

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**



Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas  
Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico

**DISEÑO COMPUTACIONAL DEL SISTEMA ENERGY  
HARVESTING PARA LA RECOLECCIÓN DE ENERGÍA  
CINÉTICA PRODUCIDA EN LA CARRERA DE INGENIERÍA  
EN ELECTRICIDAD.**

Trabajo de grado presentado ante la Universidad Técnica del Norte previo a la obtención del título de grado de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico.

**Autor:**

Toapanta Mugmal Alexis Alexander

**DIRECTOR:**

Director: MSc. Julio Esteban Guerra Masson

**IBARRA – 2024**



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	<b>DE</b>	100446861-5	
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	<b>Y</b>	Toapanta Mugmal Alexis Alexander	
<b>DIRECCIÓN:</b>		Ibarra	
<b>EMAIL:</b>		aatoapantam@utn.edu.ec	
<b>TELÉFONO FIJO:</b>		<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0982947372

DATOS DE LA OBRA	
<b>TÍTULO:</b>	DISEÑO COMPUTACIONAL DEL SISTEMA ENERGY HARVESTING PARA LA RECOLECCIÓN DE ENERGÍA CINÉTICA PRODUCIDA EN LA CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD.
<b>AUTOR (ES):</b>	Toapanta Mugmal Alexis Alexander
<b>FECHA: DD/MM/AAAA</b>	10/01/2022
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
<b>PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> <b>PREGRADO</b> <input type="checkbox"/> <b>POSGRADO</b>
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico
<b>ASESOR /DIRECTOR:</b>	Ing. Julio Esteban Guerra Masson MSc.



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

## AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

### CONSTANCIA

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrollo, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 5 días del mes de febrero de 2024

EL AUTOR:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Alexis', with a stylized flourish extending to the right.

Toapanta Mugmal Alexis Alexander



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

**Ing. Julio Esteban Guerra Masson MSc.**

#### CERTIFICA

Que después de haber examinado el presente trabajo de investigación elaborado por el señor estudiante: Toapanta Mugmal Alexis Alexander, certifico que ha cumplido con las normas establecida en la elaboración del trabajo titulado: **"DISEÑO COMPUTACIONAL DEL SISTEMA ENERGY HARVESTING PARA LA RECOLECCIÓN DE ENERGÍA CINÉTICA PRODUCIDA EN LA CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD"** para la obtención del título de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Ing. Julio Guerra MSc.", is positioned above the printed name.

Ing. Julio Guerra MSc.

**DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO**

## **Dedicatoria**

El desarrollo de este trabajo se llevó a cabo de tiempo y esfuerzo el cual dedico especialmente a mi mamá, mis hermanos y hermana, porque fueron y son el motivo por el cual culmine con mis objetivos, también en general a mi familia y amigos gracias por brindarme su cariño y apoyo incondicional cada día.

## **Agradecimiento**

Expreso mi agradecimiento de gratitud y respeto a todos quienes han hecho posible alcanzar esta anhelada meta, que ahora es una realidad. Al Ing. Julio Guerra MSc, por su comprensión, respeto y calidad humana al momento de guiarme hacia la culminación de esta tesis de una manera correcta.

A la Universidad Técnica del Norte por abrirme sus puertas y brindarme una educación de calidad y una formación académica respetable. El tiempo y esfuerzo de todos los docentes que me impartieron sus amplios conocimientos en todo el ciclo académico.

De manera muy especial deseo expresar mis más sinceros agradecimientos a mis compañeros y amigos cercanos por todos los momentos de alegría y tristeza vividos en todo este tiempo.

*Alexis Alexander Toapanta Mugmal*

## Tabla de contenido

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA.....	II
CONSTANCIA.....	III
ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR .....	IV
Dedicatoria.....	V
Agradecimiento .....	VI
Tabla de contenido.....	VII
Índice de Figuras.....	XI
Índice de Tablas.....	XIII
Resumen.....	XIV
Abstract.....	XV
INTRODUCCIÓN .....	XVI
A1. Contextualización .....	XVI
A2. Planteamiento del problema .....	XVII
A3. Justificación del trabajo .....	XVIII
A4. Alcance del trabajo .....	XIX
A5. Viabilidad del trabajo .....	XX
A6. Objetivo General.....	XX
A7. Objetivos Específicos: .....	XX
CAPÍTULO 1 .....	21
Fuentes y tecnologías del sistema Energy Harvesting.....	21
1.1 Descripción de la recolección de energética (Energy Harvesting). ....	21
1.2 Estructura de un sistema recolector de energía (Energy Harvesting). ..	22
1.3 Fuentes de Recolección de Energía.....	22
1.3.1 Energía Solar. ....	23
1.3.2 Energía eólica. ....	24
1.3.3 Energía de Movimiento Mecánico/ Vibración. ....	25
1.3.4 Energía de radiofrecuencia RF.....	25
1.3.5 Energía Termoeléctrica. ....	26
1.3.6 Energía Humana. ....	27
1.4 Tipos de tecnologías de recolección energética (Energy Harvesting) ..	27
1.4.1 Cosecha fotovoltaica. ....	29

1.4.2	Cosecha de energía cinética.....	30
1.4.3	Cosecha de energía Piezoeléctrica.....	31
1.4.4	Cosecha de energía electromagnética.....	32
1.4.5	Cosecha de energía electrostática.....	32
1.4.6	Cosecha de energía de Radiofrecuencia (RF).....	33
1.4.7	Cosechador de energía Piroeléctrico.....	34
1.4.8	Cosecha de energía termoeléctrica.....	35
1.4.9	Cosecha de energía del viento (Eólica).....	36
1.4.10	Cosechador de energía del flujo de agua.....	37
1.4.11	Cosechador de energía de ruido acústico.....	38
CAPÍTULO 2.....		41
Estudio de los parámetros físicos.....		41
2.1	Metodología.....	41
2.2	Lugar de estudio.....	42
2.3	Fuentes de energía existentes en el edificio de la Carrera de Electricidad.....	42
2.3.1	Generador termo solar.....	43
2.3.2	Paneles solares.....	44
2.3.3	Laboratorio computacional.....	45
2.3.4	Ruido acústico.....	46
2.3.5	Generador eólico de baja potencia.....	47
2.3.6	Sistema de micro generación eólica.....	48
2.3.7	Extractores.....	49
2.3.8	Pisadas Humanas.....	49
2.3.9	Gotas de lluvia.....	51
2.4	Tecnología para usarse en la recolección de energía cinética.....	52
2.4.1	Materiales piezoeléctricos y triboeléctricos.....	53
2.5	Parámetros para el modelado del sistema Energy Harvesting.....	54
2.5.1	Determinación de parámetros del convertidor Buck.....	54
2.5.2	Determinación de parámetros para el almacenamiento de energía.....	55
2.5.3	Determinación de parámetros del consumo energético.....	57



2.5.4	Determinación de parámetros del aprovechamiento de energía cinética.....	57
CAPÍTULO 3	.....	60
Propuesta y simulación del sistema Energy Harvesting.....		60
3.1	Software para el desarrollo de simulaciones .....	60
3.1.1	Matlab .....	60
3.1.2	Simulink.....	60
3.1.3	Proteus 8.....	60
3.2	Diseño del sistema Energy Harvesting .....	61
3.2.1	Esquema del proyecto.....	61
3.2.2	Elemento generador.....	61
3.2.3	Rectificador .....	62
3.2.4	Convertidor DC-DC Buck .....	63
3.2.5	Almacenamiento de energía .....	64
3.3	Simulación de los parámetros del modelo .....	65
3.4	Simulación del convertidor DC-DC Buck .....	67
3.4.1	Dimensionamiento de los parámetros del convertidor.....	69
3.4.2	Simulación del convertidor para el caso triboeléctrico.....	70
3.4.3	Simulación del convertidor piezoeléctrico impacto de viento .	71
3.4.4	Simulación del convertidor piezoeléctrico impacto de aerogenerador .....	72
3.5	Simulación del sistema de almacenamiento y de carga .....	73
3.5.1	Simulación del sistema de carga.....	74
3.5.2	Simulación de las cargas conectadas al sistema .....	77
3.6	Recolección de energía .....	77
3.7	Análisis y resultados .....	80
3.8	Presupuesto de propuesta para el caso Triboeléctrico.....	81
3.9	Presupuesto de propuesta para el caso piezoeléctrico/Impacto de viento	81
3.10	Presupuesto de propuesta para el caso piezoeléctrico/Impacto de aerogenerador.....	82
Conclusiones.....		83
Recomendaciones .....		84

Referencias.....	85
Anexos.....	95
ANEXO A Tabla de Datos piezoelectric.....	96
ANEXO B Estructura para la recolección de energía impacto de viento .....	97
Anexo C Diseño Triboeléctrico .....	98
Anexo D Convertidor LM9526 .....	99
ANEXO D Características de batería .....	100

## Índice de Figuras

Figura 1 Energy Harvesting.....	21
Figura 2 Diagrama de bloques del sistema de Energy Harvesting.....	22
Figura 3 Bandera piezoeléctrica para aprovechar la energía eólica. ....	24
Figura 4 Transductor piezoeléctrico en guante. ....	27
Figura 5 Energy Fotovoltaico. ....	29
Figura 6 Circuito equivalente de una celda solar ....	29
Figura 7 Circuito equivalente de cosechadora piezoeléctrica de cuarzo.....	31
Figura 8 Circuito equivalente del cosechador de fuerza electromagnética. ....	32
Figura 9 Circuito equivalente de un recolector de fuerza electrostática. ....	33
Figura 10 Circuito equivalente de un rectificador cargado. ....	34
Figura 11 Cosechador de energía Piroeléctrico. ....	34
Figura 12 Circuito equivalente de un cosechador de energía Piroeléctrico.....	35
Figura 13 Se muestra un modelo de circuito equivalente del cosechador de energía Termoeléctrica. ....	36
Figura 14 Esquema del circuito equivalente del micro cosechador de viento. ....	37
Figura 15 Cosechador de energía de flujos de agua y diseños habituales de los generadores. ....	37
Figura 16 Cosechador de energía acústico.....	39
Figura 17 Circuito equivalente del cosechador acústico. ....	39
Figura 18 Metodología. ....	41
Figura 19 Edificio de la Carrera de Electricidad. ....	42
Figura 20 Generador termo solar. ....	43
Figura 21 Paneles Solares. ....	44
Figura 22 Laboratorio Computacional. ....	45
Figura 23 Generador eólico de baja potencia. ....	47
Figura 24 Sistema de micro generación eólica. ....	48
Figura 25 Extractores.....	49
Figura 26 Edificio de la carrera de Electricidad. ....	50
Figura 27 Promedio de lluvias en Ibarra.....	51
Figura.28 Etapas del sistema de generación de energía piezoeléctrica y triboeléctrica.....	61
Figura 29 Rectificador de onda completa y conexión con el generador.....	62
Figura 30 Regulador DC-DC Buck de línea negativa.....	63
Figura 31 Amplificador diferencial para la medición de voltaje en la salida del convertidor. ....	64
Figura 32 Control de conexión a la carga del sistema.....	64
Figura 33 Simulación de parámetros para el generador triboeléctrico. ....	66
Figura 34 Simulación de parámetros para el generador piezoeléctrico, Impacto de viento.....	66
Figura 35 Simulación de parámetros para el generador piezoeléctrico/Impacto aerogenerador.....	67
Figura 36 Controlador de carga para la simulación.....	68
Figura 37 Controlador PI para el convertidor Buck. ....	68
Figura 38 Esquema del convertidor Buck ajustado para el generador triboeléctrico. ....	70
Figura 39 Curva de voltaje y corriente del convertidor triboeléctrico.....	71

Figura 40 Esquema del convertidor Buck ajustado para el generador piezoeléctrico. ....	71
Figura 41 Curva de voltaje y corriente del convertidor piezoeléctrico. ....	72
Figura 42 Esquema del convertidor Buck ajustado para el generador piezoeléctrico. ....	72
Figura 43 Curva de voltaje y corriente del convertidor piezoeléctrico Impacto de Aerogenerador. ....	73
Figura 44 Esquema para la carga de la batería y control de la salida del generador Triboeléctrico.....	74
Figura 45 Esquema para la carga de la batería y control de la salida del generador piezoeléctrico Impacto de Viento. ....	75
Figura 46 Esquema para la carga de la batería y control de la salida del generador piezoeléctrico Impacto de Aerogenerador.....	75
Figura 47 Esquema para la carga de la batería y control de la salida de los generadores Piezoeléctricos y Triboeléctrico.....	76
Figura 48 Cargas conectadas al sistema. ....	77

## Índice de Tablas

Tabla 1 Comparación de la potencia estimada de los diferentes Energy Harvesting. ....	23
Tabla 2 Las características de las tecnologías actuales de los Energy Harvesting. ....	28
Tabla 3 Comparación de distintas tecnologías de Energy de vibraciones. ....	30
Tabla 4 Ejemplos de potencias cosechadas con diferentes fuentes de sonido. ....	38
Tabla 5 Características generales del generador termo solar. ....	43
Tabla 6 Posibles fuentes de sonido. ....	46
Tabla 7 Características del generador eólico de baja potencia. ....	47
Tabla 8 Transito de estudiantes, docentes y visitantes. ....	50
Tabla 9 Resultados de la energía mecánica. ....	51
Tabla 10 Materiales usados dentro del sistema piezoeléctrico y triboeléctrico. ....	53
Tabla 11 Parámetros de Diseño. ....	54
Tabla 12 Fuentes encontradas y tecnología a aplicarse. ....	58
Tabla 13 Características generales de los generadores piezoeléctricos y triboeléctrico. ....	62
Tabla 14 Parámetros de los generadores para la respectiva simulación. ....	65
Tabla 15 Calculo de parámetros. ....	69
Tabla 16 Cálculo de las Resistencias de Balance. ....	74
Tabla 17 Recolección de energía. ....	78
Tabla 18 Recolección de energía cinética de los aerogeneradores. ....	78
Tabla 19 Recolección de la energía cinética de las gotas de lluvia. ....	79
Tabla 20 Energía cinética producida por el impacto de viento. ....	79
Tabla 21 Energía cinética producida en cada fuentes. ....	79
Tabla 22 Presupuesto para el caso triboeléctrico. ....	81
Tabla 23 Presupuesto para el caso piezoeléctrico/Impacto de viento. ....	81
Tabla 24 Presupuesto para el caso piezoeléctrico/Impacto de aerogenerador. ....	82

## Resumen

La demanda de generación eléctrica ha aumentado en los últimos años por medio de las fuentes renovables, por lo tanto, para el aprovechamiento de estas fuentes, existe un sistema llamado Energy Harvesting que cosecha la energía del entorno o ambiente cercano y convertirlo en energía eléctrica. Esto sucede debido al aumento de dispositivos eléctricos y electrónicos en los hogares y sectores industriales donde el acceso a la red eléctrica es complicada y costosa. La tecnología en la actualidad brinda soluciones optimas y eficientes al transformar las fuentes de energía que se encuentren en el ambiente a energía eléctrica y hacer que los sistemas lleguen a funcionar con un bajo consumo de corriente y potencia. La recolección de energía cinética es una ruta importante para obtener energía eléctrica limpia y sostenible, es así como en el desarrollo de este trabajo se enfoca en realizar un diseño mediante un análisis de la lectura técnica del sistema Energy Harvesting y la tecnología que se usa para aprovechar las fuentes existentes de energía cinética. Se realizo diseños que son viables para generar electricidad de dos tipos de generadores que aprovechan la energía cinética como el piezoeléctrico y el triboeléctrico, ya que estos generadores pueden aprovechar de manera efectiva varios movimientos-vibraciones ambientales como los impactos de viento y gotas de lluvia, donde el objetivo final de estos sistemas de recolección de energía es proporcionar una fuente de corriente continua y carga de manera sostenible a los dispositivos electrónicos comerciales de baja potencia, de manera que el generadores Triboeléctricos generan una corriente de 0.95A y energía cinética de 50.225J y los generadores piezoeléctricos generan una corriente de 3.08A y energía cinética de 20.25J, estos sistemas serán los encargados de cargar una batería de 12V, donde se almacena la energía para su uso posterior, gracias a los desarrollos tecnológicos y científicos el futuro de la recolección de la energía cinética será una alternativa competente y confiable.

**Palabras clave:** *Energy Harvesting, Energía Cinética, Potencia, Piezoeléctricos, Triboeléctricos.*

## Abstract

The demand for electricity generation has increased in recent years through renewable sources, therefore, to take advantage of these sources, there is a system called Energy Harvesting that harvests energy from the environment or nearby environment and convert it into electricity. This happens due to the increase of electrical and electronic devices in homes and industrial sectors where access to the power grid is complicated and expensive. Today's technology provides optimal and efficient solutions by transforming the energy sources found in the environment into electrical energy and making the systems operate with low current and power consumption. The collection of kinetic energy is an important route to obtain clean and sustainable electrical energy, so the development of this work focuses on making a design through an analysis of the technical reading of the Energy Harvesting system and the technology used to take advantage of existing sources of kinetic energy. We made designs that are feasible to generate electricity from two types of generators that harness kinetic energy such as piezoelectric and triboelectric, as these generators can effectively harness various environmental movements-vibrations such as wind impacts and raindrops, where the ultimate goal of these energy harvesting systems is to provide a source of direct current and charge in a sustainable manner to low power commercial electronic devices, so that the Triboelectric generators generate a current of 0.95A and kinetic energy of 50.225J and piezoelectric generators generate a current of 3.08A and kinetic energy of 20.25J, these systems will be responsible for charging a 12V battery, where energy is stored for later use, thanks to technological and scientific developments the future of kinetic energy harvesting will be a competent and reliable alternative.

**Keywords:** *Energy Harvesting, Kinetic Energy, Power, Piezoelectrics, Triboelectrics.*

# INTRODUCCIÓN

## A1. Contextualización

La International Energy Agency (IEA), menciona que la demanda de electricidad aumentara casi en un 80% durante el periodo 2012-2040 ya que en los últimos años la generación de electricidad por medio de fuentes renovables creció en un 3.6% al año, cada vez más personas interactúan en la red a medida que los estándares de vida mejoran en todo el mundo, ocasionando que la demanda de electrodomésticos y dispositivos electrónicos aumenten (Guzman & Trinidad).

El Energy Harvesting se refiere al proceso de captura de energía del entorno o ambiente cercano y convertirlo en energía eléctrica, esta puede usarse inmediatamente o almacenarla para su uso posterior y se puede realizar mediante diferentes técnicas como Harvesting de energía solar que se obtiene habitualmente mediante células fotovoltaicas, Harvesting de energía cinética que mediante transductores piezoeléctricos producen electricidad a partir de energía cinética en forma de vibraciones, sonidos y movimiento, Harvesting de energía térmica y Harvesting de energía de radiofrecuencia estas ondas de RF se transmiten constantemente al medio ambiente a través de teléfonos móviles, emisoras de radio , televisión y otros dispositivos electrónicos (Solideo, 2019).

(Guerrero), presenta un desarrollo de un sistema de recolección de energía (Energy Harvesting), que emplea la energía almacenada en el campo eléctrico de las nubes de tormenta y extraída mediante electrodos tipo Corona (ETC), su uso es para la recolección de la corriente Corona del campo Eléctrico Ambiental.

Proveer de energía a los circuitos es el factor más limitante en las redes de sensores Wireless (WSN) y existen muchos ambientes capaces de proveer suficiente energía en forma de luz, viento, vibración y caída de agua que puede ser recogida para alimentar nodos de los sensores indefinidamente. La eficiencia en el proceso de recolección de energía (Energy Harvesting) es importante, es un factor determinante en el funcionamiento del circuito debido al coste de este tipo de sistemas (Adanaque Infante & López Aramburú).



En el artículo que presentan (Toma, Carandell, Carbonell, Vals, & Del Rio, 2018), presentan una manera de aplicación de (Energy Harvesting), en un captador de energía cinética no lineal para dispositivos de deriva oceánica cuyo diseño contiene un sistema giroscópico de recolección de energía de las olas, capaz de generar energía a partir de los movimientos de traslación y rotación inducido por las olas.

Las redes de sensores inalámbricos (WSN) es esencial en la adquisición de datos en lo que (López, Gabilondo, Eduard, & Francesc, 2018), muestran una tecnología de recolección de energía (Energy Harvesting) como posible solución y presentan un método novedoso en la captación de energía mecánica con el fin de mejorar el uso de las tecnologías de captación para aplicaciones industriales.

(Alemán), realiza un estudio donde se centra en la recolección de energía (Energy Harvesting), procedente de las fuentes mecánicas de vibración y profundiza el entendimiento del sistema de recolección de energía mecánica y los distintos bloques que forman parte del sistema ya que la recolección de energía se realiza a partir de dispositivos piezoeléctricos de transducción electromecánica encargados de realizar la conversión de energía mecánica a energía eléctrica.

## **A2. Planteamiento del problema**

La producción y el uso de la energía es una de las causas del cambio climático, ya que la energía es fundamental en el desarrollo de los procesos industriales, sociales y económicos. El incremento de la demanda y consumo de la energía y las dificultades que existen para satisfacer estas demandas con las fuentes de energías disponibles, aumentan la contaminación y el calentamiento global (Istas, 2019).

Debido al aumento de la población se requiere un estudio más a fondo para el desarrollo de nuevas fuentes de obtención de recursos no perjudiciales con el medio ambiente, dado que la creciente demanda de dispositivos electrónicos en los hogares y sectores industriales requiere de uso de fuentes energéticas contaminantes. Por ejemplo, las baterías usadas en estos dispositivos están constituidas por sustancias tóxicas como el Hg, Pb, Ni, Cd, además las baterías

tienen un tiempo de uso limitado por lo que deben ser reemplazados cada cierto tiempo, por lo tanto, llegan a convertirse en un contaminante perjudicial para el medio ambiente y la salud humana.

Existen un sin número de fuentes de energía que no son aprovechadas como la energía cinética, radiación electromagnética, radiofrecuencia, solar y térmica tanto en los procesos naturales como industriales, estas pequeñas cantidades de energía que se desperdician pueden acabar siendo suficientes para alimentar pequeños dispositivos eléctricos o electrónicos para uso personal e industrial.

La captura de la energía del medio ambiente y de procesos inherentes a la actividad humana debe estudiarse más a fondo, ya que en todas las transformaciones energéticas que ocurren en nuestro alrededor existe energía que se pierde y es estas pérdidas se disipa de una forma no aprovechable. (Acero & Jaime, 2018). Existen fuentes ambientales que no son aprovechadas en lugares donde el acceso a la red eléctrica es limitado o la entrada constante de un operario puede ser complicada y costosa (Rojas & Gómez).

### **A3. Justificación del trabajo**

Actualmente existe un incremento en la demanda energética debido a los avances tecnológicos, por ende, se tiende a buscar soluciones optimas, eficientes, de bajo costo y sistemas que no afecten el medio ambiente, al contrario, aprovechar las diversas fuentes de energía que puede ser utilizadas. (Rojas & Gómez). Las investigaciones en el campo de los sistemas Energy Harvesting han avanzado considerablemente, ya que estos dispositivos nos permiten realizar un proceso de transformación de energía, recuperándola, almacenándola y posteriormente reutilizándola.

Los países han aumentado el interés en los recursos energéticos renovables y en la invención de sistemas sostenibles con nuevas alternativas que sean amigables con el medio ambiente, como el aprovechamiento de la energía solar por celdas fotovoltaicas, la conversión de la energía eólica, la geotérmica, la biomasa, la mecánica, radiofrecuencia y cinética (Ismail & Rasli, 2013).

La energía de estos sistemas de recolección puede ser cosechada de una variedad de fuentes, como por ejemplo la captura de la energía residual de algunos fenómenos ambientales o de fuentes externas como procesos industriales o actividades humanas (Alok & Suman, 2012).

Ecuador actualmente es un país donde el sistema Energy Harvesting puede ser aprovechada a gran escala generando aplicaciones tanto en los sectores industriales como ambientales produciendo suficiente energía para alimentar pequeños dispositivos eléctricos o electrónicos, siendo así de gran importancia el estudio de estas tecnologías. Este trabajo se enfoca en realizar un diseño mediante una literatura técnica de los sistemas de recolección de energía (Energy Harvesters) para la carrera en Ingeniería en Electricidad (CIELE), para aprovechar las posibles fuentes de energía cinética del lugar y a través de una simulación computacional generar las herramientas necesarias para su estudio y desarrollo de nuevas investigaciones.

Por lo tanto, el sistema Energy Harvesting es un paso en el camino hacia un mundo sostenible. Las energías renovables limpias a gran escala son el futuro con energías que son amigables con el medio ambiente y así reduciendo las emisiones contaminantes (Acero & Jaime, 2018).

#### **A4. Alcance del trabajo**

En el presente trabajo se realizará una literatura técnica de los recolectores de energía (Energy Harvesting), como también investigaciones de las aplicaciones que se estén utilizando en la actualidad sobre el aprovechamiento de la energía cinética y su transformación a energía eléctrica, a partir del análisis de diferentes estudios y desarrollo tecnológicos que se han realizado hasta el momento sobre este sistema Energy Harvesting. De la misma manera se realizará un estudio de los parámetros físicos para la verificación de posibles fuentes para la recolección de energía cinética y su uso en cualesquiera dispositivos que no necesite una potencia de alimentación muy elevada.

Para el diseño se investigará los distintos esquemas que son utilizados para la captación de energía cinética necesaria para poner en funcionamiento el sistema

a desarrollar, de esta manera realizar una propuesta de implementación del sistema Energy Harvesting en las instalaciones de la carrera de Ingeniería en Electricidad y para validar la propuesta se usará el software Matlab-Simulink para modelar, simular y analizar resultados del modelo a desarrollar.

#### **A5. Viabilidad del trabajo**

La realización de este trabajo es una alternativa viable de generación ya que cuenta con la bibliografía correspondiente, acceso a información de modelos y metodología usando generadores piezoeléctricos y triboeléctricos para la recolección de energía eléctrica. Esta recolección se realiza en base a fuerzas causadas por vibraciones, viento y gotas de lluvia, de tal manera planteando una propuesta de implementación que sea aplicable en diferentes lugares, como una opción real en la generación de energía eléctrica limpia, aplicables en dispositivos eléctricos o electrónicos que requieran alimentación de baja potencia.

#### **A6. Objetivo General**

Diseñar un sistema (Energy Harvesting), mediante un modelo computacional para la recolección de energía cinética en los procesos realizados en la carrera de Electricidad.

#### **A7. Objetivos Específicos:**

- Describir las diferentes tecnologías de los sistemas Energy Harvesting y fuentes de recolección.
- Realizar un estudio de los parámetros físicos necesarios para la recolección de energía cinética a través del sistema Energy Harvesting.
- Diseñar una propuesta de implementación del sistema Energy Harvesting para la recolección de energía cinética.

