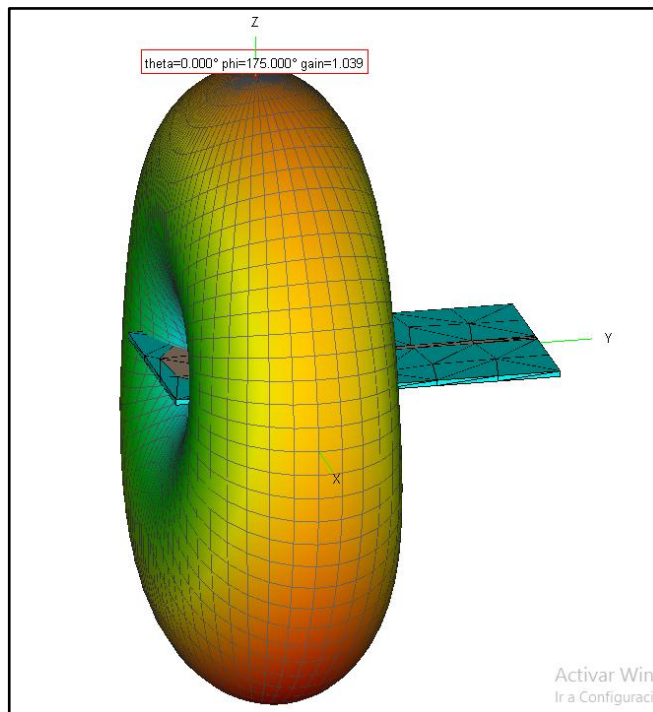
Luego de realizados los respectivos cálculos se muestra el resultado final de la antena en la figura 4.16.





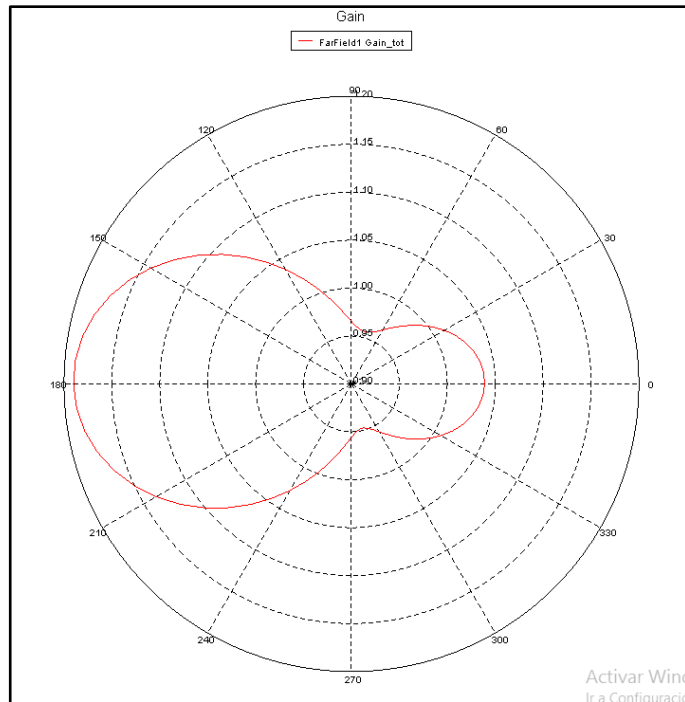
**Figura 4.16:** Antena tipo parche para captación de energía en telefonía móvil  
*Elaborado por:* Investigador

El Campo radiado de la antena se muestra en la figura 4.17 y con ello la ganancia que esta posee.



**Figura 4.17:** Grafico 3D del campo radiado  
*Elaborado por:* Investigador

El diseño de la antena se enfocó en la capacidad de recibir potencia en cualquier dirección, es por esto que la ganancia es un parámetro importante de este proceso.



**Figura 4.18:** Ganancia de la antena circular para  $\Phi=0^\circ$   
**Elaborado por:** Investigador

Como se puede apreciar en la figura 4.18 la antena diseñada tiene una ganancia aproximada de 1.04 dB.

A continuación en la figura 4.19 se muestran las tres antenas fabricadas en placas de cobre separadas por un dieléctrico de fibra de vidrio y ubicadas en el mismo orden de diseño.

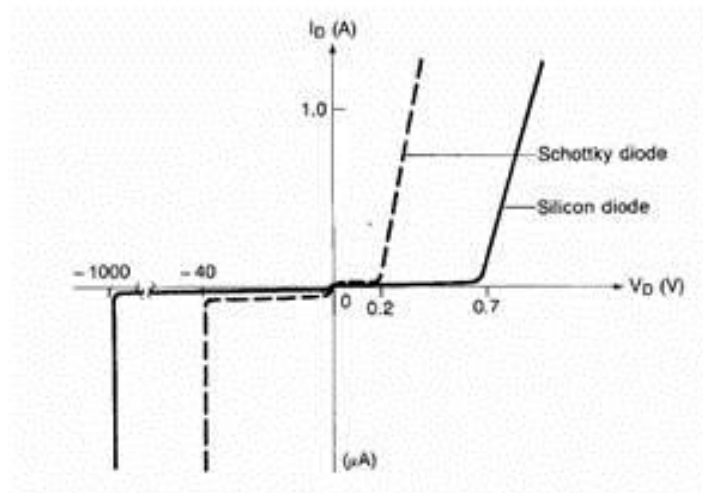


**Figura 4.19:** Antenas tipo parche para Wi-Fi, Telefonía móvil e IMT respectivamente  
**Elaborado por:** Investigador

#### 4.6.2. Multiplicador de tensión

Para obtener una mayor tensión de salida se optó por emplear un multiplicador de voltaje Villard, que por su configuración de circuitos conformados por diodos y capacitores en paralelo es más práctico para este fin. Cabe recalcar que existe un inconveniente al usar un diodo común en este sistema, pues cuando la frecuencia de trabajo aumenta consecuentemente el tiempo de conmutación se reduce haciendo que el circuito no trabaje correctamente. [33]

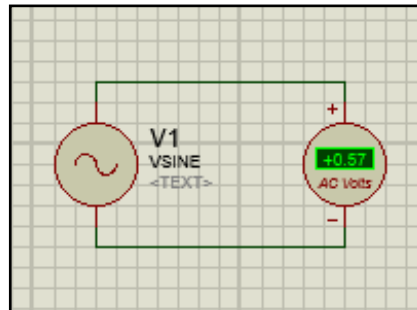
En el presente proyecto de investigación se trabajó con señales de alta frecuencia, originadas por las ondas electromagnéticas que viajan a través del aire y las cuales serán captadas por la primera etapa de este prototipo. Por esta razón el sistema utilizó los diodos Schottky, porque a diferencia de la unión convencional p-n que poseen los diodos comunes, están constituidos por una unión metal-semiconductor que lo dopa con impurezas tipo n, que son electrones móviles, que al no tener portadores tipo p incrementan su frecuencia de operación y debido a esta alta velocidad los diodos schottky permiten rectificar señales de muy altas frecuencias. Las desventajas que poseen es que tienen poca capacidad de conducción de corriente en directo y no acepta que grandes voltajes lo polaricen inversamente; su tensión umbral se encuentra entre 0.2 y 0.4 voltios, menor a las del diodo común. Para mayor información de las características técnicas del diodo referirse al ANEXO 3. En la Figura 4.20 se observa la curva característica del diodo schottky. [33]



*Figura 4.20: Curva característica del diodo Schottky [33]*

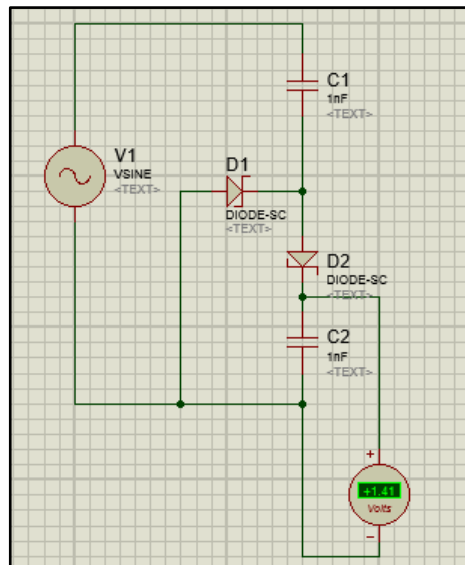
En cuanto al funcionamiento de un multiplicador de tensión, este se basa en el uso de la impedancia asimétrica vista a través de dos terminales de un elemento del circuito. Para este proyecto se procedió a simular en ISIS Proteus versión 8.1, software disponible en internet para su descarga, y luego mediante pruebas prácticas se determinó el mejor circuito multiplicador que se adapte bien a las necesidades de este diseño. A continuación se muestra las simulaciones realizadas desde la 1<sup>ra</sup> etapa hasta la 4<sup>ta</sup> etapa de amplificación, que es el promedio para este tipo de sistemas.

Para empezar se empleó una fuente de voltaje alterno con alta frecuencia para simular la energía obtenida del ambiente como se muestra en la figura 4.21.



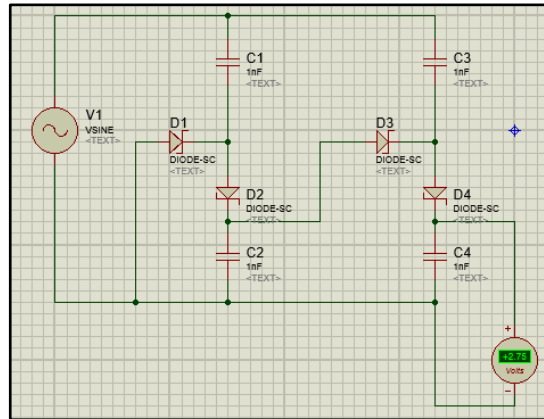
**Figura 4.21:** Condiciones iniciales de la simulación del multiplicador de voltaje  
*Elaborado por:* Investigador

Para construir la primera etapa o un duplicador de voltaje se requirió 2 diodos schottky y 2 capacitores de 1nF. En la figura 4.22 se muestra el duplicador de tensión.



