

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



Facultad De Ingeniería En Ciencias Aplicadas

Carrera de Electricidad

**DISEÑO DE APLICATIVOS PARA NANOGENERADORES PIRO,
TRIBO Y PIEZOELÉCTRICOS ENFOCADOS EN ZONAS DE MAYOR
POTENCIAL ENERGÉTICO EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE,
CAMPUS EL OLIVO.**

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

Autor:

Willian Humberto Rodríguez Salazar

Director:

Ing. Julio Esteban Guerra Masson MSc.

Ibarra – Ecuador

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			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100416584-9		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Rodríguez Salazar Willian Humberto		
DIRECCIÓN:	Ibarra		
EMAIL:	whrodriguez@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	062625222	TELÉFONO MÓVIL:	0978833292

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	"DISEÑO DE APLICATIVOS PARA NANOGENERADORES PIRO, TRIBO Y PIEZOELÉCTRICOS ENFOCADOS EN ZONAS DE MAYOR POTENCIAL ENERGÉTICO EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE, CAMPUS EL OLIVO"
AUTOR (ES):	Rodríguez Salazar Willian Humberto
FECHA: DD/MM/AAAA	10-01-2024
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Eléctrico
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Julio Estevan 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 desarrolló, 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 la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 10 días del mes de enero de 2024

EL AUTOR:

Rodríguez Salazar Willian Humberto
C.I. 100416584-9



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

Ing. Julio Estevan Guerra Masson MSc.

CERTIFICA

Que después de haber examinado el presente trabajo de investigación elaborado por el señor estudiante Rodríguez Salazar Willian Humberto, certifico que ha cumplido con las normas establecidas en la elaboración del trabajo de investigación titulado "DISEÑO DE APLICATIVOS PARA NANOGENERADORES PIRO, TRIBO Y PIEZOELÉCTRICOS ENFOCADOS EN ZONAS DE MAYOR POTENCIAL ENERGÉTICO EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE, CAMPUS EL OLIVO" para la obtención del título de ingeniero eléctrico.

Ing. Julio Guerra MSc.

Director de trabajo de grado

Tabla de contenidos

Resumen.....	xii
Abstract.....	xiii
INTRODUCCION	xiv
A1. Contextualización.....	xiv
A2. Planteamiento del problema.....	xv
A3. Justificación del trabajo	xvi
A4. Alcance del trabajo.....	xvii
A5. Objetivo general.....	xviii
A6. Objetivos específicos	xviii
CAPITULO 1	1
1.1 Energy Harvesting	1
1.1.1 Fuentes de recolección de energía	1
1.1.2 Tipos de tecnologías de energy harvesting	2
1.2 Factores de conversión de energía mecánica a eléctrica.....	4
1.2.1 Efecto piezoeléctrico.....	5
1.2.1 Efecto triboeléctrico.....	7
1.2.3 Efecto piroeléctrico	7
1.3 Nanogeneradores.....	8
1.3.1 Nanogeneradores piezoeléctricos (PENG)	9
1.3.2 Nanogeneradores triboeléctricos (PENG).....	10
1.3.3 Nanogeneradores piroeléctricos (PyENG).....	12
1.3.4 Nanogeneradores híbridos	13

CAPÍTULO 2.....	16
Fuentes de mayor potencial energético del campus el Olivo.....	16
2.1 Metodología del proyecto	16
2.2 Planeación de la medición	18
2.2.1 Entorno del tránsito peatonal	18
2.2.2 Conteo del tránsito peatonal.....	19
2.2.3 Análisis del tránsito peatonal	22
2.3 Entorno del tránsito vehicular.....	23
2.3.1 Conteo del tránsito vehicular	23
2.4 Efecto triboeléctrico en árboles	24
2.5 Entorno del diferencial de temperatura.....	25
2.5.1 Temperatura emitida por una lámpara	25
2.6 Formulación de ecuaciones de generación en base a la recopilación de información, almacenamiento y diseño de aplicativos.....	25
2.6.1 Formulación de ecuaciones PENG peatonal.....	26
2.6.2 Formulación de ecuaciones PENG vehicular	27
2.6.3 Formulación de ecuaciones TENG	29
2.6.4 Formulación de ecuaciones PyENG	30
2.7 Formulación para el tiempo de almacenamiento	31
2.7.1 Almacenamiento en base al tránsito peatonal y vehicular (PENG).....	31
2.7.2 Almacenamiento en base a la generación TENG y PyENG	31
2.8 Formulación de ecuaciones para el diseño de aplicativos PENG, TENG y PyENG ..	32
2.8.1 Formulación PENG (Portería y entradas principales de cada facultad)	32

2.8.2 Formulación PENG (escalones FACE, FECYT, FCCSS, FICAYA y FICA)	33
2.8.3 Formulación PENG (paso vehicular)	34
2.8.4 Formulación TENG y PyENG	34
2.9 Resultados obtenidos	34
2.9.1 Generación PZT peatonal	34
2.9.2 Generación PZT vehicular	35
2.9.3 Generación triboeléctrica	38
2.9.4 Generación piroeléctrica	39
CAPITULO 3	40
3. Sitios de recolección PENG	40
3.1 Etapas de conversión de energía mecánica, térmica a eléctrica	40
3.1.2 Piezoeléctricos y rectificación	41
3.1.3 Fase de filtrado	42
3.1.4 convertidor Buck	43
3.1.5 Almacenamiento de energía	47
3.2 Resultados de generación por localización PENG, TENG y PyENG	47
3.2.1 Entradas principales dentro del campus el Olivo (PENG)	47
3.2.2 Escalones principales de cada facultad (PENG)	53
3.2.3 Generación en función al paso vehicular (PENG)	59
3.2.4 Generación en función al follaje de las ramas de los árboles (TENG)	61
3.2.5 Generación en función al diferencial de temperatura emitidas por lámparas (PyENG)	66

3.3 Alimentación obtenida con los nanogeneradores piro, tribo y piezoeléctricos.	71
3.3.1 Aplicativos PENG situada en la portería principal	71
3.3.2 Aplicativos en entradas principales de cada facultad	71
3.3.3 Aplicativos en los escalones de cada facultad	75
3.3.4 Aplicativo del nanogenerador triboeléctrico TENG	78
3.3.5 Aplicativo del nanogenerador piroeléctrico PyENG	78
3.5 Resultados	79
Conclusiones	81
Recomendaciones	82
Referencias.....	83
Anexos	88

Índice de figuras

Figura 1	<i>Fuentes de recolección de energía</i>	2
Figura 2	<i>Energy Harvesting Sources, Storage Devices, and System Topologies</i>	4
Figura 3	<i>Sistema conceptual propuesto</i>	5
Figura 4	<i>Efecto piezoeléctrico directo e inverso</i>	6
Figura 5	<i>Pyroelectric effect and its spontaneous polarization</i>	8
Figura 6	<i>Sheets and operation of triboelectric nanogenerators.</i>	11
Figura 7	<i>Architecture and operation</i>	13
Figura 8	<i>Sistemas de recolecciones híbridos</i>	14
Figura 9	<i>Diseño de aplicativos de nanogeneradores PENG, TENG y PyENG</i>	17
Figura 10	<i>Trazado de las rutas de mayor afluencia peatonal</i>	19
Figura 11	<i>Afluencia peatonal en horas dentro del campus el Olivo</i>	22
Figura 12	<i>Delimitación de lugar de trabajo</i>	23
Figura 13	<i>Superficie de contacto entre el neumático y la carretera</i>	28
Figura 14	<i>Etapas de conversión del PZT AC-CD</i>	41
Figura 15	<i>Etapas de rectificación y filtro</i>	42
Figura 16	<i>Circuito regulador</i>	43
Figura 17	<i>Circuito de convertidor Buck (a)</i>	44
Figura 18	<i>Circuito de carga generador piezoeléctrico</i>	59
Figura 19	<i>Circuito generador de salida</i>	60
Figura 20	<i>Generador TENG impulsado por viento</i>	61
Figura 21	<i>Circuito de carga</i>	62
Figura 22	<i>Circuito de carga de un nanogenerador piroeléctrico</i>	67

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Tecnologías más empleadas en la recolección de energía</i>	3
Tabla 2 <i>Diferencia general durante el efecto entre el Electrón y el Ion</i>	7
Tabla 3 <i>Registros de afluencia peatonal en la portería principal</i>	20
Tabla 4 <i>Registro en las entradas principales de cada facultad</i>	21
Tabla 5 <i>Registro de vehículos durante las 9 horas de actividades</i>	24
Tabla 6 <i>Temperatura ambiente registrados a diferentes horas</i>	25
Tabla 7 <i>Datos referenciales del vehículo</i>	27
Tabla 8 <i>Identificación de las zonas de mayor potencial energético</i>	35
Tabla 9 <i>Voltaje con respecto a la presión ejercida del neumático</i>	36
Tabla 10 <i>Generación con respecto a la velocidad</i>	37
Tabla 11 <i>Portería principal campus el Olivo</i>	47
Tabla 12 <i>Generación en la entrada principal de la facultad FACAE</i>	48
Tabla 13 <i>Generación en la entrada principal de la facultad FECYT</i>	49
Tabla 14 <i>Generación en la entrada principal de la facultad FCCSS</i>	50
Tabla 15 <i>Generación en la entrada principal de la facultad FICAYA</i>	51
Tabla 16 <i>Generación en la entrada principal de la facultad FICA</i>	52
Tabla 17 <i>Generación en los escalones de la Facultad FACAE</i>	53
Tabla 18 <i>Generación en los escalones de la Facultad FECYT</i>	54
Tabla 19 <i>Generación en los escalones de la Facultad FCCSS</i>	55
Tabla 20 <i>Generación en los escalones de la Facultad FICAYA</i>	57
Tabla 21 <i>Generación en los escalones de la Facultad FICA</i>	58
Tabla 22 <i>Tiempo de almacenamiento de la batería</i>	61

Tabla 23	<i>Generación obtenida por el total de árboles</i>	66
Tabla 24	<i>Generación obtenida por el total de luminarias</i>	70
Tabla 25	<i>Aplicación del nanogenerador</i>	71
Tabla 26	<i>Aplicación del nanogenerador de cada facultad</i>	72
Tabla 27	<i>Aplicación del generador en los escalones de cada facultad</i>	75
Tabla 28	<i>Aplicación del nanogenerador</i>	78
Tabla 29	<i>Aplicación del generador en las luminarias</i>	78
Tabla 30	<i>Resultados generales</i>	79

Resumen

La creciente demanda energética provoca la necesidad de nuevas formas de generación de energía. Los nanogeneradores son atractivos debido a su versatilidad y sencillez en la captación de energía presente en nuestro entorno circundante, contribuyendo así de forma complementaria a la alimentación de dispositivos portátiles. El objetivo de este estudio se centra en la búsqueda actual de información, seguido por la recopilación de información de mayores fuentes potenciales energéticas presentes en el entorno del campus el Olivo, para el posterior diseño de aplicativos que puedan ser alimentados por los nanogeneradores. Tras una revisión bibliográfica se eligió sitios de recolección en base a la energía mecánica presentes en entornos como: la portería principal peatonal y vehicular, entradas principales y escalones de cada facultad, en energía térmica, el calor emitido por las luminarias dentro de un entorno cerrado, seguido por la elección de nanogeneradores piro, tribo y piezoeléctricos, los más aptos para aprovechar las fuentes de generación térmica y mecánica presentes en los pasos peatonales, pasos vehiculares, fuerza de rozamiento por el viento y el calor térmico emitido por lámparas dentro de áreas cerradas. Con el análisis de resultados, se evidencia que los nanogeneradores piro, tribo y piezoeléctricos demuestran una captación de energía significativa que tienen la capacidad de alimentar a pequeños dispositivos electrónicos en cualquier área, lo cual indica que es viable el estudio propuesto.

Palabras claves: Generador piezoeléctrico, generador piroeléctrico, generador triboeléctrico, nanogeneradores, efecto piezoeléctrico, efecto triboeléctrico, efecto piroeléctrico, piezoelectricidad, triboelectricidad, piroelectricidad.

Abstract

The growing demand for energy is driving the need for new forms of energy generation. Nanogenerators are attractive due to their versatility and simplicity in capturing energy from our surrounding environment, thereby contributing comprehensively to powering portable devices. The objective of this study focuses on the current search for information, followed by the collection of data on major potential energy sources in the surroundings of the El Olivo campus, for the subsequent design of applications that can be powered by nanogenerators. After a literature review, collection sites were chosen, such as mechanical energy in environments like the main pedestrian and vehicular gates, main entrances, and steps of each faculty. In terms of thermal energy, the heat emitted by luminaires within a closed environment was considered. Piroelectric, triboelectric, and piezoelectric nanogenerators were chosen, as they are most suitable for harnessing thermal and mechanical generation sources present in pedestrian crossings, vehicular crossings, frictional force from the wind, and thermal heat emitted by lamps within enclosed areas. The analysis of results shows that piroelectric, triboelectric, and piezoelectric nanogenerators demonstrate significant energy capture that can power small electronic devices in any area, indicating the feasibility of the proposed study.

Keywords: Piezoelectric generator, pyroelectric generator, triboelectric generator, nanogenerators, piezoelectric effect, triboelectric effect, pyroelectric effect, piezoelectricity, triboelectricity, pyroelectricity.

INTRODUCCION

A1. Contextualización

A nivel global el ascenso al desarrollo de energías renovables en la generación eléctrica va en aumento debido a la base de la problemática del cambio climático en la reducción de las emisiones de CO₂ y la dependencia de electricidad de origen de sistemas convencionales (Renewable Energy Agency, 2020). En cuanto al uso de energías como; solar, térmica, mecánica, eólica, estas van ganando espacio en la sostenibilidad del sector eléctrico, debido a la necesidad de satisfacer de forma complementaria el consumo energético y como una manera de reducir costes contribuyendo de forma completaría al desarrollo económico de sustentabilidad.

Las tecnologías emergentes de nanogeneración eléctrica altamente eficiente como en PENG, TENG y PyENG, son una opción complementaria del aprovechamiento de fuentes alternas renovables presentes en el entorno ambiental (Zi & Wang, 2017). Entre ellos se distingue por sus propiedades de conversión de energía, los TENG convierte la energía cinética en eléctrica, seguido por PENG que convierte la energía mecánica en eléctrica y los PyENG que convierten la energía térmica en eléctrica (Hu et al., 2023). En sistemas híbridos son útiles para mejorar la eficiencia de la recolección de energía aprovechando dos o más propiedades de conversión aumentando la salida eléctrica (Jin Zhang et al., 2021).

En cuanto al desarrollo de investigaciones, presentan aplicativos en cuanto a tecnologías de recolección de energía, entre ellos destacan el transporte, carreteras, ferrocarriles, puentes, reductores de velocidad en carreteras, vehículos, neumáticos, entre otros, cuentan con la ventaja de recolección hasta en entornos más hostiles y a su vez se puede usar para la alimentación dispositivos autoalimentados (Sezer & Koç, 2021a).

Por otro lado, las universidades están cada vez más comprometidas con el enfoque sostenible, por lo que desarrollan planes de desarrollo sustentable con el fin de lograr proyectos en el aprovechamiento de estas energías que a diario se generan en nuestro entorno y a su vez permitan adoptar instructivos de gestión y planificación ambiental en las diversas áreas de conocimiento (Bohne García et al., 2023).

El Ecuador de forma amplia busca consolidar la sostenibilidad a través de fuentes alternativas renovables. Por esta razón los nanogeneradores de energía son una de las nanotecnologías más importantes que traen consigo beneficios como un aporte considerable a la reducción de la contaminación y el incentivo al desarrollo de nuevos aplicativos que cuenten con mayor eficiencia de generación de energía (Ministerio de Energía y Minas).

A2. Planteamiento del problema

El creciente aumento exponencial tecnológico y de la población, trae consigo un desequilibrio ambiental debido al uso de aparatos electrónicos lo que conlleva el consumo de recursos energéticos no renovables. Pese a que los últimos años el estudio de fuentes energéticas alternativas no ha tenido un avance considerable, esto no ha sido suficientes para ser aprovechadas.