# CAPÍTULO 1

## Fuentes y tecnologías del sistema Energy Harvesting

Del análisis de la literatura técnica de los sistemas de recolección de energía (Energy Harvesting), este capítulo inicia con una breve descripción del sistema de captación de energía, y a continuación se detalla las fuentes y tecnologías existentes hasta la actualidad para la cosecha de energía y esta es utilizable para la alimentación de pequeños sistemas eléctricos o electrónicos de baja potencia.

### 1.1 Descripción de la recolección de energética (Energy Harvesting).

Energy Harvesting es un proceso donde se aprovecha la energía residual presente en el ambiente para producir energía eléctrica y esta energía puede ser almacenada o utilizada para la alimentación de pequeños dispositivos eléctricos o electrónicos de bajo consumo o potencia. Por tanto, se aprovechan las distintas clases de energía del entorno para alimentar sistemas que pueden ser autónomos e inalámbricos (Acero & Jaume, 2017).

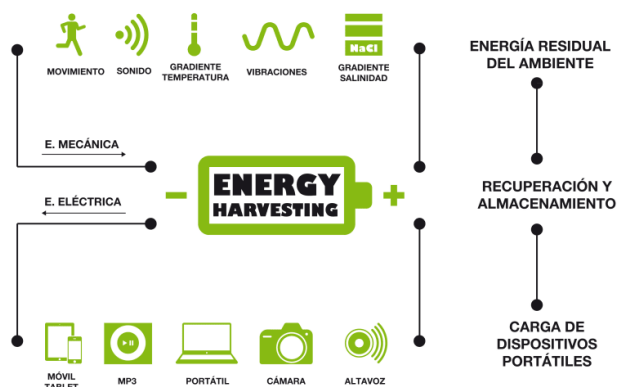


Figura 1 Energy Harvesting.

Autor: (Ricart, 2013).

La finalidad de este tipo de cosecha de energía del entorno ambiental es permitir que los dispositivos electrónicos se autoalimenten de la energía captada y almacenada. Los métodos de conversión de energía mecánica principalmente vibratoria y cinética en energía eléctrica, son la conversión piezoeléctrica, electromagnéticos, electrostáticos y magnetostrictivos basados en compuestos

magnetoeléctricos, así también como el uso de polímeros electroactivos (Niell & Erturk., 2017).

## 1.2 Estructura de un sistema recolector de energía (Energy Harvesting).

Los sistemas de captación de energía se forman de tres elementos principales, un recolector, un sistema de gestor de baja potencia y un sistema de almacenamiento.

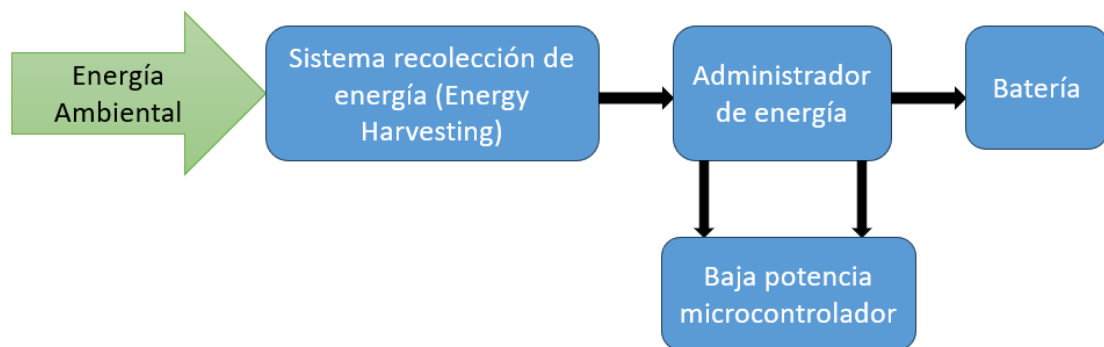


Figura 2 Diagrama de bloques del sistema de Energy Harvesting.

Fuente: Autor

En la Figura 2 observamos el proceso de funcionamiento inicial de la recolección de energía del entorno a través del dispositivo recolector, luego el gestor convierte la energía entrante para su posterior uso, por último, el sistema de almacenamiento guarda la energía cosechada y convertida para la alimentación de sistemas de baja potencia.

## 1.3 Fuentes de Recolección de Energía

Existen varias fuentes de energía donde el Energy Harvesting como se conoce es un sistema de recuperación de energía presente en el ambiente y la cual es aprovechada de fuentes de energía como térmica, solar, cinética, eólica, radiación electromagnética y esfuerzos mecánicos, en donde cada una de estas fuentes pueden proporcionar una cantidad útil de energía que pueden ser aprovechadas (Viswanath & Srikanth, 2017). La Tabla número 1, podemos observar las diferentes fuentes y potencias estimadas, donde el sistema de Energy Harvesting aprovecha la energía de estos recursos naturales de forma eficiente para alimentar dispositivos de baja potencia.

Tabla 1 Comparación de la potencia estimada de los diferentes Energy Harvesting.

Fuente	Potencia	Método
Solar	100mW/cm <sup>2</sup>	Panel solar
	56 mW	Combinación de una celda solar con una Rectenna
	400 mW	Panel solar de 3.75 X 2.5 in
	1.2mW/cm <sup>2</sup>	Chip con fotodiodos para implantes biomédicos.
Térmica	150 mW	ZigBee
	6 W	Seebeck Effect
	10μW/cm <sup>2</sup> 1mW/cm <sup>2</sup>	-
	100 mW	-
	5.71 mW	Modulo hibrido, piezoeléctrico y térmico. El módulo piezoeléctrico produce 0.21 mW.
	160 Kw h	En asfalto, en temporada de verano con 25-30 °C durante 8 h.
Mecánica	14.17 μW	Vibración de una persona corriendo durante 1h
	1.38 μW	Vibración a 200 Hz
	50 mW	Vibración simulada
	983 μW	-
	0.95 mW	Vibración de una persona caminado
	4.13 mW	Velocidad de movimiento 5 Km*h <sup>-1</sup>
	55 mW	Aspas eólicas de 0.025 m <sup>2</sup> con generador piezoeléctrico.
	0.3 W	Recolector de energía impulsado por agua y aire.
	2.1 mW	Prueba laboratorio con transductor piezoeléctrico para captar energía de la carretera.
	5 mW/ cm <sup>3</sup>	Velocidad de viento de 9 m/s
RF	5.5 μW	Con 902-928MHz a 15m
	60 μW	Con 674-680MHz a 4.1Km en Torre de telecomunicaciones.
	0.2nW/cm <sup>2</sup> - 1μW/cm <sup>2</sup>	Sensor inalámbrico RFID
	2 μW	Con 868MHz a27m
	240 nW/cm <sup>2</sup>	3G (2110-2170 MHz)
	460 nW/cm <sup>2</sup>	DTV (470-610 MHz)
	6 nW/cm <sup>2</sup>	WIFI (2400-2500 MHz)

Fuente: (Rubio, 2018).

### 1.3.1 Energía Solar.

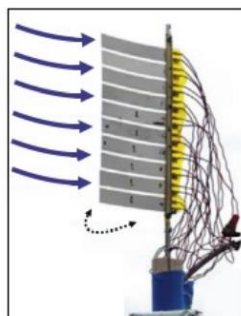
La energía solar, es el término que se utiliza para describir la energía que recibimos del sol y la utilización de los paneles solares es una forma de aprovecha

esta energía, también el calor térmico que genera los paneles solares es aprovechado con el sistema Energy Harvesting para alimentar sistemas de baja potencia (Solideo, 2019). Dando a conocer que la energía solar es fiable, inagotable, limpia, segura y no genera residuos

Para la implementación de este tipo de cosechador de energía a base de fuente solar es importante la ubicación y el clima donde se va a captar la energía solar. Por lo que (Chalasani & Conrad, 2014), en la Universidad de la California realizó un estudio para crear una red de nodos sensores recolectores de energía solar llamados Heliomotes, en lo que cada heliomote consta de un circuito recolector de energía solar. Este circuito es capaz de alimentar un nodo sensor, almacenar el exceso de energía en una batería recargable.

### 1.3.2 Energía eólica.

El viento es una fuente de energía sostenible y muy abundante que puede ser aprovechada para generar electricidad, ya que es un modelo energético limpio y sostenible, se trata de un tipo de energía cinética producida por el efecto de las corrientes de aire y esta energía la podemos convertir en electricidad de manera limpia que no contamina (Moragues & Alfredo, 2019),



*Figura 3 Bandera piezoeléctrica para aprovechar la energía eólica.*

*Fuente: (Orrego, y otros, 2017).*

En la siguiente Figura 3, observamos un sistema de Energy Harvesting implementado en una realización experimental donde se aprovecha las oscilaciones(aleteo) de una bandera con materiales piezoeléctricos, (PDVF) para recolectar la energía eólica, en la experimentación se trabajó con vientos controlados de 5 a 9m/s y 2.5 a 5.5m/s con una generación de potencia de 1-5mW y



0.1-0.4mW respectivamente. La longitud de la bandera para la velocidad 5 a 9m/s es de 60mm y para 2.5 a 4.5m/s es de 100mm (Orrego, y otros, 2017). Podemos saber que existen muchas maneras de aprovechar la energía eólica para la alimentación de sistemas eléctricos o electrónicos por medio del sistema Energy Harvesting.

### **1.3.3 Energía de Movimiento Mecánico/ Vibración.**

Una vibración mecánica es el movimiento de un cuerpo sólido alrededor de una posición de equilibrio, sin que se produzca desplazamiento de este. Los esfuerzos mecánicos se encuentran en la vibración y presión ya que estas son abundantes y no presentan limitaciones en sus aplicaciones, no tienen ningún tipo de problemas de ser utilizadas en la noche o en días nublados, también las fuentes de energía mecánica pueden ser estructuras vibrantes, maquinas, la presión en el suelo ejercida por un objeto en movimiento o una persona al caminar (Lee & Kwak, 2018)..

Un estudio realizado en buques de carga con la finalidad de generar energía para alimentar algunas áreas como oficinas, cocina y sistemas de navegación. La energía recolectada proviene de la deformación del material PZT causado por las frecuencias de vibración de la sala de máquinas del barco y por las frecuencias vibratorias generadas por las olas del mar en contacto con la superficie del casco del barco. Se desarrollo un prototipo que genera energía a través de la vibración de un motor eléctrico de 12V, en la cual se obtuvo una tensión máxima de 45.26V, con una corriente de 5.04mA, que corresponde a una potencia de 0.22861 W. para cumplir con la demanda de energía en las áreas propuestas el autor afirma que se necesita grandes cantidades de material piezoeléctrico que se deben instalar en áreas del barco con mayor frecuencia de vibración (Cunha, Alemida, Floriano, & Coutinho, 2017).

### **1.3.4 Energía de radiofrecuencia RF.**

La energía de Radio Frecuencia (RF) es considerando como una fuente viable de energía. Las rectennas son antenas rectificadoras para convertir las ondas electromagnéticas en corriente continua para alimentar sistemas incorporadas a la

red. (Collado & Georgiadis, 2016). La fuente de energía de las señales RF y de microondas del ambiente procedentes de diversos sistemas de comunicaciones inalámbricos como torres de telefonía móvil, redes Wi-Fi, esto se denomina energía “libre” y permite poder aprovechar la energía para aplicaciones como la carga inalámbrica de sistemas de baja potencia. (Parks & Smith, 2014).

En un estudio realizado presenta un sistema de captación de energía de radiofrecuencia (RF) basado en una antena espiral de Arquímedes de banda ultra ancha y un circuito multiplicador Cockcroft de media onda que opera en bandas de 800 MHz y 900 MHz. El prototipo en un ancho de banda de (0.1-6 GHz) muestra que es la potencia real disponibles en los brazos de la antena que se va a entregar al circuito de acondicionamiento. Se denomina que es de 3.19 dBm(480 $\mu$ W) en interiores y 1.86 dBm (1535 $\mu$ W) en exteriores, demostrando que ambos valores son suficientes para alimentar sensores de baja potencia, que generalmente consume menos de 30 $\mu$ W.

### **1.3.5 Energía Termoeléctrica.**

La fuente de energía termoeléctrica se basa en un principio llamado efecto Seebeck, este convierte la energía térmica en energía eléctrica que puede ser aprovechada. Este sistema consta de un generador termoeléctrico, son dispositivos de estado sólido que consta a su vez de varios termopares que están conectados en serie a una fuente de calor que podría ser un calentador de agua, un motor o un panel solar, donde un diferencial de temperatura genera una tensión utilizable. (Oliveira, Calderón, Andrade, Schaeffer, & Ando, 2016).

La energía térmica se extrae para obtener energía eléctrica y alimentar los dispositivos electrónicos. Por lo tanto, en el artículo, (Yu, Chen, WU, Tang, & Guoxing, 2018), presentan un convertidor elevador DC-DC sin batería para aplicaciones de recolección de energía termoeléctrica. Se diseño con una arquitectura progresiva y compartiendo inductores, solo se emplea un inductor fuera del chip, está fabricado en un proceso CMOS de 0.18 $\mu$ m, el chip puede arrancar en frio a 190mV y mantener el funcionamiento con voltaje de entrada mínimo de 50mV, se utiliza técnicas de conmutación de corriente zero (ZCS) y seguimiento del punto

de máxima potencia (MPPT) para mejorar la eficiencia máxima medida al 60%, y el voltaje de salida puede ser regulada en 1V a 1.6V.

### 1.3.6 Energía Humana.

El cuerpo humano es una fuente de energía, cada función vital o actividad que realiza se puede tomar como posible fuente energética. Existen varias actividades físicas humanas que se pueden aprovechar para cosechar energía, como el movimiento de los brazos, antebrazos, pies, piernas, rodilla y estos movimientos generan energía que puede ser capturada y aprovechada (Cadei, Dionisi, & Serpelloni, 2018).

Las actividades humanas mencionadas anteriormente son fuentes de energía cinética y térmica. Dormir puede producir aproximadamente 81 mW de potencia, mientras que el movimiento físico del cuerpo humano produce 1630 mW de potencia (Arian, 2021).

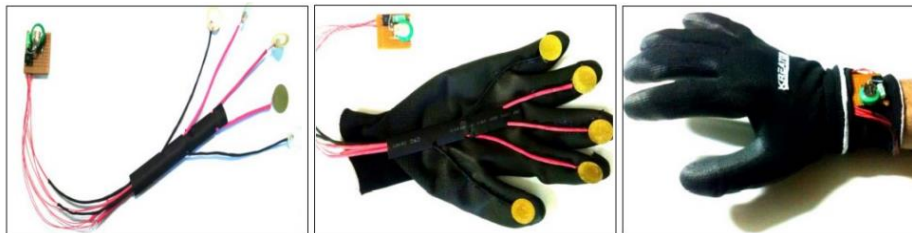


Figura 4 Transductor piezoeléctrico en guante.

Fuente: (Psoma, Tzanetis, & Tourlidaskis, 2017).

En la Figura 4, podemos observar un sistema de recolección de energía utilizando una parte del cuerpo humano como fuente, donde se presenta la construcción de un guante piezoeléctrico con material PVDF, que produce energía a partir de la fuerza que ejerce los dedos sobre una superficie plana (Psoma, Tzanetis, & Tourlidaskis, 2017).

## 1.4 Tipos de tecnologías de recolección energética (Energy Harvesting)

Hoy en día las tecnologías de recolección de energía (Energy Harvesting) ya son una realidad, porque ya se han desarrollado varias tecnologías de cosechadores de energía que son las siguientes:

Tabla 2 Las características de las tecnologías actuales de los Energy Harvesting.

Cosechadora	Físico/Químico Modo de funcionamiento	Densidad de Potencia	Eficiencia	Maduro/Emergente
Fotovoltaica	Efecto Fotovoltaico.	Al aire libre: $15 \text{ mW/cm}^2$ En el interior: $10 - 100 \mu\text{W/cm}^2$	40%	Maduro
Piezoeléctrico	Efecto piezoeléctrico	$330 \mu\text{W/cm}^3$ inserción de calzado	30%	Maduro
Electromagnético	Ley de Faraday	Humano: $4 \mu\text{W/cm}^3 @ \text{kHz}$ Industrial: $306 \mu\text{W/cm}^3 @ \text{kHz}$	67%	Maduro
Electrostática	Condensadores dependientes de las vibraciones.	$50 \text{ a } 100 \mu\text{W/cm}^3$	9.5-23.6%	Emergente
Piroeléctrico	Ciclo Olsen	$3.5 \mu\text{W/cm}^3$ a la tasa de temperatura de $85 \text{ }^\circ\text{C/s} @ 0.11 \text{ Hz}$	1-3.5%	Emergente
Termoeléctrico	Efecto Seebeck	Humano: $100 \mu\text{W/cm}^3$ Industrial: $100 \text{ mW/cm}^3$	10-15%	Maduro
Magnético	Leyes de Ampere, Maxwell y Faraday.	$1.8 \text{ mW/cm}^3$ con 400 A a 4 cm del conductor	0.1325%	Emergente
RF	Transmisores de radio omnipresentes.	<i>GSM</i> : $0.1 \mu\text{W/cm}^2$ y <i>WiFi</i> : $0.01 \mu\text{W/cm}^2$	50-70%	Maduro
Viento y agua	Ley de Faraday	$1.16 \text{ mW/cm}^3$ a la velocidad de 5 m/s	0.61-17.6%	Emergente
Acústico	Efecto Helmotz	$1.436 \text{ mW/cm}^2$ a 123 dB	0.012%	Emergente

Fuente: (Borja Pozo, 2018)

En la Tabla 2, podremos observar el estado de las tecnologías de los cosechadores mostrando sus parámetros característicos, funcionamiento, potencia, la eficiencia del sistema, estado del desarrollo de la tecnología y el tipo de señal que generan cada una de estas.

### 1.4.1 Cosecha fotovoltaica.

La tecnología de Energy Harvesting solar se basa en la captación fotovoltaica ya que convierten la luz solar o artificial en energía eléctrica utilizando el principio fotovoltaico. Tenemos el panel solar que es un dispositivo modular que se compone de un número de células en paralelo o en serie. Por lo tanto, se puede crear el tamaño para la generación de energía deseada y estas células funcionan tanto con luz solar o luz artificial, dependerá mucho de las condiciones climáticas pero la eficiencia está relacionada con los materiales que componen la célula. (Randall, Bharatula, Parera, & Buren, 2015).

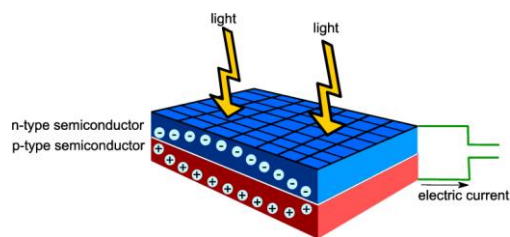


Figura 5 Energy Fotovoltaico.

Fuente: (ResearchGate, 2019).

Una célula solar es un diodo no polarizado que se expone a la luz solar, durante este proceso se crean pares de electrones-huecos libres. Los portadores minoritarios se difunden hacia la región de agotamiento, donde experimentan el campo incorporado que los arrastra hacia el lado de la unión. En condiciones de circuito abierto, la separación de portadores conduce a la acumulación de la tensión de circuito abierto ( $V_{oc}$ ) a través de la unión. Si la corriente es conectada sin resistencia a las regiones n y p, la corriente de cortocircuito fluirá para equilibrar el flujo de portadores minoritarios a través de la unión. De esta manera si se conecta una carga a la célula, la energía generada puede ser cosechada. (Borja Pozo, 2018).

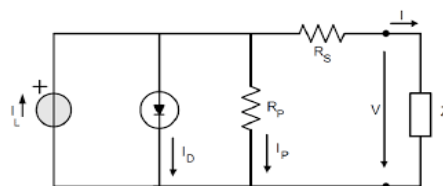


Figura 6 Circuito equivalente de una celda solar

Fuente: (ResearchGate, 2019).

En la siguiente Figura 6, podemos observar un circuito equivalente para un sistema fotovoltaico ideal, este circuito está conformado por una fuente de corriente conectada en paralelo con un diodo rectificador, también dos resistencias una en serie ( $R_s$ ) y la otra en paralelo ( $R_p$ ).

#### 1.4.2 Cosecha de energía cinética.

Estos son dispositivos que convierten la energía mecánica en energía eléctrica mediante transductores electromecánicos. Los mecanismos de transducción más comunes son la conversión piezoeléctrica y la electromecánica. (Cadei, Dionisi, & Serpelloni, 2018). La mayoría de los recolectores de energía cinética cosechan energía en un rango de decenas o cientos de micro vatios y su frecuencia de resonancia suelen ser decena o cientos de Hertz. En general, la energía que se puede recolectar mecánicamente está limitada por las fuentes móviles, los cosechadores cinéticos son sensibles a las frecuencias de accionamiento y solo pueden proporcionar una potencia máxima en una banda estrecha. (Borja Pozo, 2018). En la siguiente Tabla 3, se muestra una comparación de los cosechadores de vibración existentes.

Tabla 3 Comparación de distintas tecnologías de Energy de vibraciones.

	<b>Dispositivos piezoeléctricos</b>	<b>Dispositivos electromagnéticos</b>	<b>Dispositivos electrostáticos</b>
<b>Ventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Tensiones de salida elevadas</li> <li>- Altas capacitancias.</li> <li>- Sin necesidad de control</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Altas corrientes de salida.</li> <li>- Larga vida útil.</li> <li>- Robustez</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Altas tensiones de salida.</li> <li>- Sistemas de bajo costo.</li> <li>- Coeficiente de acoplamiento fácil y ajustable.</li> <li>- Coeficiente de acoplamiento elevados.</li> <li>- La reducción del tamaño aumenta las capacitancias.</li> </ul>
<b>Desventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Coeficiente de acoplamiento ligado a las propiedades del material.</li> <li>- Materiales costosos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Bajas tensiones de salida</li> <li>- Material costoso.</li> <li>-Baja eficiencia y frecuencias</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Bajas capacitancias.</li> <li>-Sin conversión mecánica-eléctrica directa.</li> <li>- Alto impacto de las capacitancias parasitas.</li> </ul>

Fuente: (Borja Pozo, 2018).

### 1.4.3 Cosecha de energía Piezoeléctrica.

Los recolectores de energía piezoeléctricos se basan en los elementos mecánicos de flexión, es decir vigas o membranas ya que estos permiten la resonancia a una frecuencia que va de decenas a cientos de Hz. (Shu & Lien, 2018). La vibración de un cuerpo rígido puede ser causada por varios factores tales como el desequilibrio de masa en un sistema, el desgarre y el desgaste de los materiales y esto pueden ocurrir en todos los sistemas dinámicos. El comportamiento característico es único en cada sistema y puede ser descrito por dos parámetros, como la constante de amortiguamiento y frecuencia natural. (Kim, Dugungji, & Wardle, 2019). El sistema de masa-resorte, se utiliza para estudiar las características dinámicas de un cuerpo vibratorio asociado a la recolección de energía. (Shu & Lien, 2018).

Los piezoeléctricos contienen dipolos que hacen que el material se polarice eléctricamente cuando se somete a una fuerza mecánica. El grado de polarización es proporcional a la tensión aplicada. Por el contrario, un campo eléctrico aplicado hace que los dipolos giren, lo que hace que el material se deforme. El efecto piezoeléctrico se encuentra en materiales monocristalinos (cuarzo), cerámicos, materiales finos (óxido de zinc pulverizado), materiales poliméricos (Jiménez, De Frutos, & Vázquez, 2015).

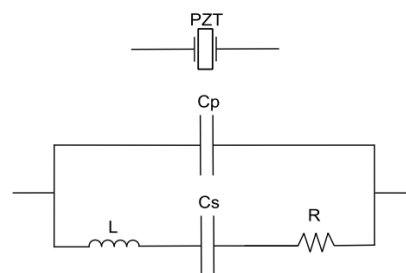


Figura 7 Circuito equivalente de cosechadora piezoeléctrica de cuarzo.

Fuente: (Jiménez, De Frutos, & Vázquez, 2015)

En la Figura 7, podemos observar un esquema del circuito equivalente de un cosechador de energía piezoeléctrica de cuarzo, donde se encuentra en serie un inductor (L), capacitor (Cs), resistencia (R) y otro capacitor (Cp) en paralelo con estas.

#### 1.4.4 Cosecha de energía electromagnética.

Los cosechadores electromagnéticos, se basan en una fuerza electromotriz inducida por un flujo magnético variable a través de una bobina conductora según la ley de Faraday. La fuente de flujo magnético se obtiene con un imán permanente. El movimiento de la masa sísmica unida a la bobina o el imán induce la variación del flujo magnético necesaria para generar una corriente en la bobina. (Khaligh, Zeng, & Zheng, 2017).

Cuando un conductor se mueve a través de un campo magnético, se induce una fuerza electromotriz entre los extremos del conductor. La tensión inducida en el conductor (V) es proporcional a la frecuencia del enlace del flujo magnético del circuito. El generador es una bobina de varias vueltas (N), y los imanes permanentes crean el campo magnético (Borja Pozo, 2018).

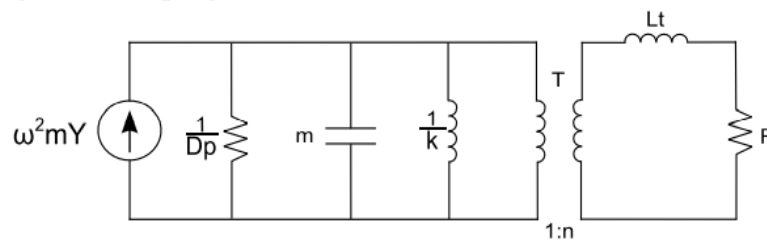


Figura 8 Circuito equivalente del cosechador de fuerza electromagnética.

Fuente: (Borja Pozo, 2018)

En la Figura 8, podemos observar la parte del circuito conectado al lado primario del transformador es la representación mecánica. La fuente de corriente representa el movimiento de energía, el condensador representa la masa, el inductor representa el resorte y la resistencia la amortiguación parásita. Los elementos conectados al secundario del transformador representan la parte eléctrica. El inductor representa la autoinducción de la bobina del dispositivo electromagnético (Borja Pozo, 2018).

#### 1.4.5 Cosecha de energía electrostática.

Los captadores electrostáticos consisten en un condensador variable cuyas dos placas están aisladas eléctricamente entre sí por el aire, el vacío o un aislante. Las vibraciones mecánicas externas hacen variar la separación entre las placas,



modificando la capacitancia. Para la captación de la energía las placas deben estar cargadas y las vibraciones mecánicas actúan contra la fuerza electrostática presentes en el dispositivo. De esta manera para un circuito de carga lineal, el movimiento del electrodo móvil puede generar una energía eléctrica solo si una tensión polariza el condensador. (Phu Le, Halvorsen, Sorasen, & Yeatman, 2016).