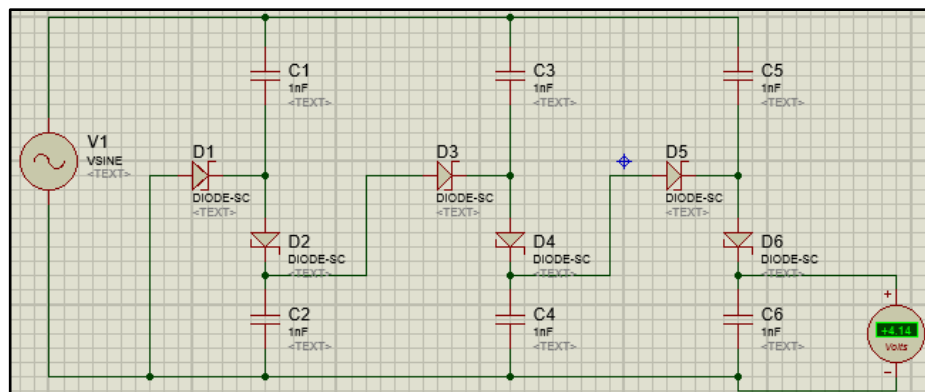
**Figura 4.22:** Simulación del multiplicador de tensión de 1 etapa  
*Elaborado por:* Investigador

Un multiplicador de 2 etapas requiere de 4 diodos schottky y 4 capacitores de 1nF. A continuación en la figura 4.23 se muestra este multiplicador de tensión el cual cuadruplica el voltaje inicial.



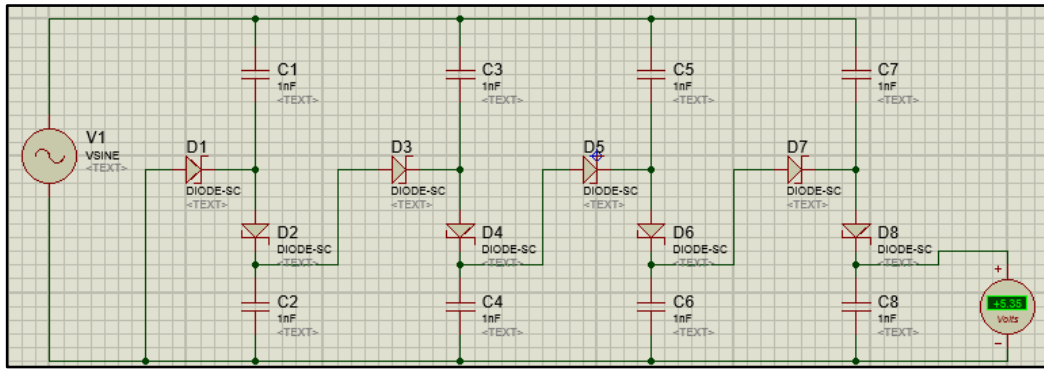
**Figura 4.23:** Simulación del multiplicador de tensión de 2 etapa  
Elaborado por: Investigador

Un multiplicador de tensión de tres etapas emplea 6 diodos schottky y 6 capacitores de 1nF, éste eleva 8 veces el voltaje inicial tal y como se muestra en la figura 4.24.



**Figura 4.24:** Simulación del multiplicador de tensión de 3 etapa  
Elaborado por: Investigador

Para la realizar el multiplicador de tensión de 4 etapas se requirió de 8 diodos schottky y 8 capacitores de 1nF, en la figura 4.25 se muestra el circuito con una elevación de 16 veces el voltaje inicial.



**Figura 4.25:** Simulación del multiplicador de tensión de 3 etapa  
*Elaborado por:* Investigador

Las simulaciones mostraron que de forma ideal el voltaje se duplica en cada etapa, pero hay que tomar en cuenta que en la práctica esto no sucede debido a pérdidas en los elementos, caminos conductores y las propias antenas. Para las simulaciones se empleó un voltaje de 0.8 de amplitud o 0.57 de  $V_{rms}$ . A continuación en la tabla 4.12 se muestra los resultados de las simulaciones.

Tabla 4.12: Resultados de la simulación del multiplicador de tensión

N etapas de multiplicación	Voltaje de entrada (V)	Voltaje de salida (V)
1	0.8	1.41
2	0.8	2.75
3	0.8	4.14
4	0.8	5.35

**Elaborado por:** Investigador

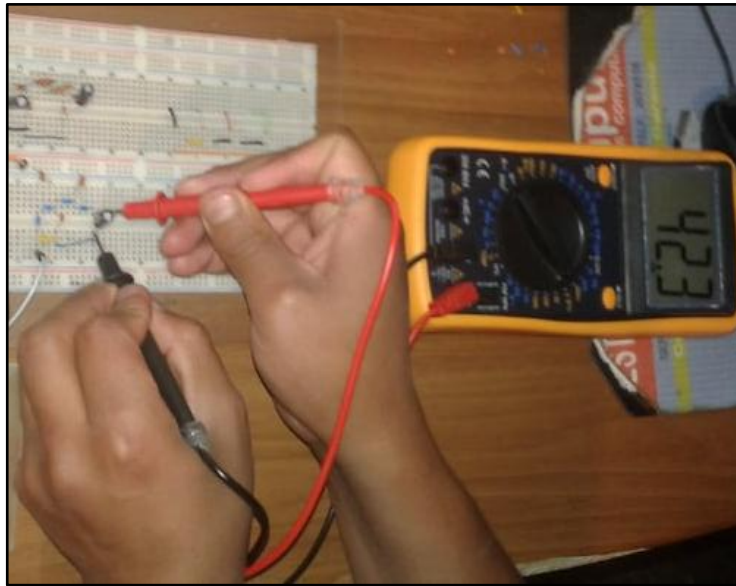
Durante las pruebas prácticas se comprobó que las pérdidas de energía son considerables y la cantidad de energía muy limitada, por lo que no es muy factible emplear un multiplicador de tensión de muchas etapas pues la energía que se amplifica es consumida por el mismo circuito. En la tabla 4.13 se muestra los resultados del multiplicador de tensión implementado.

Tabla 4.13: Resultados prácticos del multiplicador de tensión

N etapas de multiplicación	Voltaje de entrada (mV)	Voltaje de salida (mV)
1	14	21.1
2	14	42.3
3	14	28.6
4	14	20.3

**Elaborado por:** Investigador

Como se puede observar en la tabla 4.13 a partir de la tercera etapa de multiplicación el voltaje de salida empieza a reducirse, esto es debido a que el consumo de los elementos por cada etapa añadida es superior a la energía suministrada por el sistema. Por lo tanto, para aprovechar de mejor manera la energía captada por el prototipo se empleó un multiplicador de tensión de 2 etapas. En la figura 4.26 se muestra el multiplicador implementado en un protoboard.



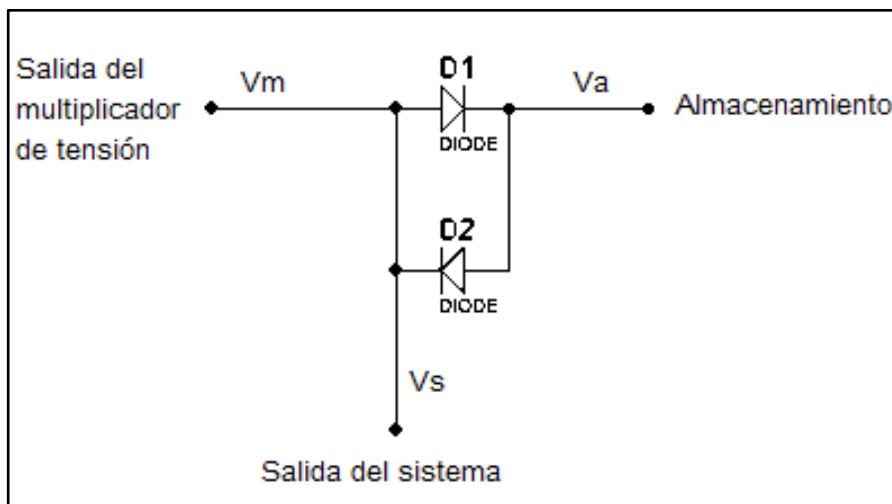
*Figura 4.26: Multiplicador de tensión de 2 etapas ensamblado en protoboard  
Elaborado por: Investigador*

#### **4.6.3. Control de la energía de salida**

Debido a que la energía electromagnética varía dependiendo del lugar en donde se encuentre, no se puede asegurar un flujo constante de voltaje a la salida, es por esto que hay zonas con gran cantidad de energía y por el contrario casos donde es casi nula su existencia. Si se encontrase en un lugar con abundante energía electromagnética, el circuito puede alimentar directamente al dispositivo móvil sin la necesidad de almacenarla.

El control tiene como objetivo encaminar el voltaje más grande hacia la salida y con ello reducir el uso del almacenamiento. Para realizar este proceso se requiere utilizar un arreglo de diodos conectados en paralelo a las salidas del circuito multiplicador y del almacenamiento.

Un aspecto importante en este proyecto es el consumo innecesario de energía, por lo tanto se utilizó diodos de germanio para implementar el control de salida, que a diferencia de los diodos tradicionales requieren solo 0.3 voltios de alimentación. A continuación en la figura 4.27 se muestra el arreglo de diodos para el control de la energía de salida.



*Figura 4.27: Control para la salida del sistema  
Elaborado por: Investigador*

Este arreglo de diodos trabaja como un control de voltaje dependiendo de la salida del multiplicador y del almacenamiento, siendo las condiciones de la siguiente manera:

- Cuando  $V_m > V_a$ , entonces  $V_s = V_m$
- Cuando  $V_m < V_a$ , entonces  $V_s = V_a$

Dónde:

$V_m$ : Voltaje a la salida del multiplicador de tensión (V)

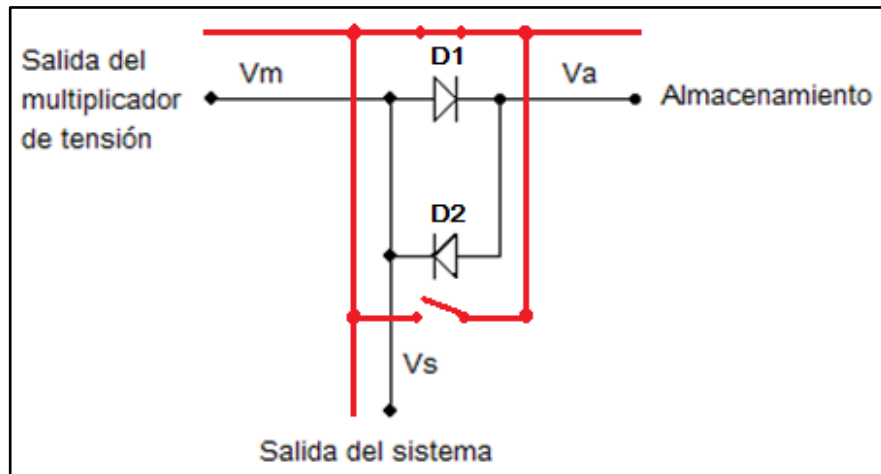
$V_a$ : Voltaje a la salida del almacenamiento (V)

$V_s$ : Voltaje a la salida del sistema (V)

Para una mejor apreciación de este control a continuación se muestra el proceso paso a paso con cada una de las condiciones.