Sin embargo, todavía existen fuentes de energía circundantes que no están siendo aprovechadas y recolectadas para su transformación a energía eléctrica. La Universidad Técnica del Norte el estudio de fuentes de energías para su recolección mediante nanogeneración conlleva un avance pausado, lo que impide el aprovechamiento de este tipo de energías menos contaminantes. Por lo tanto, carece de un estudio de las fuentes de nanogeneración en energía mecánica y térmica dentro del campus el Olivo.

¿Qué tipo de actividades humanas o fenómenos naturales del campus universitario el Olivo de la Universidad Técnica del Norte tienen el potencial energético para ser aprovechados por los

nanogeneradores?

A3. Justificación del trabajo

Debido a la problemática que trae a futuro el uso de energías no renovables, es preciso mencionar la importancia que tiene la implementación el uso de recolección de energías aplicadas al campus universitario el Olivo debido a que pueden ser implementados en cualquier parte con requisitos mínimos y con varias aplicaciones como; baldosas, vías peatonales, pasos vehiculares, gradas en edificios, entre otras, además estas aprovechan las fuentes de energía como; térmica y mecánica permitiendo suplir pequeñas cargas y aprovecharlos para la alimentación de aparatos eléctricos que trabajan con pequeñas cargas eléctricas (Sezer & Koç, 2021a).

Para señalar, el interés de reducir la contaminación ambiental con la implementación de energías renovables para la generación eléctrica se ve evidenciado en el artículo 413 de la Constitución de la Republica del Ecuador. En base a esto, el proyecto a desarrollarse cuenta con objetivos planteados por entidades rectoras del sector eléctrico que se basan en el desarrollo de prácticas y tecnologías amigables con el ambiente de bajo impacto.

El presente proyecto busca el desarrollo e investigación de aplicativos en las diversas zonas de mayor potencial energético del campus universitario el Olivo, de esta forma buscar un equilibrio en las necesidades de consumo de energía para la alimentación de dispositivos que necesitan de pequeñas cargas energéticas. Adicionalmente servirá como incentivo al desarrollo sostenible de estos aplicativos en recolectores de energía en otras zonas del campus de la universidad.

A4. Alcance del trabajo

La presente investigación busca establecer un análisis sistemático del estado del arte que agrupe las diversas variables del entorno a tomar en consideración con respecto a los nanogeneradores como: tipos de nanogeneradores TENG, PENG y PyENG e híbridos que mejoran la optimización de la forma de recolección de energía enfocados en una o dos capas, sea PENG y TENG o TENG, PENG y PyENG en las distintas bases de datos bibliográficas como Scopus, IEEE Xplorer, Latindex, WOS, etc.

Seguido por un estudio explicativo de las diversas fuentes de mayor potencial energético generadas de manera natural por actividades humanas del campus el Olivo. En energía térmica y mecánica el estudio de potencial energético producido por la conversión del calor residual de cuerpos que ejercen por movimientos que generen vibraciones ya sea por medio actividades derivadas del esfuerzo humano donde se tomara en consideración la frecuencia de uso y el tiempo, de igual forma el tipo de fuerza que ejercen estos cuerpos. Para ello se tomará en consideración muestras de registros de actividades como en los gimnasios, entrada de la universidad y la frecuencia de uso de las escaleras del edificio.

Finalizando con el resultado de esta investigación el diseño de aplicativos enfocadas en zonas de mayor potencial energético del campus el Olivo que tengan la capacidad de aprovechamiento para los nanogeneradores en zonas como: gradas de las facultades, principales pasos vehiculares, entrada principal peatonal y vehicular de la universidad. Seguido por una propuesta de los tipos de dispositivos electrónicos década zona energética que puedan beneficiarse de estas cargas eléctricas. de igual manera aportar como incentivo de guía al nuevo conocimiento para futuras investigaciones, así como también el enfoque de este estudio la cual es importante para el fortalecimiento de estas energías amigables con el ambiente.

A5. Objetivo general

Diseñar aplicativos de sistemas de nanogeneración piro, tribo y piezoeléctricos mediante el estudio de fuentes de energía térmica y mecánica para su conversión en energía eléctrica.

A6. Objetivos específicos

- Realizar una descripción de los nanogeneradores PENG, TENG y PyENG.
- Estudiar las fuentes de mayor potencial energético del campus el Olivo que puedan ser aprovechadas por los nanogeneradores PENG, TENG y PyENG.
- Diseñar aplicativos para los nanogeneradores eléctricos en función de las fuentes de generación de energía térmica y mecánica del campus el Olivo.

CAPITULO 1

Revisión bibliográfica

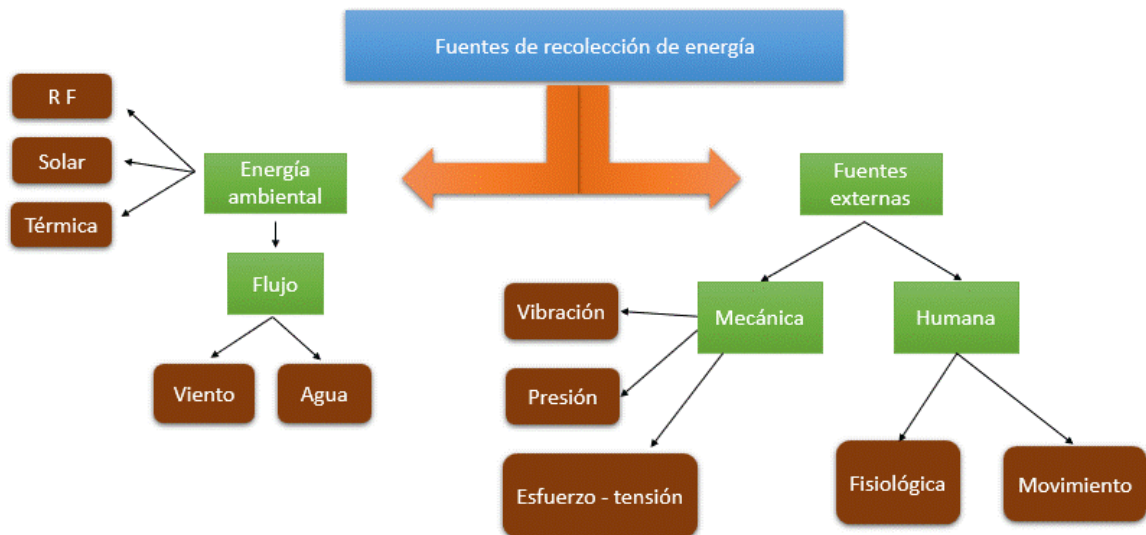
1.1 Energy Harvesting

Energy Harvesting hace referencia a la recolección de energía dentro del entorno ambiental, tiene como objetivo transformar una energía primaria como la energía cinética, térmica y mecánica en una fuente secundaria como es la generación eléctrica que puede ser almacenada en baterías de baja energía que pueden ser alimentados a dispositivos que trabajen con pequeñas cargas eléctricas (Malaji et al., 2022).

La captación de energía de los sistemas Energy harvesting es amplia debido a diferentes fuentes de energía como vibraciones, calor, luz, y los gradientes de temperaturas, pero solo resulta ser factible cuando la energía recolectada por el sistema resulta ser mayor a las pérdidas que se generan por la transferencia. Por ello se llevan a cabo investigaciones enfocados en aumentar la energía captada en nuestro entorno, como en lograr una reducción de perdidas en el sistema (Gkoumas & Bontempi, 2019).

1.1.1 Fuentes de recolección de energía

La recolección de energía cuenta con un proceso de generación de energía a base de las distintas fuentes ambientales presentes en nuestro entorno, entre ellas destacan las formas de conversión como la energía cinética, térmica y mecánica. Sin embargo, la recolección a base de vibraciones toma un rol importante en el estudio de diversas investigaciones debido a su presencia en nuestro entorno, de igual forma por su capacidad de generación de energía (Abdul Halim et al., 2022). En la Figura 1 se muestra las diversas fuentes de recolección de energía subdivididas en dos categorías como energía ambiental y fuentes externas.

Figura 1*Fuentes de recolección de energía*

Las formas de recolección de energía presente en nuestro entorno circundante son ilimitadas, para ello, la necesidad del incremento por parte del internet de las cosas ven la necesidad del desarrollo de dispositivos autónomos que sean capaces de poder alimentarse con estas bajas cargas (Choudhary et al., 2020).

1.1.2 Tipos de tecnologías de energy harvesting

La tecnología en Energy harvesting se centra en dispositivos capas de capturar la energía despreciable de nuestro entorno, con el desarrollo del internet de las cosas IoT aumenta la demanda de energía lo suficiente capas de alimentar los dispositivos. La recolección de energía va complementada mediante la acumulación y conversión de energía ya sea mediante formas primarias como térmica y mecánica, para su posterior conversión mediante efectos piro, tribo y piezoeléctricos. En la Tabla 1, se detalla los avances en los tipos de tecnologías de energy harvesting.

Tabla 1*Tecnologías más empleadas en la recolección de energía*

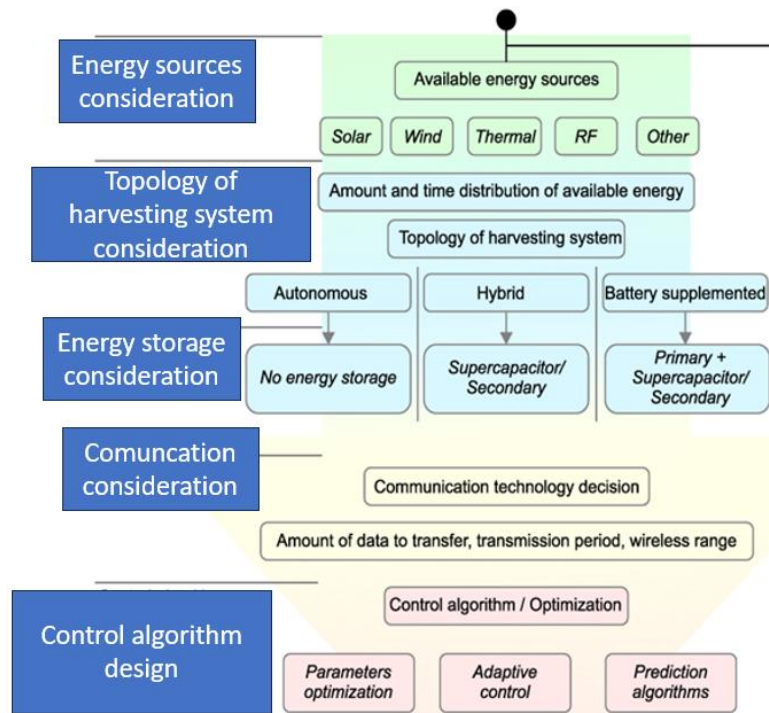
Tecnologías de energy harvesting	
Sistemas de recolección de energía autónoma	Enfocados a satisfacer las necesidades de pequeñas cargas energéticas a partir de fuentes primarias ambientales.
Recolección en sistemas híbridos autónomos	Presentan un sistema de almacenamiento de energía y tiene la ventaja de extender la vida operativa diaria (sistemas vehiculares, sensores de monitoreo, detección de movimientos en las uniones de las estructuras, etc.)

Nota. Esta tabla muestra los tipos de tecnologías más comunes aplicados a cada necesidad humana.

Sin embargo, se presentan desafíos de la investigación al tratar de combinar varias técnicas tomando en consideración la selección de fuentes, su arquitectura, su metodología en recolectar energía y el tipo de tecnología capaz de almacenar de manera eficiente (Praužek et al., 2018). En la Figura 2 se presenta un diagrama de flujo del proceso de diseño de un recolector de energía adaptado al diseño de red de sensores inalámbricos ambientales.

Figura 2

Energy Harvesting Sources, Storage Devices, and System Topologies



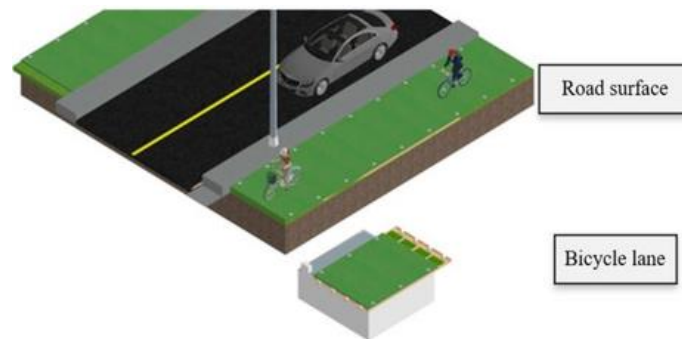
Nota. Adapted de “Energy Harvesting Sources, Storage Devices and System Topologies for Environmental Wireless Sensor Networks” (p 13), por Prauzek M, Konecny J, 2018, sensors.

1.2 Factores de conversión de energía mecánica a eléctrica

Uno de los grandes desafíos es el estudio en el modo de acoplamiento de características electromecánicas de los elementos piezoeléctricos. La forma más común es la conversión mecánica producida a base de vibraciones que se pueden encontrar en casi todas las actividades. Dentro de un estudio reciente la aplicación de materiales piezoeléctricos está ganando espacio debido a sus características y su sencillas. Según la revista SENSORS, el estudio se basa en pavimentos piezoeléctricos, donde destacan por su potencial eléctrico, que se encargan de aprovechar la energía, a esta sumada una metodología e implementación en vías y ceras que tienen la capacidad de aprovechar la energía generada por automóviles y bicicletas (Jettanassen et al., 2022). En la Figura 3 se muestra una representación general de un sistema híbrido de trabajo.

Figura 3

Sistema conceptual propuesto



Nota. Adapted de “Conversion of Mechanical Energy to Electrical Energy Using Piezoelectric Materials for Bicycle Lane Lighting Systems” (p 3), por Jettanasen C, 2022, sensors.

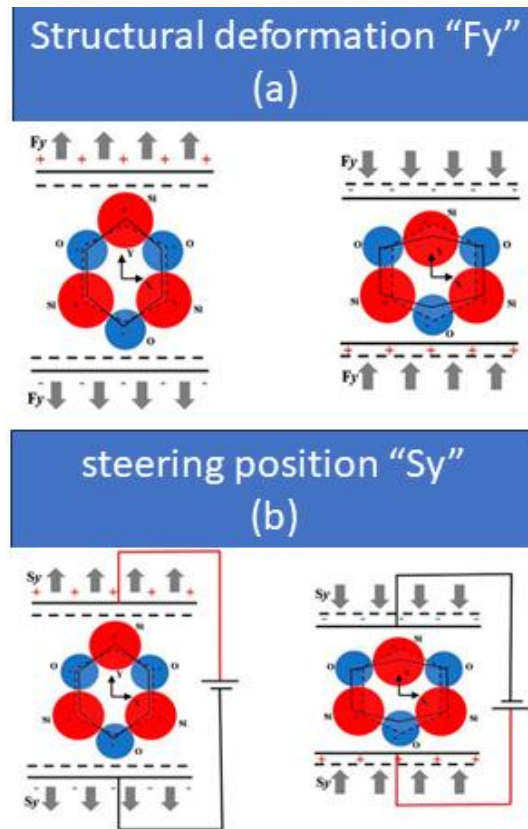
Este sistema presenta un sistema de recolección piezoeléctrica, donde se tomó énfasis la energía recolectada en base a un sistema piezoeléctrico conformado por un asentamiento de resortes para mejorar la capacidad de oscilaciones piezoeléctricas, al mismo tiempo permite el estudio sobre el impacto que tiene el suelo como generador de energía (Jettanasen et al., 2022).

1.2.1 Efecto piezoeléctrico

Las propiedades piezoeléctricas tienden a un comportamiento resultante al efecto piezoeléctrico directo e inverso. El efecto piezoeléctrico directo tiene la capacidad de convertir la energía mecánica primaria a una energía secundaria como es la energía eléctrica, a su vez esta puede ser aprovechado por sensores piezoeléctricos. A diferencia al efecto piezoeléctrico inverso que más usado por actuadores porque su conversión esta dado por la energía eléctrica en energía mecánica (Wang et al., 2021). En la Figura 4 se muestra un comportamiento de sus cargas tanto del efecto piezoeléctrico directo e inverso.

Figura 4

Efecto piezoeléctrico directo e inverso



Nota. Adaptado de "Structural Design and Physical Mechanism of Axial and Radial Sandwich Resonators with Piezoelectric Ceramics: A Review" (p 4), por Wang WJiang Y, 2021, sensors.