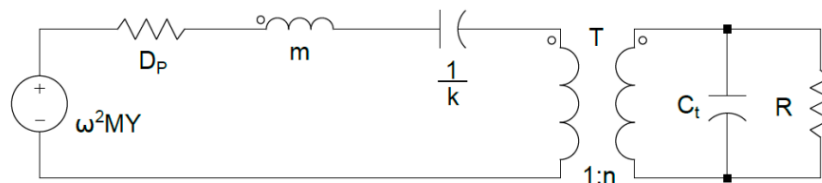


Figura 9 Circuito equivalente de un recolector de fuerza electrostática.

Fuente: (Borja, Garate, Araujo, & Ferreiro, 2019)..

La Figura 9, representa el modelo de un circuito equivalente para el sistema de cosecha mediante vibración con amortiguación electrostática. El circuito del lado primario del transformador modela el comportamiento mecánico del cosechador. La fuente de tensión representa la fuente de vibración, el condensador es la masa, el inductor representa el resorte y la resistencia el amortiguamiento parasito. Los elementos eléctricos del generador están en el lado secundario, donde el condensador modela la capacitancia terminal del material piezoeléctrico o del condensador móvil. (Borja Pozo, 2018).

#### 1.4.6 Cosecha de energía de Radiofrecuencia (RF).

Los cosechadores de radiofrecuencia (RF) obtienen la energía a través de RF y microondas inalámbrica. La radiación de RF de fondo emitida por los transmisores de radiodifusión, también las torres de telefonía móvil, las redes Wi-Fi o las redes inalámbricas de baja potencia (Lu, Wang, Niyato, Kim, & Han, 2014). Las ondas de radiofrecuencia incluyen frecuencias 3kHz a 300GHz. La potencia cosechada depende de la densidad de potencia incidente, de la distancia entre el transmisor y el receptor de igual manera de la eficiencia de la conversión de potencia y del tamaño de la antena cosechadora. (Porcarelli, y otros, 2015)

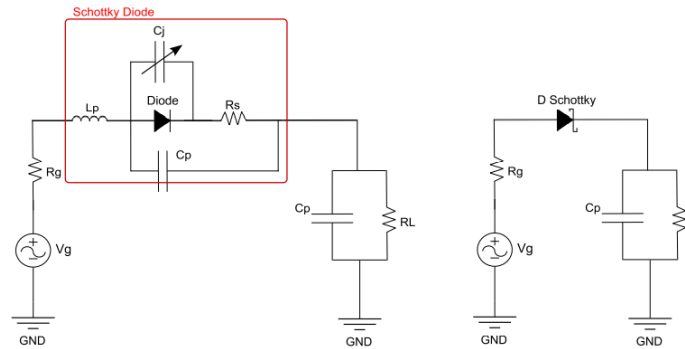


Figura 10 Circuito equivalente de un rectificador cargado.

Fuente: (Borja Pozo, 2018).

En la Figura 10, podemos observar el circuito equivalente de los dispositivos recolectores de RF, el cual está formado por el circuito recolector y un rectificador integrado. El circuito rectificador consiste en un único diodo llamado Schottky tiene la función de conmutación dinámica en el rango de GHz.

#### 1.4.7 Cosechador de energía Piroeléctrico.

El captador piroeléctrico es similar al efecto piezoeléctrico con otro tipo de comportamiento ya que convierte un cambio de temperatura en corriente eléctrica o tensión. La piroelectricidad requiere de entradas que varían en el tiempo y sufre de pequeñas salidas de potencia en aplicaciones de recolección de energía debido a sus bajas frecuencias de funcionamiento. Sin embargo, una ventaja que tienen los piroeléctricos sobre los termoeléctricos es que muchos materiales piroeléctricos son estables hasta 1200 °C o incluso más, lo que permite la recolección de energía de fuentes de alta temperatura y de ese modo aumenta su eficiencia. (Cuadras, Gasulla, & Ferrari, 2016)

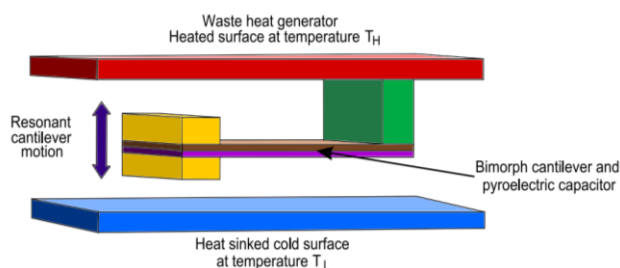


Figura 11 Cosechador de energía Piroeléctrico.

Fuente: (Borja, Garate, Araujo, & Ferreiro, 2019)

En la Figura 11, observamos un cosechador piroeléctrico con una estructura bimorfa en voladizo. La capa piroeléctrica descendente tiene un gran coeficiente de expansión térmica (TCE), mientras que la capa inferior de metal más gruesa está compuesta por un metal de bajo (TCE). La capa de metálica superior es gruesa (típicamente 10-50nm) que forma una película de metal continua sobre la capa dieléctrica de P(VDF-TrFE). Las capas metálicas bimorfas y de P(VDF-TrFE) suelen tener un grosor de 2-10  $\mu\text{m}$ . El proceso de la estructura en voladizo se calienta inicialmente a través del anclaje, haciendo que el voladizo se doble hacia la superficie inferior fría hundida por el calor, al entrar en contacto con la superficie fría, la estructura pierde rápidamente el calor y se dobla hacia la superficie superior caliente. Al entrar en contacto con la superficie superior, se calienta rápidamente y se dobla desde la superficie superior y vuelve a hacer contacto con la superficie inferior y así este proceso se repite indefinidamente. (Borja Pozo, 2018).

Podemos decir que un buen contacto térmico con las superficies calientes y frías es clave para transferir cantidades sustanciales de energía térmica, por lo tanto, cuanto más rápido se pueda hacer circular la temperatura de un lado a otro del dispositivo es más eficiente el proceso de conversión de energía y mayor la cantidad de energía eléctrica generada.

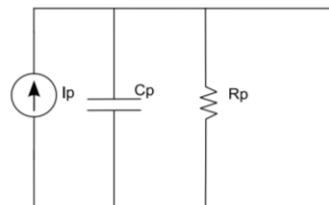


Figura 12 Circuito equivalente de un cosechador de energía Piroeléctrico.

Fuente: (Borja Pozo, 2018).

En la Figura 12, podemos observar el circuito equivalente de un cosechador de energía piroeléctrico, donde el circuito es simple, con una fuente ( $I_p$ ), capacitor ( $C_p$ ) y una resistencia ( $R_p$ ).

#### 1.4.8 Cosecha de energía termoeléctrica.

Los cosechadores termoeléctricos se utilizan en entornos que naturalmente contienen gradientes de temperatura. Esta tecnología de recolección convierte la

energía térmica en energía eléctrica basándose en el efecto Seebeck, la diferencia de temperatura proporciona el potencial para la conversión eficiente de la energía, mientras que el flujo de calor proporciona la potencia. (Kiziroglou, Wrigth, Toh, & Mitcheson, 2017). Los cosechadores termoeléctricos son dispositivos de estado sólido sin piezas móviles estas son silenciosos, fiables, escalables y fáciles de instalar, por lo que son adecuados para la aplicación de recolección de energía (Borja Pozo, 2018).

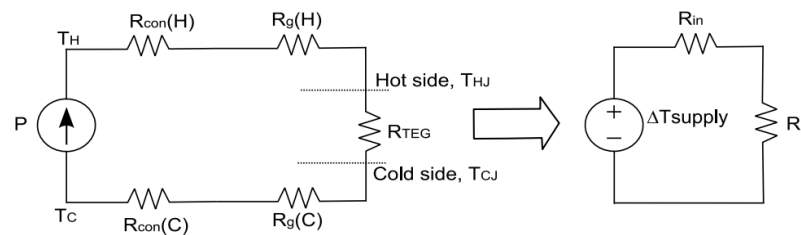


Figura 13 Se muestra un modelo de circuito equivalente del cosechador de energía Termoeléctrica.

Fuente: (Borja Pozo, 2018).

En la Figura 13, podemos observar un circuito equivalente del cosechador de energía Termoeléctrica donde:  $\Delta T_{supply}$  es la diferencia de temperatura entre la fuente de calor y lado frío,  $R_{in}$  es la resistencia térmica combinada del lado frío y caliente y  $R_L$  es la resistencia térmica de la termoeléctrica.

#### 1.4.9 Cosecha de energía del viento (Eólica).

El cosechador de flujo del viento se compone de una parte mecánica y otra eléctrica. El sistema convierte la energía eólica en energía mecánica para luego ser convertida en electromagnética y finalmente en energía eléctrica. Los generadores eólicos electromagnéticos son fiables y tienen una pequeña amortiguación mecánica e imanes adecuados para operar con bajas velocidades del viento (Navavi & Lihong).

Cuando el flujo de aire pasa por la estructura del sistema, la fuerza del flujo de aire empuja las palas y hace girar el eje. Los imanes que se unen a las palas generan un flujo magnético variable con el movimiento. El campo magnético es cosechado por los inductores del generador que dan como resultado la energía eléctrica.

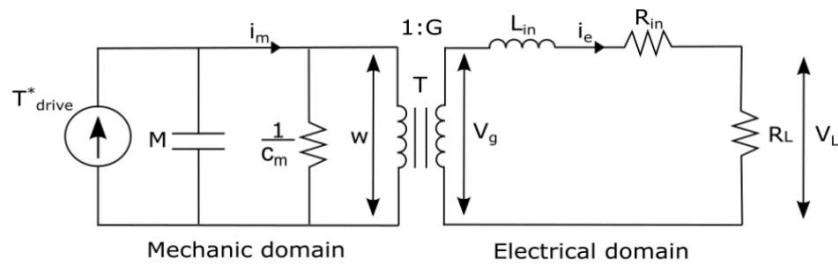


Figura 14 Esquema del circuito equivalente del micro cosechador de viento.

Fuente: (Borja, Garate, Araujo, & Ferreiro, 2019).

En la Figura 14, nos muestra el circuito equivalente de un micro cosechador de energía de viento, este se divide en dos partes que son mecánicas y eléctrica. En el primer dominio se encuentran los parámetros respectivos del circuito mecánico. La unión de los dos dominios se representa con un transformador, en el segundo dominio representa la inductancia eléctrica y resistencias.

#### 1.4.10 Cosechador de energía del flujo de agua.

La principal diferencia entre los cosechadores de flujo de agua y los de flujo del viento es la fuente de donde se obtiene la energía. Los principios de funcionamiento de la física cambian a partir de la aerodinámica a la hidráulica, el agua que fluye contiene energía cinética debido a la fluctuación de la presión del agua por lo que este tipo de cosechador de energía convierte la energía cinética hidráulica en energía eléctrica mediante conversiones mecánicas y electromagnéticas. (Borja, Garate, Araujo, & Ferreiro, 2019)

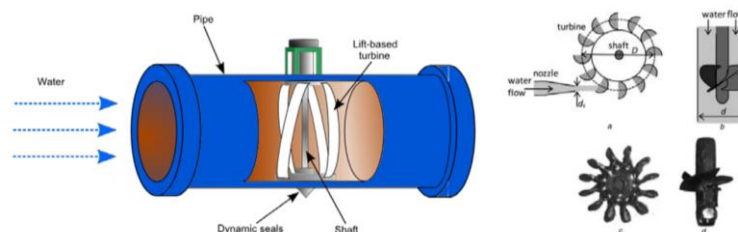


Figura 15 Cosechador de energía de flujos de agua y diseños habituales de los generadores.

Fuente: (Borja, Garate, Araujo, & Ferreiro, 2019).

En la Figura 15, observamos el diseño del generador de la cosechadora que son utilizados en generadores a gran escala, pero difícil de implementar en cosechadores a pequeña escala.

Los entornos de flujo de agua ofrecen un alto potencial para la recolección de energía. En su investigación (Zhao, y otros, 2020), realiza un estudio donde demuestran que los nano generadores triboeléctricos (TENG) pueden recolectar de manera eficiente la energía micromecánica residual de la atmósfera ambiental, como la energía hidrodinámica de las gotas de lluvia. Se diseña un modo TENG independiente de dos electrodos (BF-TENG) para recolectar energía hidrodinámica de las gotas de lluvia con respecto a la implementación en techos, terrazas y techos de invernaderos.

#### 1.4.11 Cosechador de energía de ruido acústico.

Este tipo de cosechador de energía es nuevo en el mundo, ya que se trata de un medio de recolección de energía a través del sonido. El ruido es una de las fuentes contaminantes en las ciudades que pueden ser utilizadas como fuente para generar energía eléctrica y alimentar dispositivos eléctricos o electrónicos de baja potencia. (Bhat, 2018).

Tabla 4 Ejemplos de potencias cosechadas con diferentes fuentes de sonido.

Fuentes de sonido	V (mV)	I ( $\mu$ A)	P( $\mu$ W)	Intensidad de sonido (dB)
Ruidos de cocina	123	12	1.476	60
Gritos de niños	230	20	4.600	76
Mecánica	280	26	7.280	88
Grupo de personas	340	31	10.540	90
Hombre gritando	880	86	75.680	120
Mujeres gritando	380	33	12.540	94
Motocicleta	390	36	14.040	92
Bocina de auto	620	58	35.960	109
Bocina de camión	1050	94	98.700	128

Fuente: (Bhat, 2018)

La Tabla 4, nos muestra diferentes niveles de sonido que son generadas por cada fuente de ruido acústico y también los diferentes valores de potencia, voltaje y corriente.

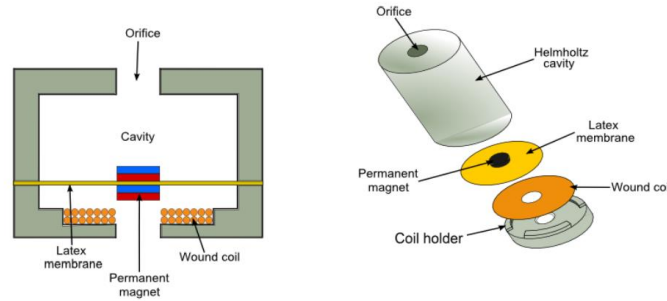


Figura 16 Cosechador de energía acústico.

Fuente: (Borja Pozo, 2018).

En la Figura 16, observamos un diseño mecánico del cosechador de energía que este compuesto por el orificio de inserción de la señal acústica y la cavidad del sistema, el generador consiste en un imán de núcleo insertado en una fina membrana de material elástico, debajo de esta membrana se coloca el inductor del generador, dando a conocer un resonador de Helmholtz. (Borja Pozo, 2018).

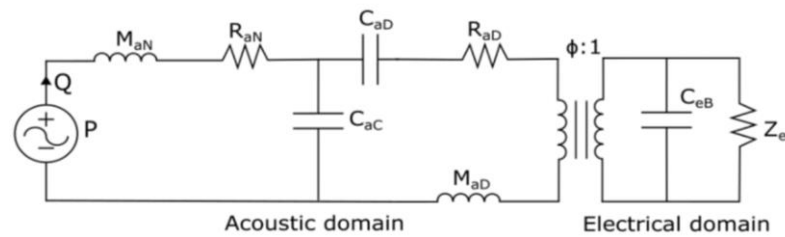


Figura 17 Circuito equivalente del cosechador acústico.

Fuente: (Borja Pozo, 2018).

En la Figura 29, nos muestra el circuito equivalente del cosechador de energía acústico, este se divide en dos partes o dominios que son acústico y eléctrico. En el primer dominio se encuentran los valores de la masa  $M_{aN}$ , cavidad acústica  $C_{aD}$ , amortiguador  $R_{aN}$  y la resistencia a la radiación básicamente parámetros mecánicos. La unión de los dos dominios se representa con un transformador, en el segundo dominio representa la capacitancia eléctrica bloqueada  $C_{eB}$  y resistencia de pérdida dieléctrica  $Z_{eL}$ . Tenemos que conectar una carga eléctrica en paralelo para obtener energía eléctrica.

# CAPÍTULO 2

## Estudio de los parámetros físicos.

A continuación, en el presente capítulo se realiza un estudio de los parámetros físicos necesarios para la búsqueda de fuentes de energía existentes en el lugar. Con base al estudio realizado, se clasificarán las fuentes útiles donde podamos realizar la recolección de energía cinética a través del sistema Energy Harvesting, que promuevan al desarrollo sustentable y sostenible de generación eléctrica, la misma que debe ser limpia y amigable con el medio ambiente.

### 2.1 Metodología.

Para desarrollar el estudio acorde con lo establecido en el segundo objetivo específico y tener los resultados esperados, se realiza un estudio de los parámetros físicos y detallar las fuentes existentes para la recolección de energía cinética. En la Figura 16, podemos observar que se ha seguido la siguiente metodología en la cual consta los pasos descritos.

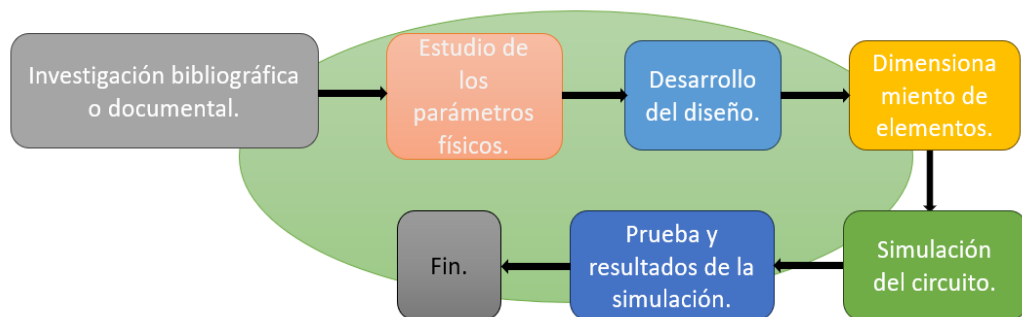


Figura 18 Metodología.

Fuente: Autor.

- La Investigación realizada, fue de una búsqueda bibliográfica ya que toda la información fue encontrada en libros, revistas, artículos científicos y trabajos de grado realizadas en años anteriores, lo cual permitió conocer sobre las diferentes tecnologías de los sistemas Energy Harvesting y fuentes de recolección.
- Para el desarrollo de esta investigación fue importante efectuar un estudio de los parámetros físicos del lugar, lo cual nos permitió obtener



la información necesaria para el análisis. El estudio realizado se basó principalmente en la búsqueda de fuentes de energía, para la realización del diseño de recolección de energía cinética a través del sistema Energy Harvesting.

- Para plantear una propuesta de un diseño es necesario la recopilación de información de modelos propuestos en diferentes referencias bibliográficas, los cuales serán la base fundamental para obtener las fórmulas que relacionan todos los parámetros que interactúan al momento de convertir energía cinética a energía eléctrica a través del sistema Energy Harvesting.
- Para validar la propuesta se usará el software Matlab-Simulink para modelar, simular y analizar resultados del modelo a desarrollar.

## 2.2 Lugar de estudio.

El entorno físico para la determinación de las diferentes fuentes de energía existentes y el aprovechamiento de estas, se realizó en el edificio de la Carrera de Electricidad de la Universidad Técnica del Norte, de la ciudad de Ibarra, provincia de Imbabura.



*Figura 19 Edificio de la Carrera de Electricidad.*

*Fuente: Autor.*

## 2.3 Fuentes de energía existentes en el edificio de la Carrera de Electricidad.

Con el estudio realizado de los parámetros físicos que tiene como origen en la Universidad Técnica del Norte, en el edificio de la Carrera de Ingeniería en Electricidad, se detallan las siguientes fuentes existentes.

### 2.3.1 Generador termo solar.

El sistema de generación termo solar mediante disco reflector parabólico permite aportar al desarrollo de sistemas que generen electricidad con el aprovechamiento de la energía solar, ya que es una de las fuentes inagotables. El sistema consiste en una implementación automática que es guiado hacia los rayos solares para aprovechar de mejor manera la energía solar y utilizarla para generar energía térmica, fotovoltaica y consecuentemente energía eléctrica, en la Figura 21 podremos observar el sistema instalado (Pérez., 2016).



Figura 20 Generador termo solar.

Fuente: Autor.

En la Tabla 5, observamos las características físicas y el funcionamiento del sistema de generación termo solar.

Tabla 5 Características generales del generador termo solar.

<b>Características Físicas</b>	
Diámetro del disco parabólico.	4m
Altura de las columnas de soporte	2.28m
Movilidad proporcionada por el eje rotatorio del disco parabólico.	60° de ambos lados.
<b>Características de funcionamiento.</b>	
Voltaje entregado por el motor Stirling en vacío.	12V
Irradiancia de operación.	1.162 W/m <sup>2</sup>
Temperatura de operación.	347 °C

Fuente: (Pérez., 2016).

Para la recolección de energía térmica generada por el sistema termo solar que se encuentra en el edificio de la carrera de Electricidad, se aplica la tecnología piroeléctrica, como ya hemos mencionado anteriormente la cosechadora

piroeléctrica es una de las tecnologías muy estables y permite la recolección de energía térmica para luego convertir este cambio de temperatura en corriente.

La tecnología piroeléctrica es la indicada para la cosecha de energía, ya que el generador termo solar opera a una temperatura alta de 347 °C, por lo tanto, esta tecnología tiene una eficiencia de un 20- 40% en este rango de temperaturas, a medida que la temperatura aumente la eficiencia también será mayor.

### 2.3.2 Paneles solares.

Sistema fotovoltaico integrado a la red eléctrica, la instalación es de 520 Wp el cual consta de 2 paneles fotovoltaicos, contando cada uno de ellos con una potencia de 260 Wp (Cruceira, 2019).



*Figura 21 Paneles Solares.*

*Fuente: Autor.*

Los valores generados por los módulos fotovoltaicos registrado durante el día cuando existía radiación solar, el voltaje es de 34,8 Vcc, el mínimo 33,95 Vcc, la corriente con un valor máximo de 22,17 A, el mínimo 4,77 A y la potencia generada con un valor máximo de 779,40 W, el mínimo es de 161,94 W (Cruceira, 2019). En la Figura 21, observamos los paneles fotovoltaicos instalados en el edificio de la carrera de Electricidad son una fuente de cosecha de energía térmica ya que los módulos fotovoltaicos estos fabricados en silicio, un material semiconductor que cambia sus propiedades a medida que lo hace la temperatura ambiente, de acuerdo con las características de los paneles solares instalados actualmente resisten una temperatura ambiente de 25 °C, sin embargo (Carbonell, 2022), menciona que los

paneles solares están pensados para adaptarse a un amplio rango de temperatura que van desde  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta  $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

De acuerdo con el dato de temperatura la tecnología apropiada para la cosecha de esta energía es con la termoeléctrica TECs ya que se fabrican para rangos de temperatura de operación no mayores a  $127^{\circ}\text{C}$ , mientras que los valores de temperatura son de  $85^{\circ}\text{C}$  o menores. En una investigación (Dalola, y otros, 2019), nos dice que la eficiencia a temperaturas relativamente bajas se debe a que están optimizados para emitir el calor excesivo al ambiente y por lo tanto pueden utilizarse en los rangos de temperatura de interés para esta fuente de energía térmica.

### **2.3.3 Laboratorio computacional.**

En el edificio de la Carrera de Electricidad se encuentra el laboratorio de Automatización, donde podremos encontrar 8 computadoras que son utilizados por los estudiantes de la carrera y son posibles fuentes de recolección de energía.



*Figura 22 Laboratorio Computacional.*

*Fuente: Autor.*

En la Figura 23, observamos el laboratorio de automatización, donde las computadoras después de 10 a 15 minutos de uso tienden a aumentar su temperatura de acuerdo con el tiempo y uso del sistema, la temperatura en reposo de las computadoras es de  $24^{\circ}\text{C}$  a  $38^{\circ}\text{C}$ , la temperatura normal de  $42^{\circ}\text{C}$  a  $70^{\circ}\text{C}$  y la temperatura máxima que puede llegar a tener es de  $72^{\circ}\text{C}$  a  $74^{\circ}\text{C}$  (Xataka, 2022).

De acuerdo con los datos de temperatura la tecnología que se puede aplicar es la termoeléctrica ya que se utilizara el calor de las computadoras como fuente de calentamiento ya que esta tecnología puede aprovechar desde la mínima de 24°C y la máxima de 74°C.

#### 2.3.4 Ruido acústico.

Hoy en día, vivimos en un mundo ruidoso y la energía acústica es una fuente de energía ambiental, tal como sucede en el edificio de la Carrera en Electricidad, ruidos que son provocados por estudiantes, docentes, visitantes que entran y salen del edificio también por automotores que circulan cerca del edificio. En la Tabla 6, podremos observar las posibles fuentes de sonido existentes en el edificio de la Carrera de Electricidad.

Tabla 6 Posibles fuentes de sonido.

FUENTE DE SONIDO	INTENSIDAD DE SONIDO (DB)
Grupo de personas	90
Hombre gritando	120
Mujer gritando	94
Motocicleta	92
Bocina de auto	109

Fuente: (Bhat, 2018)

Para la recolección de energía del sonido se debe realizar un resonador de Helmholtz y se puede utilizar la tecnología piezoeléctrica y electromagnética, así como (Bhat, 2018), en su investigación utilizó una película de PVDF porque tiene un coeficiente piezoeléctrico bajo y en una sola unidad la potencia recolectada fue de 0,38  $\mu$ W con 100dB de excitación, pero si se utiliza varias unidades la potencia recolectada aumentaría. En otra investigación (Yuan, Cao, Luo, & Chou, 2019), realiza un recolector de energía basado en el resonador de Helmholtz y proponen un dispositivo híbrido que integran los enfoques de conversión piezoeléctrico y electromagnéticos, el paso de aire en el dispositivo AEH se diseñó específicamente para minimizar la influencia de amortiguación del aire y la potencia recolectada fue de 49 $\mu$ W de la parte piezoeléctrica y de 3,16 $\mu$ W de la parte electromagnética a una fuerza de excitación de 130dB.

### 2.3.5 Generador eólico de baja potencia.

Generador de flujo axial con eje vertical, nos muestra que es una de las tecnologías de generación eólica, que para su implementación es necesario tener conocimiento de las condiciones geográficas y ambientales. Se realiza el estudio para aplicaciones de baja potencia ya que el aerogenerador de eje vertical es capaz de funcionar en condiciones de viento limitado, además el adaptar un generador eléctrico de flujo axial que es capaz de arrancar en cualquier dirección y empezar a generar a bajas velocidades (Potosí, 2021).



Figura 23 Generador eólico de baja potencia.

Fuente: Autor.

En la Tabla 7, podemos observar las características físicas y de funcionamiento del generador eólico de baja potencia.

Tabla 7 Características del generador eólico de baja potencia.