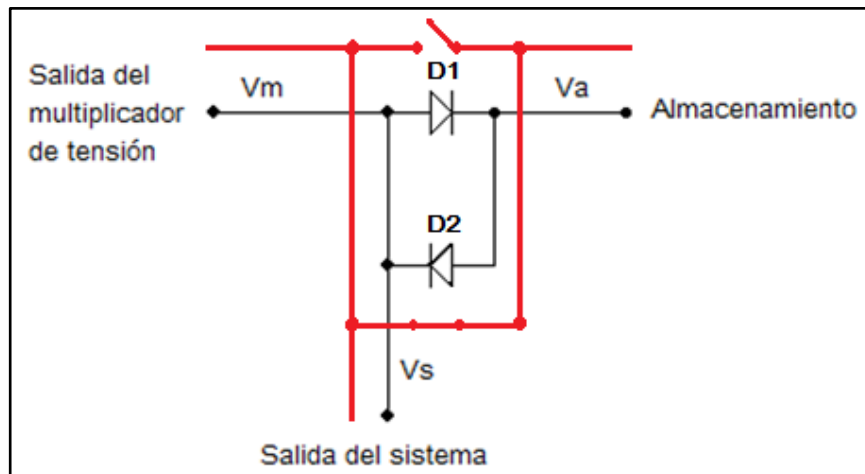
**Cuando  $V_m$  es mayor a  $V_a$ :**



*Figura 4.28: Sistema de control cuando  $V_m$  es mayor a  $V_a$   
Elaborado por: Investigador*

Como se muestra en la figura 4.28 bajo esta condición el Diodo D1 se comporta como un interruptor cerrado y el D2 como abierto, enviando solo la energía del multiplicador a la salida del sistema.

**Cuando  $V_m$  es menor a  $V_a$ :**



*Figura 4.29: Sistema de control cuando  $V_m$  es menor a  $V_a$   
Elaborado por: Investigador*

En la figura 4.29 se puede apreciar que en esta condición el Diodo D1 se comporta como un interruptor abierto y el D2 como cerrado dando paso la energía del almacenamiento hacia la salida del sistema.

#### 4.6.4. Sistema de almacenamiento de energía

El sistema hasta el momento capta la energía electromagnética del ambiente, la amplifica y rectifica para su aplicación, sin embargo la naturaleza variable, intermitente e impredecible de este tipo de energías ocasiona que no se garantice la generación constante de fluido eléctrico con lo cual se considera que no son muy aprovechables. Los sistemas de almacenamiento de energía (Energy Storage Systems) o ESS son una respuesta a las fluctuaciones de potencia. Su implementación y/o selección para el proyecto se realizó teniendo en cuenta aspectos técnicos y económicos.

Dos factores son determinantes a la hora de seleccionar un ESS. Uno es la cantidad de energía que requiere ser almacenada y el otro es la tasa a la cual dicha energía puede ser almacenada y/o liberada según sea requerida. Otros factores incluyen: precio, temperatura, vida útil, etc. Los rangos de potencia/energía para el corto y el mediano plazo de los ESS son presentados en la Figura 4.30. [34]

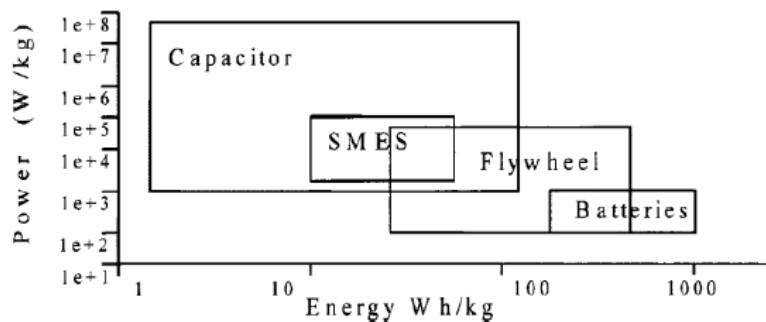


Figura 4.30: Potencia versus energía para diferentes ESS [34]

Como se observa en la figura 4.30 el bloque de almacenadores de energía que corresponde a los capacitores presentan una elevada capacidad de almacenamiento de potencia pero baja liberación de energía. En los SMES o almacenamientos de energía por superconductores magnéticos que a pesar de ser de los métodos más empleados en proyectos militares poseen una no muy alta capacidad de almacenamiento de potencia y liberación de energía. El bloque de los Flywheel o volante de almacenamiento de energía, que son de los más investigados actualmente, poseen una mejor liberación de energía pero a su vez su almacenamiento es bajo. Finalmente, las baterías que son los sistemas más empleados poseen una excelente liberación de energía y una aceptable capacidad de almacenamiento. [34]

Tomando en cuenta que la cantidad de potencia eléctrica obtenida del sistema es muy baja (siendo un voltaje no superior a los 300 mV, exceptuando ciertos casos, y una corriente no superior al 1 mA) no se requirió de una capacidad de almacenamiento muy elevada y por el contrario si de una liberación de energía alta y controlada. Por lo tanto, las dos opciones más importantes son las baterías y los Flywheel pero por factores económicos y de disponibilidad se descartan los últimos.

Dentro de las baterías recargables se tuvo diferentes opciones que se analizó para determinar el mejor método para almacenar la energía obtenida del sistema. En la tabla 4.14 se muestra el análisis que se realizó de tres opciones disponibles en el país que son: las baterías convencionales de 9v., baterías recargables litio de 12v. y las pilas recargables de 1,2 v.

Tabla 4.14: Comparación de baterías recargables

<b>Características</b>	Baterías convencionales 9V.	Baterías de litio de 12 V.	Pilas recargables de 1,2 V.
<b>Corriente</b>	170 mAh	4800 mAh	650 mAh
<b>Dimensiones</b>	60 x 70 x 75 mm	33 x 85 x 25 mm	10,5 X 44,5 mm
<b>Ciclos de carga</b>	1000	entre 300 y 1000	Alrededor de 300
<b>Vida útil</b>	6 años	3 años	6 años
<b>Costo</b>	4 USD	12 USD	2.45 USD

**Elaborado por:** Investigador basado en [35] y [36].

Según la sección 4.5.1. Recarga eléctrica de dispositivos móviles de este documento, la energía promedio para alimentar un dispositivo móvil es de alrededor de 500 mA y 3.7 V, por lo tanto se seleccionó las pilas recargables como la mejor opción para almacenar la energía recolectada con la condición de emplear dos o más pilas para llegar al voltaje necesario de alimentación.

## 4.7 Ensamblaje del prototipo

### 4.7.1. Conexión de las antenas planas

Para diseñar el arreglo de antenas fue muy importante tener en cuenta la distancia a la que están colocadas las antenas y como se conectan entre sí. Para esto se necesitó calcular la longitud de onda para cada antena empleando la ecuación (1) detallada en este documento en la sección 2.2.3. Frecuencias de Transmisión

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

ANTENA WIFI (f = 2442 MHz):

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{2.442 \times 10^9}$$

$$\lambda = \mathbf{0.123 \text{ m}}$$

ANTENA PARA TELEFONÍA MÓVIL (f = 1850):

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{1.850 \times 10^9}$$

$$\lambda = \mathbf{0.162 \text{ m}}$$

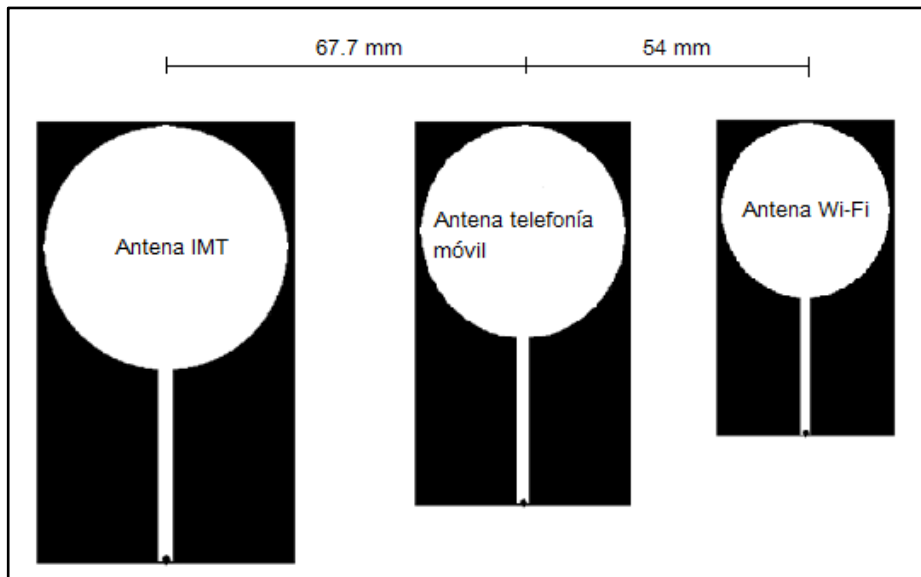
ANTENA PARA IMT (f = 1472.5):

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{1.4725 \times 10^9}$$

$$\lambda = \mathbf{0.203 \text{ m}}$$

Luego de obtener la longitud de onda de cada antena se procedió a determinar a qué distancia debe estar separada cada una de las antenas. Al tratarse de un arreglo de 3 antenas, las cuales trabajan con distintos anchos de banda, se tomó como separación el valor de  $\lambda/3$  entre cada antena como distancia mínima y tomando como eje la longitud de onda de mayor extensión. Esta distancia fue medida de centro a centro de cada una de las antenas.

Adicionalmente existe dos formas de conectar las antenas que son: conexión en paralelo y en serie. La primera es la más común en arreglos de antenas de una única frecuencia, pues se conectan entre si paralelamente los planos de parche y GND. En este proyecto se empleó la segunda configuración pues las antenas trabajarán como receptores de ondas electromagnéticas, es decir como fuentes de energía alterna, y la conexión en serie funciona como un sumador de fuentes mejorando la captación de energía. A continuación en la figura 4.31 se muestra el arreglo de antenas con cada distancia entre cada una.



*Figura 4.31: Arreglo de antenas  
Elaborado por: Investigador*

Para conectar en serie las antenas basta con hacer un puente entre la zona parche de una antena y el plano de tierra de la siguiente, consecutivamente.