El efecto piezoeléctrico tiende a su formación mediante una estructura molecular de cuarzo, donde en la Figura 4 se aprecia los ciclos rojos donde representan las cargas positivas a diferencia de los azules que representan las cargas negativas de átomos de oxígeno. Mientras que las líneas entrecortadas muestran la agrupación de átomos debido a que en esa región no actúan fuerzas mecánicas, y las masas del centro se mantienen en una posición inicial tanto cargas como positivas y negativas. La relación de F_y tienden a la deformación estructural en su eje eléctrico, mientras que S_y está dado por la posición en direcciones opuestas al aplicarse distintos campos eléctricos externos (Wang et al., 2021).

1.2.1 Efecto triboeléctrico

El efecto triboeléctrico se caracteriza por su forma de muestra a través de mediciones de diferentes tipos de cargas. Su efecto requiere de parámetros adecuados como su inyección de carga y la evaluación de la carga superficial, esto tiene como resultado la división de medios de cargas en electrones e iones (Pan & Zhang, 2019). En la Tabla 2 se muestra la capacidad de carga con respecto a los fenómenos del efecto triboeléctrico.

Tabla 2

Diferencia general durante el efecto entre el Electrón y el Ion

Medios de tribocarga	Unidad básica	Carga	Capacidad de carga unitaria
Electrón	Electrón	Baja ($(-10^{-31}k_g)$)	1 (constante media)
Ion	Ion	Media ($-10^{-20} - 10^{-20}k_g$)	Usual (1-10)

El efecto triboeléctrico induce la carga de transferencia, posterior a la estabilización tribológica.

El efecto triboeléctrico dependerá el tipo de contacto y el material aplicado. En cuanto a la electrificación tribológica varios estudios demostraron que su parte inicial depende de campos eléctricos internos protegidos por aislantes sólidos, seguido por el modo de contacto usado, su carga tendrá una efectividad a cierta profundidad dando como resultado una capacitancia que es estudiado como profundidad de penetración de carga (Pan & Zhang, 2019).

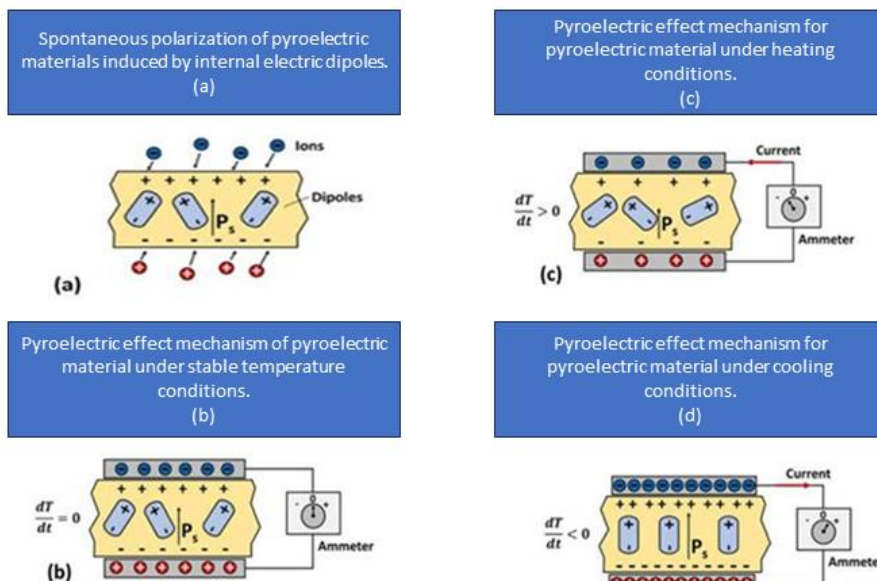
1.2.3 Efecto piroeléctrico

El efecto piroeléctrico tiene una propiedad en el cambio de polarización voluntario debido a fluctuaciones de temperatura en materiales con propiedades con cambios polares. Los cristales piroeléctricos presentan una carga medible en la parte superficial del cristal cuando esta es sometida al calor. El efecto de su asimetría piroeléctrica presenta una inyección de cargas en sus

polos opuestos, seguido por la propagación a todo el material piroeléctrico, pero en algunos casos puede cambiar su dirección debido a la presencia de un campo eléctrico (Tian, 2023). En la Figura 5 se presenta en esquema del efecto piezoeléctrico.

Figura 5

Pyroelectric effect and its spontaneous polarization



Nota. Adapted de “An overview of pyroelectric photodetector: Photoresponse mechanisms and applications” (p 3), por Tian J, 2023, AIP Advances.

En desarrollo de investigación de este efecto es prometedor ya que en la actualidad hay muchos procesos que generan calor residual y que pueden servir como aplicaciones para aprovechar este tipo de energía despreciada y poder alimentar pequeñas cargas autónomas.

1.3 Nanogeneradores

Nuestro entorno ambiental presenta una variedad de energías primarias. Hoy en día con el desarrollo de investigaciones existen dispositivos nanogeneradores capaz de convertir esta energía primaria a una energía secundaria que es la electricidad. Estos nanogeneradores tienen las ventajas de su ligereza y su bajo costos en su construcción, estos pueden ser aplicados en cualquier

superficie y tiene varias aplicaciones como: telecomunicaciones, la medicina, industrias en áreas militar y automotriz, de igual forma la adaptación en tecnologías como es el IoT (Delgado-Alvarado et al., 2022). La descripción en investigación en cuanto se refiere a su rendimiento, cuentan con varios procesos como los PENG, TENG y PyENG, e inclusive en la actualidad se discuten nuevas formas de nanogeneración como los nanogeneradores híbridos.

1.3.1 Nanogeneradores piezoeléctricos (PENG)

Los nanogeneradores piezoeléctricos (PENG) se han desarrollado utilizando materiales semiconductores de alta energía como el óxido de Zinc (ZnO), el Nitruro de Galio (GaN) y cerámicas piezoeléctricas como el titanato de Zirconato de Plomo (PZT) y el Titanato de Bario libre nanoestructurado de Plomo (Ba₂RiO₃). Los materiales permiten la creación de diferentes tipos de nanogeneradores piezoeléctricos con diferentes aplicaciones de flujo de dispositivos de ultrasonido, instrumentos médicos, etc. Cada tipo de nanogenerador piezoeléctrico tiene aplicaciones específicas (Hajra et al., 2021).

Según Rodríguez Mendoza (2015), varios sistemas de generación basados en el efecto piezoeléctrico se han implementado en diferentes partes del mundo con resultados prometedores en términos de mejoras y eficiencia. A continuación, se muestran los proyectos más destacados en este campo de estudio.

En el metro de Tokio se han instalado superficies piezoeléctricas en las zonas de paso de torniquetes y puertas de entrada para captar energía eléctrica. La superficie construida total de 25 metros cuadrados y la producción eléctrica diaria es de 0.4 kWh. Se espera que las instalaciones se amplíen en áreas con el mayor potencial para mejoras de eficiencia energética en áreas metropolitanas (Zhao et al., 2019).

La empresa Israelí Innowatech, en colaboración con el Techion Research Institute, ha desarrollado un sistema capaz de utilizar energía adaptativa en los rieles mediante la captación de energía generada por personas y tráfico ferroviario. El sistema consiste en colocar una serie de elementos piezoeléctricos en cada kilómetro de carretera, situadas en 3 centímetros por debajo de la calzada. Los nanogeneradores están conectados a una serie de baterías para el almacenamiento de energía y posteriormente conectar a la red. En el año de 2021, el sistema genera 600 kWh por kilómetro de vía, mientras que se alcanzan los 140 kWh cuando circulan de 10 a 25 trenes (Sezer & Koç, 2021b).

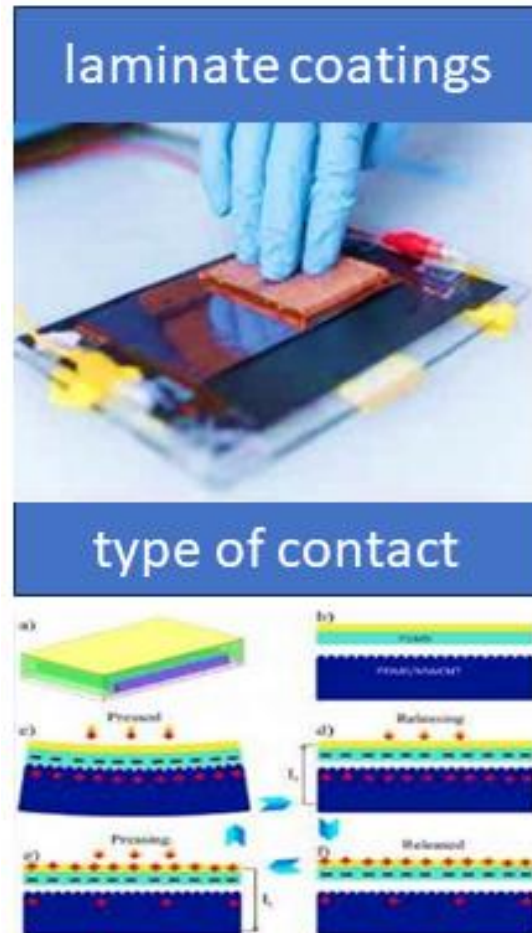
James Graham y Thaddeus Juscik desarrollaron un zapato con transductores piezoeléctricos utilizando materiales como PVDF y PZT. Los resultados mostraron que PVDF produjo 3mW por presión aplicada mientras que PZT produjo 8.4 mW. Con base en este enfoque, J. Paradiso y N.S. instaló el nanogenerador piezoeléctrico en el talón de un zapato, que utiliza una carga eléctrica para cargar una batería. se logró una eficiencia del 12 % (Ryu et al., 2017).

1.3.2 Nanogeneradores triboeléctricos (PENG)

El principio de funcionamiento del nanogenerador triboeléctrico es convertir la energía mecánica en energía eléctrica mediante fricción estática. Los generadores de este tipo se basan en el efecto triboeléctrico, que es la generación de una carga eléctrica al frotar dos materiales triboeléctricos entre sí (Xu et al., 2019). Este proceso depende de la rugosidad del material, la interfaz, la temperatura y el voltaje Figura 6.

Figura 6

Sheets and operation of triboelectric nanogenerators.



Nota. Adapted de “mechanical collection sources”, (p.24), por Zeadally, 2018, Renewable and Sustainable.

Los nanogeneradores triboeléctricos (TENG) también emplean el efecto de acoplamiento, que consiste en la electrificación por contacto e inducción electrostática. Este tipo de generador se basa en cuatro parámetros: el modo de separación por contacto vertical, el deslizamiento por contacto, el electrodo único (SE) y el modo de capa independiente (FTL) (Muthu et al., 2020).

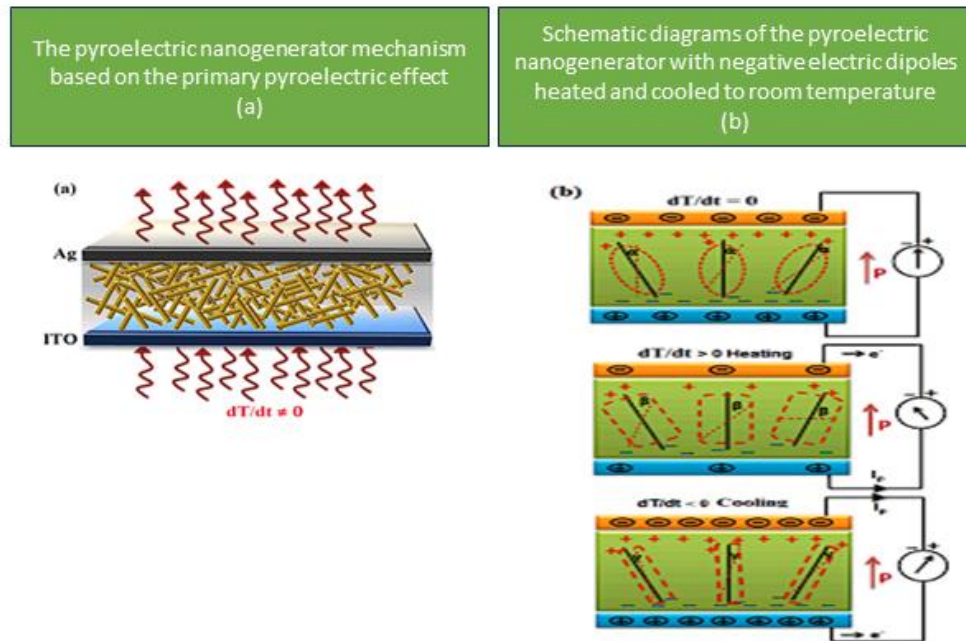
Existen cuatro modos de operación en los nanogeneradores triboeléctricos (TENG). El primer modo es el de separación por contacto, el cual utiliza el movimiento relativo perpendicular entre dos materiales. El segundo modo es el de deslizamiento por contacto, que utiliza el deslizamiento entre dos materiales en contacto. En el modo de electrodo único (SE), el TENG se apoya en el suelo y genera energía a partir del movimiento de uno o varios objetos. Por último, el modo de capa independiente (FTL) utiliza un par de electrodos simétricos y se basa en la inducción electrostática para generar energía (Muthu et al., 2020).

1.3.3 Nanogeneradores piroeléctricos (PyENG)

Los nanogeneradores convierten la energía térmica a energía eléctrica mediante efecto Seebeck que se usa para la diferencia de temperatura entre sus dos polos extremos, posteriormente generar portadores de carga para la captación de energía térmica. Gracias al efecto piroeléctrico se denotan las fluctuaciones de temperatura. Estos nanogeneradores tiene un potencial aplicativo en el monitoreo de temperatura ambiental, diagnósticos en la medicina y la recolección de energía corporal residual. Su arquitectura se compone generalmente en tres capas de películas delgadas, donde su capa superior es usada como electrodo superior, seguida por la capa de polímero intermedia NW y en la capa inferior compuesta por elemento de Óxido de Indio y estaño ITO (Korkmaz & Kariper, 2021). En la Figura 7 se presenta su arquitectura de funcionamiento.

Figura 7

Architecture and operation



Nota. Adapted de “Pyroelectric nanogenerators (PyNGs) in converting thermal energy into electrical energy: Fundamentals and current status” (p 5), por Korkmaz S, 2021, ELSEVIER.

En el apartado (a), su composición esta dado por tres capas, mientras que en el apartado (B), se encuentra su mecanismo de funcionamiento, donde se observan sus dipolos eléctricos tendrán un movimiento aleatorio desde el eje de alineación causado por las fluctuaciones térmicas. Cuando el nanogenerador empieza a perder temperatura, la oscilación entre sus ángulos disminuirá aumentando su polarización espontanea (Korkmaz & Kariper, 2021).