PARAMETROS	VALOR
Generador eléctrico.	Flujo axial
Dimisiones	1mx1m
Voltaje	24V
Numero de fases.	1
Numero de bobinas.	8
Numero de polos.	8
Configuración.	Un estator y doble rotor.
Estator.	1 estator fijo
Rotor.	Doble disco de imanes móviles.
Turbina eólica.	Turbina Thorus
Velocidad de viento para su operación.	2 – 9 m/s
Velocidad mínima/ máxima de operación.	29 – 129 rpm

Fuente: (Potosí, 2021)

El generador puede operar con el recurso eólico disponible, relacionado con la velocidad angular, entregando voltajes que llegan hasta 25V y con corrientes que alcanzan los 7A.

### 2.3.6 Sistema de micro generación eólica.

Es un sistema de micro generación eólica para la generación de electricidad con la utilización de recursos naturales renovables, este sistema está integrado por un micro generador de 250 Wp, que transforma el recurso eólico en energía eléctrica, un regulador de carga eólico el cual permite establecer un voltaje de funcionamiento de los equipos, un sistema de almacenamiento o batería que cumple la función de estabilizar el sistema y los inversores los cuales permiten la integración a la red, ya que estos se acoplan a los parámetros de frecuencia y voltaje de la red eléctrica (Melo, 2019).



*Figura 24 Sistema de micro generación eólica.*

*Fuente: Autor.*

Las características eléctricas del aerogenerador cuando funciona con el recurso eólico disponible muestran que el voltaje útil oscila entre 14,87V y 15,23V respectivamente con corrientes de 5,59A y 6,12 A y la potencia de 84,29 W y 91,53 W.

La recolección de energía eólica se basa en el movimiento generado por el viento para aplicar compresión sobre los piezoeléctricos, tecnología que se puede usar para el aprovechamiento de energía. A medida que va aumenta la velocidad



del viento, la potencia de salida de la cosechadora aumenta. Así que esta tecnología puede usarse para el generador eólico de baja potencia y sistemas de micro generación eólica instaladas en el edificio de la Carrera de Electricidad.

### **2.3.7 Extractores.**

Los extractores que se encuentran instalados en el edificio de la Carrera en Electricidad, como se puede observar en la figura 38, tienen una hélice con un número determinado de palas o alabes como también se conoce, están instaladas dentro de una carcasa, que a su vez esta insertada en el eje de un motor eléctrico que las hace girar y tiene como función ventilar, eliminar humos y olores acumulados en las aulas.



*Figura 25 Extractores.*

*Fuente: Autor.*

Los extractores instalados en las aulas del edificio de la Carrera de Electricidad tienen una potencia de 200W, una velocidad de 1360rpm y produce un ruido medio de 35db, por lo cual se considera que son una fuente de energía, donde podemos aprovechar la energía cinética con la tecnología piezoeléctrica.

### **2.3.8 Pisadas Humanas.**

La generación de energía a partir de las pisadas humanas conlleva a un estudio de esta, es decir cuanta energía cinética se es posible obtener de ella. Por lo tanto (Chandi, 2022), desarrollo una cerámica piezoeléctrica para la recolección de energía del tránsito peatonal, el estudio es elaborado en el edificio de la carrera de Electricidad, se realiza un conteo de la entrada y salida de estudiantes, docentes



y visitantes en intervalos de hora, registrando el flujo peatonal de 7 horas diarias y durante 4 días.



Figura 26 Edificio de la carrera de Electricidad.

Fuente: Autor.

En la Tabla 8, podemos observar el conteo del flujo peatonal diario y total que se realizó durante 4 días.

Tabla 8 Transito de estudiantes, docentes y visitantes.

Fracción horaria de conteo	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
Antes de 14:00 pm	65	54	47	82
14:00 pm - 15:00 pm	95	125	99	56
15:00 pm – 16:00 pm	70	93	136	109
16:00 pm – 17:00 pm	105	118	208	187
17:00 pm – 18:00 pm	115	83	130	183
18:00 pm – 19:00 pm	87	97	95	87
19:00 pm – 20:00 pm	123	107	60	45
20:00 pm – 21:00 pm	90	80	55	15
<b>Total, de salidas de peatones día.</b>	<b>750</b>	<b>757</b>	<b>830</b>	<b>764</b>

Fuente: (Chandi, 2022).

Se determina el número de personas que salen eh ingresan del edificio de la Carrera de Electricidad, lo cual se optó por hacer un promedio de la masa de hombres y mujeres, se tomó la medición de 3 personas para la recolección de energía mecánica que generan al momento de caminar y convertirlo en energía eléctrica renovable, obteniéndose los siguientes resultados que se establece en la Tabla 9.

Tabla 9 Resultados de la energía mecánica.

	Masa (kg)	Energía Cinética (J)	Energía Potencial (J)	Energía Potencial Gravitatoria (J)	Energía Mecánica (J)
<b>Persona 1</b>	82.7	5.97	0.0084	14.59	20.56
<b>Persona 2</b>	78.4	6.59	0.0012	13.83	20.43
<b>Persona 3</b>	67.4	6.52	0.00054	11.89	18.41

Fuente: (Chandi, 2022).

La tecnología que utilizó para generar energía eléctrica a través de las pisadas humanas es la piezoeléctrica y la cantidad de energía eléctrica renovable que genero el diseño de la baldosa piezoeléctrica son con respecto a los resultados de los valores de la energía mecánica, donde 20.56 J genero de 290 Wh a 330 Wh, 20.43 J genero 270 Wh a 280 Wh y 18.41 genero de 199 Wh a 220 Wh (Chandi, 2022).

### 2.3.9 Gotas de lluvia.

Una de las fuentes de energía que se puede aprovechar son las gotas de lluvias en el edificio de la carrera de Electricidad que se encuentra en la Universidad Técnica del Norte, ubicada en la Provincia de Imbabura, cantón Ibarra.

La lluvia es un fenómeno atmosférico muy común que consiste en la caída de partículas líquidas de agua en formas de gota de diámetro mayor a 0,5 milímetros, producto de la condensación y enfriamiento del vapor de agua en lo alto de la atmosfera (Uriarte, 2020). La etapa invernal en la Provincia de Imbabura es aproximadamente de 7 meses, donde las lluvias son muy frecuentes y en el resto de los meses existen lluvias casuales. En siguiente figura 27, podemos observar el promedio de lluvias durante todo el año en la ciudad de Ibarra, donde el mes con mas lluvias es en Abril y el mes con menos lluvias en Agosto.

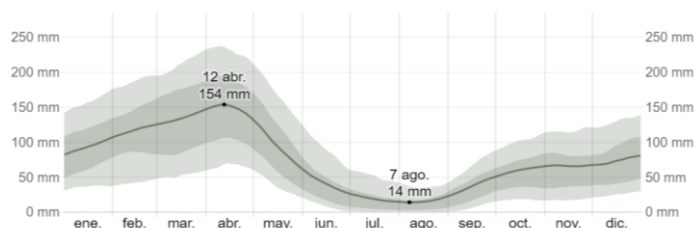


Figura 27 Promedio de lluvias en Ibarra.

*Fuente: (Service, 2022).*

De acuerdo con el estudio de (Service, 2022), la mayoría del tiempo del año existen lluvias, por lo cual es una buena fuente de energía. Las tecnologías que pueden usarse para esta recolección son la piezoeléctrica y triboeléctricas o a su vez nano generadores híbridos que es la combinación de ambos efectos triboeléctrico-piezoeléctrico (TPNG), con el objetivo de mejorar la eficiencia de conversión de energía resultante de la integración de diferentes mecanismos de recolección de energía.

Las gotas de lluvia suelen transportar dos tipos de energía, la energía cinética a medida que caen y la energía electrostática generada durante la electrificación con el aire. Por lo tanto (Chil, Hsiao, Wu, & Wang, 2019), en su investigación nos muestra que usando la tecnología triboeléctrica se puede recolectar la energía de las gotas de lluvia, a medida que la precipitación aumenta de 28.8mm a 125mm, la generación de Voltaje aumento de 40V a 850V, también se obtuvo de 15 $\mu$ A a 150 $\mu$ A y una potencia de 0,35 $\mu$ W a 19,53 $\mu$ W.

#### **2.4 Tecnología para usarse en la recolección de energía cinética.**

Los dispositivos más conocidos para la cosecha de energía cinética son el piezoeléctrico, electromagnéticos y los dispositivos electroestáticos. Los dispositivos electromagnéticos son los transductores más eficientes debido a que se han desarrollado motores, generadores eléctricos de diversas potencias y tamaños a lo largo de los años, el inconveniente de esta tecnología tiende a ser pesados, voluminosos y están sujetos a mayor desgaste. Por otro lado, los dispositivos piezoeléctricos se han convertido en uno de los más importantes, debido a la estructura simple del generador piezoeléctrico y su facilidad de incorporación en otros dispositivos y por últimos los dispositivos electroestáticos que convierten la energía cinética a energía eléctrica a través del efecto triboeléctrico, este efecto ocurre cuando se crean y acumulan cargas opuestas en la superficie de dos objetos en contacto.

De acuerdo con las fuentes encontradas para la recolección de energía cinética en el edificio de la cerrera de Electricidad, la tecnología que se usarán para realizar la propuesta serán los dispositivo piezoeléctricos y triboeléctricos.

### 2.4.1 Materiales piezoeléctricos y triboeléctricos

Existen varios tipos de elementos naturales y dopados denominados sustratos, estos son usados dentro del sistema piezoeléctrico y triboeléctrico para el desarrollo de generadores eléctricos, estos elementos se pueden clasificar en aislantes o semiconductores, en la siguiente Tabla 10, se puede observar los elementos comúnmente utilizados en las tecnologías mencionadas. La selección del material apropiados se define de acuerdo con la eficiencia de conversion, tipo de material, aplicación, disponibilidad y costo.

Tabla 10 Materiales usados dentro del sistema piezoeléctrico y triboeléctrico.

<b>Materiales</b>	
<b>Piezoeléctrico</b>	<b>Triboeléctrico</b>
<p><b>Aislantes:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cristales de cuarzo.</li> <li>• PZT: Cerámica piezoeléctrica.</li> <li>• BTO: Fibra de Cerámica.</li> <li>• Nitruro de boro hexagonal.</li> </ul>	<p><b>Materiales positivos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nylon.</li> <li>• Piel Humana.</li> </ul>
<p><b>Semiconductores:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ZnO: oxido de Zinc.</li> <li>• GaN: Nitruro de Galio.</li> <li>• AlN: Nitruro de Aluminio.</li> <li>• Dichalcogenuros de metales de transición (TMDS)</li> </ul>	<p><b>Materiales negativos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• PTFE: Politetrafluoroetileno o teflón.</li> <li>• PFA: Copolímero de tetrafluoretileno.</li> <li>• PDMS: Polidimetilsiloxano.</li> </ul>

*Fuente: (Han, Lee, Lin, Sang Woo, & Jung, 2019)*

Para el planteamiento de un modelo matemático es necesario el análisis de la literatura técnica de modelos propuestos, los cuales serán la base fundamental para obtener las fórmulas que relaciones todos los parámetros que interactúan al momento de convertir la energía mecánica a energía eléctrica con los dispositivos

seleccionados a través del sistema Energy Harvesting, los parámetros que relacionan el funcionamiento de este efecto se detallan a continuación.

## 2.5 Parámetros para el modelado del sistema Energy Harvesting

El modelo planteado para este proyecto se centra en el convertidor DC-DC para la cosecha de la energía. A su vez, los parámetros que definen el funcionamiento de esta etapa dependen de la energía producida por el generador en voltaje, corriente y en la energía que debe entregar hacia la etapa de almacenamiento, es decir, el voltaje y corriente de carga de la batería.

### 2.5.1 Determinación de parámetros del convertidor Buck

La regulación de voltaje realizada por el convertidor DC-DC tipo Buck está condicionada a los parámetros de los componentes electrónicos que conforman su circuito y de las características de la regulación como voltaje y corriente de entrada, voltaje y corriente de salida, voltaje de rizado, corriente de rizado, frecuencia de trabajo y ciclo de trabajo. La Tabla 11 muestra los parámetros considerados para el diseño del convertidor, estableciendo algunos valores de acuerdo con los criterios de diseño sugeridos por (Texas).

Tabla 11 Parámetros de Diseño

Parámetros de diseño	Descripción	Valor	Unidad
<b>V<sub>in</sub></b>	Voltaje de entrada	Voltaje del generador	V
<b>I<sub>in</sub></b>	Corriente de entrada	Corriente del generador	A
<b>V<sub>out</sub></b>	Voltaje de salida	Voltaje de carga	V
<b>I<sub>out</sub></b>	Corriente de salida	Corriente de carga	A
<b>D</b>	Ciclo de trabajo	----	%
<b>C<sub>in</sub></b>	Capacitancia de entrada	----	F
<b>C<sub>out</sub></b>	Capacitancia de salida	----	F
<b>L</b>	Inductancia	----	H
<b>f<sub>s</sub></b>	Frecuencia de trabajo	150	KHz
<b>n</b>	Eficiencia	0,9	
<b>ΔIL %</b>	Corriente de rizado	20%	
<b>ΔVo%</b>	Voltaje de rizado	0,20%	

Fuente: (Texas)

Para el caso del voltaje y la corriente de entrada, esta será acorde a las características del generador utilizado. Por otro lado, el voltaje de salida estará

sujeto al voltaje de carga de la batería. La corriente de salida máxima depende de la eficiencia del convertidor y esta representara la máxima corriente con la que se puede cargar la batería. Para calcularla se usa la siguiente ecuación 1:

$$I_{out} = \frac{V_{in} \times I_{in}}{V_{out}} \times \eta \quad (1)$$

Para el ciclo de trabajo se empleó la ecuación 2:

$$D = \frac{V_{out}}{V_{in} \times \eta} \times 100 \quad (2)$$

La capacitancia de la salida es determinada en función al porcentaje de voltaje y corriente de rizado establecido en los parámetros de diseño y se calcula por medio de la ecuación 3.

$$C_{out} = \frac{\Delta I l}{8 \times f_s \times \Delta V_o} \quad (3)$$

Y la inductancia se calcula en función de los voltajes de entrada y salida, la corriente de rizado y la frecuencia de trabajo con la ecuación 4:

$$L = \frac{V_{out} \times (V_{in} - V_{out})}{\Delta I l \times f_s \times V_{in}} \quad (4)$$

## 2.5.2 Determinación de parámetros para el almacenamiento de energía

El funcionamiento adecuado del sistema planteado depende de la determinación de los parámetros óptimos para la elección y uso de la batería. Los principales parámetros para considerar son los siguientes:

- Voltaje de carga
- Corriente de carga
- Capacidad de la batería
- Voltaje de salida

Para el voltaje de salida, se optó por emplear una salida genérica de 12V, la cual se entregará hacia una carga y a un regulador de 5V. El motivo para usar este voltaje es porque el sistema está pensado para alimentar dispositivos de corriente continua como pueden ser luminarias, pequeños dispositivos de baja potencia e inversores, los cuales trabajan a 12V, mientras que la salida de 5V se puede emplear para cargadores, alimentación de Reuters, entre otros.

El voltaje de carga usualmente empleado para la carga de baterías de 12V es de 14.4V, se debe sumar a este voltaje la caída del diodo, obteniendo entonces la siguiente ecuación 5:

$$V_{Carga} = 14.4V + V_{Diodo} \quad (5)$$

La corriente de carga en este caso dependerá de la corriente que pueda suministrar los generadores y será la suma de todas las corrientes entregadas y se calcula con la ecuación 6.

$$I_{Total} = I_{Piezo} + I_{Tribos} \quad (6)$$

Es importante destacar que las baterías no pueden ser conectadas directamente a voltaje para su carga, debido a que estas poseen una curva característica de voltaje y corriente que depende de que tan cargadas se encuentran. Para solucionar de forma sencilla este problema, se usa una resistencia de balance la cual es calculada por la ecuación 7:

$$R_{Balance} = \frac{V_{Carga} - V_{batería}}{I_{Carga}} \quad (7)$$

Siendo el voltaje de batería aquel que presenta la batería cuando esta se encuentra descargada.

La capacidad de la batería dependerá del tiempo que se desea mantener el suministro energético de forma continua. Este se calcula de la siguiente forma con la ecuación 8:

$$\text{Capacidad (Ah)} = I_{\text{carga}_{\text{max}}} \times h \quad (8)$$

Donde la corriente de carga máxima corresponde a la mayor carga a conectar y h representa el tiempo de uso continuo.

### 2.5.3 Determinación de parámetros del consumo energético

El consumo energético es la corriente que consumirá el sistema en modo de funcionamiento normal. Es decir, cuando se conectan las cargas al sistema. Cuando no hay cargas conectadas, la energía de los generadores se destina únicamente a cargar la batería. En el caso contrario, es la batería la que suministra la energía a la carga por lo que el consumo energético permitirá definir la capacidad de la batería de acuerdo con la ecuación 1.

El consumo energético planteado para el proyecto es de 10 A.

### 2.5.4 Determinación de parámetros del aprovechamiento de energía cinética

La energía cinética es una de las principales fuentes limpias que existe a nuestro alrededor, ya que esta energía se produce por el movimiento de objetos y los principales factores que influyen en la energía cinética son la masa y la velocidad por lo cual, las fuentes seleccionadas en el edificio de la Carrera de Ingeniería Eléctrica son aptos para el aprovechamiento de la energía cinética y los siguientes parámetros relacionados para dicho cálculo se detallan a continuación.

La energía cinética rotacional en el caso de la fuente de los aerogeneradores se determina en función del momento de inercia y la velocidad angular y se calcula con la siguiente ecuación.

$$E_r = \frac{1}{2} * I * \omega^2 \quad (9)$$



Donde  $I$  es el momento de inercia y  $W^2$  representa la velocidad angular en rad/s.

Para realizar el cálculo del momento de inercia se realiza con la siguiente ecuación.

$$I = \frac{1}{3} * m * L^2 \quad (10)$$

Donde  $m$  es la masa y  $L$  la longitud del objeto a calcular.

La energía cinética de traslación en el caso de las fuentes de viento y gotas de lluvia, los factores que determinan la energía cinética son la masa y velocidad mediante la siguiente ecuación:

$$Ec = \frac{1}{2} * m * v^2 \quad (11)$$

Donde  $m$  es la masa del objeto en kg y  $v$  representa la velocidad de traslación en m/s.

Una vez concluido este capítulo con el estudio realizado de los parámetros físicos en la Universidad Técnica del Norte, en el edificio de la Carrera de Ingeniería en Electricidad, en la siguiente Tabla 12 se detallan las siguientes fuentes existentes y la tecnología que puede ser aplicada para la cosecha de energía respectivamente.

*Tabla 12 Fuentes encontradas y tecnología a aplicarse*

<b>FUENTE</b>	<b>TECNOLOGÍA</b>
Generador termo solar	Piroeléctrica
Paneles solares	Termoeléctrica
Laboratorio computacional	Termoeléctrica
Ruido acústico	Piezoeléctrico
Generador eólico de baja potencia	Piezoeléctrico
Sistema de micro generación eólica	Piezoeléctrico
Extractores	Piezoeléctrico
Pisadas humanas	Piezoeléctrico
Gotas de lluvia.	Triboeléctrico.

*Fuente: Autor.*

De las fuentes encontradas seleccionamos las que nos aporta con la energía cinética tales como generadores eólicos, extractores, pisadas humanas y gotas de lluvia, que van a ser aprovechadas para la cosecha de energía con la tecnología piezoeléctrica y triboeléctrica.

## **CAPÍTULO 3**

### **Propuesta y simulación del sistema Energy Harvesting.**

En este capítulo se presenta la propuesta de sistema Energy Harvesting, planteada para la recolección de la energía cinética producida por los generadores piezoeléctricos y triboeléctricos. Se detalla el software utilizado, las simplificaciones y cálculos matemáticos aplicados al modelamiento eléctrico y el análisis del sistema resultante a través de simulaciones.

#### **3.1 Software para el desarrollo de simulaciones**

Para comprobar que el sistema propuesto funcione de forma adecuada, se hace uso de una serie de herramientas de software para la simulación de modelos matemáticos y eléctricos. Las herramientas utilizadas en el desarrollo de este proyecto se detallan a continuación.

##### **3.1.1 Matlab**

MATLAB es una plataforma de programación y cálculo numérico utilizada para el análisis de datos, desarrollar algoritmos y crear modelos (MathWorks, s.f.).

##### **3.1.2 Simulink**

SIMULINK es una extensión especial de MATLAB que sirve para simular el comportamiento de los sistemas dinámicos, sistemas lineales y no lineales, modelos en tiempo continuo, tiempo discreto y sistemas híbridos (MathWorks, s.f.).

##### **3.1.3 Proteus 8**

Proteus es una de aplicaciones más didácticas para ejecución de proyectos de creación de equipos electrónicos en todas las fases: diseño del esquema electrónico, programación del software, construcción de placas de circuito impreso y simulación mixto analógico y digital de todo el circuito (Hubor, 2015).

## 3.2 Diseño del sistema Energy Harvesting

El sistema Energy Harvesting planteado corresponde a un sistema aislado de generación, almacenamiento y suministro de energía basado en generadores piezoeléctricos y triboeléctricos. En este sistema, la energía de los generadores se entrega a un regulador para cargar una batería, la cual se dimensiona para suplir las necesidades de voltaje, corriente y tiempo de uso de las cargas a conectar. El sistema está pensado para aprovechar de manera eficiente la energía de los generadores, empleando controladores DC-DC para las etapas de regulación buscando disminuir las pérdidas por disipación de calor.

### 3.2.1 Esquema del proyecto

El esquema del proyecto consta de cuatro etapas principales las cuales se pueden observar en la Figura 28.

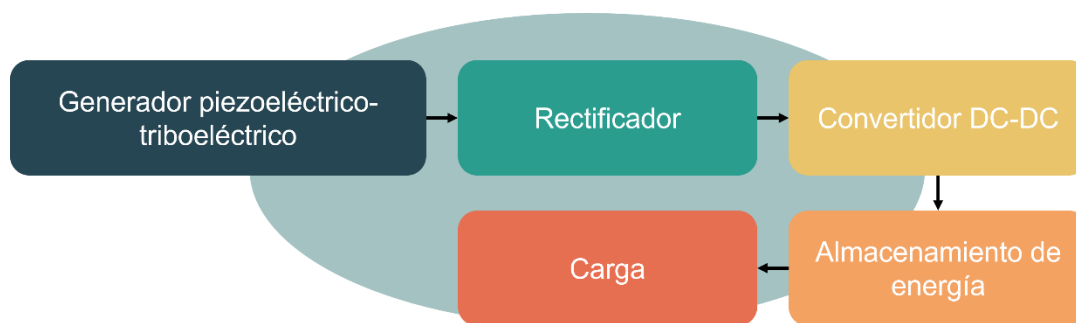


Figura.28 Etapas del sistema de generación de energía piezoeléctrica y triboeléctrica

Fuente: Autor.

### 3.2.2 Elemento generador

El elemento generador utilizado en este trabajo busca aprovechar la energía cinética producida por vibraciones, fuerzas producidas por el viento y la lluvia. Para ello se planteó utilizar en el diseño generadores piezoeléctricos los cuales aprovechan la energía del viento y los aerogeneradores a través del impacto de este sobre una superficie y los triboeléctricos aprovechan el impacto de las gotas de lluvia. La Tabla 13, se presenta las características de estos generadores obtenidas de sus respectivas hojas de datos, siendo los puntos más destacables el voltaje y corriente generada por unidad de fuerza.

Tabla 13 Características generales de los generadores piezoeléctricos y triboeléctrico.

### Características de los Generadores

<b>Piezoeléctrico Impacto de viento:</b>	<b>Piezoeléctrico Impacto de Aerogenerador:</b>	<b>Triboeléctrico Impacto de lluvia:</b>
-Voltaje de generación de entrada: 23.2V. -Corriente de generación 9.0376 mA. -Construcción tipo cantiléver. -Capacitancia de entrada 22 uF.	-Voltaje de generación de entrada: 4V entre 29-129RPM. -Corriente de generación 10 mA. -Construcción tipo cantiléver. -Capacitancia de entrada 22 uF.	-Voltaje de generación: 525V a 104ml/s (con lluvia). -Corriente de generación 125 uA a 104ml/s (con lluvia). -Capacitancia de entrada 1uF.
<b>Fuente:</b> (Sotelo Uribe, 2017)	<b>Fuente:</b> (Caller Guzman & Mallma Trinidad, 2019)	<b>Fuente:</b> (Ying, Yung, Wu, & Lin, 2019)

Fuente: Autor.

### 3.2.3 Rectificador

Un punto importante en el uso de generadores piezoeléctricos y triboeléctricos es que la energía generada es en corriente alterna (AC). Para que esta pueda ser aprovechada por el sistema es necesario una etapa de rectificación que convierta la energía a corriente directa (DC) y para ello se emplea un rectificador de onda completa. La conexión del rectificador con el generador se puede observar en la Figura 29.

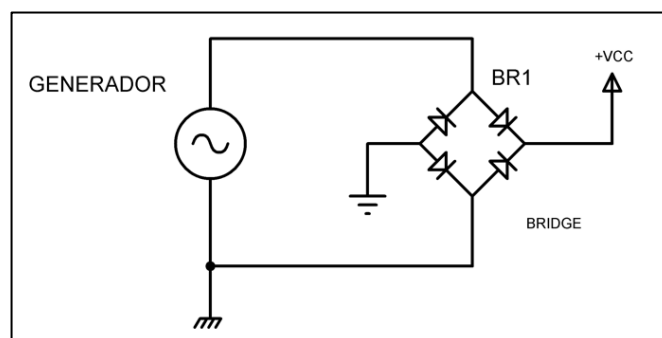


Figura 29 Rectificador de onda completa y conexión con el generador.

Fuente el autor

### 3.2.4 Convertidor DC-DC Buck

Para la regulación de la energía generada se empleó un convertidor DC-DC del tipo Buck el cual tiene la característica de que la regulación se realiza en la línea negativa. Esto tiene ventaja directa en la eficiencia del regulador debido a que el componente activo encargado de la acción de interruptor posee una menor resistencia en saturación, reduciendo la disipación de energía en calor. La regulación utiliza un transistor MOSFET de canal N y su esquema teórico se puede observar en la Figura 30. Otra ventaja de utilizar un convertidor DC-DC es que la reducción de voltaje no desperdicia energía, sino que esta se convierte en corriente por medio de un factor de eficiencia.