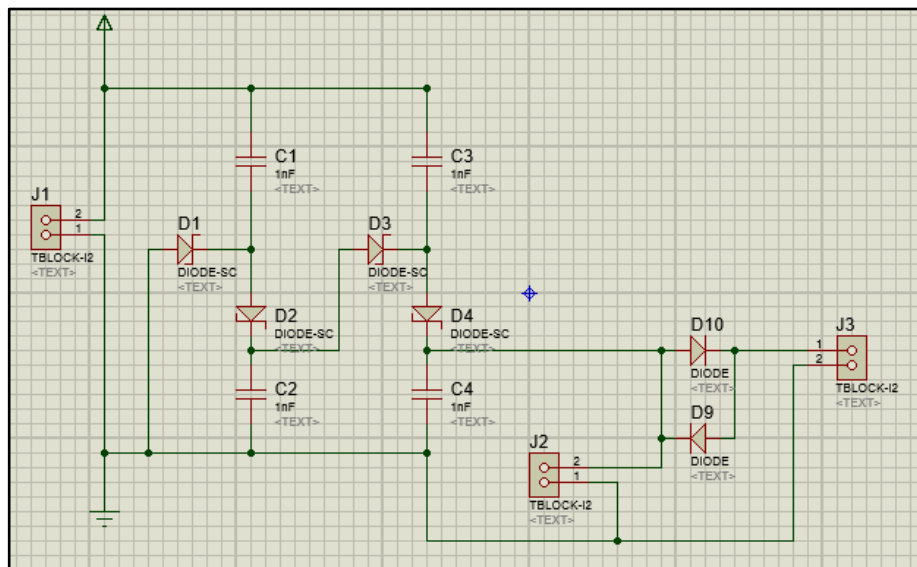
*Figura 4.32: Parte frontal de las antenas conectadas en serie  
Elaborado por: Investigador*



**Figura 4.33:** Parte posterior de las antenas conectadas en serie  
*Elaborado por:* Investigador

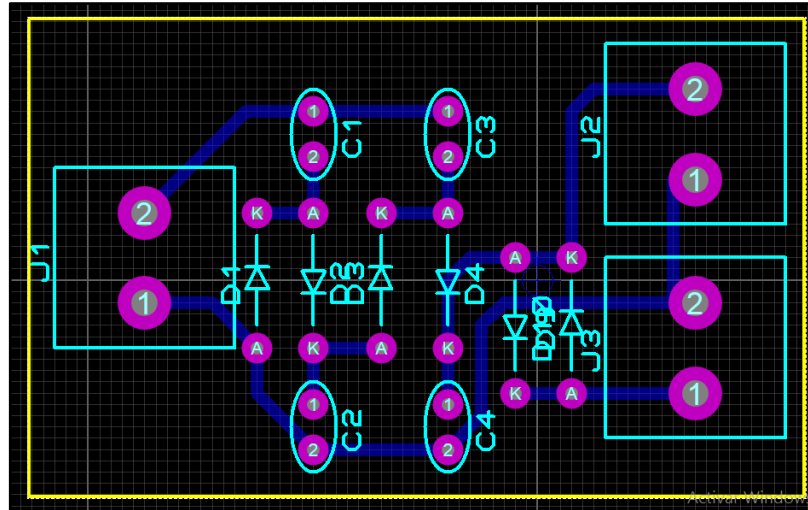
#### 4.7.2. Diseño y construcción del circuito

En la placa del circuito constan únicamente dos etapas que son: el multiplicador de voltaje y el control de salida. En la figura 4.34 se muestra el circuito del sistema simulado en Proteus con todos sus elementos que son: 6 diodos Schottky, 4 capacitores cerámicos de 1 nF y 3 conectores de 2 vías.

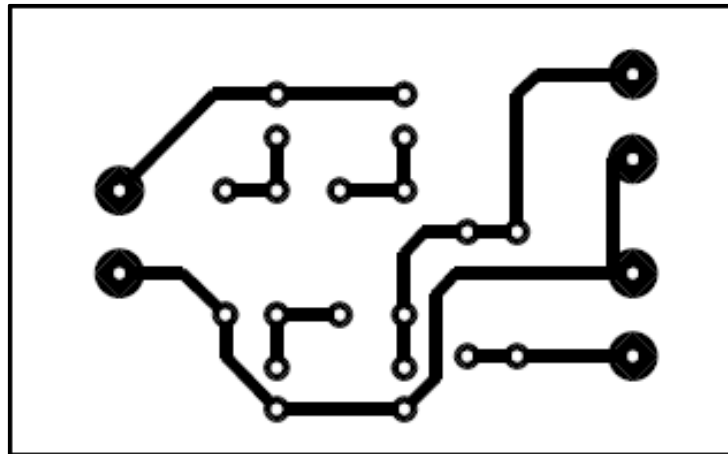


**Figura 4.34:** Simulación del sistema a implementar  
*Elaborado por:* Investigador

Una vez realizado la simulación se procedió a realizar la placa en PCB, para seleccionar el ancho de los planos conductores, tamaño de la placa y posición de los elementos.

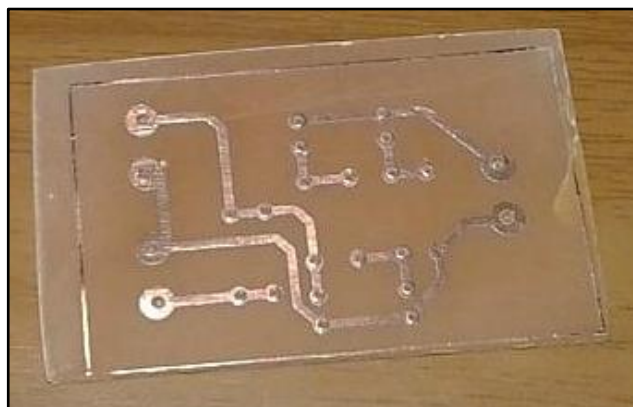


**Figura 4.35:** Diagrama esquemático PCB del circuito  
*Elaborado por:* Investigador



**Figura 4.36:** Circuito impreso  
*Elaborado por:* Investigador

Ya desarrollado el diseño PCB del circuito, se procede con la fabricación del mismo en una placa de baquelita, en la Figura 4.37 se muestra la placa ya terminada.



**Figura 4.37:** Placa de circuito impreso  
*Elaborado por:* Investigador

Una vez elaborado el circuito impreso y perforado cada uno de los puntos en los cuales se posicionan los elementos electrónicos, se procedió a colocar y soldar los mismos a la placa. En la figura 4.38 se observa el circuito implementado con todos sus elementos.

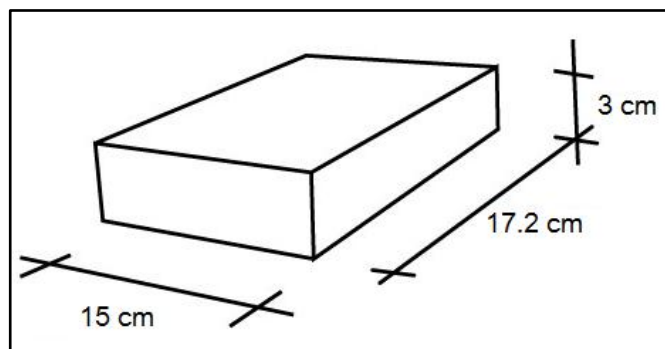


*Figura 4.38: Implementación del circuito  
Elaborado por: Investigador*

#### **4.7.3. Dimensiones y fabricación de la carcasa**

Para realizar un soporte para el circuito completo incluyendo: el arreglo de antenas, el circuito implementado, las baterías recargables y cualquier otro aditamento que se deba añadir, se tuvo en consideración tanto la posición como el tamaño que tienen todos los elementos del sistema.

Según el apartado 7.4.1 Conexión de las antenas planas podemos obtener la dimensión total del arreglo y la altura bastaría con unos 3 cm, puesto que esa es la altura máxima que tendrá la placa y elementos extras. El arreglo de antenas tiene unas dimensiones de 17.2 x 10.4 cm y a este valor le añadimos el ancho de la placa que es de 2.5 cm, pero se le añadió un valor extra por cualquier elemento extra. En la Figura 4.39 se muestra la carcasa con las dimensiones que son 17.2 x 15 x 3 cm.



*Figura 4.39: Dimensiones de la Carcasa  
Elaborado por: Investigador*



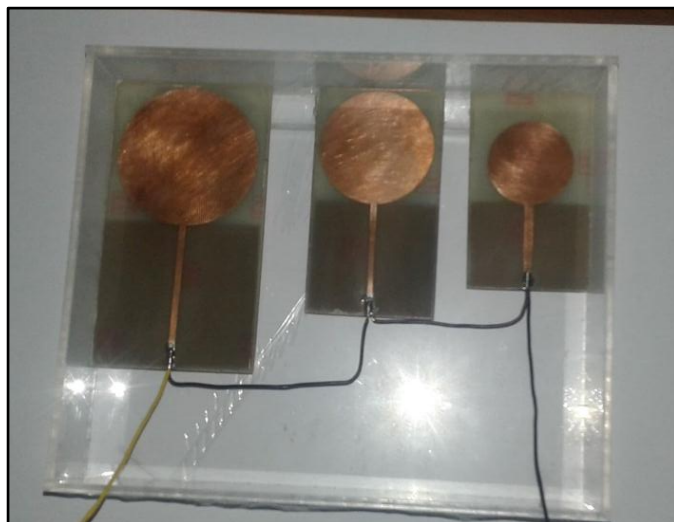
El material seleccionado para la carcasa es el acrílico de 3 mm de grosor, esto debido a su resistencia, transparencia y especialmente porque no afecta a la recepción de las ondas electromagnéticas. La carcasa se muestra en la figura 4.40.



*Figura 4.40: Carcasa construida en acrílico  
Elaborado por: Investigador*

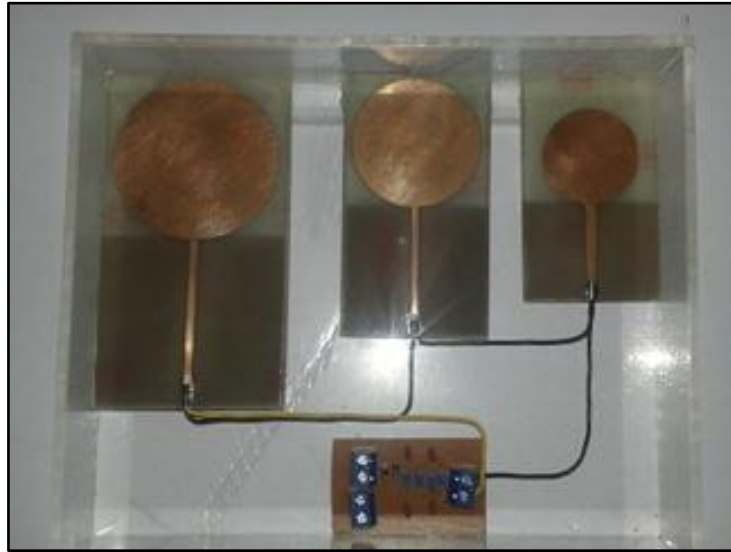
#### **4.7.4. Montaje de todos los elementos**

Para empezar a unir los elementos se procedió a colocar el arreglo de antenas en la base de la carcasa como se muestra a continuación en la figura 4.41.