1.3.4 Nanogeneradores híbridos

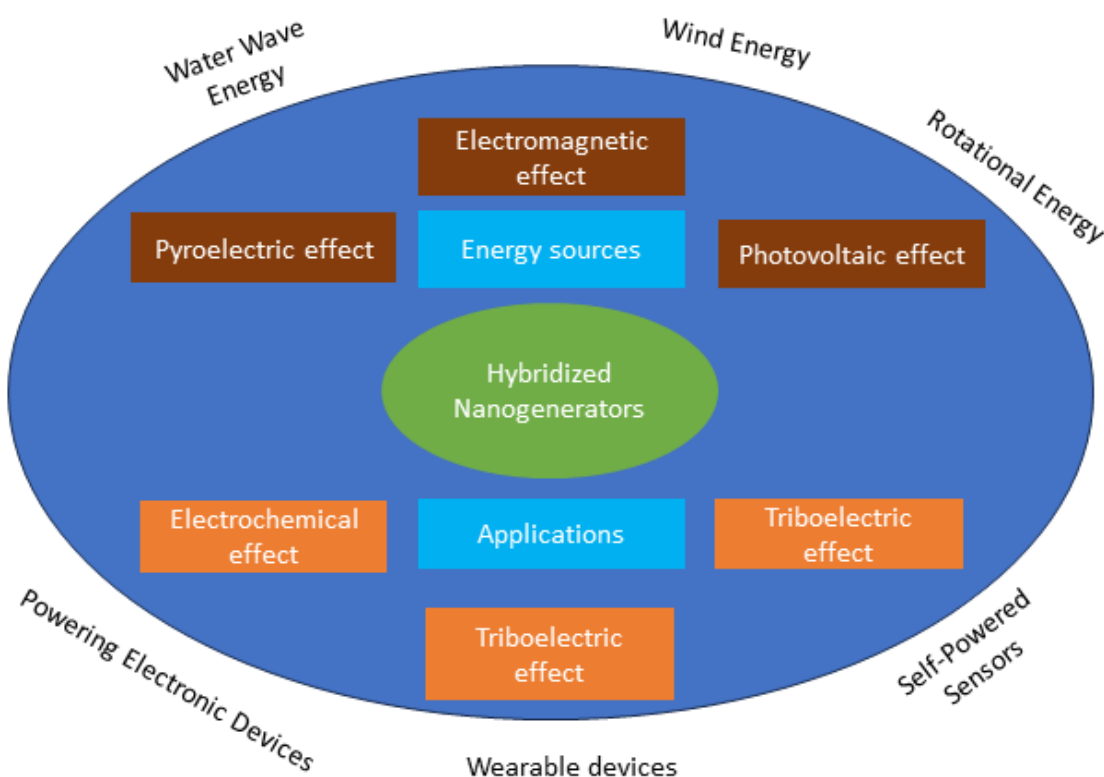
Con el avance tecnológico y el crecimiento poblacional, la demanda de energía alternativa ha aumentado significativamente, lo que ha llevado a un aumento en el desarrollo de recolectores de energía. Como resultado, ha habido un creciente interés en el estudio de nanogeneradores que utilizan principios como el piezoeléctrico (PENG), el triboeléctrico (TENG), y el piroeléctrico

(PyENG), para convertir diferentes formas de energía, incluyendo la mecánica, térmica, magnética, solar y química, en energía eléctrica (Askari et al., 2018).

Con el fin de aprovechar las diversas formas de energía que nos rodean, se ha desarrollado la tecnología de nanogeneradores híbridos capaces de capturar simultáneamente varias formas de energía. Estos sistemas son ideales para alimentar pequeñas cargas y se pueden adaptar a una amplia gama de entornos físicos. En la Figura 8 se muestran los nuevos enfoques de desarrollo de técnicas híbridas y ensamblajes innovadores para la recolección de energía híbrida (Pongampai et al., 2021).

Figura 8

Sistemas de recolecciones híbridos



Nota. Adapted de “Recent advances in hybrid nanogenerators for energy harvesting”, (p.2), por Z. Tongtong, 2020, iscience.

Los dispositivos híbridos mencionados anteriormente tienen un gran potencial de uso en diversas aplicaciones, incluyendo dispositivos portátiles, sensores autoalimentados, carga de baterías de iones de litio y supercondensadores. Además, pueden ser utilizados en el efecto fotovoltaico, reacciones bioquímicas, así como en los efectos piezoeléctrico y triboeléctrico, que son los más conocidos (Chandrasekaran et al., 2019).

CAPÍTULO 2

Fuentes de mayor potencial energético del campus el Olivo

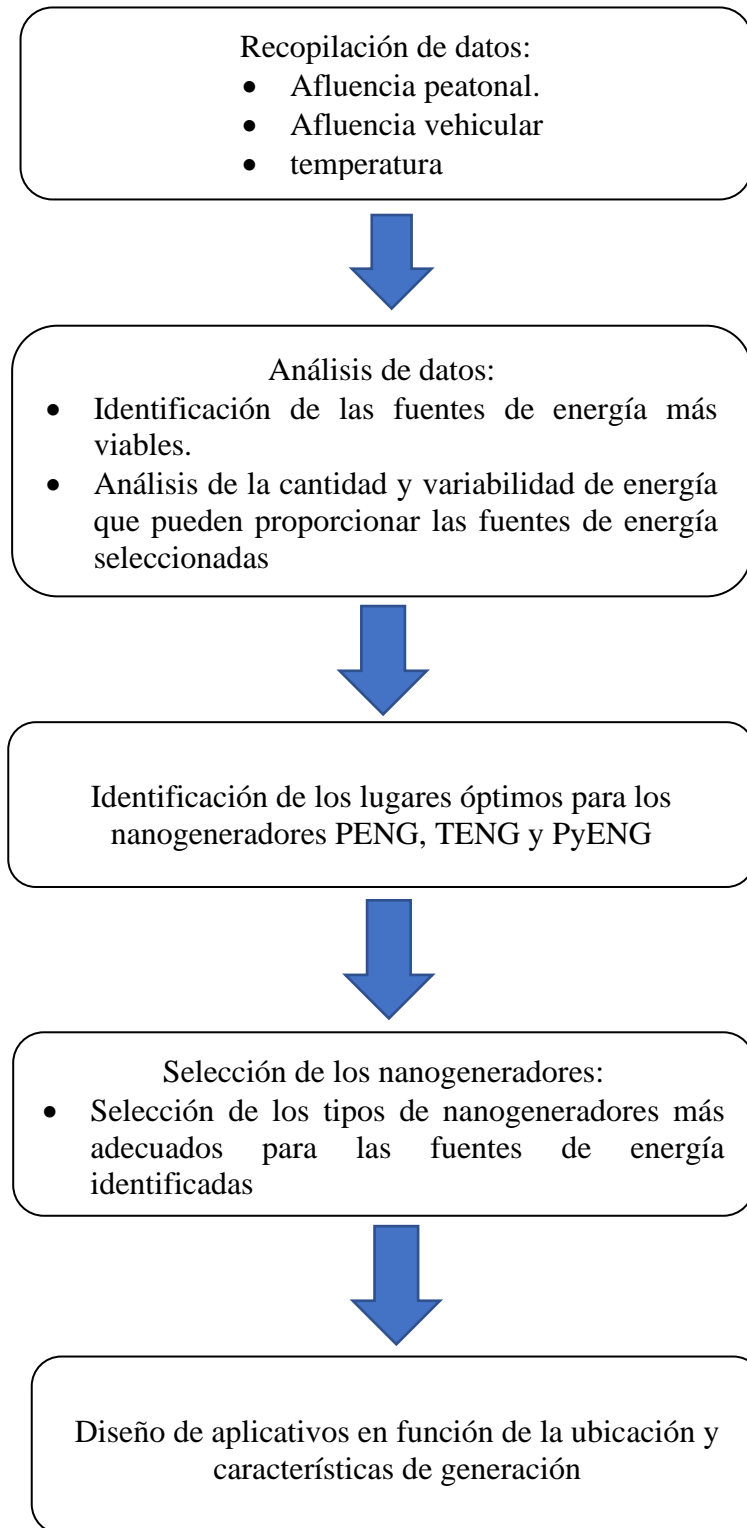
Se presenta la recopilación De información subdividido en tres categorías en función de los nanogeneradores PENG, TENG y PyENG. En piezoelectricidad, la afluencia peatonal en zonas como: entrada de la portería principal, entradas principales de cada facultad y escalones de la planta baja que presenta cada facultad, para el paso vehicular se centra en la entrada superior vehicular de la universidad. En triboelectricidad en ramas superiores a los 3m de altura, finalizando con la piroelectricidad para el aprovechamiento de efecto térmico mediante la diferencia de temperatura que se generan en las lámparas.

2.1 Metodología del proyecto

La metodología tiene un enfoque cuantitativo sobre fuentes de energía potencial dentro del campus el Olivo enfocados en los efectos piro, tribo y piezoeléctrica. En la recopilación y análisis de datos numéricos para la determinar las relaciones entre diferentes variables que son obtenidos por la recopilación de datos de medidores inteligentes y sensores para obtener mediciones más precisas del mayor potencial energético El proceso a seguir se encuentra en la Figura 9, siendo estos puntos claves para obtener con éxito el objetivo propuesto.

Figura 9

Diseño de aplicativos de nanogeneradores PENG, TENG y PyENG



2.2 Planeación de la medición

La afluencia peatonal se realiza mediante un análisis visual para determinar la mayor concentración peatonal, seguido por dispositivos de medición que se encargan de obtener los registros estadísticos.

La Universidad Técnica del Norte presenta un sistema de registro en las entradas principales del campus el Olivo tanto peatonal y vehicular. Para las entradas principales de cada facultad se hizo el uso de un equipo de medición como un microcontrolador Arduino mega 2560, sensores de distancia, un chip de reloj que registra la fecha y hora para tener una mejor medición en cuanto al conteo de personas realizado durante las 8 horas.

La recopilación de información por el movimiento en las ramas de los árboles se basa en registros realizados por (Gonzales, J, p. 72), donde se toma muestras de mediciones diarias de la velocidad del viento en el campus universitario el Olivo. Finalizado con la recopilación de datos de temperatura, conformado por un equipo de medición como; Arduino mega 2560, sensor de temperatura lm35 y un controlador de fecha y hora, posteriormente los datos se registran en una memoria SSD.

2.2.1 Entorno del tránsito peatonal

El espacio peatonal que cuenta el campus el Olivo se lo puede apreciar en la Figura 10, se presenta su distribución a los distintos puntos de pasos peatonales de cada facultad.

Figura 10

Trazado de las rutas de mayor afluencia peatonal



Nota. Adaptado de “openstreetmap”, 2023.

En la Figura 10, se observa puntos de enmarcación de color azul. Los puntos de color azul indican la presencia de mayor afluencia peatonal en gran parte de la jornada diaria, usadas por la comunidad universitaria.

2.2.2 Conteo del tránsito peatonal

Los registros obtenidos presentan dos secciones iniciando por el sistema de reconocimiento facial mostrado en la Tabla 3, donde se indica el conteo y el total de personas que han circulado por dicho punto, seguido por el registro y conteo de las facultades como: Facultad de Ciencias Administrativas y Económicas FACAE, Facultad de ciencia y Tecnología FECYT, Facultad de Ciencias de la Salud FCCSS, Facultad de ingenierías agropecuarias y ambientales FIAYA y la Facultad de ingeniería en Ciencias Aplicadas FICA, indicadas en la Tabla 3.

Tabla 3*Registros de afluencia peatonal en la portería principal*

Hora de registro	Portería de la entrada principal, campus Olivo
7:00am-8:00am	993
8:00am-9:00am	381
9:00am-10:00am	300
10:00am-11:00am	238
11:00am-12:00pm	224
12:00pm-13:00pm	978
13:00pm-14:00pm	1156
14:00pm-15:00pm	996
15:00pm-16:00pm	351
16:00pm-17:00pm	261
17:00pm-18:00pm	403
18:00pm-19:00pm	565
19:00pm-20:00pm	645
20:00pm-21:00pm	581
Total, peatones	8072

Dado en que la portería es el principal de ingreso, presenta a diferentes horas gran afluencia peatonal que es usado tanto por docentes, personal administrativo y estudiantes, siendo como el primer punto atractivo para el aprovechamiento de la generación.

Tabla 4*Registro en las entradas principales de cada facultad*

Hora de registro	FACE	FECYT	FCCSS	FICAYA	FICA
7:00am-8:00am	365	379	165	151	101
8:00am-9:00am	66	141	56	56	61
9:00am-10:00am	16	96	31	121	36
10:00am-11:00am	21	66	34	89	28
11:00am-12:00pm	43	32	69	101	94
12:00pm-13:00pm	138	278	145	156	112
13:00pm-14:00pm	188	184	173	191	156
14:00pm-15:00pm	125	142	98	112	101
15:00pm-16:00pm	45	99	51	87	69
16:00pm-17:00pm	26	28	43	93	63
17:00pm-18:00pm	32	42	21	109	31
18:00pm-19:00pm	46	96	31	78	41
19:00pm-20:00pm	191	245	95	96	71
20:00pm-21:00pm	104	109		77	59
Total, peatones	1406	1937	1012	1517	1023

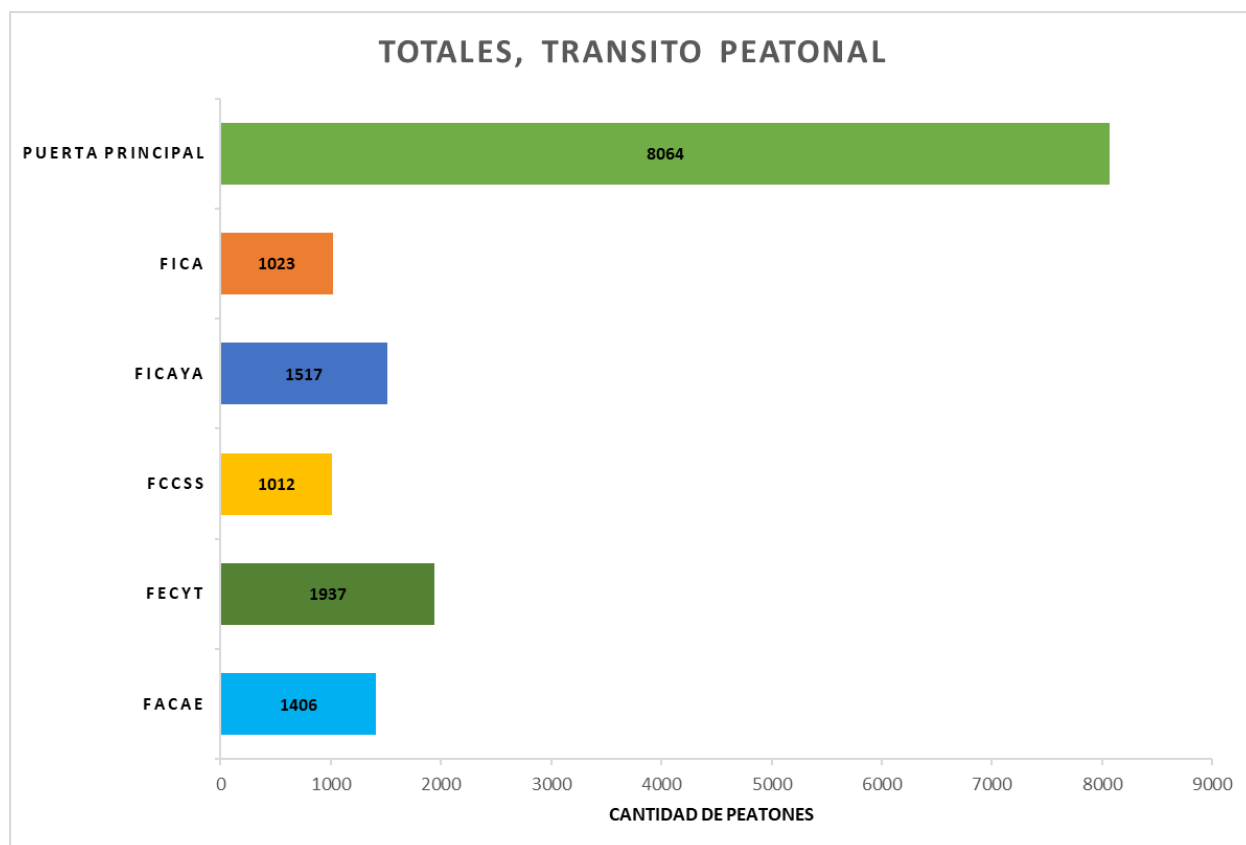
El siguiente punto de mayor afluencia se evidencia en las diferentes entradas principales, donde cada sitio presenta diferentes registros a distintas horas, esto se debe a, actividades académicas que se presentan dentro de cada facultad.

2.2.3 Análisis del tránsito peatonal

Dada la Figura 11, se presenta un valor en conjunto de registros de mayor afluencia peatonal agrupados a diferentes horas.

Figura 11

Afluencia peatonal en horas dentro del campus el Olivo



Liderada por la barra de color verde, que representa la entrada principal del campus el Olivo donde se concentra la mayor cantidad de peatones debido a motivos como la entrada y salida de la institución, seguido por las barras de color naranja y azul que están entre siglas representados por las facultades de FACAE y FECYT que cuentan con un número mayor de estudiantes inscritos y finalizando con las facultades entre sus siglas FICAYA, FICA y FCCSS que están representados por las barras de color plateado, amarillo y celeste, donde no presentan mucha actividad como las

anteriores, debido a que los talleres prácticos se encuentran fuera de la facultad y en otros casos fuera del campus el Olivo.