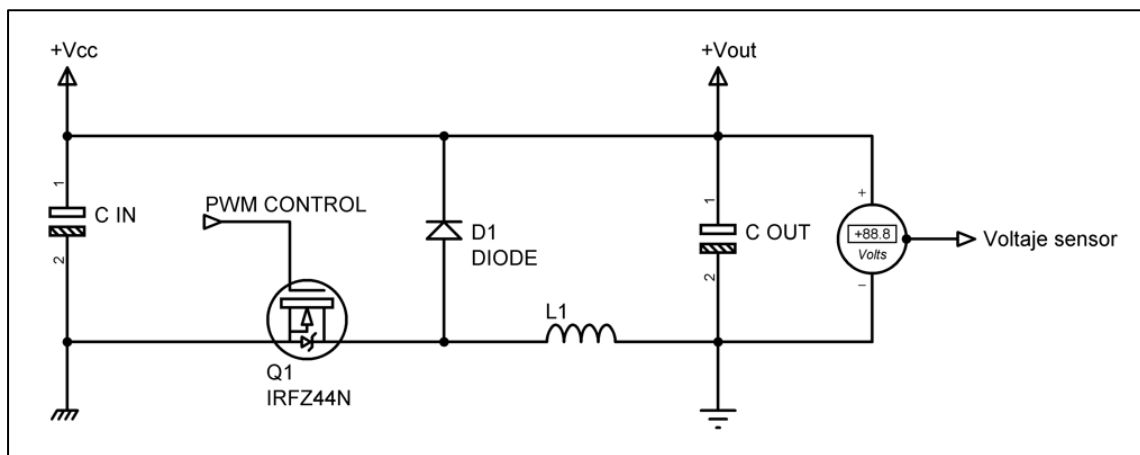


Figura 30 Regulador DC-DC Buck de línea negativa.

Fuente: Autor.

Es importante tomar en cuenta que el control asociado a este controlador se alimenta desde la entrada de voltaje, implicando un consumo adicional de corriente acorde al controlador a utilizar. Por otro lado, la referencia de voltaje de salida debe ser acoplada con un amplificador operacional en configuración diferencial, esto debido a que la tierra de entrada y la tierra de salida difieren. En la Figura 31 se puede observar la configuración adecuada para la medición del voltaje de salida del convertidor para el proceso de control.

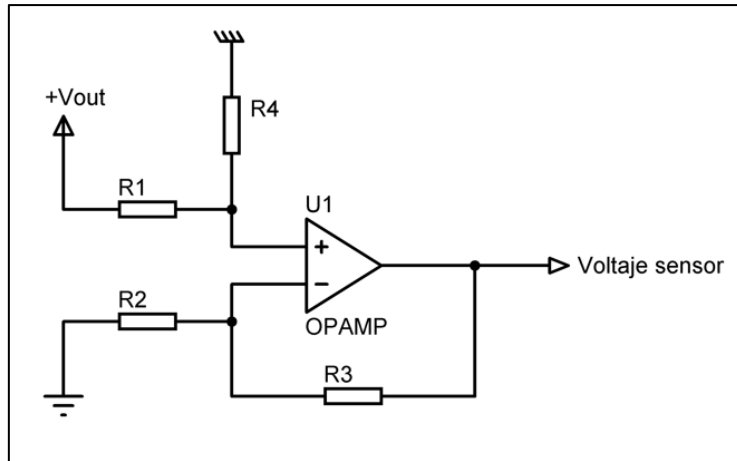


Figura 31 Amplificador diferencial para la medición de voltaje en la salida del convertidor.

Fuente: Autor.

### 3.2.5 Almacenamiento de energía

La energía producida por los generadores se almacena en el acumulador o batería. El principal motivo por el cual los generadores no se conectan directamente a la carga es debido a la baja corriente de salida que estos producen siendo en el orden de los miliamperios y microamperios, lo cual resulta insuficientes para algunas cargas. La batería cumple el rol de suplir de forma sostenida la corriente adecuada a las cargas de salida mientras que esta se carga lentamente con la energía producida por los generadores. El tiempo de carga dependerá de la capacidad de la batería y la corriente de salida del convertidor.

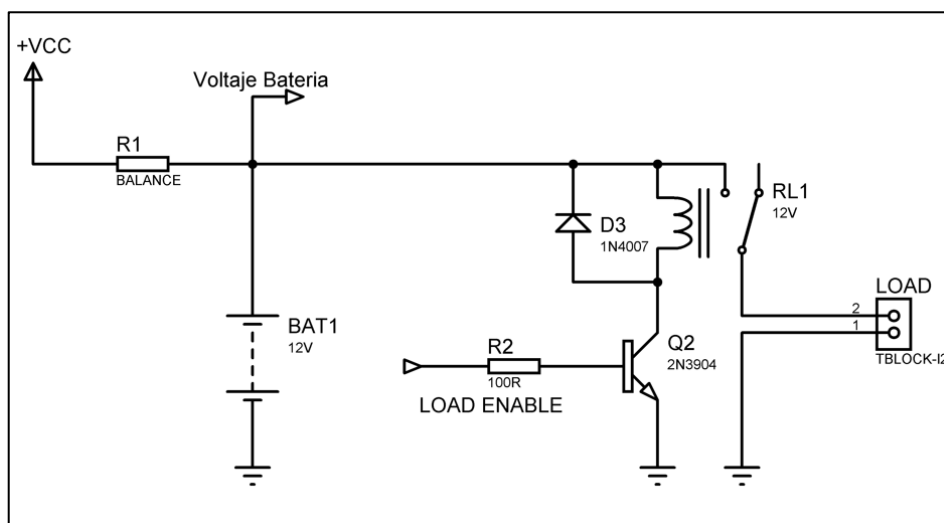


Figura 32 Control de conexión a la carga del sistema.

Fuente: Autor

Para garantizar la integridad de la batería frente a bajo voltaje, se planteó el circuito de la Figura 32, el cual por medio de un relé permite desconectar la carga cuando el voltaje de la batería caiga bajo un valor establecido. El controlador para esta etapa puede ser diseñado empleando amplificadores operacionales en configuración de histéresis o microcontroladores y dependerá de las características de la batería y de los requerimientos planteados del diseñador que implementará el proyecto físicamente.

### 3.3 Simulación de los parámetros del modelo

Esta simulación plantea la base teórica de cuanta energía se puede obtener a partir de los parámetros de los generadores piezoeléctrico y triboeléctrico. Se contempla un caso particular de 90% de eficiencia para el convertidor debido a que este porcentaje es el comúnmente utilizado para este tipo de dispositivos y un voltaje final de 14.9V el cual se obtiene a través de la ecuación 5 reemplazando el valor del diodo por 0.5V y empleando un voltaje típico de carga de 14.4V. En la Tabla 14 se muestran los parámetros utilizados para los diferentes casos:

Tabla 14 Parámetros de los generadores para la respectiva simulación.

<b>Generador Piezoeléctrico/Impacto de viento.</b>	<b>Generador Piezoeléctrico/Impacto aerogenerador.</b>	<b>Generador Triboeléctrico/Impacto de gotas de lluvia.</b>
-Coeficiente de voltaje piezoeléctrico: 23.2V	-Coeficiente de voltaje piezoeléctrico: 4V entre 29 a 129RPM	-Coeficiente de voltaje triboeléctrico: 525V
-Corriente $\frac{9.0376 \text{ mA} \times m}{N \times 10^{-6}}$	-Corriente $\frac{10\text{mA} \times m}{N \times 10^{-6}}$	-Corriente: $\frac{125\text{uA} \times m}{N \times 10^{-6}}$
-250 módulos en paralelo	-30 módulos en paralelo -5 módulos en serie.	-250 módulos en paralelo

Fuente: Autor.

Se destaca el uso de módulos en paralelo-serie debido a la insuficiente corriente-voltaje que estos producen de forma individual. Empleando los parámetros de la Tabla 14, se planteó la simulación en Simulink que determinara la corriente teórica máxima obtenida para estos generadores.



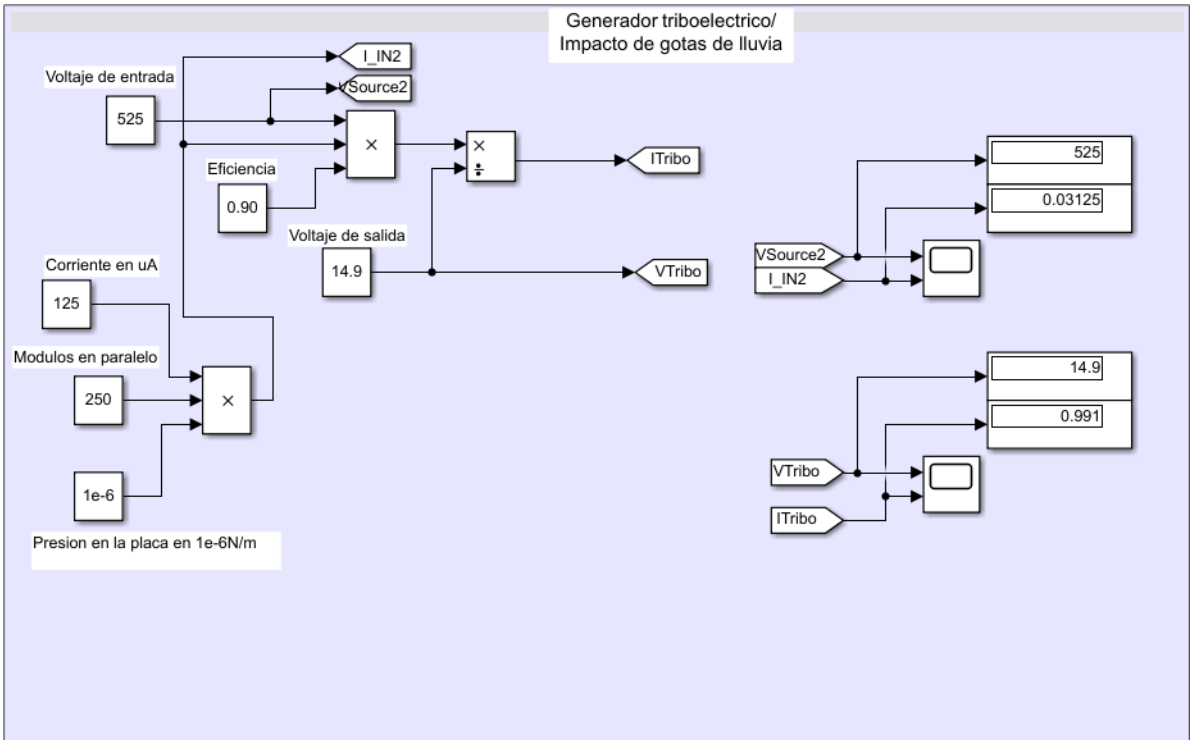


Figura 33 Simulación de parámetros para el generador triboeléctrico.

Fuente: Autor

De acuerdo con la simulación presentada en la Figura 33, podemos observar que el generador Triboeléctrico genera una corriente máxima esperada de 0.991A.

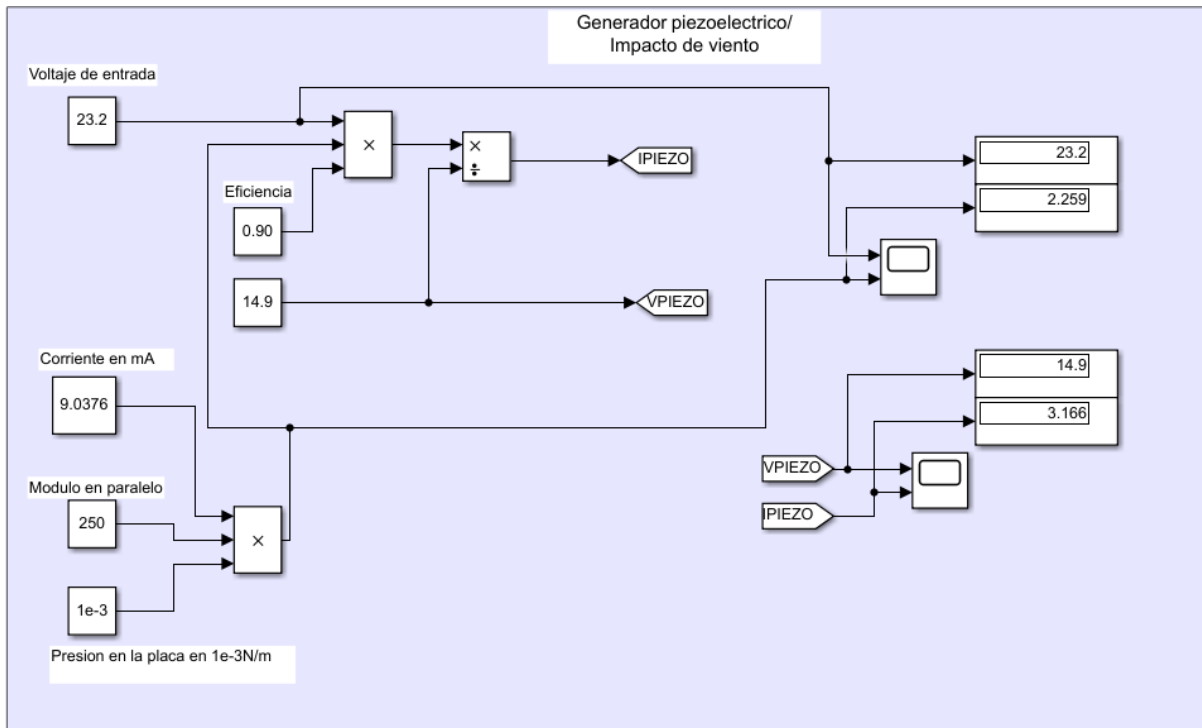


Figura 34 Simulación de parámetros para el generador piezoeléctrico, Impacto de viento.

Fuente: Autor

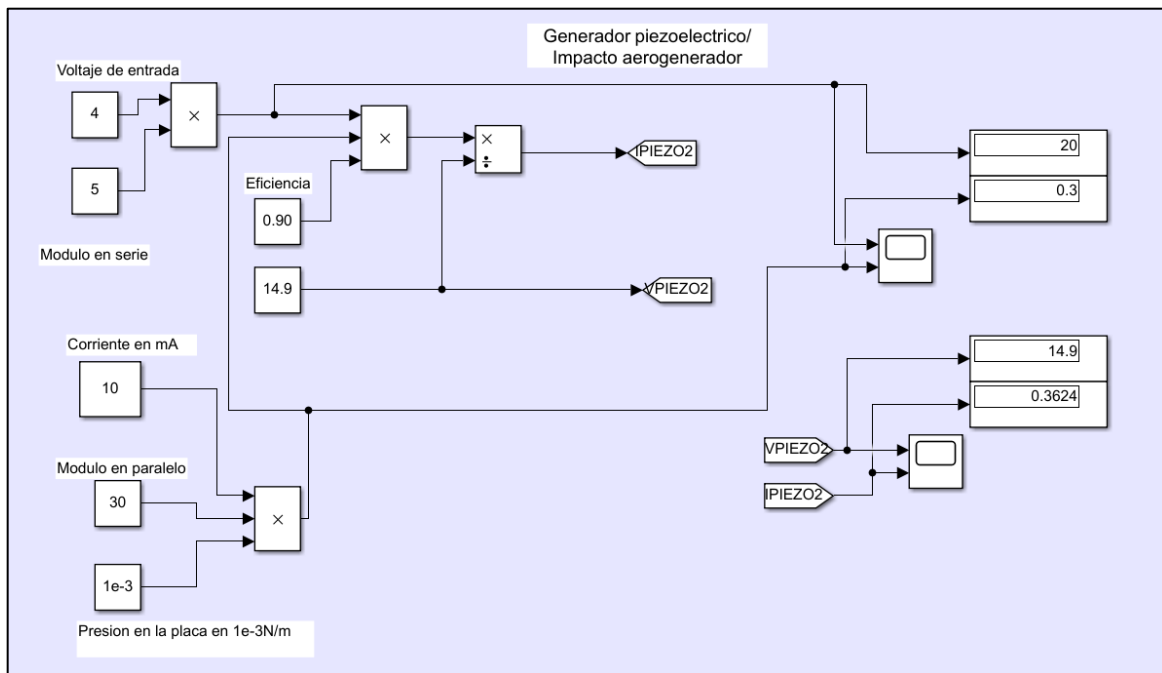


Figura 35 Simulación de parámetros para el generador piezoeléctrico/Impacto aerogenerador.

Fuente: Autor.

De acuerdo con la simulación de la Figura 34, se obtiene que el valor de corriente esperado para el generador Piezoeléctrico/Impacto de viento es de: 3.116A. Mientras que la simulación de la Figura 35, del generador Piezoeléctrico/Impacto aerogenerador es de: 0.3624A.

### 3.4 Simulación del convertidor DC-DC Buck

El objetivo de esta simulación es encontrar el valor real de corriente y voltaje de la regulación que puede entregar el convertidor. Para esto se acoplará en la salida una carga variable empezando por un valor bajo, se incrementará en el tiempo hasta llevar al convertidor a un estado en el que no se pueda mantener la regulación, siendo este punto crítico el buscado para conocer los límites del convertidor.

Para simular la carga se usó el esquema de la Figura 36. Este funciona estableciendo un valor inicial de carga de 500 ohms para el convertidor triboeléctrico 22 ohm para el piezoeléctrico Impacto de viento y 45 ohm para el piezoeléctrico impacto de aerogenerador, el cual se mantiene durante un tiempo igual al

establecido por el bloque step "Delay to start". Los valores se determinaron mediante pruebas en la simulación de tal forma que se pueda trazar una curva que permita apreciar la zona de trabajo del convertidor y diferenciarla de la zona donde el sistema sufre un colapso debido a la insuficiente corriente. Una vez transcurrido el tiempo del bloque step, se empieza a decrementar la resistencia de carga en un valor establecido por la constante "Step Load" en intervalos constantes ajustados en el bloque contiguo. Los tiempos de duración de la carga e intervalos de decrementos se ajustan según sean requeridos por la simulación, siendo en este caso de 0.015S y 0.0003S respectivamente. El tiempo de simulación total esta ajustado en 0.1S.

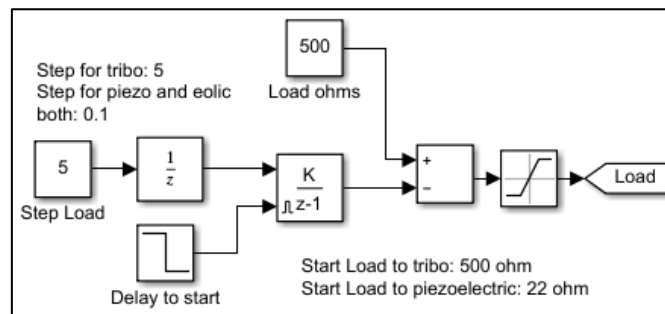


Figura 36 Controlador de carga para la simulación.

Fuente: Autor

El controlador usado para el convertidor Buck se puede observar en la Figura 37, de tipo proporcional-integral ajustado para generar en su salida una señal PWM, con ciclo de trabajo máximo igual al calculado por la ecuación 2. Este controlador calcula el error existente entre la referencia de 14.9V anteriormente calculada y el voltaje de salida del convertidor, incrementando o decrementando el ciclo de trabajo de la señal PWM para llevar la salida del convertidor al voltaje deseado.

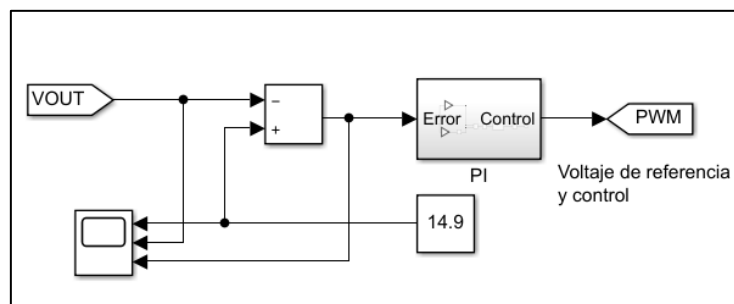


Figura 37 Controlador PI para el convertidor Buck.

Fuente: Autor

El esquema del convertidor posee adicionalmente un capacitor de entrada, un diodo y un transistor para realizar la regulación. El capacitor de entrada para el convertidor triboeléctrico se estableció en 1 $\mu$ F y para el convertidor piezoeléctrico se escogió de 22 $\mu$ F de acuerdo con lo establecido por la hoja de datos. La selección del diodo debe ser acorde a la corriente de entrada, siendo este caso alrededor de 15mA, de tal forma que sea capaz de soportarla, por lo que se optó por un diodo de alta velocidad de 1A y una caída de voltaje de 0.1V.

En el caso del transistor, se configuro siguiendo las características del transistor IRFZ44N el cual es un MOSFET el cual soporta un máximo de 49A y posee una resistencia interna en saturación de 15.5m $\Omega$ . Para el correcto funcionamiento del convertidor se deben dimensionar sus componentes según las ecuaciones 2, 3 y 4, tomando como punto de partida los parámetros simulados en la sección anterior.

### 3.4.1 Dimensionamiento de los parámetros del convertidor

Estos parámetros se calcularon usando los valores establecidos en la Tabla 11 y Tabla 13, para maximizar la eficiencia teórica que se puede obtener del convertidor. Al emplear las ecuaciones se obtiene valores adecuados para dimensionar los componentes que conforman el circuito. Estos valores son teóricos y en el caso real deberán ser ajustados de ser necesario. Para cada caso y aplicando la ecuación 2 se tiene el ciclo de trabajo, que es calculado con los valores de voltaje de salida dividido para el voltaje de entrada por la eficiencia y todo por cien. Este valor nos muestra el ciclo de trabajo con el cual debe trabajar el convertidor para regular el voltaje deseado.

Tabla 15 Calculo de parámetros

	<b>Ciclo de trabajo (D).</b>	<b>Capacitancia (C).</b>	<b>Inductancia (L).</b>
<b>Piezoeléctrico Impacto de viento</b>	71.36%	12.63 $\mu$ F	0.787 $\mu$ H
<b>Piezoeléctrico Impacto de Aerogenerador</b>	82.78%	16.8 $\mu$ F	4.22 $\mu$ H
<b>Triboeléctrico Impacto de gotas de lluvia</b>	3.15%	5.54 $\mu$ F	487 $\mu$ H

Fuente: Autor.

La capacitancia de salida se determina en función al porcentaje de voltaje y corriente de rizado establecido en los parámetros de diseño y usando la ecuación 3, y la inductancia del convertidor se calcula en función de los voltajes de entrada, salida, la corriente de rizado y la frecuencia de trabajo por medio de la ecuación 4.

### 3.4.2 Simulación del convertidor para el caso triboeléctrico

Con los parámetros establecidos en la Tabla 14, se configuro el esquema del convertidor Buck y se observa en la Figura 38, para la simulación del convertidor Triboeléctrico impacto de gotas de lluvia.

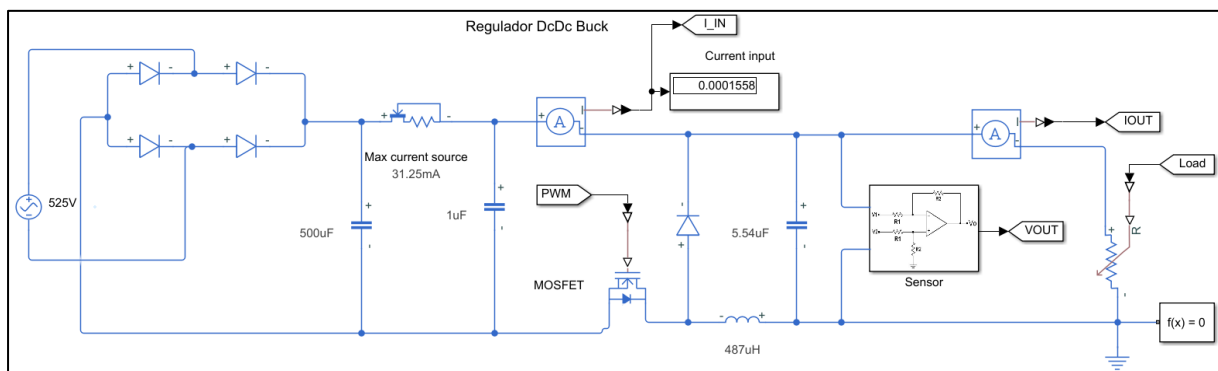


Figura 38 Esquema del convertidor Buck ajustado para el generador triboeléctrico.

Fuente: Autor

La curva de voltaje y corriente obtenida para el convertidor Buck del generador triboeléctrico se puede observar en la Figura 39. En esta se aprecia como el voltaje sube y se mantiene estable hasta llegar al límite de 0.95A obtenido de la gráfica. Sin embargo, a medida que la corriente se acerca a este límite, el rizado en el voltaje empieza a incrementarse hasta llegar al punto en el que no puede mantenerse estable y cae abruptamente con un repentino y puntual incremento en la corriente debido a la inductancia de la bobina. Se puede apreciar que los valores de voltaje y corriente en un punto anterior al punto crítico es de 14.2V y 0.95A respectivamente.

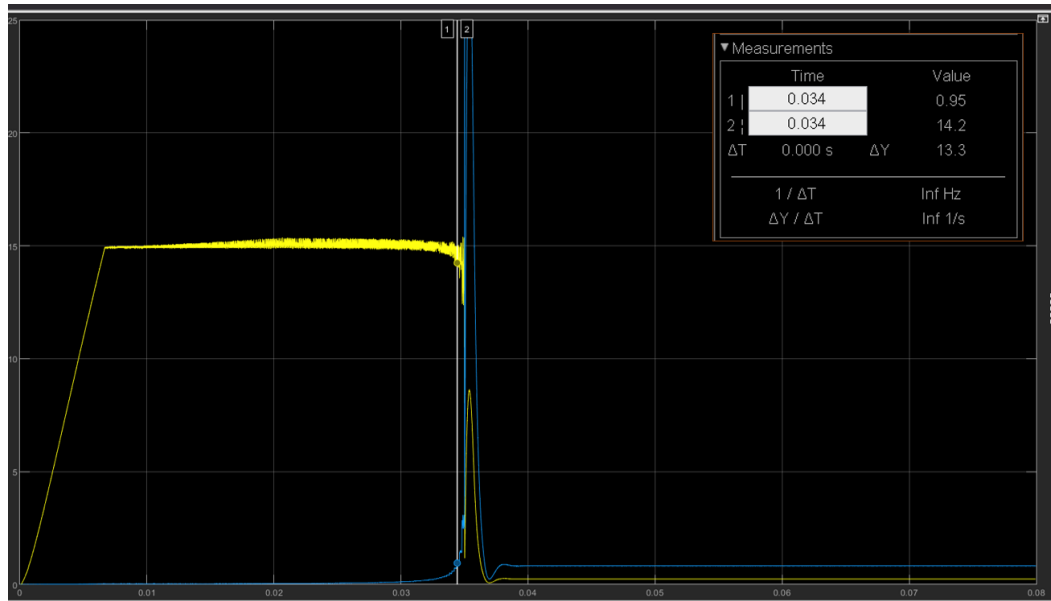


Figura 39 Curva de voltaje y corriente del convertidor triboeléctrico.