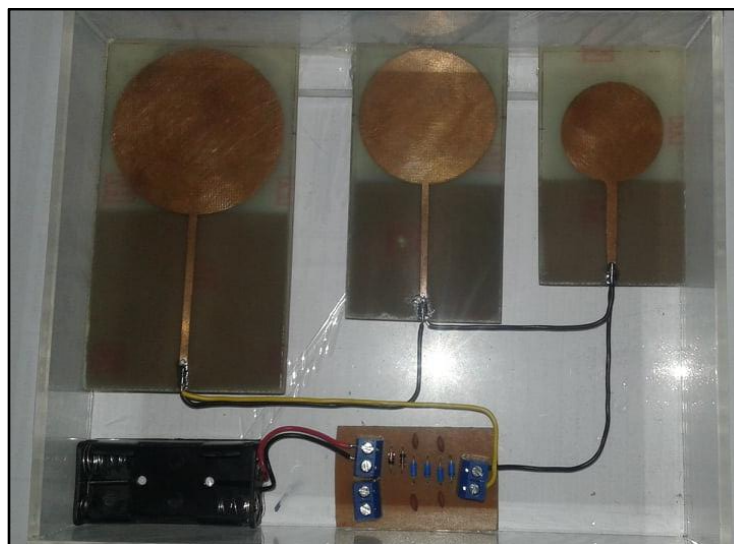
*Figura 4.41: Montaje del arreglo de antenas planas  
Elaborado por: Investigador*

Luego se procedió a colocar la placa del sistema y conectar el arreglo de antenas al mismo. En la figura 4.42 se muestra implementada la placa del circuito.



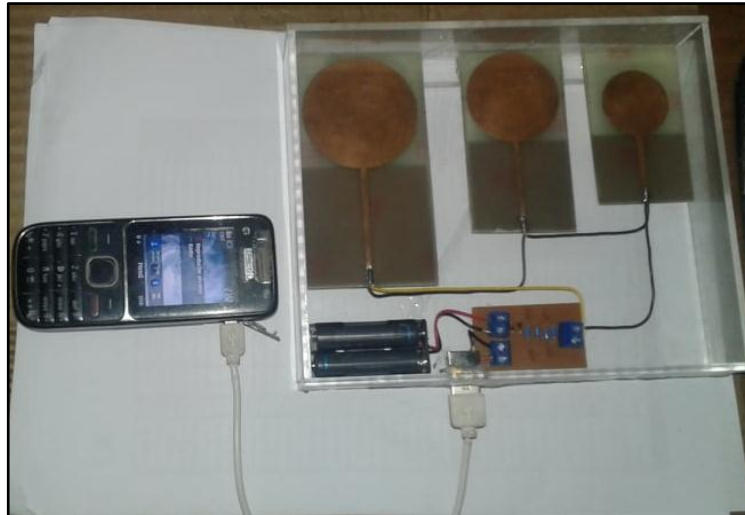
**Figura 4.42:** *Conexión del arreglo de antenas a la placa del sistema*  
*Elaborado por: Investigador*

A estas instancia el prototipo ya es funcional, pero la cantidad de energía que entrega es muy baja y es debido a esto que debemos implementar un sistema de almacenamiento en el prototipo, que consta de 2 pilas recargables genéricas de la marca ReCyko. En la figura 4.43 se muestra la inserción de las baterías recargables al sistema.



**Figura 4.43:** *Sistema implementado el almacenamiento*  
*Elaborado por: Investigador*

Finalmente colocamos un conector USB hembra tipo A para la salida del sistema, como se muestra en la figura 4.44.



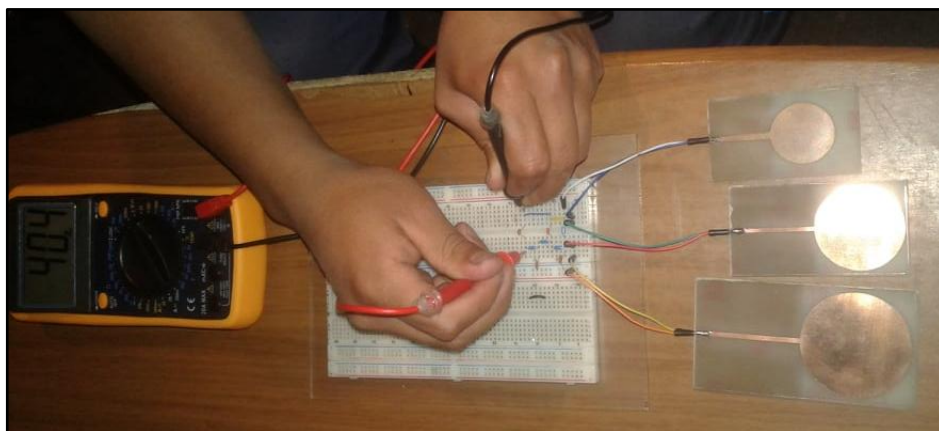
*Figura 4.44: Sistema completo implementado  
Elaborado por: Investigador*

#### **4.8 Pruebas de funcionamiento**

En el desarrollo del sistema electrónico portátil para la recarga eléctrica de dispositivos móviles, mediante la captación de energía electromagnética, fueron necesarias pruebas de funcionamiento con la finalidad de verificar si existe ningún tipo de avería o problema, además se pudo determinar la fiabilidad del sistema.

##### **4.8.1. Pruebas previas a la implementación**

El sistema antes de ser implementado tuvo un ensamblaje básico en protoboard para comprobar su funcionamiento. En la figura 4.45 se puede observar el sistema parcialmente implementado donde a la salida obtenemos un valor de 40.4 mV.



*Figura 4.45: Pruebas de funcionamiento previas en protoboard  
Elaborado por: Investigador*

#### 4.8.2. Pruebas del sistema sin el almacenamiento

Las pruebas del prototipo se realizaron en cada ambiente en que se efectuaron las mediciones de los campos electromagnéticos, esto para tener una mejor apreciación del funcionamiento del mismo, y así obtener el voltaje de salida del sistema sin emplear un almacenamiento. A continuación en la tabla 4.15 se muestran los resultados de las pruebas en cada ambiente.

Tabla 4.15: Pruebas del prototipo en distintos ambientes sin almacenamiento

AMBIENTE	FECHA	HORA	VOLTAJE DE SALIDA (mV)
Parque	26/01/2018	09h00	13.6
Calle Urbana	26/01/2018	09h20	98.4
Centro Comercial	26/01/2018	09h45	82.1
Zona Rural	26/01/2018	10h30	4.2
Domicilio	26/01/2018	11h00	177.8

Elaborado por: Investigador

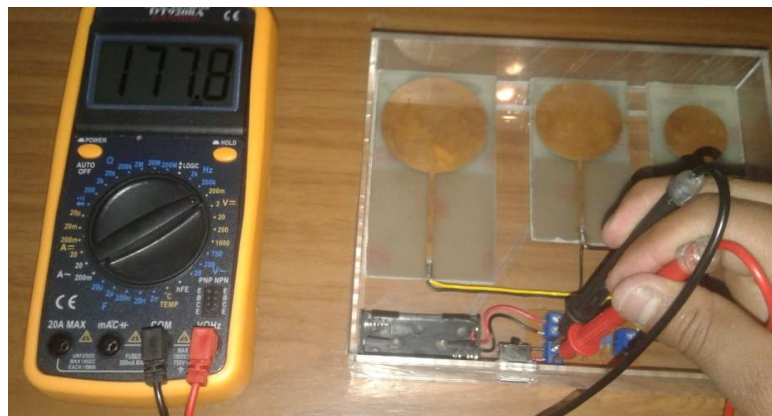


Figura 4.46: Pruebas de funcionamiento del sistema sin almacenamiento  
Elaborado por: Investigador

En la figura 4.46 se muestra el sistema sin almacenamiento siendo probado en el domicilio, de la misma forma se realizó estas pruebas en cada uno de los ambientes.

#### 4.8.3. Pruebas del sistema con un capacitor como almacenamiento

Se realizaron pruebas de funcionamiento del dispositivo con un almacenamiento de prueba, siendo este un capacitor electrolítico de 100 uF. En cada prueba se empleó un tiempo de carga de 30 minutos, obteniendo diferentes cantidades de energía almacenada por cada ambiente, tal y como se muestra en la tabla 4.16.

Tabla 4.16: Resultados del prototipo en distintos ambientes con un capacitor

AMBIENTE	TIEMPO DE CARGA	VOLTAJE ALMACENADO (mV)
Parque	30 min.	44
Calle Urbana	30 min.	1040
Centro Comercial	30 min.	1226
Zona Rural	30 min.	32
Domicilio	30 min.	1286

Elaborado por: Investigador

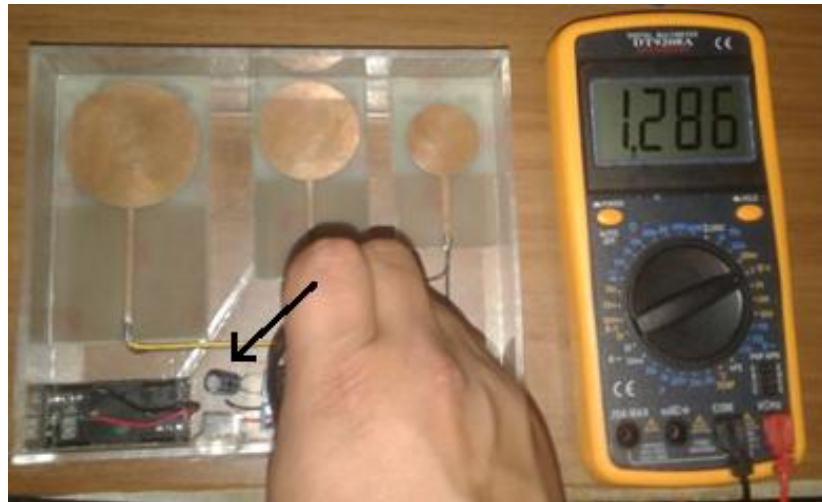


Figura 4.47: Pruebas de funcionamiento del sistema con un capacitor de 100  $\mu$ F  
Elaborado por: Investigador

Como se puede observar en la figura 4.47 el capacitor dentro del domicilio, que ha estado cargándose durante 30 minutos, ha logrado almacenar 1.28 voltios en su interior. Este mismo proceso se repitió para cada ambiente.

#### 4.8.4. Pruebas del sistema con las baterías recargables como almacenamiento

El sistema tuvo pruebas de funcionamiento con las baterías recargables (2 pilas recargables de 1.2 V) en cada ambiente durante un tiempo de carga de 60 minutos. Para cada prueba se determinó el voltaje que tenían las baterías antes y después del proceso de recarga, luego de transcurrido los experimentos en cada ambiente se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 4.17: Resultados del prototipo en distintos ambientes con las baterías recargables

<b>AMBIENTE</b>	<b>TIEMPO DE CARGA</b>	<b>VOLTAJE INICIAL (mV)</b>	<b>VOLTAJE FINAL (mV)</b>
Parque	60 min.	1521	1518
Calle Urbana	60 min.	1515	1588
Centro Comercial	60 min.	1586	1602
Zona Rural	60 min.	1600	1596
Domicilio	60 min.	1593	1608

**Elaborado por:** Investigador

Como se puede observar en la tabla 4.17 existen dos ambientes en donde no se logró recargar las baterías (El parque y la zona rural) esto es debido a que en estos lugares no existe gran cantidad de energía electromagnética, por lo tanto el sistema consumió la energía disponible en el almacenamiento y por consiguiente redujo el voltaje de las baterías.