2.3 Entorno del tránsito vehicular

En cuanto al apartado del trazado del punto seleccionado para la medición de la afluencia vehicular se puede apreciar en la Figura 12, donde se toma en consideración el uso de entrada y salida vehicular más usada por la comunidad universitaria.

Figura 12

Delimitación de lugar de trabajo



El punto seleccionado está dado por el paso, debido a que más adelante la vía presenta desviaciones que conducen a los distintos parqueaderos. Por ello, el punto seleccionado aprovecha en gran medida la afluencia vehicular.

2.3.1 Conteo del tránsito vehicular

El conteo vehicular se lo obtiene a través del sistema único de registro vehicular, ubicada en la caseta principal. El conteo de tráfico vehicular se puede apreciar en la Tabla 5.

Tabla 5*Registro de vehículos durante las 9 horas de actividades*

Hora de registro	Portería principal Sur
7:00am-10:00am	32
10:00am-13:00pm	23
13:00pm-15:00pm	19
15:00pm-18:00pm	34
18:00am-21:00pm	15
Total, vehículos	123

Se trata de una vía de acceso principal de dos carriles uno en cada sentido, el cual la totalidad del tramo posee las mismas características de circulación con una media diaria de 123 vehículos, lo que se concluye que circulan indistintamente por los dos carriles de cada uno de los sentidos, lo que genera como circulación vehicular un total de 62 vehículos en cada carril.

2.4 Efecto triboeléctrico en árboles

En esta sección se hace énfasis al enfoque triboeléctrico para la recolección de energía mecánica por rozamiento para posteriormente su conversión a energía eléctrica. Se centra en un escenario particular dentro del campus con características peculiares como: el impulso generado por el movimiento del follaje de los árboles debido a la energía cinética del viento.

Se toma en consideración diferentes condiciones, tanto estructurales como la altura del árbol a partir de los 3 metros, seguido por condiciones referentes a la densidad de los contactos triboeléctricos y la velocidad ejercida por el viento. Para la recopilación de información se hace énfasis a los datos proporcionados por la estación meteorológica de la carrera de electricidad donde

se toma valores de referencia como velocidad del viento.

2.5 Entorno del diferencial de temperatura

Está comprendido en la parte interna que presenta una lámpara, donde se puede aprovechar el diferencial de temperatura. Se toman datos de temperatura en base a un sensor lm35, durante las 8 horas. Con la espera a que la lámpara se caliente completamente antes de realizar la medición, seguido de diferentes mediciones a una distancia de 10 cm en diferentes puntos.

2.5.1 Temperatura emitida por una lámpara

En la Tabla 6, se tiene como datos recopilados de la medición durante las 8 horas de medición.

Tabla 6

Temperatura ambiente registrados a diferentes horas

Fecha y Hora	Distancia	Temperatura ambiente	Temperatura difusora
9/05/2023 11:00	10 cm	23	32
9/05/2023 12:00	10 cm	24	35
9/05/2023 13:00	10 cm	25	38
9/05/2023 14:00	10 cm	23	37
9/05/2023 16:00	10 cm	24	34

Nota: Se puede observar, en las horas comprendidas al medio día presentan un mayor aumento de temperatura comprendidas entre las horas que comprende entre las 12:00 pm a 14:00 pm.

2.6 Formulación de ecuaciones de generación en base a la recopilación de información, almacenamiento y diseño de aplicativos.

En base a la recopilación obtenida, se presentan las ecuaciones de generación subdividido en las áreas seleccionadas.

2.6.1 Formulación de ecuaciones PENG peatonal

Considerando el voltaje pico o la amplitud de la señal generada por el PZT, está determinada por la Ecuación 1.

$$v = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{t^2}{d^2} \cdot g_{33} \cdot F \quad (1)$$

Donde:

t = espesor del PZT

d = diámetro

g_{33} = constante piezoeléctrica

F = fuerza aplicada

Para la fuerza ejercida por la persona en N, en la Ecuación 2 se presenta dichos parámetros necesarios.

$$f = m \cdot a \quad (2)$$

Donde:

m = masa de la persona

a = velocidad promedio del paso

El valor de la amplitud de la señal del piezoeléctrico en función a la fuerza aplicada sobre la baldosa compuestos por el total de piezoeléctricos, esta precedida por la Ecuación 3.

$$F_{pzt} = f_{baldosa} / \text{numero de PZT} \quad (3)$$

Donde:

f = fuerza ejercida

numero de PZT = compuesto de la baldosa

Para el voltaje de salida, se lo obtiene por medio de la ecuación 4.

$$v = 0.038 \cdot F_{pzt} \quad (4)$$

Donde

F_{pzt} = fuerza ejercida hacia el PZT

g0.038 = constante piezoeléctrica

2.6.2 Formulación de ecuaciones PENG vehicular

Para la generación se toma un modelo de vehículo con características básicas estructurales, definiendo medidas como el peso y la velocidad de un vehículo como peso estándar referencial que circulan por la carretera de la entrada principal del campus el Olivo, tal como se aprecia en la Tabla 7.

Tabla 7

Datos referenciales del vehículo

Características específicas	Vehículo de referencia
Masa (kg)	1.150
Marca	Kia Stonic
Fabricación	2018

Para conocer la fuerza que ejerce el vehículo, es necesario calcular la presión que produce cada una de las ruedas sobre el piso. Para ello se exponen ecuaciones que expresan mediante cálculos, la fuerza total ejercida por parte del vehículo en base a la Ecuación 5.

$$F_{total} = m \cdot a \quad (5)$$

Donde:

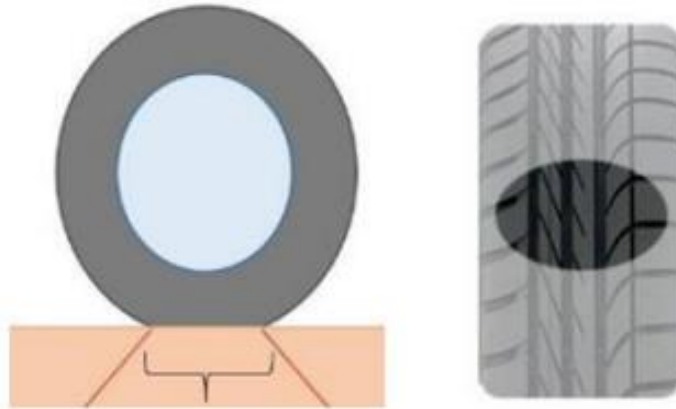
m = presión de las ruedas

a = velocidad de circulación

Se toma en consideración que la rueda tiende más a una forma de elipsoide como se puede apreciar en la Figura 13.

Figura 13

Superficie de contacto entre el neumático y la carretera



Nota. Adaptado de área de contacto entre el neumático y la carretera [fotografía], por A. Zapata, 2016, estructurado (<https://estructurando.net/>), CC BY-SA.

Tomando en cuenta la superficie total de contacto que se reparte la fuerza entre los cuatro neumáticos del vehículo como se aprecia en la Ecuación 6.

$$\text{Presión} = \text{Fuerza} / \text{Superficie de contacto } m^2 \quad (6)$$

Donde:

F = fuerza ejercida

m^2 = superficie de contacto

En el cálculo de tensión por unidad generada se hace uso de la Ecuación 7 donde se toma como referencia el VPzt que es la tensión entregada por un transductor piezoeléctrico que es expresado en voltios.

$$v = \left(-g_{33} \cdot h \cdot \frac{f}{A} \right) = - \left(g_{33} \cdot h \cdot \left(\frac{f}{d^2 \cdot \frac{\pi}{4}} \right) \right) \quad (7)$$

Donde:

V = tensión pico esperado por la deformación del material (v).

g_{33} = constante piezoeléctrica (Vm/N).

H = longitud o grosor del piezoeléctrico (nm).

f = fuerza que se le imprime el cerámico piezoeléctrico.

d = diámetro apreciable del cerámico piezoeléctrico.

A = área del piezoeléctrico (m^2). A la fuerza ejercida sobre esta se lo conoce como nivel de estrés.

La formulación de un transductor piezoeléctrico PZT (Zirconato Titanato de Plomo) con dimensiones de 35mm de diámetro comprendido en su diafragma y 23mm de diámetro en el cerámico, su constante piezoeléctrica es de $25 \times 10^{-3} Vm/N$.

Para determinar el número de vehículos que ingresan y salen por el acceso principal, está dada por la Ecuación 8.

$$\frac{\frac{vehiculos}{día}}{\# sentidos} = \frac{vehiculos}{carril*día} \quad (8)$$

Donde:

Vehículos día = circulación total

Numero de sentidos = número de carriles que posee la vía

2.6.3 Formulación de ecuaciones TENG

Uno de los fenómenos físicos para la generación TENG está dada por la velocidad y generación del viento descritas por las Ecuaciones 9 y 10.

$$v = 0.3 + 0.0877 * Frecuencia \quad (9)$$

Donde:

V = velocidad en m/s

F = frecuencia en Hz (número de pulsos por segundo)

$$d = 73.022 * v \quad (10)$$

Donde:

d = dirección del viento

v = velocidad en m/s

La corriente alterna generada parte de una frecuencia dependiente de la velocidad de rotación, por lo tanto, la frecuencia de esta con respecto al número de contactos empleados. De esta forma mediante la Ecuación 11 se obtiene el valor ideal de frecuencia:

$$Frecuencia_{AC} = \frac{velocidad\ de\ rotacion\ (rpm)}{F} \cdot Numero\ de\ contactos \quad (11)$$

Donde:

rpm = revoluciones rpm del nanogenerador

F = frecuencia

laminas = número de contactos triboeléctricos

2.6.4 Formulación de ecuaciones PyENG

Su definición del entorno esta descrita la Ecuación 12 que expresa la radicación en el área, la cantidad de temperatura, que se pueda aprovechar a través del efecto piroeléctrico.

$$E = K * (Th - Tl) \quad (12)$$

Donde:

E = es la energía eléctrica generada en Joules (J)

k = es la constante de proporcionalidad en Joules por Kelvin (J/K)

Th = es la temperatura de la superficie del difusor doble en grados Kelvin (K)

Tl = es la temperatura ambiente en grados Kelvin (K)

La carga eléctrica almacenada del capacitor se puede calcular con la Ecuación 13.

$$Q = C * v \quad (13)$$

Donde:

Q = es la carga eléctrica almacenada en Coulombs (C)

C = es la capacidad del capacitor en Faradios (F)

V = es el voltaje del capacitor en Voltios (V)

Para calcular el voltaje del capacitor utilizando la Ecuación 14:

$$V = \sqrt{Q / C} \quad (14)$$

Donde:

V = es el voltaje del capacitor en Voltios (V)

E = es la energía eléctrica generada en Joules (J)

C = es la capacidad del capacitor en Faradios (F)

2.7 Formulación para el tiempo de almacenamiento

El tiempo de almacenamiento es importante, ya que de esta depende en gran parte el diseño de aplicativos que puedan aprovechar este tipo de carga.

2.7.1 Almacenamiento en base al tránsito peatonal y vehicular (PENG)

El tiempo de almacenamiento es importante por ello en la Ecuación 15 se presenta el tiempo estimado que tarda en almacenarse la energía.

$$\text{Tiempo de almacenamiento(horas)} = \text{Capacidad(Ah)} * \text{timepo/Corriente(A)} \quad (15)$$

Se hace una relación de cuanta energía se puede almacenar en la batería, especifica la cantidad que puede suministrar o recibir la batería. Seguido por el tiempo en horas que indica el cual se realiza la carga de la batería, viene representado en horas. Por último, la corriente generada, no es más que la cantidad de corriente que fluye hacia la batería.

2.7.2 Almacenamiento en base a la generación TENG y PyENG

$$\text{Tiempo de carga(h)} = \frac{\text{capacidad de la bateria}}{\frac{\text{Eficiencia del sistema} * \text{Potencia requerida}}{\text{Potencia generada}}} \quad (16)$$

La Ecuación 16 describe la capacidad de la batería viene determinada con la medida en amperios-hora (Ah) o vatios-hora (Wh). Mientras que el sistema este representado por las pérdidas de eficiencia del sistema, está dado en el 30%. La potencia generada este dado por un generador expresado en (W). para su carga esta dado por la potencia requerida necesaria para cargar la batería en el tiempo deseado en (W).

2.8 Formulación de ecuaciones para el diseño de aplicativos PENG, TENG y PyENG

En este apartado se presenta los tipos electrónicos de bajo consumo que pueden ser alimentados en función una fuente de generación como es el batería subdividido en las diferentes áreas seleccionadas.

2.8.1 Formulación PENG (Portería y entradas principales de cada facultad)

3.7.1.1 Señaléticas LED de 10W

El uso de la tecnología de iluminación LED de bajo consumo para dar informaciones indicativas en entornos claves, en la Ecuación 17 indica el tiempo de alimentación que puede usarse.

$$T = \frac{Cb(Wh)}{Consumo(W)} \quad (17)$$

El tiempo de consumo está dada por la diferencia entre la capacidad de la batería con respecto al consumo de energía de la señalética.

2.8.1.2 Alarma de detección de movimiento (0.5W/h)

Para el cálculo de la corriente requerida por las alarmas se presenta en la Ecuación 43, donde la corriente total esta dado por la diferencia entre la potencial total y el voltaje de la batería.

$$I_{Total} = \frac{P_{total}}{v_{bateria}} \quad (18)$$

El tiempo de alimentación de la batería esta dado por la Ecuación 19, que se obtiene con la diferencia entre la capacidad de la batería con la corriente total.

$$T = \frac{\text{capacidad de batería}}{I_{\text{Total}}} \quad (19)$$

2.8.2 Formulación PENG (escalones FACE, FECYT, FCCSS, FICAYA y FICA)

2.8.2.1 Cargador de teléfono de características de consumo de (9V a 1.67A)

Se toma la capacidad de carga de (9V a 1.67A). la potencia en vatios se obtiene con el producto entre el voltaje y la corriente descrita por la ecuación 20.

$$P = v \times I \quad (20)$$

La potencia de un cargador está dada por la Ecuación 21, su tiempo de alimentación está dada por la ecuación 43 donde se hace una diferencia entre la capacidad de la batería con la potencia del dispositivo.

$$T_A = \frac{cb}{Pd} \quad (21)$$

2.8.2.2 Iluminación LED para escalones (SMD 3528)

Este tipo de alimentación se lo puede usar a lo largo de los escalones para proporcionar iluminación ambiental.

Para calcular el tiempo de alimentación, se necesita conocer la potencia consumida por las tiras por cada metro, Ecuación 22.

$$P_{\text{total}} = C_{\text{consumo por metro}} \times \text{numero de metros} \quad (22)$$

La potencia total, está dado por el producto entre consumo en W por metro con la cantidad de metros a usar.

Para el tiempo de alimentación esta precedida por la Ecuación 22.

$$TA = \frac{C_{\text{bat}}}{\text{potencia total LEDs}} \quad (22)$$

El tiempo de alimentación esta dado por la diferencia entre la capacidad de la batería con la potencia total de tiras LED.

2.8.3 Formulación PENG (paso vehicular)

Para el cálculo de la corriente requerida por las alarmas se presenta en la Ecuación 23, donde la corriente total esta dado por la diferencia entre la potencial total y el voltaje de la batería.

$$I_{Total} = \frac{P_{total}}{v_{bateria}} \quad (23)$$

El tiempo de alimentación de la batería esta dado por la Ecuación 24, que se obtiene con la diferencia entre la capacidad de la batería con la corriente total.

$$T = \frac{capacidadbbateria}{I_{Total}} \quad (24)$$

2.8.4 Formulación TENG y PyENG

Para el cálculo de la corriente requerida por las alarmas se presenta en la Ecuación 25, donde la corriente total esta dado por la diferencia entre la potencial total y el voltaje de la batería.

$$I_{Total} = \frac{P_{total}}{v_{bateria}} \quad (25)$$

El tiempo de alimentación de la batería esta dado por la Ecuación 26, que se obtiene con la diferencia entre la capacidad de la batería con la corriente total.

$$T = \frac{capacidadbbateria}{I_{Total}} \quad (26)$$

2.9 Resultados obtenidos

2.9.1 Generación PZT peatonal

Para el cálculo de la fuerza ejercida en base a la ley de Newton, sustituyendo con la aceleración gravitatoria y la masa de la persona, teniendo como resultado 588.6 N.