Fuente: Autor

### 3.4.3 Simulación del convertidor piezoeléctrico impacto de viento

Con los parámetros establecidos en la Tabla 14, se configuro el esquema del convertidor Buck y se observa en la Figura 40, para la simulación del convertidor Piezoeléctrico impacto de viento.

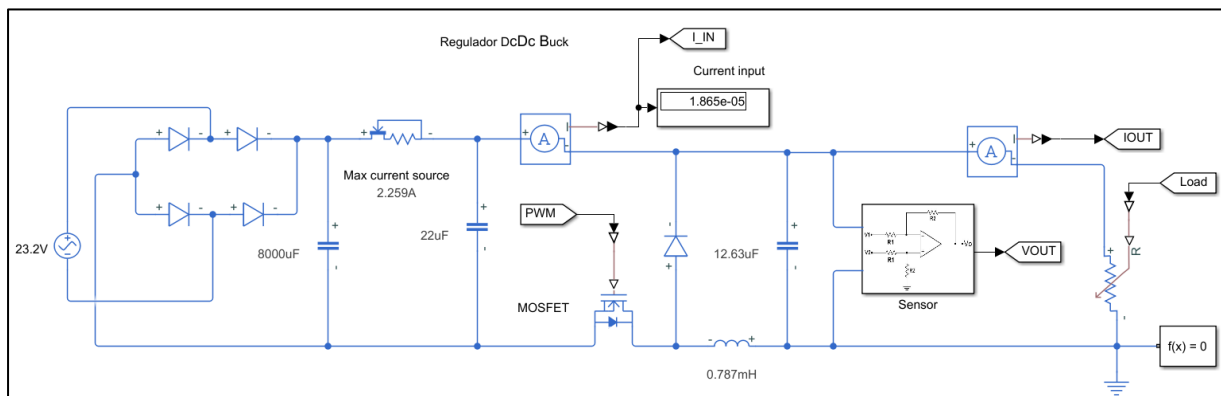


Figura 40 Esquema del convertidor Buck ajustado para el generador piezoeléctrico.

Fuente: Autor

La curva de voltaje y corriente obtenida para el convertidor Buck del generador piezoeléctrico se puede observar en la Figura 41. Se aprecia que, a diferencia del convertidor para el generador triboeléctrico, el voltaje alcanza rápidamente el valor de referencia y se mantiene con un rizado hasta el punto crítico en el cual cae lentamente a medida que la carga se incrementa tendiendo a 0. El

valor de voltaje y corriente en un punto anterior al punto crítico es de 14.8V y 3.08A respectivamente.

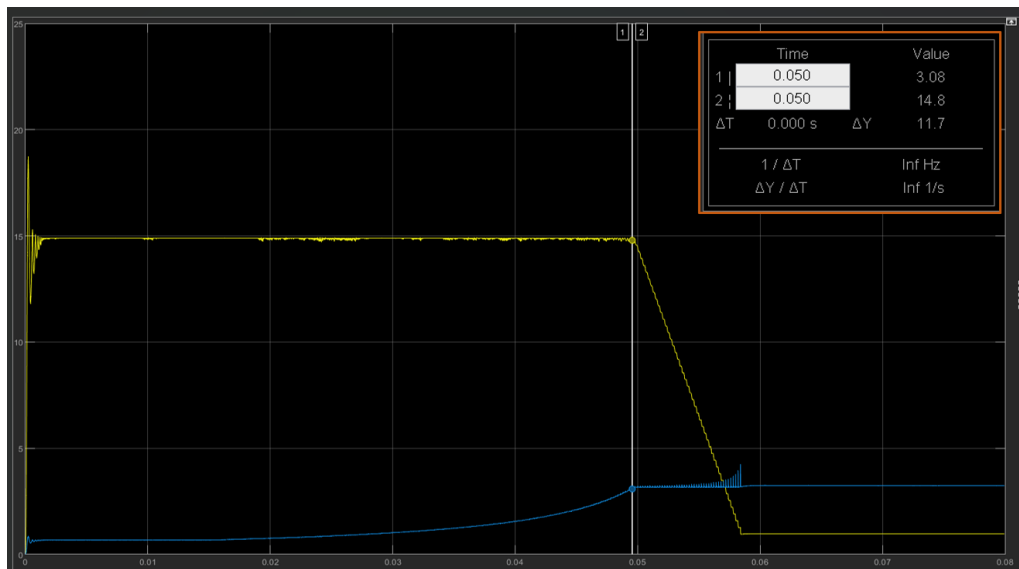


Figura 41 Curva de voltaje y corriente del convertidor piezoeléctrico.

Fuente: Autor.

### 3.4.4 Simulación del convertidor piezoeléctrico impacto de aerogenerador

Con los parámetros establecidos en la Tabla 14, se configuro el esquema del convertidor Buck y se observa en la Figura 42, para la simulación del convertidor Piezoeléctrico impacto de aerogenerador.

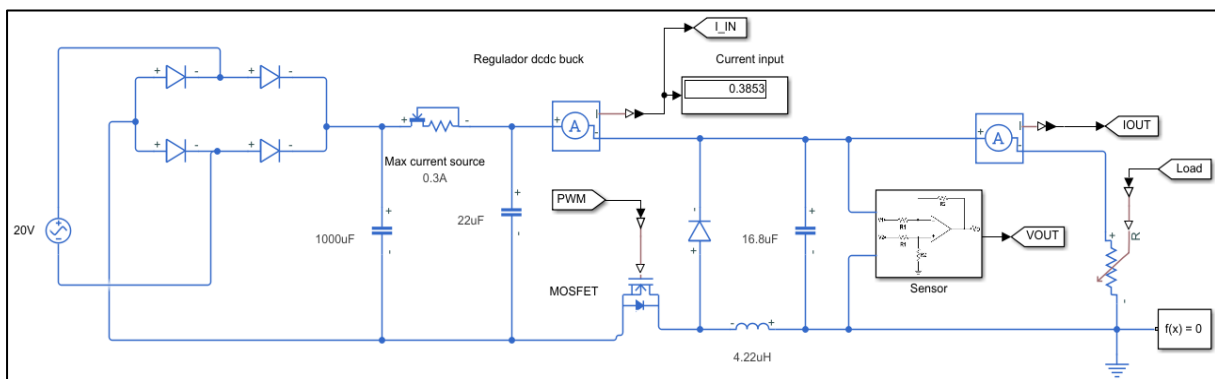


Figura 42 Esquema del convertidor Buck ajustado para el generador piezoeléctrico.

Fuente: Autor.

La curva de voltaje y corriente obtenida para el convertidor Buck del generador piezoeléctrico impacto de aerogenerador se puede observar en la Figura 45. Se aprecia que el voltaje alcanza el valor de referencia rápidamente y se

mantiene con un rizado hasta el punto crítico en el cual cae lentamente a medida que la carga se incrementa tendiendo a 0. El valor de voltaje y corriente en un punto anterior al punto crítico es de 14.8V y 0.326A respectivamente.

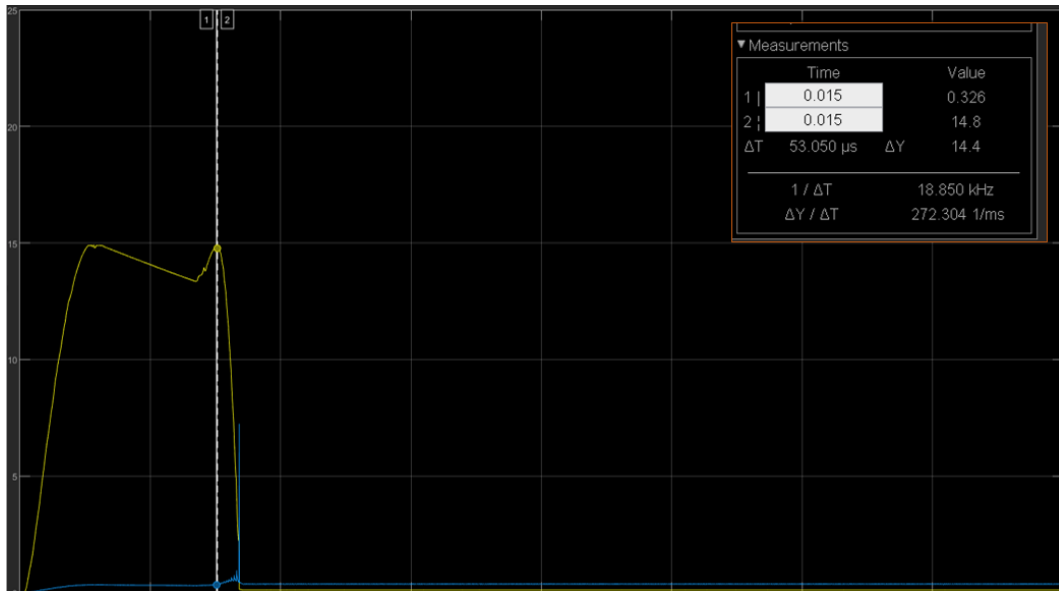


Figura 43 Curva de voltaje y corriente del convertidor piezoeléctrico Impacto de Aerogenerador.

Fuente: Autor.

### 3.5 Simulación del sistema de almacenamiento y de carga

Con los resultados de voltaje y corriente obtenidos se puede plantear el diseño del circuito que realiza la carga de la batería. En la conexión de los convertidores se mantiene el voltaje de carga de 14.4V, de igual forma en la conexión de todos los convertidores- híbrido, esta se hace en paralelo y conectando las salidas positivas entre sí por medio de un par de diodos. Para realizar el ciclo de carga, se utilizó de forma practica una resistencia de balance cuya función es la de evitar que el voltaje del convertidor se afecte debido a la variación de voltaje de la batería. Esta se calcula por medio de la ecuación 7, donde el voltaje de la batería corresponde al voltaje mínimo de la batería cuando esta descargada (normalmente 12V) y la corriente de carga o la suma de las corrientes de los convertidores. En la Tabla 16, se muestra los valores respectivos de las resistencia de carga.



Tabla 16 Cálculo de las Resistencias de Balance.

GENERADORES	Triboeléctrico gotas de lluvia	Piezoeléctrico impacto de viento	Piezoeléctrico impacto de aerogenerador	Hibrido
R. de Balance.	2.5263Ω	0.7792 Ω	7.3619 Ω	0.5509 Ω

Fuente: Autor.

Contemplando el caso en el que no exista suficiente energía para cargar la batería y esta sobrepase un límite de descarga mínimo, se integró al diseño un switch del tipo relé para la desconexión de la batería a la carga de salida. Este switch se controla por medio de histéresis permitiéndole habilitar la salida cuando el voltaje de la batería supera un valor establecido y deshabilitándola cuando el voltaje es inferior al límite de descarga.

### 3.5.1 Simulación del sistema de carga

En la Figura 44, se observa el sistema de carga de la batería y control de la salida donde se ha simulado el caso de una batería completamente descargada y el generador Triboeléctrico produciendo el máximo de corriente de 0.95A que pueden entregar.

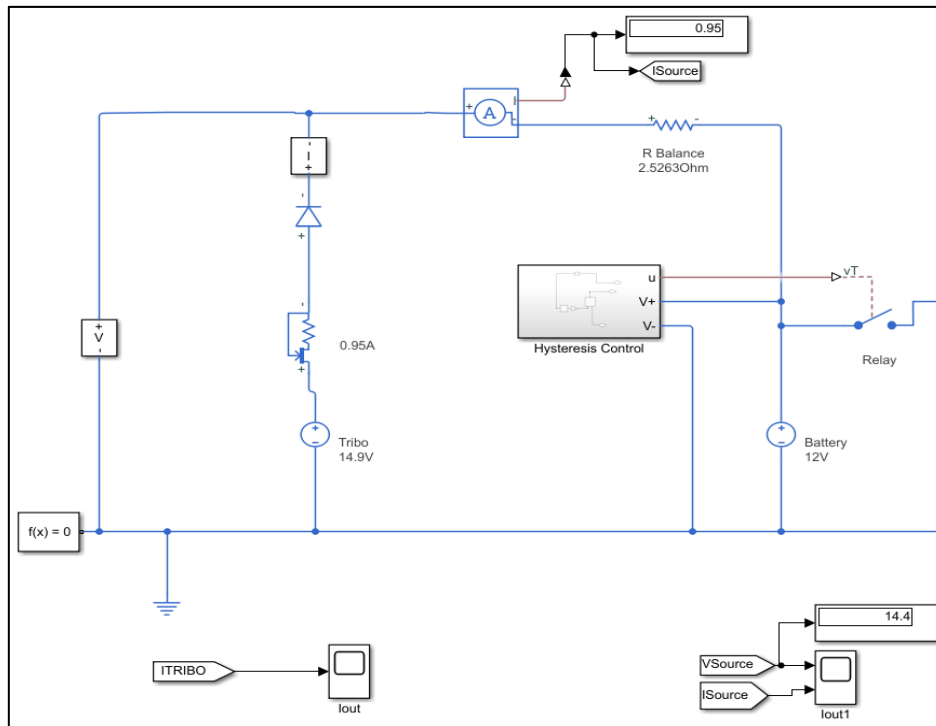


Figura 44 Esquema para la carga de la batería y control de la salida del generador Triboeléctrico

Fuente: Autor.

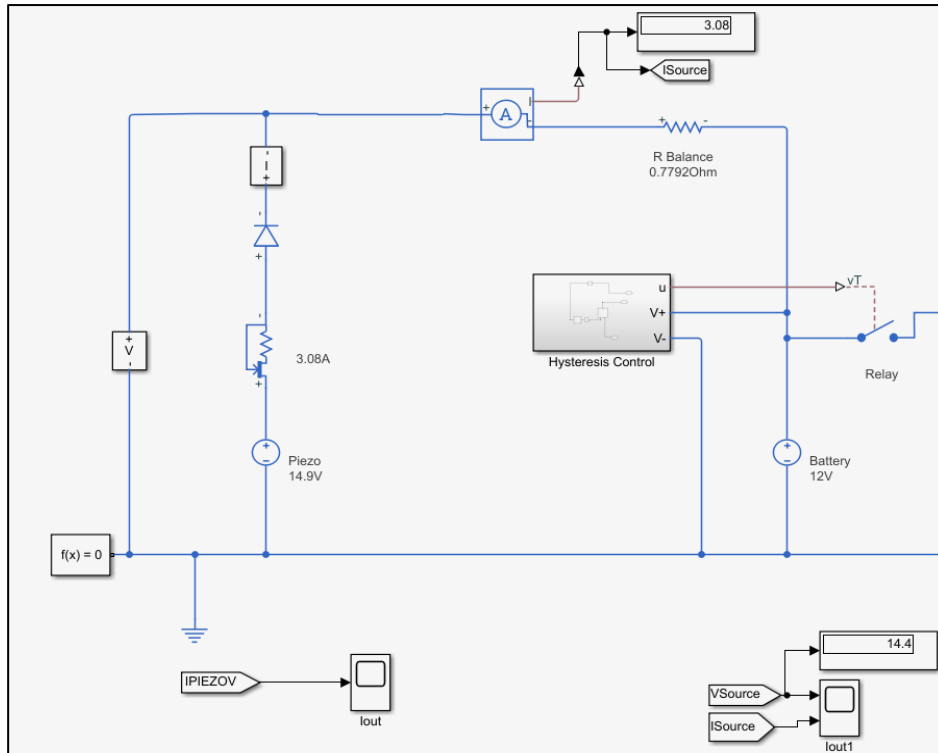


Figura 45 Esquema para la carga de la batería y control de la salida del generador piezoeléctrico Impacto de Viento.

Fuente: Autor

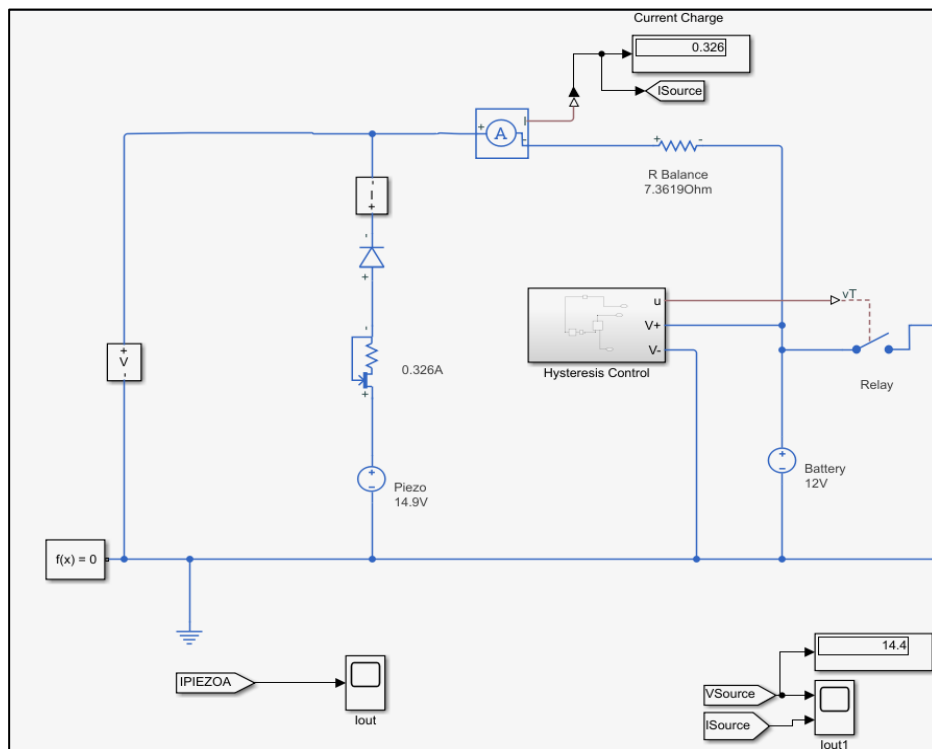


Figura 46 Esquema para la carga de la batería y control de la salida del generador piezoeléctrico Impacto de Aerogenerador.

Fuente. Autor.

En la Figura 45 y Figura 46, se observa el sistema de carga de la batería y control de la salida donde se ha simulado el caso de una batería completamente descargada y los generadores Piezoeléctricos de cada sistema produciendo el máximo de corriente de 3.08A y 0.326 que pueden entregar.

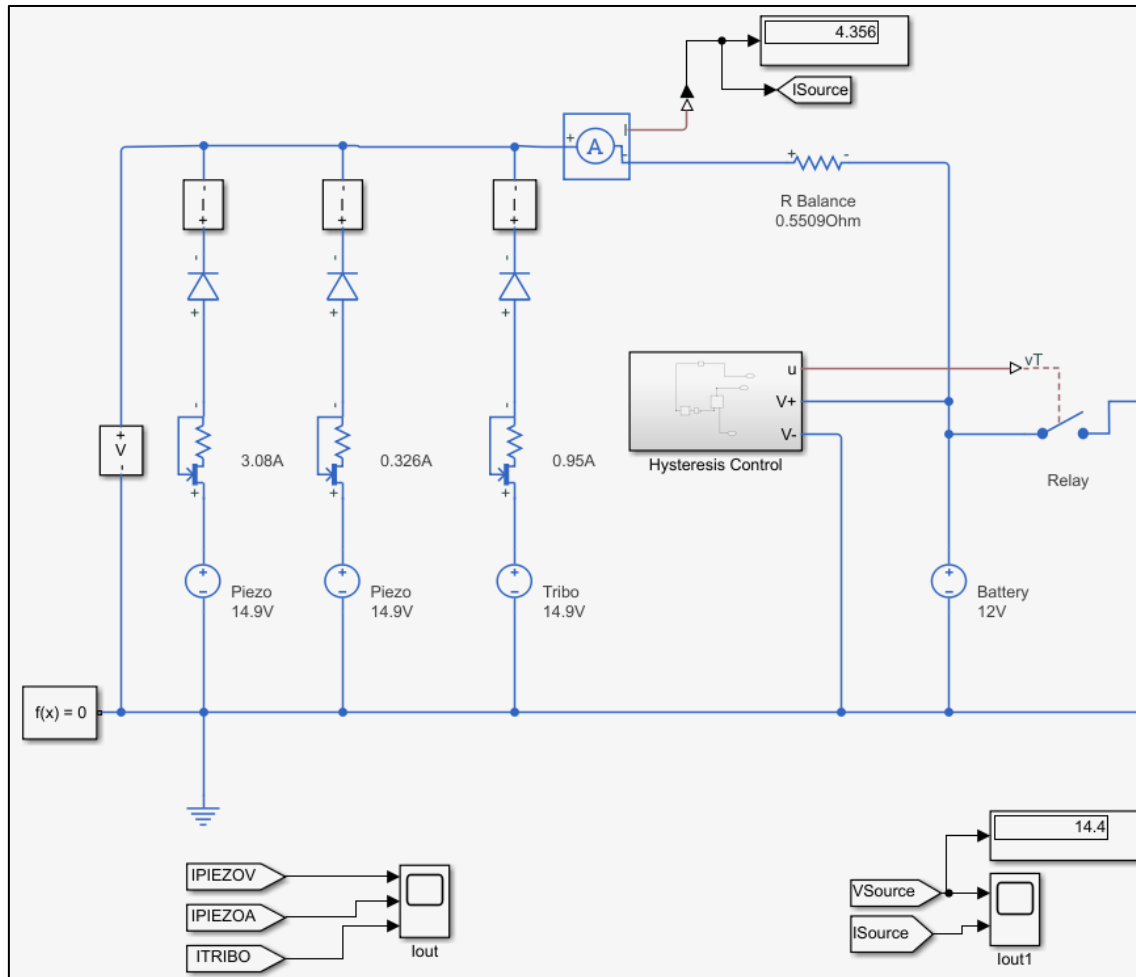


Figura 47 Esquema para la carga de la batería y control de la salida de los generadores Piezoeléctricos y Triboeléctrico.

En la Figura 47, se observa el sistema de carga de la batería y control de la salida de todos los generadores, donde se ha simulado el caso de una batería completamente descargada y los generadores produciendo el máximo de corriente de 4.356 A que pueden entregar.

Para determinar la capacidad de la batería se utiliza la ecuación 8, se estableció que el tiempo máximo de uso continuo del sistema sería de 2h, esto para dar un margen de autosuficiencia, y una corriente de consumo de 10A la cual suele ser la normalmente entregada por reguladores comerciales. Se obtiene que:

$$\text{Capacidad (Ah)} = 10A \times 2h = 20Ah$$

### 3.5.2 Simulación de las cargas conectadas al sistema

Para la simulación de la carga a conectar se utiliza un voltaje promedio de 13.2V para la batería. Conociendo que la corriente de consumo es de 10A se tiene que la carga es de 1.32Ω. Para la salida de 5V se empleó un regulador tipo Buck comercial LM2596 el cual es un regulador ajustable capaz de suministrar hasta 3A máximos. La resistencia de carga para esta salida es de 166Ω.

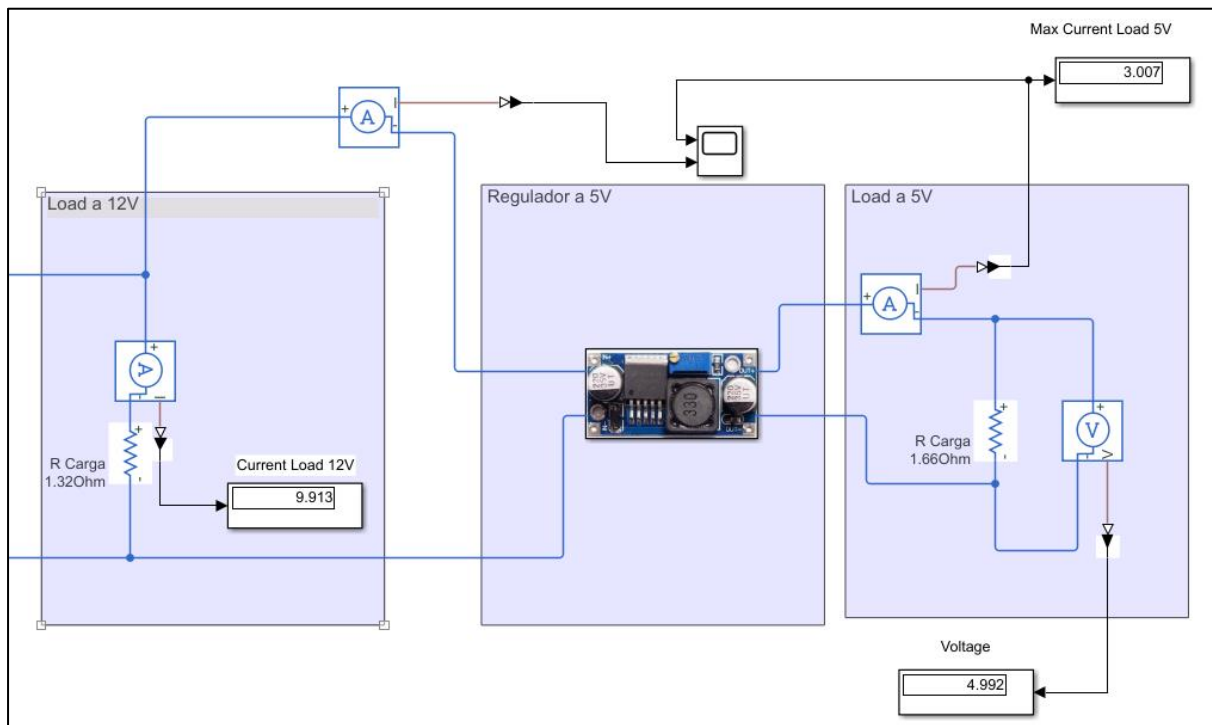


Figura 48 Cargas conectadas al sistema.

Fuente: El autor

### 3.6 Recolección de energía

Como se ha observado en las simulaciones, la generación final de energía es determinada por la corriente de salida del convertidor acorde al generador utilizado. La corriente producida en un periodo puede utilizarse para calcular la producción de energía en Ah empleando para este fin la ecuación 8. Para cuantificar la cantidad de energía recolectada se utilizó la Tabla 17.

Tabla 17 Recolección de energía

<b>Generador</b>	<b>Corriente</b>	<b>2 horas</b>	<b>3 horas</b>	<b>6 horas</b>
Piezoeléctrico/Impacto de Viento	3.08 A	6.16 Ah	9.24 Ah	18.48 Ah
Piezoeléctrico/Impacto de Aerogenerador	0.326 A	0.652 Ah	0.978 Ah	1.956 Ah
Triboeléctrico	0.95 A	1.9 Ah	2.85 Ah	5.7 Ah
Hibrido Piezo-Tribo.	4.356 A	8.712 Ah	13.068 Ah	26.136 Ah

Fuente: Autor.