#### **4.8.5. Pruebas del sistema alimentando un dispositivo móvil**

Un aspecto importante que se tuvo en cuenta en el proyecto de investigación es el periodo continuo de recarga eléctrica que proporcionó el sistema al dispositivo móvil. En las pruebas de funcionamiento del sistema completo, con las baterías a su máxima capacidad (2.55 V y 650 mA), se utilizó un teléfono móvil marca NOKIA modelo C2-01 para recargarse. Como resultado final el dispositivo móvil se recargo por 1 hora y 24 minutos continuamente, antes de llegar a un nivel al que las baterías ya no puedan alimentarlo.

Este modelo de celular debe ser alimentado con una energía promedio de 3.7 voltios y una corriente de 700 mA, valores menores en comparación con teléfonos de última generación que pueden requerir hasta 5 voltios y 2000 mA, por lo tanto el tiempo de recarga varía dependiendo del dispositivo móvil que se utilice.

Cabe recalcar que la mayoría de teléfonos móviles de generaciones anteriores no suelen mostrar el porcentaje de energía de la batería, tal y como sucede con el modelo de prueba en este proyecto, por lo tanto se midió su tiempo de recarga eléctrica en

lugar del porcentaje de carga. A continuación en la figura 4.48 se muestra el dispositivo móvil siendo alimentado eléctricamente por el sistema.



**Figura 4.48:** Sistema completo recargando un dispositivo móvil  
Elaborado por: Investigador

#### 4.9 Presupuesto del prototipo

Un aspecto importante en el desarrollo de este proyecto es su presupuesto, debido a que comparándolo con otros métodos de alimentación eléctrica de dispositivos móviles, este debe estar en un valor no muy superior al de los existentes en la actualidad. Por otro lado los costos de los materiales son los de uso comercial, por lo tanto el precio final no refleja un valor que pueda ser comparable con el de los cargadores fabricados por grandes empresas que reducen sus costos de múltiples formas. En la tabla 4.18 se muestra los costos de fabricación de las 3 antenas planas, puesto que son de diseño específico para este proyecto y no existen en el mercado.

Tabla 4.18: Presupuesto de fabricación de las antenas planas

Item	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
1	Placas de fibra de vidrio con doble plano conductor de 15cm x 20cm	c/u	1	\$ 2,00	\$ 2,00
2	Impresión digital en las placas	c/u	6	\$ 1,00	\$ 6,00
3	Acido: cloruro férrico	c/u	1	\$ 0,50	\$ 0,50
<b>Presupuesto de las antenas</b>					<b>\$ 8,50</b>

Elaborado por: Investigador

En la tabla 4.19 se realiza un análisis del presupuesto del prototipo en donde se especifica a detalle el costo de cada uno elementos que se utilizó en la implementación del sistema.

Tabla 4.19: Presupuesto del prototipo

<b>Item</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>Valor Total</b>
<b>1</b>	Fabricación de las antenas	<i>c/u</i>	1	\$ 8,50	\$ 8,50
<b>2</b>	Alambre de estaño de 1 mm de grosor	<i>m</i>	1	\$ 0,60	\$ 0,60
<b>3</b>	Diodo Schottky BAT 43	<i>c/u</i>	4	\$0,90	\$ 3,60
<b>4</b>	Capacitor 1nF – 50V	<i>c/u</i>	4	\$ 0,20	\$ 0,80
<b>5</b>	Alambre de timbre gemelo	<i>m</i>	1	\$ 0,40	\$ 0,40
<b>6</b>	Baquelita 10cm x 10cm	<i>c/u</i>	1	\$ 1,00	\$ 1,00
<b>7</b>	Bornera	<i>c/u</i>	3	\$ 0,50	\$ 1,50
<b>8</b>	Barra de silicón	<i>c/u</i>	2	\$ 0,30	\$ 0,60
<b>9</b>	Carcaza	<i>c/u</i>	1	\$ 5,00	\$ 5,00
<b>10</b>	Pilas recargables de 1.2 V – 650 mAh	<i>c/u</i>	2	\$ 1,20	\$ 2,40
<b>11</b>	Base para 2 pilas	<i>c/u</i>	1	\$ 0,25	\$ 0,25
<b>12</b>	Conector USB hembra tipo A	<i>c/u</i>	1	\$ 0,80	\$ 0,80
<b>Presupuesto del prototipo</b>					<b>\$ 25,45</b>

Elaborado por: Investigador



Finalmente, para tener un presupuesto total aproximado analizamos los costos totales del proyecto desde su inicio hasta su finalización. En la tabla 4.20 se muestra el presupuesto total del proyecto de investigación asciende a la cantidad de CUATROCIENTOS SETENTA Y DOS DÓLARES CON TREINTA Y CINCO CENTAVOS, dinero financiado por el Investigador.

Tabla 4.20: Presupuesto total del proyecto de investigación

<b>PRESUPUESTO</b>					
<b>Ítem</b>	<b>Unidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>Valor Total</b>
<b>1</b>	Horas	Internet	200	\$ 0,50	\$ 100,00
<b>2</b>	<i>c/u</i>	Esferos	3	\$ 0,30	\$ 0,90
<b>3</b>	<i>c/u</i>	Lápices	1	\$ 1,00	\$ 1,00
<b>4</b>	<i>c/u</i>	Almuerzos	40	\$ 2,00	\$ 80,00
<b>5</b>	<i>c/u</i>	Bus Urbano	80	\$ 0,30	\$ 24,00
<b>6</b>	<i>c/u</i>	Bus interprovincial (Latacunga - Ambato)	40	\$ 1,15	\$ 46,00
<b>7</b>	<i>c/u</i>	Libros	3	\$ 20,00	\$ 60,00
<b>8</b>	<i>c/u</i>	Medidor de campo eléctrico y magnético (Detector de radiación electromagnética)	1	\$ 65,00	\$ 65,00
<b>9</b>	<i>c/u</i>	Kit de equipamiento electrónico	1	\$ 40,00	\$ 40,00
<b>10</b>	<i>c/u</i>	Kit de herramientas de precisión	1	\$ 30,00	\$ 30,00
<b>11</b>	<i>c/u</i>	Otros (lote de materiales para elaboración de prototipo)	1	\$ 25,95	\$ 25,45
<b>Presupuesto total del proyecto</b>					<b>\$ 472,35</b>

Elaborado por: Investigador

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

- Mediante el uso de un medidor/detector de radiación electromagnética se midió el nivel de energía electromagnética, siendo el campo eléctrico medido en los distintos ambientes de prueba de alrededor de 1 V/m, mientras que el campo magnético varió entre 0.231 y 1.732 A/m
- La energía necesaria para alimentar un dispositivo móvil es alrededor de 3.7 voltios y 700 mili amperios y puede ser suministrada por distintos métodos de recarga eléctrica los cuales pueden ser: cargadores tradicionales, portátiles y solares. Estos de forma general tienen etapas de rectificación y filtrado de la señal de salida, siendo la única diferencia entre ellos la fuente de energía utilizada por los mismos para alimentar a los dispositivos móviles.
- El sistema de captación de energía electromagnética emplea un arreglo de tres antenas Microstrip diseñadas para captar ondas de Wi-Fi, telefonía móvil e IMT, las cuales conectadas en serie trabajan cada una como una fuente independiente que suma su voltaje a la siguiente. La energía captada por las antenas suele ser muy pequeña, es por ello que debe ser amplificada mediante un multiplicador de tensión Villard de dos etapas, el cual también rectifica y filtra la señal de salida, para su aplicación y/o almacenamiento.
- Existen zonas con baja densidad de energía electromagnética en donde la carga de las baterías no fue la deseada, pero esto es irrelevante comparado con los ambientes en donde sí se obtuvo excelentes resultados. Finalmente el sistema cargó un teléfono móvil durante un máximo de 1 hora y 24 minutos cuando el almacenamiento está en su máxima capacidad, tiempo que varió dependiendo de factores como: la capacidad del almacenamiento, la movilidad del usuario con el sistema y demás limitaciones que puedan existir.

- El trabajo propone una solución al alto consumo energético producido por el uso excesivo de los cargadores tradicionales de dispositivo móviles, haciendo uso de un sistema portátil de recarga que aprovecha las ondas electromagnéticas que se encuentran dispersas en el aire, y aportando en gran medida al desarrollo de la tecnología ENERGY HARVESTING.

## **5.2 Recomendaciones**

- Para la medición de los campos electromagnéticos se recomienda a futuros investigadores realizarlas por alrededor de 3 minutos en cada ambiente y en periodos distintos del día, evitando estar cerca de aparatos electrónicos que puedan afectar al equipo, para una mayor precisión en los valores obtenidos.
- Los investigadores que aspiren recrear el diseño del prototipo deben tomar en cuenta características mínimas de carga, para así tener un valor promedio al cual llegar, evitando emplear circuitos adicionales para regular la tensión de salida y con esto tener un consumo extra de energía que pueda afectar al rendimiento del sistema.
- El investigador debe tener en cuenta que para un mejor aprovechamiento de la energía captada es necesario diseñar las antenas adecuándolas a la densidad de energía electromagnética que pueda existir cada región o país. También es importante no exceder el número de etapas necesarias del multiplicador de tensión, pues esto provoca que la energía sea consumida por el mismo.
- Los usuarios del prototipo deben utilizar el sistema en lugares donde existan grandes cantidades de energía electromagnética para evitar que el propio circuito consuma la energía disponible en el almacenamiento. También es necesario que se almacene la mayor cantidad de energía posible en las baterías para una mejor recarga del dispositivo móvil.
- Por ultimo recomendar a futuros investigadores que existe la posibilidad de diseñar antenas que se adecuen a bandas utilizadas solo para la emisión de energía con fines de alimentación, con el propósito de proponer la recarga inalámbrica remota como un estándar global.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] DIGITAL EN 2018, «GLOBAL DIGITAL REPORT 2018: World's internet users pass the 4 billion mark,» 25 Abril 2018. [En línea]. Available: <https://wearesocial.com/blog/2018/01/global-digital-report-2018>. [Último acceso: 28 Abril 2018].
- [2] Mark P. Mills Y CEO Digital Power Group, «The Cloud Begins With Coal: Big Data, Big Networks, Big Infrastructure, and Big Power,» 2013. [En línea]. Available: <https://www.tech-pundit.com/about-mark-mills/>. [Último acceso: 28 Abril 2018].
- [3] R. Cañas, *Transferencia inalámbrica de energía*, España, Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2015.
- [4] J. Gonzales y J. Olivares, «Ahorro de energía visualizando páginas Web en dispositivos móviles heterogéneos,» de *ROC&C'2006 CP - 65*, México, 2006.
- [5] ARCOTEL, «Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones,» Febrero 2018. [En línea]. Available: <http://www.arcotel.gob.ec/servicio-movil-avanzado-sma/>. [Último acceso: 01 Mayo 2018].
- [6] ARCONEL, «Agencia de Regulación y Control de la Electricidad,» Abril 2018. [En línea]. Available: <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/estadistica-del-sector-electrico/demanda-mensual/>. [Último acceso: 07 Mayo 2018].
- [7] Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, «Tecnologías de la Información y Comunicaciones,» INEC, Ecuador, 2016.
- [8] S. Rocabado, J. Díaz y C. Cadena, «Uso de dispositivos móviles en zonas rurales aisladas abastecidas con energía solar fotovoltaica,» *INENCO*, nº 1, pp. 1 - 10, 2015.
- [9] L. Boquete, R. Barea, J. Rodríguez-Ascariz, J. Cantos y J. Miguel, «Práctica de Laboratorio de Captura de Energía de Radio Frecuencia,» *TAAE*, nº 1, pp. 319 - 324, 2012.