El valor de la amplitud de la señal del piezoeléctrico en función a la fuerza aplicada sobre la baldosa compuestos por 16 piezoeléctricos. Con un peso referencial de 60 kg y mientras camina ejerce todo su peso con su pie, se obtiene un valor de F e incluso la amplitud de la señal generada de 147 N. Sustituyendo en valores de generación, se obtiene 12.8 V

Cabe señalar, una baldosa trabajando en estado continuo, la cantidad de energía generada será ese valor por el tiempo de operación, para la aproximación a una medida más adecuada, se calculará la energía generada por cada pisada considerando que en un segundo se realizan en promedio de dos pasos y el total de personas registradas los diferentes puntos de medición, para ello se aprecia en la Tabla 8.

Tabla 8

Identificación de las zonas de mayor potencial energético

Peso kg	Peso Newtons	Lugares de medición	Número de Mediciones	Voltaje (v)
		Portería principal	8064	451.58 V
60 kg	588N	FACAE	1406	78.73 V
		FECYT	1937	108.47 V
		FCCSS	1012	56.84 V
		FICAYA	1517	84.95 V
		FICA	1023	57.28 V

Se tiene un peso referencial de 60 kg y una fuerza de 558N que son los más habituales para la generación PZT, se tiene un voltaje de salida por el caminar de una persona de 12.8 V, a esto multiplicado por el total de peatones que han circulado por dicho punto se obtienen valores considerables de generación eléctrica.

2.9.2 Generación PZT vehicular

Para saber la fuerza total ejercida por el vehículo se hace un remplazo de datos mencionados en la Ecuación 12, dando como resultado un valor de presión de 8.624 kN. Para tener en consideración que dicha fuerza es distribuida en las cuatro ruedas, por lo que cada una de ellas

ejerce una fuerza de 2.156 kN. Por tanto, se estima que cada rueda del vehículo cuenta con una superficie de contacto de 20*10 cm, lo que tiene una equivalencia a 200 cm^2 .

Teniendo en cuenta la presión ejercida por los cuatro neumáticos, su fuerza se distribuye por los cuatro neumáticos. La presión final aplicada con una fuerza ejercida de 1.156 kN con respecto al área de contacto de 0.02 m^2 presenta un valor de 0.17 MPa.

En la Tabla 9, se aprecia el cálculo estimado de voltaje del piezoeléctrico con respecto a la fuerza ejercida por el neumático del vehículo referencial. Con respecto a la Figura 19, se observa la curva de voltaje vs la fuerza aplicada.

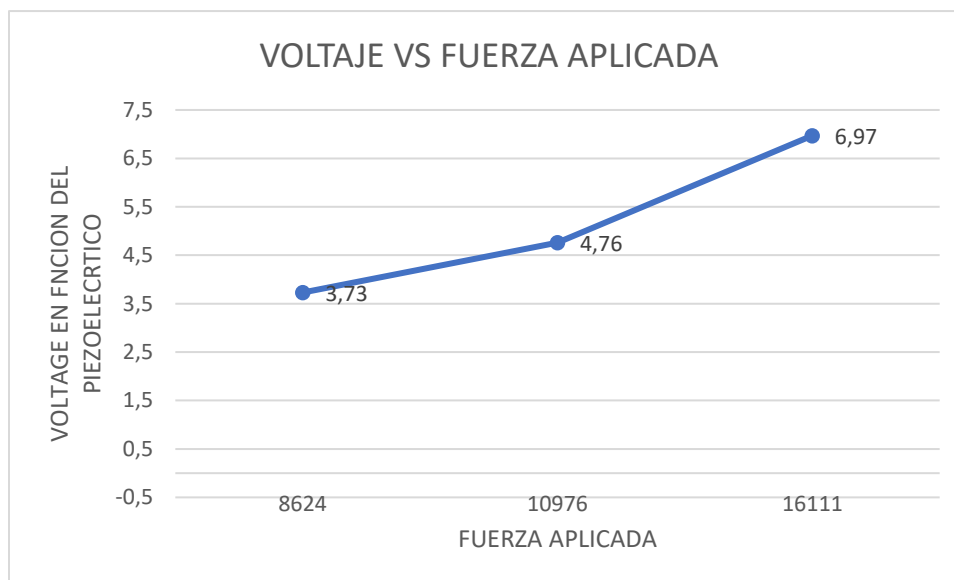
Tabla 9

Voltaje con respecto a la presión ejercida del neumático

Datos específicos	Vehículo de referencia
$F_{total}(N)$	10977
$F_{rueda}(N)$	2745
$F_{PZT}(N)$	184
$V_{PZT}(N)$	4.78

Figura 19

Voltaje en función a la fuerza aplicada.



Considerando el pasar de los vehículos por la carretera a diferentes velocidades. En la Tabla 10 se muestra una comparación entre la velocidad con respecto a la fuerza aplicada al momento de cruzar por el piezoeléctrico. En la Figura 20 se muestra los valores de voltajes generados a partir de la variación de velocidad.

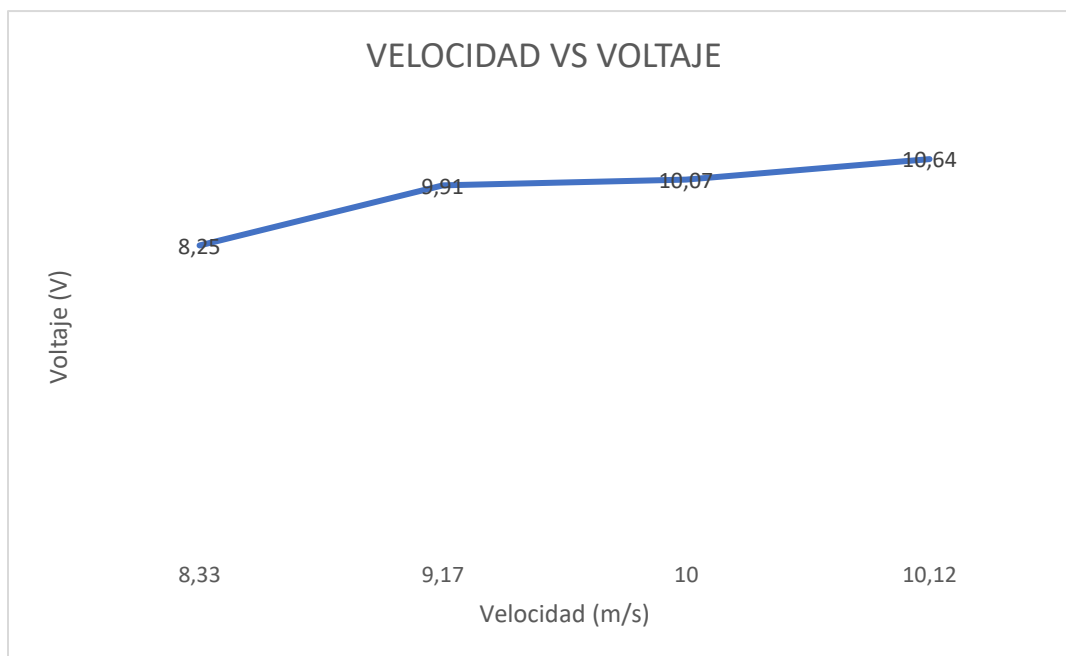
Tabla 10

Generación con respecto a la velocidad

Velocidad (m/s)	Vehículo de referencia
8.33	8.25
9.17	9.91
10	10.07
10.12	10.64

Figura 20

Generación con respecto a la velocidad



La tensión que genera un vehículo referencial fue de 4.78v y dada la linealidad se puede calcular que la tensión generada por el número total de vehículos registrados obteniendo un valor de generación de 296.36 V.

2.9.3 Generación triboeléctrica

Considerando la estructura cilíndrica con respecto a un número de 6 contactos triboeléctricos con el fin de reducir las pérdidas mecánicas debido a la fricción, de manera que el rotor cumpla el papel de acaparar a los menos cerrados, y por tanto lograr una menor inercia total.

Tomando como valores referenciales de frecuencia de 16.7 Hz y 1.18 m/s generan valores de generación de corriente y voltaje considerados con seis contactos una corriente de salida de 68.8uA y un voltaje de salida de 373V.

A mayor densidad de contactos triboeléctricos y una alta velocidad de rotación, mejores resultados de generación eléctrica a partir de un TENG cilíndrico. Si se considera usar un mayor

de 8 contactos se obtienen los siguientes valores.

Con ocho contactos se obtiene una corriente de salida de 910 μ A y un voltaje de salida de 410 V, todo esto a una frecuencia de trabajo de 133.33 Hz.

2.9.4 Generación piroeléctrica

Para la medición se tiene una temperatura ambiente de 296.15 K y una temperatura difusora de 311.5 K. Si se supone que la constante de proporcionalidad k es 0.5 J/K, se puede calcular la energía eléctrica generada de 7.5J

Para su conversión en voltios, se debe dividir la energía eléctrica generada por la carga eléctrica almacenada. Si se usa un capacitor de 1 μ F para almacenar la carga eléctrica generada por el nanogenerador.

Por lo tanto, la energía eléctrica generada en esa medición podría cargar completamente un capacitor de 1 μ F y generar un voltaje de 7.3 V.

CAPITULO 3

Diseño de aplicativos para los nanogeneradores piro, tribo y piezoeléctricos

El diseño de aplicativos en base a la recopilación de información como fuente de mayor potencial energético dentro del campus el Olivo. Con respecto a los nanogeneradores PENG, TENG y PyENG. En PENG se presentan aplicativos en lugares como: la entrada principal peatonal y vehicular dentro del campus el Olivo, entradas principales de cada facultad que se encuentran dentro del campus, escaleras de la FICA, En TENG en las ramas de los árboles por medio de la presencia del viento. En PyENG en lámparas internas que se encuentran dentro del edificio de la FICA. Únicamente se presenta cálculos matemáticos con respecto a la recolección de energía que se pueda aprovechar dentro de los lugares antes mencionados y el posterior desarrollo como propuesta de implementación de una nanogenerador a futuro.

3. Sitios de recolección PENG

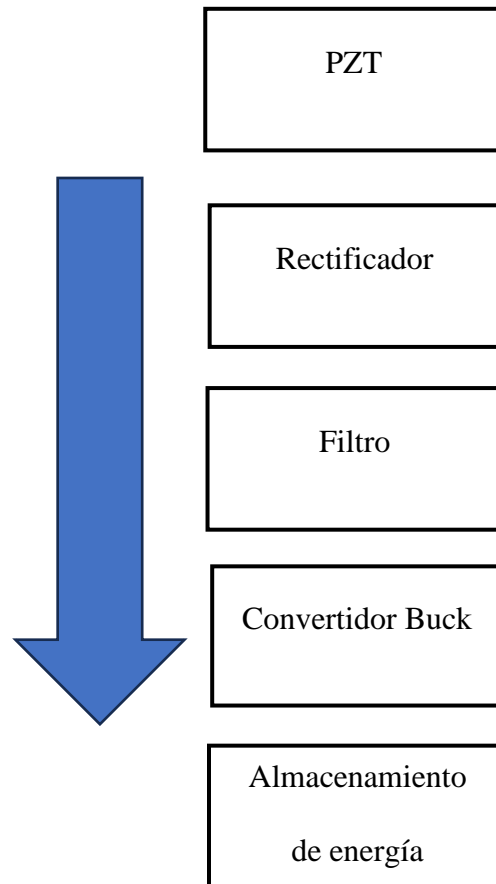
En esta sección se presenta los diferentes aplicativos de generación piezoeléctrica en los puntos como: la portería principal del campus el Olivo, entradas principales de cada facultad, escalones de las diferentes facultades que se encuentran dentro del campus el Olivo y la entrada principal vehicular.

3.1 Etapas de conversión de energía mecánica, térmica a eléctrica

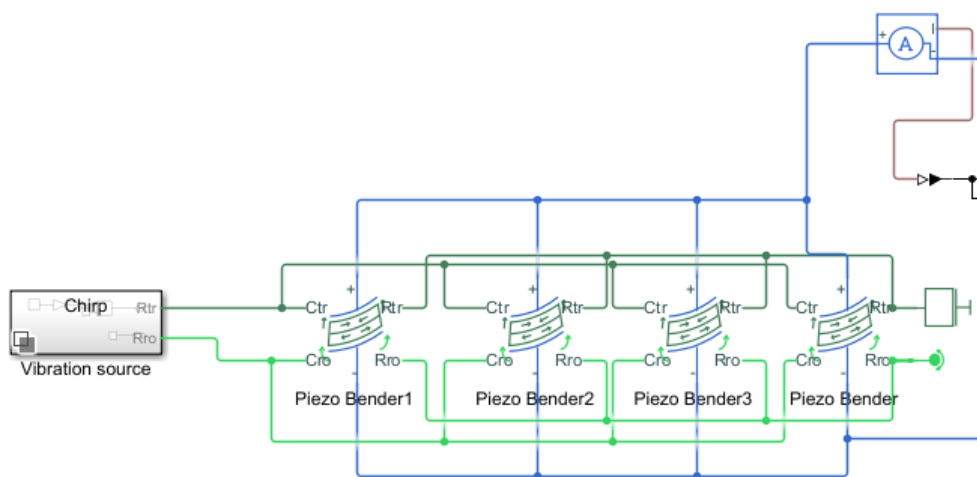
Dada a su linealidad de generación en ac, se necesita un proceso de conversión hasta llegar a un almacenamiento en DC. En la Figura 14, donde muestras sus etapas de conversión de AC-CD.

Figura 14

Etapas de conversión del PZT AC-CD

**3.1.2 Piezoeléctricos y rectificación**

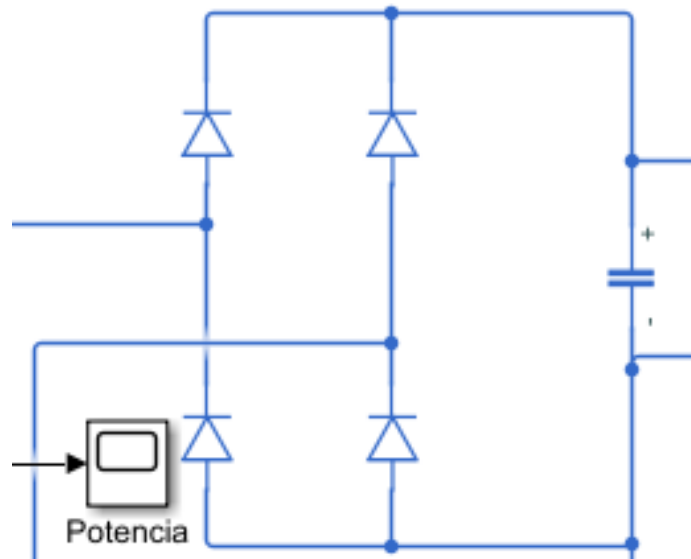
Se presenta el circuito equivalente compuesto por cuatro circuitos, seguido por su respectivo puente de diodos que tiene como objetivos de rectificación la señal, proteger contra la polarización inversa y el acondicionamiento de la señal. En la Figura 15, se presenta la etapa de rectificación y filtrado del circuito.

Figura 15*Etapa de rectificación y filtro*

Está representado mediante un diagrama de bloques que representa un sistema de vibraciones que simula la recolección de pasos del ser humano, seguido por un circuito equivalente de generadores PZT donde están tienen la capacidad de captar la vibración en ellas para la generación de energía.