De acuerdo con las simulaciones realizadas para el convertidor con generador piezoeléctrico y triboeléctrico, se observó que la generación más eficiente proviene del generador piezoeléctrico. En comparativa, los módulos piezoeléctricos generaron una corriente efectiva en la salida de 3.08A y 0.326A. En contraste con la corriente obtenida del generador triboeléctrico con un máximo de 0.95A. En base a estos resultados es más factible la implementación de un sistema híbrido para un mejor aprovechamiento de la energía generada, ya que la corriente obtenida es de 4.356A, por lo tanto, el tiempo de carga de la batería es más rápido.

La energía cinética producida por los aerogeneradores encontrados en el edificio de la Carrera de Electricidad, se calculan mediante la Ecuación 9, Ecuación 10 y datos especificados del aerogenerador que se detallan en la Tabla 7. Para cuantificar la cantidad de energía cinética aprovechable se detalla en la siguiente Tabla 18.

Tabla 18 Recolección de energía cinética de los aerogeneradores.

<b>Velocidad (RPM)</b>	<b>Energía Cinética</b>
29	7.70 J
43	16.93 J
58	30.80 J
72	47.47 J
86	67.72 J
101	93.40 J
115	121.09 J
129	152.38 J

Fuente: Autor.

La energía cinética producida por las fuentes como Viento y Gota de lluvia encontrados en el edificio de la Carrera de Electricidad se calculan mediante la

Ecuación 11. Para cuantificar la cantidad de energía cinética aprovechable se detalla en la siguiente Tabla 19.

Tabla 19 Recolección de la energía cinética de las gotas de lluvia.

Fuente	Masa/ gota	Velocidad	Energía cinética
Gotas de lluvia	0.05g	7m/s	0.001225 J

Fuente: Autor.

El área total del generador Triboeléctrico es de  $0.625m^2$ , por lo tanto, el total de la energía cinética aprovechable de esta fuente es de 50.225 J.

La energía cinética producida por el impacto de viento se calcula mediante la Ecuación 11. Para cuantificar la cantidad de energía cinética aprovechable se detalla en la siguiente Tabla 20.

Tabla 20 Energía cinética producida por el impacto de viento.

Velocidad (m/s)	Energía Cinética
2	0.04J
3	0.09J
4	0.16J
5	0.25J
6	0.36J
7	0.49J
8	0.64J
9	0.81J

Fuente: Autor.

La energía cinética aprovechable que se muestra en la Tabla 20, es de un solo oscilador, por lo cual la estructura del sistema consta de 25 osciladores y el total de energía cinética aprovechable es de 1J a 20.25J. En la siguiente Tabla 21, se detalla la energía cinética producida por las fuentes existentes en el edificio de la Carrera de Electricidad.

Tabla 21 Energía cinética producida en cada fuentes.

Fuente	Velocidad	Energía cinética
Impacto de gotas de lluvia	7 m/s	50.225 J
Impacto de aerogenerador	29-129 RPM	7.70 - 152.38 J
Impacto de viento	2-9 m/s	1 - 20.25J
Pisadas Humanas	0.38-0.44 m/s	5.97 - 6.52 J

Fuente: Autor.

### 3.7 Análisis y resultados

De acuerdo con las simulaciones desarrolladas para este proyecto, la eficiencia estimada del convertidor Buck coincide con el valor teórico establecido en la simulación de parámetros del modelo. Esto implica que el convertidor cumple con los parámetros teóricos establecidos para el modelo triboeléctrico y piezoeléctrico. Se debe considerar que, para el caso triboeléctrico, se tomó un total de 250 módulos en paralelo para la generación de 0.95A de corriente por unidad de fuerza. Comparándolo con el generador piezoeléctrico por la misma cantidad de módulos se tiene una corriente de 3.08A, en términos de generación de energía, se necesitarían alrededor del triple de módulos más del total de generadores triboeléctricos para alcanzar la generación de energía del piezoeléctrico. Esto representa una desventaja para la generación de energía triboeléctrica aprovechable la cual tendría un coste mayor y una generación.

Se destaca también que la corriente producida por un único modulo triboeléctrico sería incapaz de activar el convertidor debido a que esta debe ser capaz de alimentar el controlador del circuito el cual se estima para el caso de controladores basados en microcontroladores, ronda alrededor de los mA.

En el almacenamiento de energía, se tiene que la corriente máxima de carga es de 4.356A. Este valor es correcto en el caso particular que ambos generadores estén produciendo el máximo de energía que pueden entregar, lo cual no se aplica todo el tiempo. En el caso real de la implementación de estos generadores, se tendrá un valor promedio a lo largo de un periodo el cual contará con picos de generación altos y bajos, impactando en la generación total de energía. Por otro lado, la batería es capaz de entregar la corriente adecuada a la carga sin ningún problema a través del circuito establecido. La corriente de entrada al regulador de 5V debe considerarse como parte de la carga de la salida de 12V debido a que este se encuentra conectado directamente en esta salida.

Las curvas de voltaje y corriente obtenidas para ambos generadores permiten determinar un rango para las cargas a conectar de forma que se asegure que el sistema trabaje de forma correcta.

### 3.8 Presupuesto de propuesta para el caso Triboeléctrico.

El presupuesto de esta propuesta considera únicamente los elementos tratados en este trabajo, como son los componentes del esquema del convertidor Buck, el sistema de almacenamiento y la carga. Para el desarrollo de la propuesta considerando únicamente el caso triboeléctrico, el presupuesto queda modificado de acuerdo con la Tabla 22.

Tabla 22 Presupuesto para el caso triboeléctrico

Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total	Observación
Diodo de alta velocidad	1	\$0,50	\$0,50	
MOSFET IRFZ44N	1	\$1,35	\$1,35	
Resistencia 1.2 ohms	1	\$0.30	\$0.30	Valor redondeado al comercial
Inductor 487 uH	1	\$2,00	\$2,00	
Capacitor 1 uF	1	\$0,35	\$0,35	
Capacitor 6.8 uF (5.54 uF)	1	\$0,35	\$0,35	Valor redondeado al comercial
Generador triboeléctrico	250	\$1.20	\$300	
Relé 12V	1	\$2,00	\$2,00	
Batería 12V 20Ah	1	\$65,00	\$65,00	
Rectificador	1	\$1.35	\$1.35	
Capacitor 500uF	1	\$ 4.40	\$4.40	
LM2596	1	\$4,50	\$4,50	
<b>Total</b>			<b>\$381,75</b>	

Fuente: Autor.

### 3.9 Presupuesto de propuesta para el caso piezoeléctrico/Impacto de viento

Para el desarrollo de la propuesta considerando únicamente el caso piezoeléctrico, el presupuesto queda modificado de acuerdo con la Tabla 23.

Tabla 23 Presupuesto para el caso piezoeléctrico/Impacto de viento.

Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total	Observación
Diodo de alta velocidad	1	\$0,50	\$0,50	



MOSFET IRFZ44N	1	\$1,35	\$1,35	
Resistencia 1.2 ohms	1	\$0.30	\$0.30	Valor redondeado al comercial
Inductor 380 uH	1	\$2,00	\$2,00	
Capacitor 22 uF	1	\$0,35	\$0,35	
Capacitor 12.63uF (23.5 uF)	1	\$0,35	\$0,35	Valor redondeado al comercial
Relé 12V	1	\$2,00	\$2,00	
Batería 12V 20Ah	1	\$65,00	\$65,00	
Generador piezoeléctrico	250	\$0.50	\$125	Tienda online Alibaba (cantidad mínima 10)
Rectificador	1	\$1.35	\$1.35	
Capacitor electrolítico 8000uF	1	\$12.00	\$12.00	
LM2596	1	\$4,50	\$4,50	
<b>Total</b>			<b>\$213, 35</b>	

Fuente: Autor.

### 3.10 Presupuesto de propuesta para el caso piezoeléctrico/Impacto de aerogenerador

Para el desarrollo de la propuesta considerando únicamente el caso piezoeléctrico, el presupuesto queda modificado de acuerdo con la Tabla 24.

Tabla 24 Presupuesto para el caso piezoeléctrico/Impacto de aerogenerador.

Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total	Observación
Diodo de alta velocidad	1	\$0,50	\$0,50	
MOSFET IRFZ44N	1	\$1,35	\$1,35	
Resistencia 1.2 ohms	1	\$0.30	\$0.30	Valor redondeado al comercial
Inductor 422 uH	1	\$2,00	\$2,00	
Capacitor 1 uF	1	\$0,35	\$0,35	
Capacitor 16.8uF (23.5 uF)	1	\$0,35	\$0,35	Valor redondeado al comercial

Relé 12V	1	\$2,00	\$2,00	
Batería 12V 20Ah	1	\$65,00	\$65,00	
Generador piezoeléctrico	35	\$0.50	\$15	Tienda online Alibaba (cantidad mínima 10)
Rectificador	1	\$1.35	\$1.35	
Capacitor electrolítico 1000uF	1	\$4.50	\$4.50	
LM2596	1	\$4,50	\$4,50	
<b>Total</b>			<b>\$96, 85</b>	

*Fuente: Autor.*

### **Conclusiones.**

El análisis de la lectura técnica realizada durante este trabajo permitió conocer el sistema llamado Energy Harvesting. El cual se ha centrado en la investigación de las fuentes de energía existentes y las diferentes tecnologías que pueden usarse para la cosecha de energía producida por fuentes que no son aprovechadas.

Del estudio realizado de los parámetros físicos en el Edificio de la Carrera de Electricidad, se determinaron algunas fuentes de energía, tales que fueron seleccionados las fuentes que producen energía cinética para la realización del diseño de la propuesta, esto ayudo para el cálculo matemático de los elementos a utilizar en el sistema.

De acuerdo con las simulaciones realizadas, se observó que la eficiencia estimada del convertidor Buck se ajusta al valor teórico establecido en la simulación de parámetros del modelo, lo que indica que el convertidor cumple con los parámetros teóricos establecidos para el modelo triboeléctrico y piezoeléctrico, también es importante destacar que, en el caso del generador triboeléctrico, se requiere un mayor número de módulos para generar una corriente similar al generador piezoeléctrico. Además, la corriente producida por un solo módulo triboeléctrico es insuficiente para activar el convertidor debido a que se requiere alimentar el controlador del circuito, que consume aproximadamente varios mA.

En cuanto al almacenamiento de energía, se comprobó que la batería es capaz de entregar la corriente adecuada a la carga sin ningún problema a través del circuito establecido. Se comprobó que la corriente máxima teórica para la carga de la batería es de 4.356A, lo que es correcto en el caso particular en el que ambos generadores estén produciendo el máximo de energía que pueden entregar. Sin embargo, en el caso real de la implementación de estos generadores, se tendrá un valor promedio a lo largo de un periodo el cual contará con picos de generación altos y bajos, lo que afectará a la generación total de energía.

### **Recomendaciones**

Es importante considerar las ventajas y desventajas de ambos tipos de generadores al diseñar un sistema de generación de energía. Los generadores piezoeléctricos pueden generar más corriente por unidad de fuerza que los generadores triboeléctricos, por lo que podría resultar una mejor alternativa el uso únicamente de generadores piezoeléctricos.

Se puede considerar la implementación de sistemas de monitoreo y control de carga para garantizar una carga adecuada y segura de la batería. Estos sistemas también pueden ayudar a optimizar el rendimiento del sistema en general, debido a que permitirían el uso inteligente de la energía.

## Referencias.

- Acero, C., & Jaime, E. (12 de 07 de 2018). *calor y frio*. Obtenido de calor y frio: <https://blog.caloryfrio.com/que-es-energy-harvesting-energia-ambiental/>
- Acero, M., & Jaume, E. (2017). Ebergy Harvesting. *Energía Sostenible para todos*.
- Adanaque Infante, L., & López Aramburú, F. (s.f.). Optimizacion de un Energy Harvester Piezoeléctrico para sistemas Embebidos. *Optimizacion de un Energy Harvester Piezoeléctrico para sistemas Embebidos*.
- Ajitsaria, J., Choe, S. Y., Ozmun, P., Shen, D., & Kim, D. J. (2014). Modeling and Analysis of a Bimorph PZT Cantilever Beam Based Micropower Generator. *IFSA. sensorsportal*, 82.
- Alemán, D. (s.f.). Sistemas electromecánicos piezoeléctricos para la recolección de energía. *Sistemas electromecánicos piezoeléctricos para la recolección de energía*. Univeritat Politècnica de Catalunya, Barcelona.
- Alok, J., & Suman, B. (2012). Emerging Dimensions in the Energy Harvesting. *IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE)*.
- Arian, D. G. (2021). Desarrollo de un sistema de harvesting por radiofrecuencia. *Desarrollo de un sistema de harvesting por radiofrecuencia*. Universidad de Catalunya, España.
- Bhat, R. (2018). Acoustic Energy Harvesting. *International Journal of Science and Research*, 1358.
- Borja Pozo, L. (2018). Double Smart Energy Harvesting System for self-powered Industrial IoT. *Double Smart Energy Harvesting System for self-powered Industrial IoT*. Universidad del País Vasco, Bilbao.
- Borja, P., Garate, J., Araujo, J., & Ferreiro, S. (2019). Energy Harvesting Technologies and Equivalent Electronic Structural Models - Review. *Energy Harvesting Technologies and Equivalent Electronic Structural Models - Review*. University of the Basque Country, Bilbao.

- Cadei, A., Dionisi, A. S., & Serpelloni, M. (2018). Kinetic and thermal energy harvesters for implantable medical devices and biomedical autonomous sensors. *IOPscience*, 1.
- Caller Guzman, S. L., & Mallma Trinidad, C. A. (2019). Diseño de un sistema de energy harvesting para la recuperación de energía en la industria. *Diseño de un sistema de energy harvesting para la recuperación de energía en la industria*. Universidad Tecnológica del Perú, Lima.
- Carbonell, M. (2022). *HogarSense*. Obtenido de HogarSense: <https://www.hogarsense.es/placas-solares/rendimiento-panel-solar>
- Chalasanani, S., & Conrad, J. (2014). A Survey of Energy Harvesting Sources for Embedded Systems. *IEEE Xplorer*, 444.
- Chandi, A. S. (2022). DESARROLLO DE CERÁMICA PIEZOELÉCTRICA PARA RECOLECCIÓN DE ENERGÍA DEL TRÁNSITO PEATONAL Y VEHICULAR EN CRUCE CEBRA. *DESARROLLO DE CERÁMICA PIEZOELÉCTRICA PARA RECOLECCIÓN DE ENERGÍA DEL TRÁNSITO PEATONAL Y VEHICULAR EN CRUCE CEBRA*. Universidad Técnica del Norte, Ibarra.
- Chil, Y., Hsiao, Y., Wu, H. M., & Wang, Z. L. (2019). Waterproof Fabric-Based Multifunctional Triboelectric Nanogenerator for Universally Harvesting Energy from Raindrops, Wind, and Human Motions and as Self-Powered Sensors. *Advanced Science*.
- Collado, A., & Georgiadis, A. (2016). *IEEE Transactions on Circuits and Systems*, 2225-2234.
- Cruceira, F. E. (2019). Implementación de un sistema de generación solar fotovoltaica con integración a la red eléctrica en el edificio de la carrera de ingeniería eléctrica de la Universidad Técnica del Norte. *Implementación de un sistema de generación solar fotovoltaica con integración a la red eléctrica en el edificio de la carrera de ingeniería eléctrica de la Universidad Técnica del Norte*. Universidad Técnica del Norte., Ibarra.

- Cuadras, A., Gasulla, M., & Ferrari, V. (2016). Thermal energy harvesting through pyroelectricity Sens. *ResearchGate-Sensors and Actuators A Physical*, 132.
- Cui, X., Zhang, Y., Hu, G., Zhang, L., & Zhang, Y. (2020). Dynamical charge transfer model for high surface charge density triboelectric nanogenerators. *ScienceDirect*. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2020.104513>
- Cunha, F., Alemida, P., Floriano, R., & Coutinho, V. (2017). Generación de energía eléctrica con piezoelectricidad para buques de carga. *IEEE Xplorer*, 1-8.
- Dalola, S., Ferrari, M., Ferrari, V., Guizzetti, M., Marolilo, D., & Taroni, A. (2019). Characterization of thermoelectric modules for powering. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* .
- Delgadillo, R. S., & Cañon, E. N. (s.f.). Análisis técnico y económico del potencial de generación eléctrica a través de dispositivos piezoeléctricos. *Análisis técnico y económico del potencial de generación eléctrica a través de dispositivos piezoeléctricos*. Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas, Bogotá.
- Dimínguez Hernández, S. (2006). La energía solar Fotovoltaica. *Ciencia y medio ambiente*, 59.
- Electrolytic. (2022). *Electrolytic*. Obtenido de Electrolytic: [https://hmn.wiki/es/Electrolytic\\_capacitors](https://hmn.wiki/es/Electrolytic_capacitors)
- Electronics, M. (2020). *Kit-Energy Harvesitng* . Obtenido de Kit-Energy Harvesitng : [https://www.mouser.mx/datasheet/2/40/AVX\\_Energy\\_Harvesting\\_Booklet-1274251.pdf](https://www.mouser.mx/datasheet/2/40/AVX_Energy_Harvesting_Booklet-1274251.pdf)
- Gabay, J. (01 de 10 de 2015). *RF Energy Harvesting: Batteries Not Included*. Obtenido de RF Energy Harvesting: Batteries Not Included: <https://www.digikey.com/es/articles/rf-energy-harvesting-batteries-not-included>
- Guerrero, C. A. (s.f.). Sistema de recolección de energía (Energy Harvesting), que emplea la corriente Corona y señales de alta frecuencia. *Sistema de*

*recolección de energía (Energy Harvesting), que emplea la corriente Corona y señales de alta frecuencia.* Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Guzman, S., & Trinidad, C. (s.f.). Diseño de un sistema de Energy Harvesting para la recuperación de energía en la industria. *Diseño de un sistema de Energy Harvesting para la recuperación de energía en la industria.* Universidad Tecnológica del Peru, Lima.

Guzman, S., & Trinidad, C. (s.f.). Diseño de un sistema de Energy Harvesting para la recuperación de energía en la industria. *Diseño de un sistema de Energy Harvesting para la recuperación de energía en la industria.* Universidad Tecnológica del Perú, Lima.

Han, C., Lee, J., Lin, J., Sang Woo, K., & Jung, K. (2019). Nanogeneradores piezoeléctricos/triboeléctricos basados en materiales de estructura bidimensional en capas. *ScienceDirect*, 680-691.

He, W., Qian, Y., Song, B., Fangfang Zhang, A. R., Young, J., & Kang, D. (2018). Ultrahigh Output Piezoelectric and Triboelectric Hybrid Nanogenerators Based on ZnO Nanoflakes/Polydimethylsiloxane Composite Films. *ACSPublications*.

Hubor. (2015). *Hubor-Proteus*. Obtenido de Hubor-Proteus: [https://www.hubor-proteus.com/proteus-pcb/proteus-pcb/230-como\\_trabajar\\_con\\_proteus.html](https://www.hubor-proteus.com/proteus-pcb/proteus-pcb/230-como_trabajar_con_proteus.html)

Ideara, S. (2014). *Vibraciones mecánicas. Factores relacionados con la fuente y medidas de control* . Obtenido de Vibraciones mecánicas. Factores relacionados con la fuente y medidas de control : [https://idearainvestigacion.es/wp-content/uploads/2014/10/GUIA\\_vibraciones-mecanicas\\_final\\_baixa-calidade.pdf](https://idearainvestigacion.es/wp-content/uploads/2014/10/GUIA_vibraciones-mecanicas_final_baixa-calidade.pdf)

Iglesias, R., Lago, A., Nogueiras, A., Martinez, C., Marcos, J., Quintans, C., . . . M, V. (s.f.). Modelado y Simulación de una Batería de Ion-Litio Comercial Multicelda. *Modelado y Simulación de una Batería de Ion-Litio Comercial Multicelda.* Departamento de Tecnología Electrónica, Universidad de Vigo , España.

- Ismail, N., & Rasli, G. (2013). Advance devices using piezoelectric harvesting energy. *IEEE Student Conference on Research and Developement*.
- Istas. (2019). *Instituto Sindical de trabajo, Ambiente y Salud*. Obtenido de Instituto Sindical de trabajo, Ambiente y Salud: <https://istas.net/istas/guias-interactivas/ahorro-y-eficiencia-energetica/problema-ambiental-del-consumo-de-energia>
- Jiménez, F., De Frutos, J., & Vázquez, M. (2015). Optimización de piezoeléctricos comerciales para su uso en sistemas de Energy Harvesting. *ScienceDirect*, 247-253.
- Khaligh, A., Zeng, P., & Zheng, C. (2017). Kinetic Energy Harvesting Using Piezoelectric and Electromagnetic Technologies-State of the Art. *IEEE Xplorer*, 850-860.
- Kim, M., Dugungji, J., & Wardle, B. (2019). Efficiency of piezoelectric mechanical vibration energy harvesting. *IOPSCIENCE*, 1.
- Kiziroglou, M., Wriqth, S., Toh, T., & Mitcheson, P. (2017). Design and Fabrication of Heat Storage Thermolectric Harvesting Devices. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 302.
- Lee, J. P., & Kwak, M. B. (2018). Design optimization of piezoelectric energy harvester subject to tip excitation. *Springer*, 1.
- López, P., Gabilondo, I., Eduard, A., & Francesc, M. (2018). A Comprehensive Method to Taxonomize Mechanical Energy Harvesting Technologies. *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*, 1.
- Lu, X., Wang, P., Niyato, D., Kim, D. I., & Han, Z. (10 de Noviembre de 2014). Wireless Networks With RF Energy Harvesting: A Contemporary Survey. *IEEE Xplore*, 757-789.
- Madridpress. (19 de Octubre de 2020). *Un nuevo dispositivo alimenta sensores portatiles con el movimiento humano*. Obtenido de Un nuevo dispositivo alimenta sensores portatiles con el movimiento humano.:



<https://madridpress.com/art/278752/un-nuevo-dispositivo-alimenta-sensores-portatiles-con-el-movimiento-humano>

Magill, P. (01 de junio de 2009). *Energy harvesting with thin-film thermoelectrics*. Obtenido de Energy harvesting with thin-film thermoelectrics: <https://www.electronicproducts.com/energy-harvesting-with-thin-film-thermoelectrics/#>

Martinez, G. (s.f.). Diseño de una Plataforma Docente para el Estudio de los Sistemas de Recolección de Energía (Energy Harvesting) en los Grados de Ingeniería . *Diseño de una Plataforma Docente para el Estudio de los Sistemas de Recolección de Energía (Energy Harvesting) en los Grados de Ingeniería* . Technical University of Catalonia, Barcelona.

MathWorks. (s.f.). *MathWorks*. Obtenido de MathWorks: <https://la.mathworks.com/products/matlab.html>

Mecafenix., I. (17 de 05 de 2021). *Ingenieria Mecafenix*. Obtenido de Ingenieria Mecafenix.: <https://www.ingmecafenix.com/electronica/que-es-una-bateria/>

Melé, A. M., & Jové, A. A. (s.f.). Desarrollo de un prototipo de baldosa generadora de energia electrica a partir de la piezoelectricidad. *Desarrollo de un prototipo de baldosa generadora de energia electrica a partir de la piezoelectricidad*. Escola Técnica Superior de Barcelona , Barcelona .

Melo, P. C. (2019). Implementación de un sistema de microgeneración eólica con integracion a la red eléctrica en el edificio de la carrera de electricidad en la universidad Técnica del Norte. *Implementación de un sistema de microgeneración eólica con integracion a la red eléctrica en el edificio de la carrera de electricidad en la universidad Técnica del Norte*. Universidad Técnica del Norte, Ibarra.

Montero, M. (20 de Agosto de 2019). *Introducción a la recolección de energía* . Obtenido de Introducción a la recolección de energía : <https://tecnoticias.net/2019/08/introduccion-a-la-recoleccion-de-energia-por-vibracion/>

- Montoya, C. (2016). Energía Solar Fotovoltaica. *Energía Solar Fotovoltaica*. Ingeniería y Gestión Medioambiental.
- Moragues, J., & Alfredo, R. (2019). *Aspectos ambientales de la energía eólica*. Obtenido de Aspectos ambientales de la energía eólica : <http://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/1/534/541/2959.pdf>
- Navavi, S., & Lihong, Z. (s.f.). Portable Wind Energy Harvesters for Low-Power Applications. *Portable Wind Energy Harvesters for Low-Power Applications*. University of Newfoundland, Canadá.
- Niell, E., & Erturk., A. (2017). Advances in Energy Harvesting Methods. En E. Niell, & A. Erturk., *Advances in Energy Harvesting Methods* (pág. 3). New York: The City collage of New York.
- Núñez, A. B. (2018). Análisis de ventajas e inconvenientes de las baterías de flujo Redox frente a las baterías de iones de litio. *Análisis de ventajas e inconvenientes de las baterías de flujo Redox frente a las baterías de iones de litio*. Universidad de Oviedo, Gijón.
- Oliveira, A., Calderón, N., Andrade, E., Schaeffer, L., & Ando, O. (2016). Use of the Seebeck Effect for Energy Harvesting. *IEEE Latin America Transactions*.
- Orrego, S., Shoele, K., Doran, K., Caggiano, B., Mittal, R., & Hoon Kang, S. (2017). Harvesting ambient wind energy with an inverted piezoelectric flag. *ScienceDirect*, 212-222.
- Parks, A., & Smith, J. (2014). Sifting through the airwaves: Efficient and scalable multiband RF harvesting. *IEEE International Conference*, 74.
- Párraga, A., Sney, I., & Velasco, E. (2019). *Producción de energía eólica en Ecuador*. Obtenido de Ciencia Digital: <https://cienciadigital.org/revistacienciadigital2/index.php/CienciaDigital/article/view/610>
- Pérez., G. B. (2016). Diseño e implementacion de un sistema automático de seguimiento solar para un generador termo solar. *Diseño e implementacion*

de un sistema automático de seguimiento solar para un generador termo solar. Universidad Técnica de Norte, Ibarra.

Phu Le, C., Halvorsen, E., Sorasen, O., & Yeatman, E. (7 de June de 2016). Wideband excitation of an electrostatic vibration energy harvester with power-extracting end-stops. *IOPScience*, 7.

Porcarelli, D., Spenza, D., Brunelli, D., Cammarano, A., Petrioli, C., & Benini, L. (2015). Adaptive rectifier driven by power intake predictors for wind energy harvesting sensor networks,. *IEEE Xplore*, 471-482.

Potosí, T. F. (2021). Construcción de un prototipo de generador eólico de baja potencia cone eje vertical en el edificio de la carrera de electricidad de la Universidad Técnica de Norte. *Construcción de un prototipo de generador eólico de baja potencia cone eje vertical en el edificio de la carrera de electricidad de la Universidad Técnica de Norte*. Universidad Técnica del Norte, Ibarra.

Psoma, S., Tzanetis, P., & Tzourlidaskis, A. (2017). A practical application of energy harvesting based on. *ScienceDirect*, 6671-6785.