- [10] M. Casanova, *Sistemas de cosecha de energía para sistemas electrónicos autónomos*, España, Madrid: Universidad Rey Juan Carlos, 2013.
- [11] A. Martínez, *Antenas para aplicaciones de captación de energía en la banda UHF*, España, Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2014.
- [12] R. Torrealba, V. Crispín, R. Ambrosio, L. Gómez y E. Tamariz, «Sistema de Cosechamiento de Energía con Radio Frecuencia,» *SOMI XXXI Congreso de Instrumentación*, nº 1, pp. 1 - 6, 2015.
- [13] C. Jinez, «Sistema electrónico para recarga eléctrica en teléfonos celulares inteligentes en espacios cerrados, con tecnología inalámbrica,» Universidad Técnica de Ambato, Ecuador, Ambato, 2016.
- [14] F. Dios, D. Artigas, J. Recolons, A. Comerón y F. Canals, *Campos electromagnéticos*, España, Barcelona: UPC, 1998.
- [15] W. Tomasi, *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*, México, Juárez: Pearson Educación, 2003.
- [16] Maxim Integrated, «MaximIntegrated,» 2012. [En línea]. Available: <https://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/5259>. [Último acceso: 09 Mayo 2018].
- [17] J. Valle, *Estudio de un sistema de transmisión de energía por RF*, España, Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña, 2006.
- [18] Telefonos Móviles, «telefonos-moviles.com,» Mayo 2010. [En línea]. Available: <http://www.telefonos-moviles.com/articles/default.asp>. [Último acceso: 10 Mayo 2018].
- [19] R. Theodore, *Wireless communications: Principles and Practice*, Estados Unidos, New Jersey: Prentice Hall, 2001.
- [20] J. Morillo, *Introducción a los dispositivos móviles*, España, Barcelona: España de Creative Commons, 2007.

- [21] H. C y C. Carpio, «Energías renovables, tendencia en Ecuador,» *MAB Escuela Politécnica del Litoral*, nº 1, p. 1 – 10, 2015.
- [22] C. Moreno, E. Ortiz, R. Rojas, J. López, E. Gomez y P. Magaña, *Cosecha de energía por medio de señales de radiofrecuencia*, México, Ciudad de México: Instituto Politécnico Nacional, 2016.
- [23] A. Rodriguez, A. Zunino y C. Mateos, *Reducción de consumo energético en aplicaciones científicas para dispositivos móviles a través de refactorización de código fuente*, Argentina, Buenos Aires: Universidad Nacional del Centro, 2017.
- [24] N. Solutions, «Electric and Magnetic Field Measurement,» Narda, EEUU, 2013.
- [25] ViaIndustrial, «Medidores de radiaciones electromagnéticas media frecuencia FIDT- 1130,» VIA, 2010.
- [26] KKMOON, «KKMOON,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.kkmoon.com/p-e0546.html>. [Último acceso: 10 Julio 2018].
- [27] N. Mora y J. Martínez, «Análisis del uso-consumo de energía eléctrica en estudiantes de nivel medio superior,» *Jóvenes en la Ciencia*, p. 2562 – 2565., 2018.
- [28] O. Jamaica, T. Medina, J. Tello, F. Gutiérrez y O. Contreras, «Recarga eléctrica de la batería del teléfono móvil, mediante el uso de tecnologías sustentables o de bajo impacto ambiental,» *Pistas Educativas*, p. 88 – 102, 2015.
- [29] M. Chinchilla y C. Calvo, *Cargador solar para dispositivos electrónicos de bajo voltaje en comunidades rurales aisladas de red*, España, Madrid: Universidad Carlos III de Madrid, 2016.
- [30] J. Gonzáles, *Autonomía en Sistemas de Alimentación*, España, Sevilla: Universidad de Sevilla, 2014.

- [31] ARCOTEL, «Plan Nacioanal de Frecuencias,» Abril 2017. [En línea]. Available: [http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2017/10/ANEXO-1\\_DOCUMENTO-PNF..pdf](http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2017/10/ANEXO-1_DOCUMENTO-PNF..pdf). [Último acceso: 20 Enero 2019].
- [32] A. Orbaiceta y J. Iriarte, *Diseño y caracterización de un array de antenas en tecnología plana en la banda de 8GHz con polarización circular*, España, Pamplona: Universidad Pública de Navarra, 2017.
- [33] K. Palomino, *Prototipo generador de energía eléctrica por el uso de una bicicleta elíptica para la iluminación de un ambiente de deporte*, Perú, Lima: Universidad Tecnológica del Perú, 2016.
- [34] A. Escobar y M. Holguín, «Sistemas de almacenamiento de energía y su aplicación en energías renovables,» *Scientia Et Technica*, p. 12 – 16, 2011.
- [35] GP Batteries, «GP Batteries Baterías Recargables,» 2017. [En línea]. Available: [https://www.gpbatteries.com/int\\_en/](https://www.gpbatteries.com/int_en/). [Último acceso: 31 Enero 2019].
- [36] Secura me, «Baterias de Li-Ion: Ventajas, desventajas, y mantenimiento,» Marzo 2014. [En línea]. Available: <https://www.securamente.com/baterias-de-li-ion-ventajas-desventajas-y-mantenimiento/>. [Último acceso: 31 Enero 2019].

# **ANEXOS**



## **ANEXO 1**

### **MANUAL DE USUARIO DEL MEDIDOR/DETECTOR DE RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA GM3120**



Model: GM3120

## Electromagnetic Radiation Tester Instruction manual



Version: GM3120-EN-00

- 1 -

### I. Introduction

Radiation survey meter can test electric field radiation and magnetic field emission to reach the optimal test result. It is used to test and learn electromagnetic radiation situation indoor and outdoor. It is equipped with a built-in electromagnetic radiation sensor, which can display the radiation value on LCD digital display after processing by the control micro-chip. You can make reasonable processing or taking effective prevention measures toward the electromagnetic radiation according to the test result.

Influence and harms of electromagnetic radiation on human body:

1. Being one of the causes of leukemia for children;
2. Can cause cancer and accelerate proliferation of cancer cells;
3. Can cause direct harm to human genital system, nervous system and immune system;
4. Can cause mental disabilities of children and diminution of vision, affect tissue development and skeletal development of children;
5. Can cause diminution of hematopoietic function of livers and even cause amotio retinae;
6. Being one of the main causes of cardiovascular disease and diabetes;
7. Having bad influence on human visual system.

Moreover, strong electromagnetic radiation may influence and destroy original bioelectric current and biomagnetic field in human body and cause abnormality of the original electromagnetic field in human body. The elderly, children and the pregnant are susceptible to electromagnetic radiation.

Artificial electromagnetic radiation sources include all kinds of electric appliances and devices. By fair use of household appliances and taking reasonable precautions measures, electromagnetic radiation can be effectively prevented and reduced.

- 2 -

### II. Functions and features

This radiation survey meter has the following features :

- ▶ One instrument with two uses, It can test the electric field and the magnetic field radiation at the same time;
- ▶ Sound-light alarm, when the test result exceeds the safe value, the instrument will alarm automatically;
- ▶ Data locking, one-key lock of the radiation value;
- ▶ LCD graphic display of the radiation value trend;
- ▶ Radiation assessment, remind you whether the radiation value is safe or not;
- ▶ Fashionable design, easy on-hand operation, it is easy to move or make field measurement.

### III. Range of application

- ▶ Electromagnetic radiation monitoring: House and apartment, office, outdoor and industrial site;
- ▶ Electromagnetic radiation test: Mobile phone, computer, TV set, refrigerator and high voltage cable radiation test;
- ▶ Radiation protection product test: Test effects of radiation-proof clothes, radiation-proof film and other prevention articles.

### VI. Radiation indexes

- X-ray radiation index: ★★★★★
- Electric hair drier radiation index: ★★★★★
- Electric blanket radiation index: ★★★★★
- Microwave oven radiation index: ★★★★★
- Computer monitor and host radiation index: ★★★
- Mobile phone radiation index: ★★
- TV set radiation index: ★★
- Keyboard and mouse radiation index: ★
- Copying machine and printer radiation index: ★
- Security check radiation index: ★

Activa  
Ir a Cont

- 3 -

### V. Operating instructions

1. Long press power to turn it on. After full screen display, the current electric field and magnetic field value will be displayed, press power to turn the backlight on. The screen will display "Safe". Press it again to disable the backlight. If there is no key operation, the backlight will turn off automatically after 30 seconds. Long press power to shut it down. If there is no key operation, the instrument will shut down automatically after 5 minutes.

※Note: As there may be disturbance of electromagnetic field in the environment, when starting up, the instrument may give a small reading. It is a normal phenomenon.

2. Hold the instrument with hand to make the inductive zone at front end get closer to the electromagnetic radiation source to be tested slowly. If the actual radiation value is within the technical index of the instrument, there will be a value displayed; if the instrument has no reading, it indicates that the electromagnetic radiation value of the radiation source is smaller than the minimum reading of the instrument, namely 1V/m or 0.01 μT.

※Note: Distance measuring shall be made for high-voltage facilities. Remember: stay safe.

3. During measurement, press "HOLD" to lock the instrument reading. The "HOLD" will be displayed on the screen. In case of unlocking, press "HOLD" again. This instrument will produce a beep by default after turning on and "BEEP" will be displayed on the screen. Long press the "BEEP" to turn on or off the beep.