3.1.3 Fase de filtrado

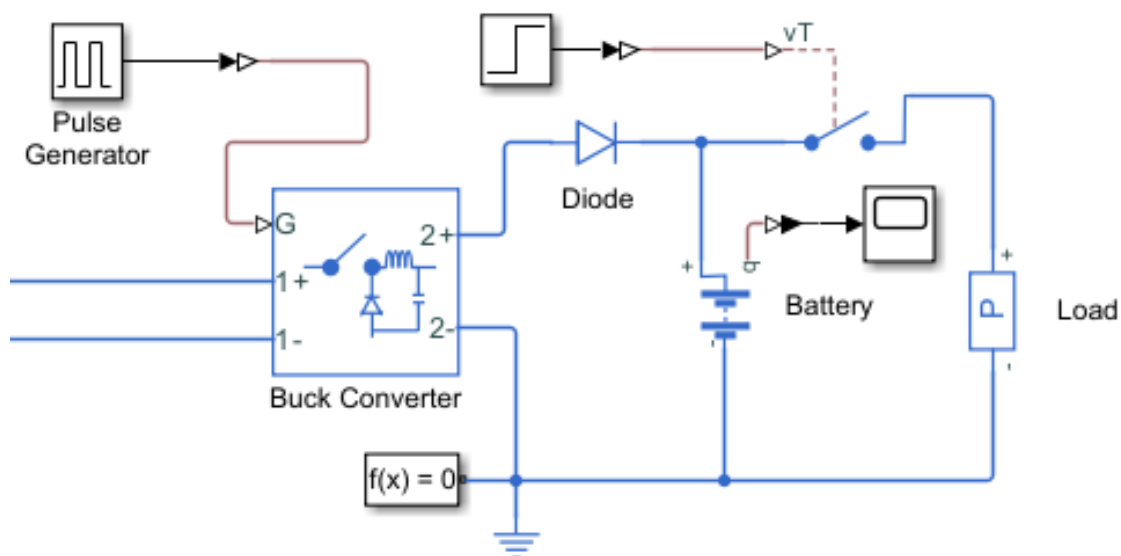
Es importante para lograr una señal eléctrica de alta calidad, en la Figura 16, se presenta el circuito regulador.

Figura 16*Circuito regulador*

La etapa de filtrado tiene funciones como la eliminación del ruido de señales generadas por los PZT, la frecuencia de señal generada eliminando componentes no deseados, la amplificación de la frecuencia, aumentando la señal deseada y la adaptación de impedancia que sirve para optimizar la etapa de amplificación.

3.1.4 convertidor Buck

Se tiene una opción para aumentar la señal de salida de corriente, debido a las bajas cargas de corriente que presentan los PZT. En la Figura 18 se presenta un esquema convertidor Buck ideal para tener una mayor salida de corriente.

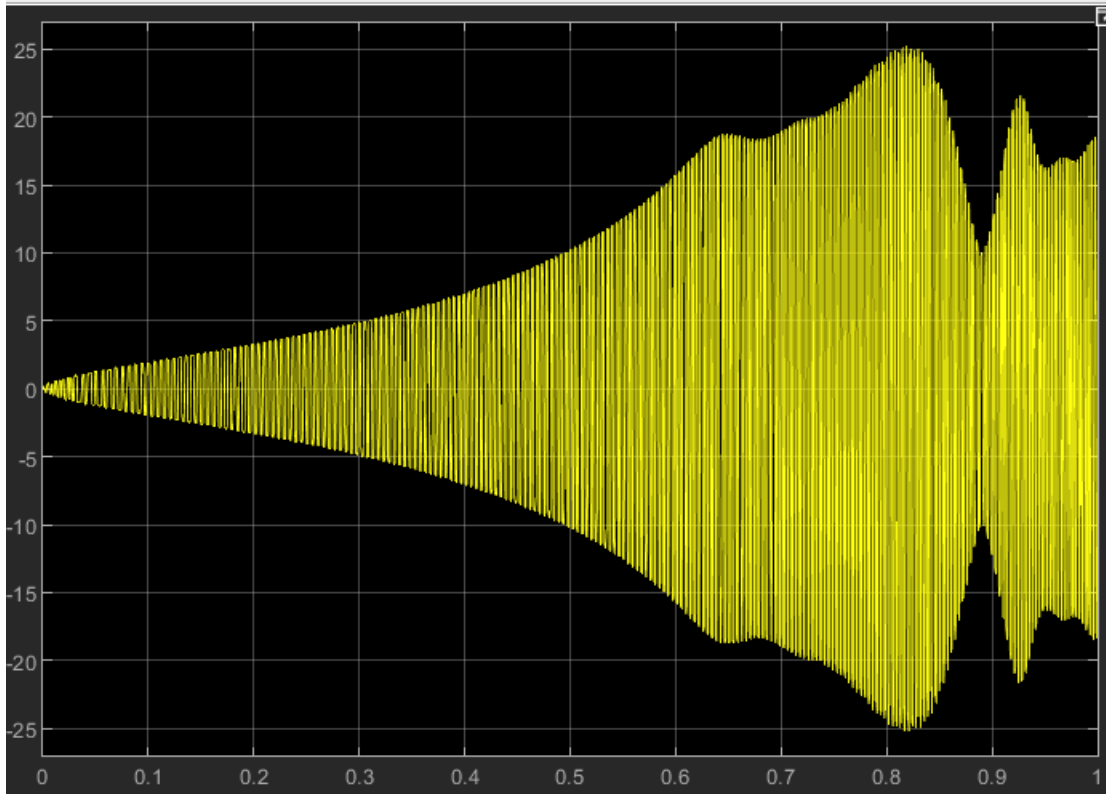
Figura 17*Circuito de convertidor Buck (a)*

El generador de pulso tiene el objetivo de proporcionar una señal de conmutación ideal para el interruptor, tiene la ventaja de generar una serie de pulsos de voltaje y corriente en un tiempo específico.

La función de la conmutación es controlar la cantidad de energía que se transfieren a la bobina del circuito. El ciclo de trabajo de la generación de pulsos determina el tiempo que el transistor se mantiene en ON, permitiendo que circule más energía para tener una mayor ganancia de voltaje.

(b)

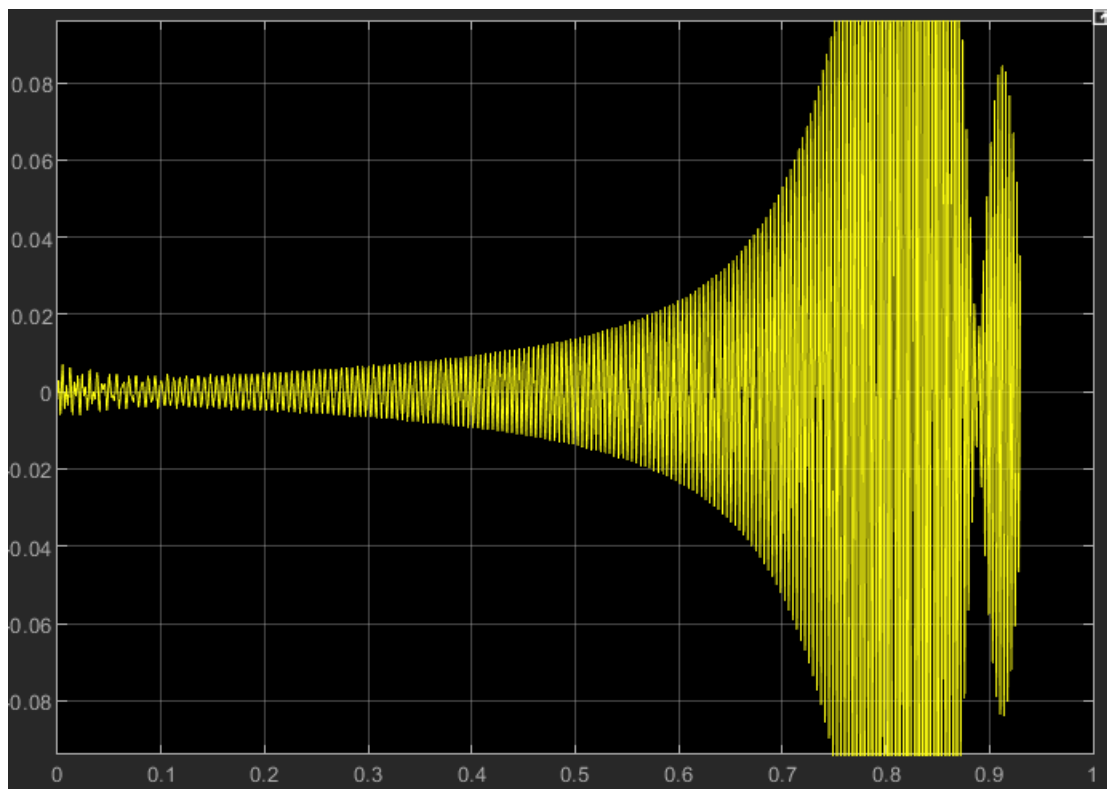
Graficas de voltaje



En el literal a, se observa picos que se aproximan a los 25 V, conformado por un total de 52 dispositivos PZT, sin embargo, su generación no es constante por lo que estas presentan pérdidas, esto puede ser por factores como: el área de deformación y el paso de la persona, sin embargo estas presentan una generación adecuada.

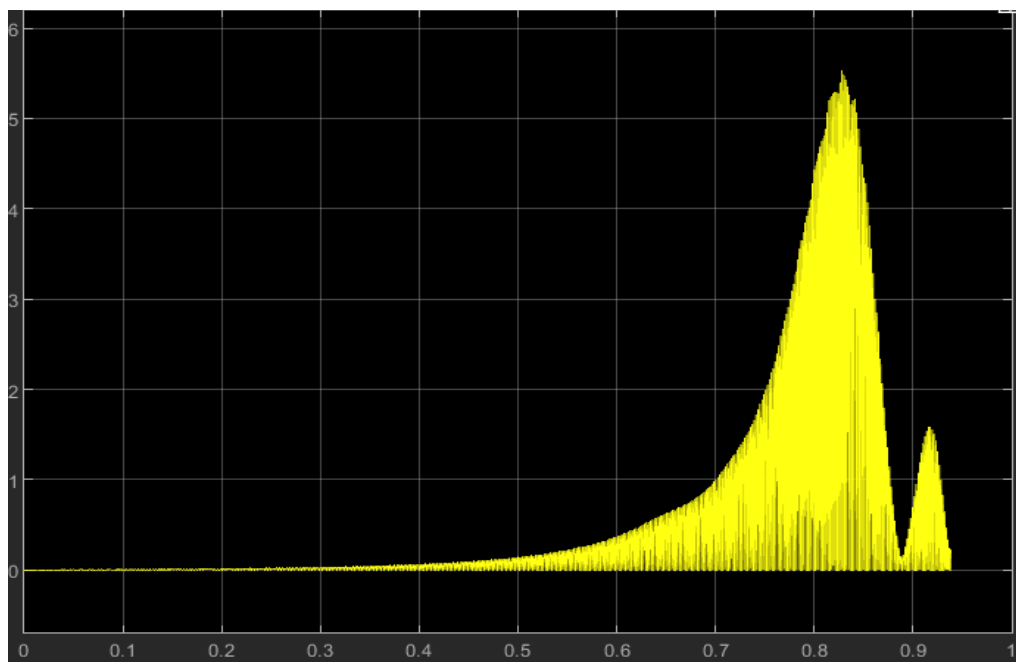
(c)

Graficas de corriente



(d)

Graficas de potencia



En el apartado (e), se tiene una potencia de generación aceptable, esto está dado en tiempos cortos, sin embargo, estas dependen del efecto de deformación por lo que en tiempos presenta caídas en cuanto al rendimiento por lo que estas están adaptadas a un condensador que tienen la función de adaptar la señal de salida.

3.1.5 Almacenamiento de energía

Este último proceso, implica una captura de energía generada por la baldosa PZT, para su posterior uso, como la alimentación de pequeños dispositivos autónomos.

La corriente es uno de los puntos claves a mejorar el nanogenerador PZT, por ello la configuración en paralelo presenta una mejor salida de corriente a diferencia de la conexión en serie, por lo que se tiene una generación de hasta de 52 mA.

3.2 Resultados de generación por localización PENG, TENG y PyENG

Están subdivididos en tres categorías debido a las condiciones y fenómenos presentes dentro del campus el Olivo.

3.2.1 Entradas principales dentro del campus el Olivo (PENG)

Se presenta los diferentes tipos de resultados en función a su localización y afluencia peatonal. En las Tablas, 11, 12, 13, 14, 15, se presenta los resultados de generación seguidos por el tiempo de almacenamiento de una batería.

Tabla 11

Portería principal campus el Olivo

Portería principal campus el Olivo			
Datos			
Dimensiones (cm)	Número de elementos PZT	Voltaje de salida de la baldosa (V)	Capacidad de generación por cada PZT (uW)

Ancho: 1.20	52	12.8	220
Largo: 30			
Frecuencia de pasos de una persona (Hz)		Número de personas	Señal de corriente de salida (uA)
	2	8064	52
Cálculos de generación			
Potencia generada por cada pisada (mW)		Potencia generada por el total de personas que han circulado durante las 8 horas (kWh)	Corriente generada, por todas las baldosas (A)
	11.8	7.2	3.36
Tiempo de almacenamiento			
Características de la batería 12v a 3A		Eficiencia del 2%	8 horas

Tabla 12

Generación en la entrada principal de la facultad FACA E

FACA E			
Dimensiones (cm)	Número de elementos PZT/epoxi	Voltaje de salida de la baldosa (V)	Capacidad de generación por cada PZT (uW)
Ancho: 1.20	52	12.8	220
Largo: 30			

		Señal de corriente de salida
Frecuencia de pasos de una persona (Hz)	Número de personas	(uA)
2	1406	52
Cálculos de generación		
Potencia generada por cada pisada (mW)	Potencia generada por el total de personas que han circulado durante las 8 horas (kWh)	Corriente generada (A)
11.8	2.12	0.73
Tiempo de almacenamiento		
Características de la batería 12v a 1A	Eficiencia del 7%	9.3 horas

Tabla 13

Generación en la entrada principal de la facultad FECYT

FECYT			
Dimensiones (cm)	Número de elementos PZT/epoxi	Voltaje de salida de la baldosa (V)	Capacidad de generación por cada PZT (uW)
Ancho: 1.20	52	12.8	220
Largo: 30			
Frecuencia de pasos de una persona (Hz)	Número de personas	Señal de corriente de salida (uA)	

2

1937

52

Cálculos de generación

Potencia generada por cada pisada (mW)	Potencia generada por el total de personas que han circulado durante las 8 horas (kW)	Corriente generada (A)
11.8	2.93	0.85

Tiempo de almacenamiento de la batería

Características de la batería 12v a 1A	Eficiencia del 5%	10.2 horas
---	-------------------	------------

Tabla 14

Generación en la entrada principal de la facultad FCCSS

FCCSS			
Dimensiones (cm)	Número de elementos PZT/epoxi	Voltaje de salida de la baldosa	Capacidad de generación por cada PZT (uW)
Ancho: 1.20	52	12.8	220 uW
Largo: 30			
Frecuencia de pasos de una persona (Hz)	Número de personas		Señal de corriente de salida (uA)

2 Hz	1012	52 uA
Cálculos de generación		
Potencia generada por cada pisada (mW)	Potencia generada por el total de personas que han circulado durante las 8 horas (kWh)	Corriente generada (A)
11.8 mW	1.53	0.26
Tiempo de almacenamiento de la batería		
Características de la batería 12v a 1A	Eficiencia del 1.2%	11.1 horas

Tabla 15

Generación en la entrada principal de la facultad FICAYA

FICAYA			
Dimensiones (cm)	Número de elementos PZT/epoxi	Voltaje de salida de la baldosa (V)	Capacidad de generación por cada PZT (uW)
Ancho: 1.20	52	12.8	220
Largo: 30			
Frecuencia de pasos de una persona (Hz)	Número de personas		Señal de corriente de salida (uA)
2	1517		52

Cálculos de generación

Potencia generada por cada pisada (mW)	Potencia generada por el total de personas que han circulado durante las 8 horas (kWh)	Corriente generada
11.8	2.29	0.78

Tiempo de almacenamiento de la batería

Características de la batería 12v a 1 A	Eficiencia del 2%	9.3 horas
--	-------------------	-----------

Tabla 16
Generación en la entrada principal de la facultad FICA

FICA			
Dimensiones (cm)	Número de elementos PZT/epoxi	Voltaje de salida de la baldosa (V)	Capacidad de generación por cada PZT (uW)
Ancho: 1.20	52	12.8	220
Largo: 30			
Frecuencia de pasos de una persona (Hz)	Número de personas		Señal de corriente de salida (uA)
2	1023		52

Cálculos de generación

Potencia generada por cada pisada	Potencia generada por el total de	Corriente generada (A)
-----------------------------------	-----------------------------------	------------------------

(mW)	personas que han circulado durante las 8 horas (kWh)	
11.8	1.55	0.42

Tiempo de almacenamiento de la batería

Características de la batería	Eficiencia de suministro de la	10.6 horas
12v a 1 A	corriente del 1.5 %	

3.2.2 Escalones principales de cada facultad (PENG)

Considerando el ingreso a las clases, los docentes y estudiantes usan a diario las escaleras, por lo que es considerable como un potencial energético para el uso de estas baldosas piezoeléctricas. En las Tablas 17, 18, 19, 20, se presenta los resultados de generación.