Randall, J., Bharatula, N., Parera, N., & Buren, T. (2015). Indoor Tracking using Solar Cell Powered System: Interpolation of Irradiance. *Swiss Federal Institute of Technology, ETH Zürich, Switzerland* , 1.

Rayas, J., Rodriguez, R., & Martinez, A. (2003). Medición del módulo de Young en el hule látex usando ESPI. *Scielo Revista Mexicana de fisica*.

Renovables, E. (2016). Energías Renovables 2016 Reporte de la Situación Mundial. *REN21 Renewable Energy Policy Network for the 21st Century*, 6.

ResearchGate. (2019). *Energy Harvesting Technologies and Equivalent Electronic Structural Models - Review - Scientific* . Obtenido de Energy Harvesting Technologies and Equivalent Electronic Structural Models - Review - Scientific : [https://www.researchgate.net/figure/Photovoltaic-harvester\\_fig3\\_332803489/actions#reference](https://www.researchgate.net/figure/Photovoltaic-harvester_fig3_332803489/actions#reference)

- Ricart, L. G. (02 de 2013). *Domestika*. Obtenido de Domestika: <https://www.domestika.org/es/projects/152180-eboard-energy-harvesting>
- Rojas, A., & Gómez, J. (s.f.). Energy Harvesting para sensores inalámbricos. *Energy Harvesting para sensores inalámbricos*. Pontificie Universidad Javeriana, Bogotá.
- Rojas, G., & Gómez. (s.f.). Energy Harvesting para sensores inalámbricos. *Energy Harvesting para sensores inalámbricos*. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.
- Rousaund, E. (2018). *Energía Eólica*. Obtenido de Factor energía: <https://www.factorenergia.com/es/blog/eficiencia-energetica/energia-eolica/>
- Rubio, F. J. (2018). Análisis del estado actual de la tecnología Energy Harvesting (Recolectores de energía) basados en piezoelectricidad. *Análisis del estado actual de la tecnología Energy Harvesting (Recolectores de energía) basados en piezoelectricidad*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá.
- Seoane, M. L. (2020). Dispositivos de obtención de energía a partir de vibraciones ambientales. *Dispositivos de obtención de energía a partir de vibraciones ambientales*. Universidad de Oviedo.
- Service, W. S. (2022). *Weather Spark Terms of Service*. Obtenido de Weather Spark Terms of Service: <https://es.weatherspark.com/y/20035/Clima-promedio-en-lbarra-Ecuador-durante-todo-el-a%C3%B1o#Figures-Rainfall>
- Shu, C., & Lien, I. (11 de Agosto de 2018). Analysis of power output for piezoelectricenergy harvesting systems. *INSTITUTE OF PHYSICS PUBLISHING*, 1449-1512.
- Solideo. (2019). *Solideo Eco Systemes*. Obtenido de Solideo Eco Systemes: <https://www.solideo.es/que-es-el-energy-harvesting/>
- Sotelo Uribe, J. A. (2017). Visión de la aplicación de los sistemas piezoeléctricos para la generación de energía eléctrica a partir del viento en edificios. *Visión de la aplicación de los sistemas piezoeléctricos para la generación de energía*

*eléctrica a partir del viento en edificios*. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona.

Texas, I. (s.f.). *Basic Calculation of a Buck converters Power Stage*. Obtenido de Basic Calculation of a Buck converters Power Stage: [https://www.ti.com/lit/an/slva477b/slva477b.pdf?ts=1682669490984&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F](https://www.ti.com/lit/an/slva477b/slva477b.pdf?ts=1682669490984&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F)

Toma, D., Carandell, M., Carbonell, M., Vals, L., & Del Rio, J. (2018). A NONLINEAR KINETIC ENERGY HARVESTER FOR LIGHT SURFACE OCEAN DRIFTERS. *SARTI*, 1.

Torrealba, R., Vidal, S., Ambrosio, R., & Gómez, C. (s.f.). Sistema de Cosechamiento de Energía con Radio Frecuencia. *Sistema de Cosechamiento de Energía con Radio Frecuencia*. Universidad Autónoma de Puebla, Puebla.

Uriarte, J. M. (2020). LLuvia. *Humanidades*.

Utrera, D. J. (2021). Determinación experimental de la energía eléctrica almacenada por condensadores. *Determinación experimental de la energía eléctrica almacenada por condensadores*. Universidad de Jaén.

Velásquez, M., & Galvis, L. (2010). La marcha humana como fuente generadora de energía a pequeña escala. *ITECKNE*, 184-190.

Viswanath, K., & Srikanth, k. (2017). State of art: Piezoelectric Vibration Energy Harvesters. *ScienceDirect*, 1.

Wile, J., & Sons. (2014). *Materials in Energy Conversion, Harvesting and Storage*. Canada: Library of Congress Cataloging-in-Publication.

Xataka. (2022). *Temperatura de la CPU*. Obtenido de Temperatura de la CPU: <https://www.xataka.com/basics/como-medir-la-temperatura-de-la-cpu-de-tu-ordenador>

- Ying, L., Yung, H., Wu, H., & Lin, Z. (2019). Waterproof Fabric-Based Multifunctional Triboelectric Nanogenerator for Universally Harvesting Energy from Raindrops, Wind, and Human Motions and as Self-Powered Sensors. *Advanced Science*, 2-11.
- Yu, H., Chen, M., WU, C., Tang, K.-T., & Guoxing, W. (2018). A Batteryless and Single-Inductor DC-DC Boost Converter for Thermoelectric Energy Harvesting Application with 190mV Cold-Start Voltage. *Simposio internacional IEEE sobre circuitos y sistemas (ISCAS) de 2018*, 1-4.
- Yuan, M., Cao, Z., Luo, J., & Chou, X. (2019). Recent Developments of Acoustic Energy Harvesting. *Smart Miniaturized Energy Harvesting*.
- Zhao, L., Ligiang, L., Yang, X., Qianming, Y., Wang, Jianwei, & Qunwei, T. (2020). Cumulative charging behavior of water droplet driven freestanding triboelectric nanogenerators toward hydrodynamic energy harvesting. *The Royal Society of Chemistry's*, 7880-7888.

## **Anexos.**

ANEXO A Tabla de Datos piezoelectric.



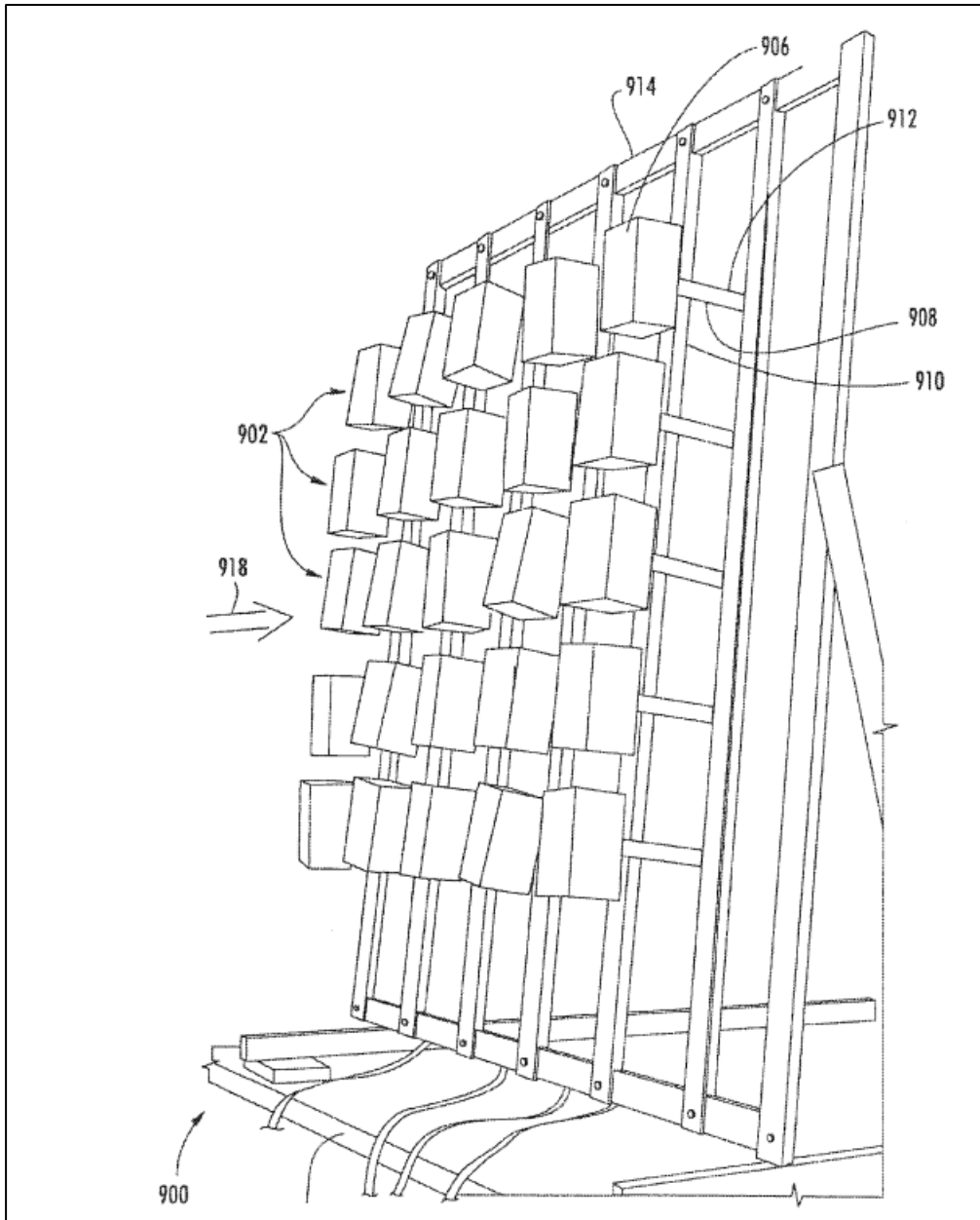
Materials Technical Data (Typical

Values)

Property	Symbol	Units	Material Type			
			PZT-5A	PZT-5J	PZT-5H	PMN-PT
Dielectric Constant (1kHz)	$K^T_3$		1800	2100	3800	4753
Dielectric Loss Factor (1kHz)	$\tan\delta_e$	%	0.02	0.02	2.0	
Dielectric Constant (1kHz)	$K^T_1$		1600	2948		
Clamped Dielectric Constant	$K^{S_3}$		900	800	1200	
Density	$\rho$	g/cm <sup>3</sup>	7.95	7.90	7.87	8120
Curie Point	$T_c$	°C	350	270	225	
Mechanical Quality Factor	$Q_m$		80	60	32	150
Coercive Field (Measured < 1Hz)	$E_c$	kV/cm	12.0	10.0	8.0	5.3
Remanent Polarization	$P_r$	μCoul/cm <sup>2</sup>	39.0		39.0	
Coupling Coefficients	$k_p$		0.68	0.72	0.75	
	$k_{33}$		0.72	0.74	0.75	0.89
	$k_{31}$		0.35	0.37	0.44	0.46
	$k_t$		0.49	0.53	0.55	
	$k_{15}$		0.61	0.77	0.78	
Piezoelectric Charge (Displacement Coefficient)	$d_{31}$	Coul/N x 10 <sup>-12</sup> or	-190	-270	-320	-646
	$d_{33}$		390	485	650	1285
	$d_{15}$	m/V x 10 <sup>-12</sup>	460	850	1000	
Piezoelectric Voltage Coefficient (Voltage Coefficient)	$g_{31}$	V · m/N x 10 <sup>-3</sup>	-11.3	-10.4	-9.5	-15.4
	$g_{33}$		23.2	21.3	19.0	30.6
	$g_{15}$		32.4	32.6	35.3	
Frequency Constants Radial	$N_r$	kHz · cm		191		
Resonant Thickness	$N_{tr}$	kHz · cm	211	205	202	
Anti-Resonant Thickness	$N_{ta}$	kHz · cm	236	235	236	
Thermal Expansion (Perpendicular to Poling)	$\alpha$	ppm/°C	3.0		3.5	
		J/kg · °C	440		420	
Specific Heat	$C_p$	J/mol · °C	145		138	
		W/cm · °C	1.9-2.3		1.9-2.3	
Thermal Conductivity with Au Electrodes	$K_d$	W/m · °K	1.2		1.2	
		W/m · °K	1.45		1.45	
			0.34	0.31	0.31	
Elastic Constants Short Circuit	$S^E_{11}$	x 10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /N	15.1	15.8	16.6	
	$S^E_{33}$		18.6	18.8	21.0	
	$S^E_{12}$		-4.8	-5.0		
	$S^E_{13}$		-7.6	-7.7		
	$S^E_{55}$		40.0	47.0	52.4	
Elastic Constants Open Circuit	$S^D_{11}$	x 10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /N	12.7	12.6	13.9	
	$S^D_{33}$		9.0	8.5	8.8	
	$S^D_{55}$		25.1	19.1	20.5	
Elastic Constants Short Circuit	$Y^E_{11}$	x 10 <sup>10</sup> N/m <sup>2</sup>	6.6	6.4	6.2	2.2
	$Y^E_{33}$		5.4	5.3	4.9	2.0
Elastic Constants Open Circuit	$Y^D_{11}$	x 10 <sup>10</sup> N/m <sup>2</sup>	7.9	7.9	7.0	
	$Y^D_{33}$		11.1	11.7	11.0	

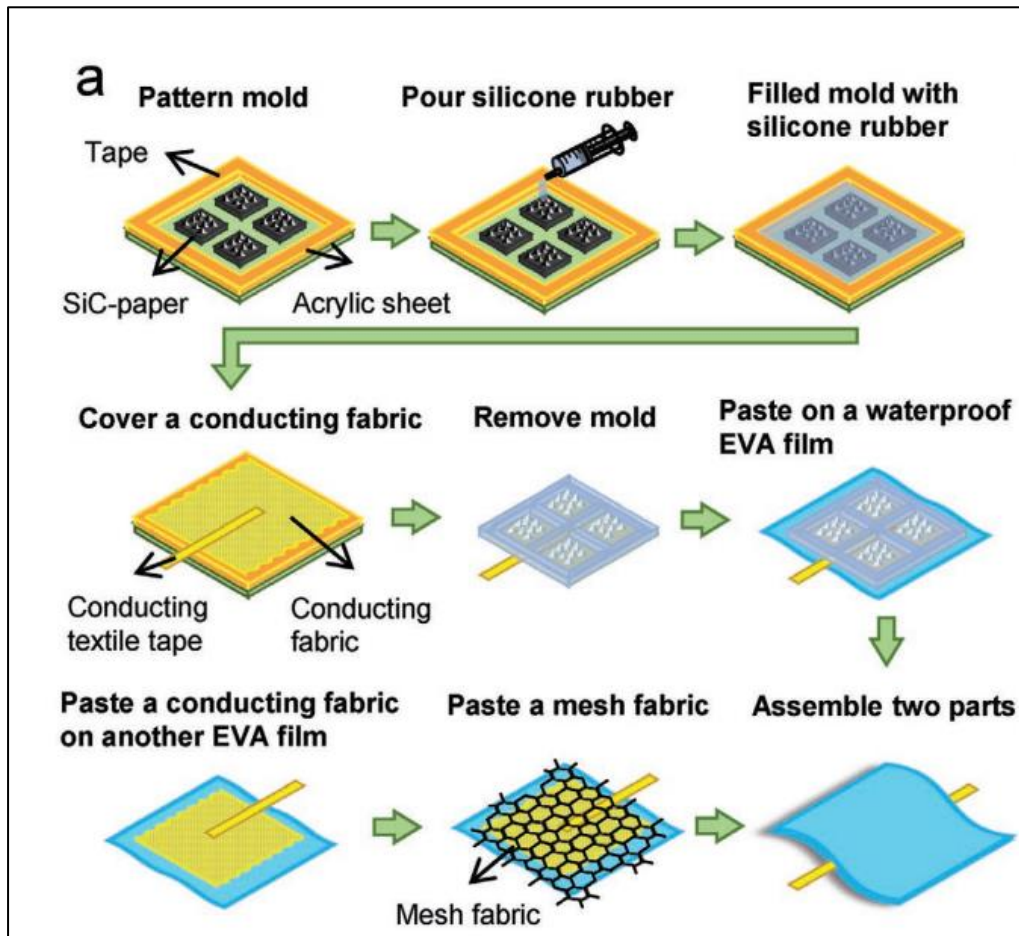
## ANEXO B Estructura para la recolección de energía impacto de viento

Construcción de la estructura para el sistema de recolección de energía mediante el impacto de viento. Consta de 25 osciladores de 5x5. Cada oscilador de 10x20x10cm con la incorporación 10 dispositivos piezoeléctricos.





## Anexo C Diseño Triboeléctrico



## Anexo D Convertidor LM9526

### LM2596 SIMPLE SWITCHER® Power Converter 150-kHz 3-A Step-Down Voltage Regulator

#### 1 Features

- New product available:
  - [LMR51430 3 to 36-V, 3-A, 500-kHz and 1.1-MHz synchronous converter](#)
- For faster time to market:
  - [TLVM13630 3 to 36-V, 3-A, 200-kHz to 2.2-MHz power module](#)
- 3.3-V, 5-V, 12-V, and adjustable output versions
- Adjustable version output voltage range: 1.2-V to 37-V  $\pm 4\%$  maximum over line and load conditions
- Available in TO-220 and TO-263 packages
- 3-A output load current
- Input voltage range up to 40 V
- Requires only four external components
- Excellent line and load regulation specifications
- 150-kHz fixed-frequency internal oscillator
- TTL shutdown capability
- Low power standby mode,  $I_Q$ , typically 80  $\mu$ A
- High efficiency
- Uses readily available standard inductors
- Thermal shutdown and current-limit protection
- Create a custom design using the LM2596 with the [WEBENCH® Power Designer](#)

#### 2 Applications

- [Appliances](#)
- [Grid infrastructure](#)
- [EPOS](#)
- [Home theater](#)

#### 3 Description

The LM2596 series of regulators are monolithic integrated circuits that provide all the active functions for a step-down (buck) switching regulator, capable of driving a 3-A load with excellent line and load regulation. These devices are available in fixed output voltages of 3.3 V, 5 V, 12 V, and an adjustable output version.

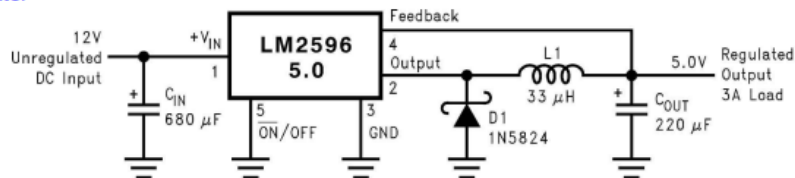
Requiring a minimum number of external components, these regulators are simple to use and include internal frequency compensation, and a fixed-frequency oscillator.

The LM2596 series operates at a switching frequency of 150 kHz, thus allowing smaller sized filter components than what can be required with lower frequency switching regulators. Available in a standard 5-pin TO-220 package with several different lead bend options, and a 5-pin TO-263 surface mount package.

#### Package Information

PART NUMBER	PACKAGE <sup>(1)</sup>	BODY SIZE (NOM)
LM2596	NDH (TO-220, 5)	14.986 mm $\times$ 10.16 mm
	KTT (TO-263, 5)	10.10 mm $\times$ 8.89 mm


(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the data sheet.



Copyright © 2016, Texas Instruments Incorporated

# ANEXO D Características de batería

## Durable Battery *Choose* CSBattery



### Sealed Lead Acid Durable AGM Battery


### GB12-20

**CSBattery GB series AGM batteries** are designed to have a large amount of stored current discharged between charging sessions, with very heavy non-porous battery plates to withstand repeated major discharging and charging cycle. The CSBattery VRLA AGM battery uses a different chemistry for the plates active paste material, and a slightly stronger electrolyte than normal battery electrolyte, thus the GB range features higher cyclic life with 10 years of float life when compared to the standard Duration range.

12V  
20Ah

AGM  
Technology

VRLA  
Battery



#### Applications

- Telecom Control Equipments
- UPS systems, Inverter
- Power Equipments
- Solar&Wind
- Emergency Power Systems

#### General Features

- ✓ 30% more cyclic life through innovation at the PAM additives
- ✓ Long life expectancy of 10 years in floating condition
- ✓ Thick flat plate with high Tin low Calcium alloy
- ✓ Excellent deep discharge recovery capability
- ✓ Deep cycle performance: up to 700 cycles@50%DOD

#### Dimensions & Weight

#### Technical Specifications

Length(mm/inch)      181/7.13

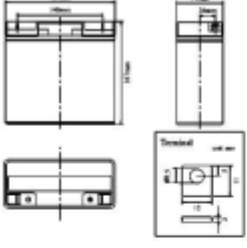
Width(mm/inch)      77/3.03

Height(mm/inch)     167/6.57

Total Height(mm/inch) 167/6.57

Weight(kg/lbs)(±3%) 6.1/13.5

Nominal Voltage		12V(6 cells per unit)
Design Floating Life @25°C		8 Years
Nominal Capacity @25°C(20 hour rate@1.00A,10.8V)		20Ah
Capacity @25°C	10hour rate (1.90A,10.8V)	19Ah
	5 hour rate (3.56A,10.5V)	17.8Ah
	1 hour rate (13.2A,9.6V)	13.2Ah
Internal Resistance		Full Charged Battery@25°C
		<11.0mΩ
Ambient Temperature	Discharge	-15°C~45°C
	Charge	-15°C~45°C
	Storage	-15°C~45°C
Max.Discharge Current@25°C		120A (5s)
Capacity affected by Temperature (10 hour)	40°C	105%
	25°C	100%
	0°C	85%
	-15°C	65%
Self-Discharge@25°C per Month		3%
Charge (Constant Voltage) @25°C	Standby Use	Initial Charging Current Less than 6.0A Voltage 13.6-13.8V
	Cycle Use	Initial Charging Current Less than 6.0A Voltage 14.4-14.9V



#### Battery Discharge Table

Discharge Constant Current per Cell (Amperes at 25°C)

F.V/Time	15min	30min	45min	1h	2h	3h	5h	8h	10h	20h
1.60V	33.11	22.00	15.40	13.20	8.25	5.65	3.77	2.53	2.09	1.10
1.65V	32.50	21.60	15.12	12.96	8.10	5.55	3.70	2.49	2.06	1.08
1.70V	31.90	21.20	14.84	12.72	7.95	5.45	3.63	2.44	2.02	1.06
1.75V	31.30	20.80	14.56	12.48	7.80	5.35	3.56	2.40	1.98	1.04
1.80V	30.10	20.00	14.00	12.00	7.50	5.14	3.43	2.30	1.90	1.00

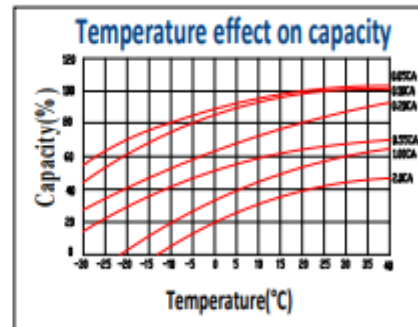
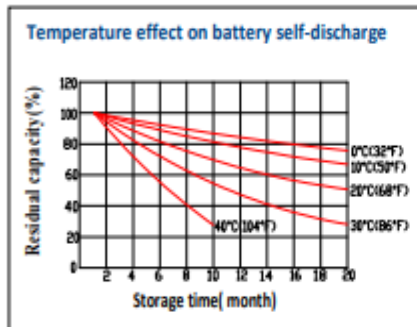
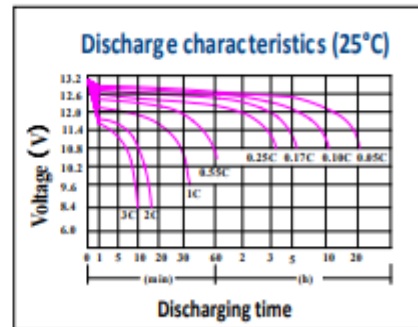
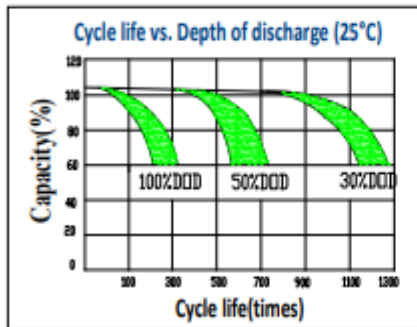
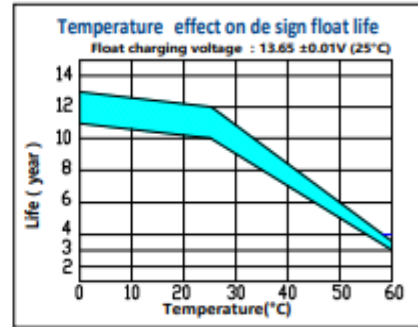
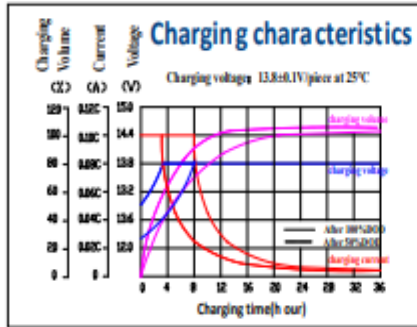
Discharge Constant Power per Cell (Watts at 25°C)

F.V/Time	15min	30min	45min	1h	2h	3h	5h	8h	10h	20h
1.60V	63.73	42.35	29.65	25.41	15.88	10.88	7.26	4.88	4.03	2.12
1.65V	62.57	41.58	29.11	24.95	15.59	10.69	7.12	4.79	3.96	2.08
1.70V	61.41	40.81	28.57	24.49	15.30	10.49	6.99	4.70	3.88	2.04
1.75V	60.25	40.04	28.03	24.02	15.02	10.29	6.86	4.61	3.81	2.00
1.80V	57.94	38.50	26.95	23.10	14.44	9.89	6.60	4.43	3.66	1.93

Note: The above data are average values, and can be obtained within 3 charge/discharge cycles. These are not minimum values. Cell and battery designs/specifications are subject to modification without notice. Contact **CSBATTERY** for the latest information.

**Sealed Lead Acid Durable AGM Battery GB12-20**

**Performance Characteristics**



**Battery Construction**

Component	Positive plate	Negative plate	Container & Cover	Safety valve	Terminal	Separator	Electrolyte	Pillar seal
Features	Thick high Sn low Ca grid with special paste	Balanced Pb-Ca grid for improved recombination efficiency	Fire resistance ABS (UL94-V0)	Flame Si-Rubber and aging resistance	Female Copper Insert MS	Advanced AGM separator for high pressure cell design	Dilute high purity sulfuric acid	Two layers epoxy resin seal