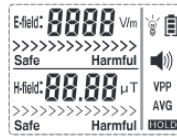
4. By pressing "AVG/VPP" during measurement under unlocking state, you can switch between the average and the peak value.

5. If the figure displayed is unclear or the figure flickers or the figure cannot be cleared, it indicates that the battery runs out of power. Please change the battery in time.

- 4 -

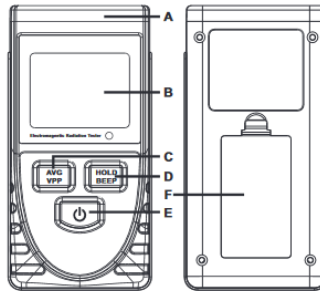
### VI. LCD display and key function

1. LCD full-screen display: see the following figure.



2. Names of components: see the following figure.

- A. Inductive zone at front end
- B. LCD display
- C. Average/peak value
- D. Data locking/beep
- E. Power
- F. Battery door



- 5 -

### VII. Technical parameters

Unit	Electric field	Magnetic field
	V/m	μT
Precision	1V/m	0.01μT
Range	1V/m-1999V/m	0.01μT-19.99μT
Alarm threshold value	40V/m	0.4μT
Reading display	3-1/2-digit LCD	
Testing bandwidth	5Hz-3500MHz	
Sampling time	About 0.4 seconds	
Test mode	Bimodule synchronous test	
Over range indication	LCD displays "1"	
Operating temperature	0°C-50°C	
Operation humidity	relative humidity < 80%	
Operating voltage	9V	
Power supply	6F22 9V battery	
Size	63. 6*31*125. 8mm	
Weight	146g	

Reference standards:  
GB8702-1988 Regulations for Electromagnetic Radiation Protection  
HJ/T10.3-1996 Environmental Impact Assessment Methods and standards on Electromagnetic Radiation  
GB9175-88 Hygienic Standard for Environmental Electromagnetic Waves

Special declaration:  
Our company reserves the right to modify the product design and the instruction. We will not give further notice for any changes!

Activa  
Ir a Cont

- 6 -

## **ANEXO 2**

### **FOTOGRAFIAS DE LOS AMBIENTES A REALIZARSE LAS MEDICIONES**

## PARQUE VICENTE LEON DEL CANTON LATACUNGA



*Figura 5.1: Ambiente para las mediciones: Parque Vicente León  
Elaborado por: Investigador*

## AVENIDA JUAN ABEL ECHEVERRIA



*Figura 5.2: Ambiente para las mediciones: Calle Juan Abel Echeverría  
Elaborado por: Investigador*

## CENTRO COMERCIAL “EL SALTO”



*Figura 5.3: Ambiente para las mediciones: Centro Comercial EL SALTO  
Elaborado por: Investigador*

## BARRIO MONJAS



*Figura 5.4: Ambiente para las mediciones: Zona Rural del Barrio MONJAS  
Elaborado por: Investigador*

### **ANEXO 3**

## **ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL DIODO SHOTTKY BAT 43**



## CLASIFICACIONES ABSOLUTAS (valores límite)



**BAT42**  
**BAT43**

### SMALL SIGNAL SCHOTTKY DIODES

#### DESCRIPTION

General purpose, metal to silicon diodes featuring very low turn-on voltage fast switching. These devices have integrated protection against excessive voltage such as electrostatic dis-



#### ABSOLUTE RATINGS (limiting values)

Symbol	Parameter		Value	Unit
$V_{RRM}$	Repetitive Peak Reverse Voltage		30	V
$I_F$	Forward Continuous Current	$T_a = 25^\circ\text{C}$	200	mA
$I_{FRM}$	Repetitive Peak Forward Current	$t_p \leq 1\text{s}$ $\delta \leq 0.5$	500	mA
$I_{FSM}$	Surge non Repetitive Forward Current*	$t_p = 10\text{ms}$	4	A
$P_{tot}$	Power Dissipation*	$T_l = 65^\circ\text{C}$	200	mW
$T_{stg}$ $T_j$	Storage and Junction Temperature Range		- 65 to +150 - 65 to +125	$^\circ\text{C}$ $^\circ\text{C}$
$T_L$	Maximum Temperature for Soldering during 10s at 4mm from Case		230	$^\circ\text{C}$

#### THERMAL RESISTANCE

Symbol	Test Conditions	Value	Unit
$R_{th(j-a)}$	Junction-ambient*	300	$^\circ\text{C}/\text{W}$

## CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

### STATIC CHARACTERISTICS

Symbol	Test Conditions		Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_{RR}$	$T_j = 25^\circ\text{C}$	$I_R = 100\mu\text{A}$	30			V
$V_f^*$	$T_j = 25^\circ\text{C}$	$I_f = 200\text{mA}$	All Types		1	V
	$T_j = 25^\circ\text{C}$	$I_f = 10\text{mA}$	BAT 42		0.4	
	$T_j = 25^\circ\text{C}$	$I_f = 50\text{mA}$			0.65	
	$T_j = 25^\circ\text{C}$	$I_f = 2\text{mA}$	BAT 43		0.28	
	$T_j = 25^\circ\text{C}$	$I_f = 15\text{mA}$			0.45	
$I_R^*$	$T_j = 25^\circ\text{C}$	$V_R = 25\text{V}$			0.5	$\mu\text{A}$
	$T_j = 100^\circ\text{C}$				100	

### DYNAMIC CHARACTERISTICS

Symbol	Test Conditions		Min.	Typ.	Max.	Unit
C	$T_j = 25^\circ\text{C}$	$V_R = 1\text{V}$ $f = 1\text{MHz}$		7		pF
$t_{rr}$	$T_j = 25^\circ\text{C}$	$I_f = 10\text{mA}$ $I_R = 10\text{mA}$ $i_{rr} = 1\text{mA}$ $R_L = 100\Omega$			5	ns
h	$T_j = 25^\circ\text{C}$	$R_L = 15\text{K}\Omega$ $C_L = 300\text{pF}$ $f = 45\text{MHz}$ $V_i = 2\text{V}$	80			%

\* Pulse test:  $t_p \leq 300\mu\text{s}$   $\delta < 2\%$ .

Fig. 1: Forward current versus forward voltage at different temperatures (typical values).

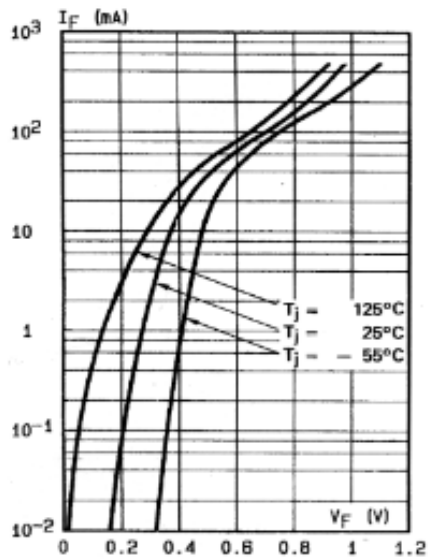


Fig. 2: Forward current versus forward voltage (typical values).

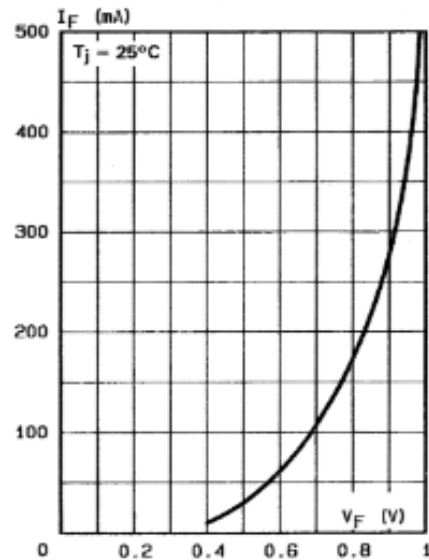


Fig. 3: Reverse current versus junction temperature (typical values).

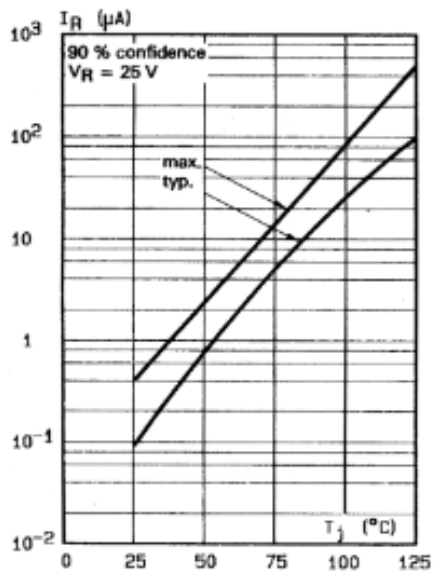


Fig. 4: Reverse current versus continuous reverse voltage.

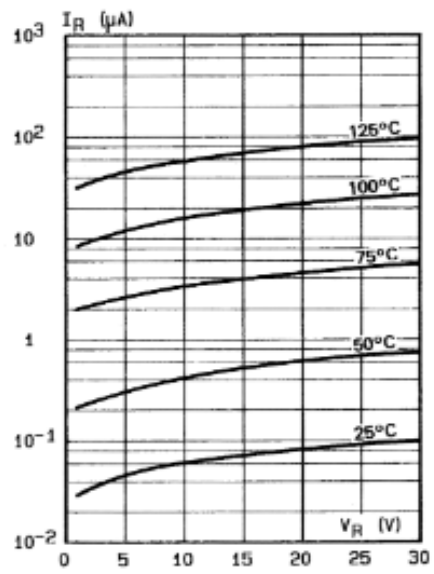
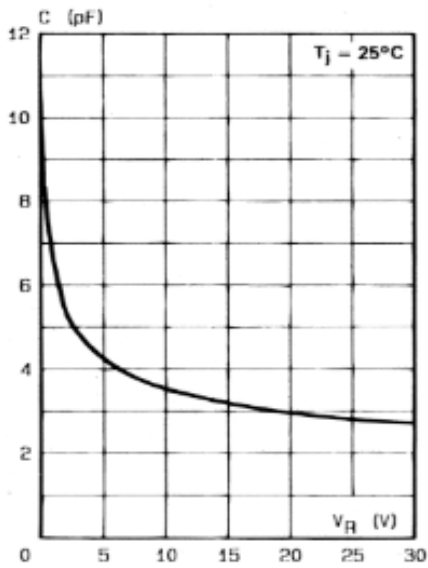


Fig. 5: Capacitance  $C$  versus reverse applied voltage  $V_R$  (typical values).



**ANEXO 4**  
**FOTOGRAFIAS DEL PRODUCTO FINAL**



*Figura 5.5: Dispositivo finalizado  
Elaborado por: Investigador*



*Figura 5.6: Producto final funcional  
Elaborado por: Investigador*