Tabla 17

Generación en los escalones de la Facultad FACAE

Escalones FACAE			
Dimensiones	Número de elementos	Voltaje de salida de la	Capacidad de generación
(cm)	PZT	baldosa (v)	por cada PZT (uW)
Ancho: 0.95 cm			
Largo: 0.25 cm	36	12.8	220
(2 secciones)			

Frecuencia de pasos de una persona (Hz)	Número de personas	Señal de corriente de salida (uA)
2	1502	52

Cálculos de generación

Potencia generada por cada pisada (mW)	Potencia generada por el total de personas que han circulado durante las 8 horas (kWh)	Corriente generada (A)
7.9	189.85	78.1
	0.18 (1 sección)	0.078 (1 sección)
	0.40 (2 secciones)	0.16 (2 secciones)
	2.71 (7 escalones)	1.25 (7 escalones)

Tiempo de almacenamiento de la batería

Características de la batería 12v a 2A	Eficiencia del 5 %	9.5 horas
---	--------------------	-----------

Tabla 18

Generación en los escalones de la Facultad FECYT

Escalones FECYT			
Dimensiones (cm)	Número de elementos PZT	Voltaje de salida de la baldosa (v)	Capacidad de generación por cada PZT (uW)
Ancho: 0.95 cm	36	12.8	220
Largo: 0.25 cm			

(2 secciones)

Frecuencia de pasos de una persona (Hz)	Número de personas	Señal de corriente de salida (uA)
2	1919	32

Cálculos de generación

Potencia generada por cada pisada (mW)	Potencia generada por el total de personas que han circulado durante las 8 horas (kWh)	Corriente generada (A)
7.9	24.26 mWh	0.099 (1 sección)
	242.56 Wh	0.20 (2 secciones)
	0.24 kWh (1 sección)	1.40 (7 escalones)
	0.49 kWh (2 secciones)	
	3.40 (7 escalones)	
	Potencia en kWh con una eficiencia al 40 %	
	1.36 kWh	

Tiempo de almacenamiento de la batería

Características de la batería	Eficiencia del 5 %	9.3 horas
12v a 2A		

Tabla 19

Generación en los escalones de la Facultad FCCSS

Escalones FCCSS

Dimensiones			
(cm)	Número de elementos	Voltaje de salida de la baldosa (v)	Capacidad de generación por cada PZT (uW)
Ancho: 0.95 cm	PZT		
Largo: 0.25 cm	36	12.8	220
(2 secciones)			
Frecuencia de pasos de una persona (Hz)		Número de personas	Señal de corriente de salida (uA)
	2	996	52
Cálculos de generación			
Potencia generada por cada pisada (mW)	Potencia generada por el total de personas que han circulado durante las 8 horas (kWh)	Corriente generada (A)	
	0.12 (1 sección)	51.79	
7.9 mW	0.25 (2 secciones)	0.052 (1 sección)	
.	1.76 (7 escalones)	0.10 (2 secciones)	
		0.72 (7 escalones)	
Potencia en kWh con una eficiencia al 40 %			
0.70			
Tiempo de almacenamiento de la batería			
Características de la batería	Eficiencia de suministro de la corriente del 5 %	9.26 horas	
12v a 1A			

Tabla 20*Generación en los escalones de la Facultad FICAYA*

Escalones FICAYA			
Dimensiones (cm)	Número de elementos PZT	Voltaje de salida de la baldosa (v)	Capacidad de generación por cada PZT (uW)
Ancho: 0.95 cm			
Largo: 0.25 cm (2 secciones)	36	12.8	220
Frecuencia de pasos de una persona (Hz)	Número de personas		Señal de corriente de salida (uA)
2	1503		52
Cálculos de generación			
Potencia generada por cada pisada (mW)	Potencia generada por el total de personas que han circulado durante las 8 horas (kWh)		Corriente generada (A)
7.9 mW	0.18 (1 sección)		0.078 (1 sección)
.	0.37 (2 secciones)		0.16 (2 secciones)
	2.65 (7 escalones)		1.12 (7 escalones)
	Potencia en (kWh) con una eficiencia al 40 %		
	1.063		
Tiempo de almacenamiento de la batería			
Características de la batería			
12v a 2A	Eficiencia del 5 %		10.1 horas

Tabla 21*Generación en los escalones de la Facultad FICA*

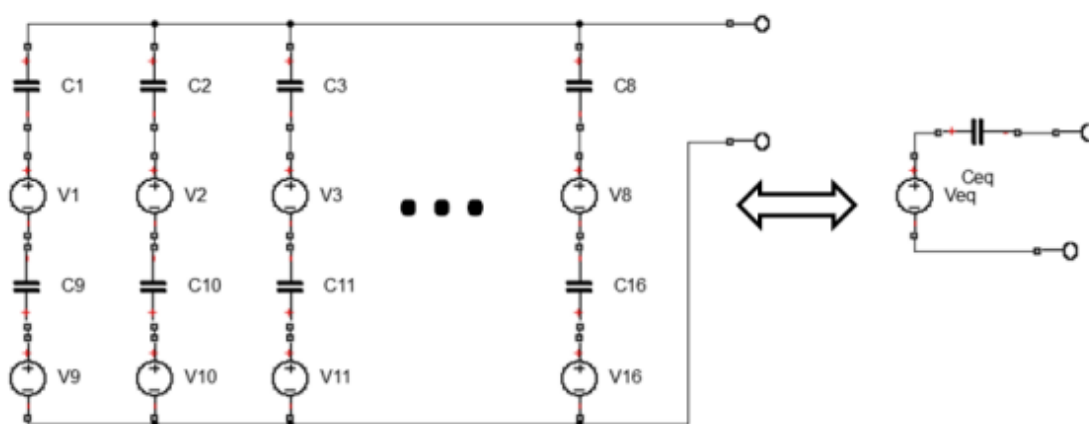
Escalones FICA			
Dimensiones (cm)	Número de	Voltaje de salida de la	Capacidad de generación
Ancho: 0.95 cm	elementos PZT	baldosa (v)	por cada PZT (uW)
Largo: 0.25 cm			
(2 secciones)	36	12.8	220 uW
Frecuencia de pasos de una persona (Hz)	Número de personas		Señal de corriente de salida (uA)
2	1009		52
Cálculos de generación			
Potencia generada por cada pisada (mW)	Potencia generada por el total de personas que han circulado durante las 8 horas (kWh)		Corriente generada (A)
7.9 mW	0.12 (1 sección)		52.46 (1 sección)
.	0.25 (2 secciones)		0.053 (2 secciones)
	1.78 (7 escalones)		0.73 (7 escalones)
	Potencia en (kWh) con una eficiencia al 40 %		
	0.71 kWh		
Tiempo de almacenamiento de la batería			
Características de la batería	Eficiencia del 5 %		8.28 horas
12v a 1A			

3.2.3 Generación en función al paso vehicular (PENG)

El objetivo es aprovechar la mayor parte de energía mecánica generada por los vehículos al circular sobre el nanogenerador. Por ello, las dimensiones de la baldosa son de 40 cm de ancho, instalados 16 PZT conectados en paralelo, seguido por la adición de un puente de diodos con el fin de evitar que algún PZT este fuera de funcionamiento y evitar que este a su vez actúe como consumidor de energía. Para ello en la Figura 19 se muestra el circuito de carga equivalente, de tal manera colocado los PZT en paralelo.

Figura 18

Circuito de carga generador piezoeléctrico



Un complemento al peso será la fuerza que ejerce un vehículo con respecto al material piezoeléctrico.

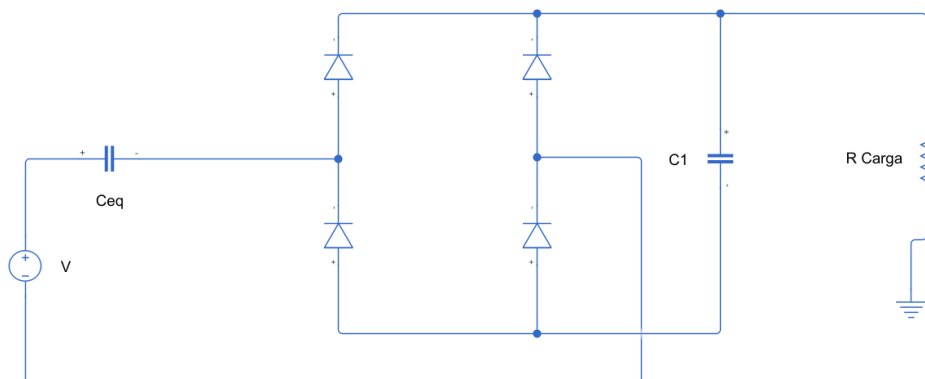
Considerando el peso referencial de 1121 kg multiplicado por el coeficiente de 9.81 m/s^2 , se obtiene 10.997 kN, posteriormente se toma en cuenta la fuerza repartida de un vehículo en sus cuatro ruedas, se obtiene un valor de 2.749 kN.

Con diámetros de contacto de la rueda de $20 \times 10 \text{ cm}$, o su equivalente de 0.02 m^2 , a continuación, se calcula la presión que ejerce la rueda de un vehículo, teniendo como valor de 0.17 MPa, añadiendo la velocidad media del tramo seleccionado. Por lo tanto, el tiempo de pulsos entre

los ejes será de $\approx 0,1s$. En la Figura 20, se presenta el circuito de salida para su generación y almacenamiento de energía.

Figura 19

Circuito generador de salida



El valor del capacitor inicial resulta de 9.4 nF, finalizando con la conexión de los 8 elementos en paralelo por todo el sistema da como resultado final de 75.2 nF. Para una mejor eficiencia del circuito los PZT se conectan con un rectificador de onda que llega al condensador para su posterior filtrado de la señal, su capacidad es de 20uF. Mientras que su fuente de tensión presenta una frecuencia de 20 Hz, posteriormente para el estimado de la amplitud para los 16 PZT.

Se tiene un valor de 172N, seguido por la obtención del voltaje de cada PZT, se tiene un valor de salida de 6.54 V, con respecto al circuito equivalente de la Figura 19.

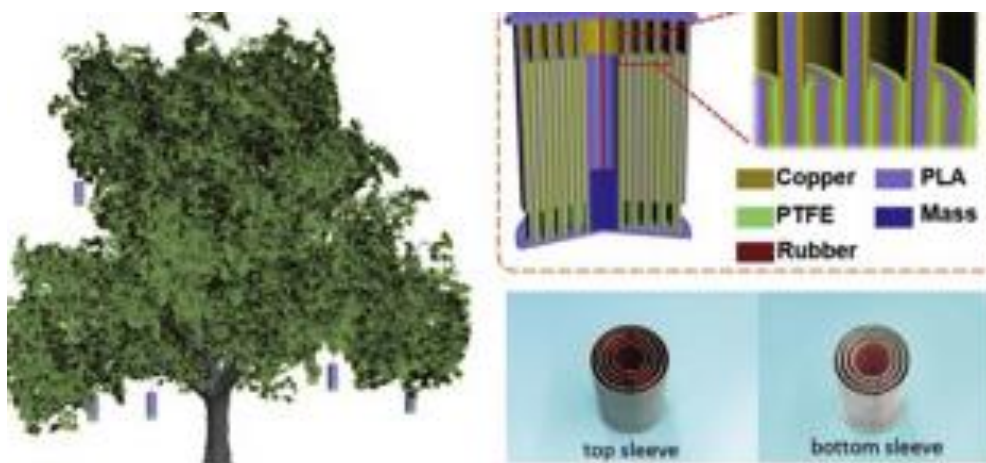
Se tiene una generación de 13.07 V. Por otro lado, el valor obtenido en el modelo serie-paralelo con una resistencia de carga de 500 k Ω y una tensión de 6.54V o 0.6V se tiene una corriente de salida de 1.28 uA, seguido por una tensión de salida de 0.82 uW por el pasar de un vehículo. A esto como producto del total de vehículos que han circulado durante las 8 horas en los dos sentidos de la vía. Se tiene una generación de corriente de 79.36 uA, seguido por una potencia de 50.84 uW. En la Tabla 22, se presenta el tiempo de almacenamiento de la batería.

Tabla 22*Tiempo de almacenamiento de la batería*

Tiempo de almacenamiento de la batería		
Características de la batería	Eficiencia de suministro de	35.7 horas
12v a 200 mA	la corriente del 5 %	

3.2.4 Generación en función al follaje de las ramas de los árboles (TENG)

Este tipo de aplicativo está enfocado en la generación en base a la detención del viento, por ello su estructura se centra en un cilindro multicapa con el objetivo de captar todas las direcciones del viento, posterior la recolección de la energía cinética que presentan las ramas de los árboles. El diseño del nanogenerador se presenta en la Figura 21.

Figura 20*Generador TENG impulsado por viento*

Nota: Adaptado de, generador TENG impulsado por viento, [fotografía], por Pang Y, 2021.

El diseño de este generador está enfocado para trabajar con dispositivos de monitoreo a pequeñas cargas. Se trabaja con una estructura cilíndrica adaptado a estos 6 contactos triboeléctricos, con cada uno de ellos una ondulación circular de 30° con respecto a su centro de rotación.

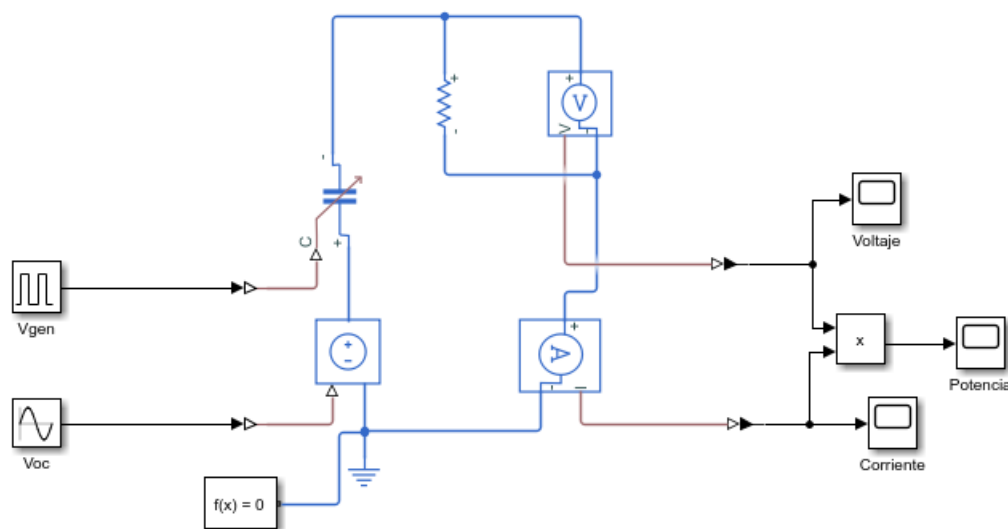
Considerando la estructura cilíndrica con respecto a un número de 6 contactos triboeléctricos con el fin de reducir las pérdidas mecánicas debido a la fricción, de manera que el rotor cumpla el papel de acaparar a los menos cerrados, y por tanto lograr una menor inercia total.

En cuanto a su distribución de carga, está conectado de 5 nanogeneradores en serie conformado por tres capas, donde la capa externa tiene la función de generar carga por la fricción entre sus contactores triboeléctricos, seguido por la capa intermedia que actúa como una barrera aislante evitando la carga generada, finalizando con la capa interna, no es más que el encargado de distribuir la carga generada hacia un dispositivo externo. En la Figura 22 (a), se muestra el circuito de carga, el apartado (b) las salidas de señales de voltaje, corriente y potencia.

Figura 21

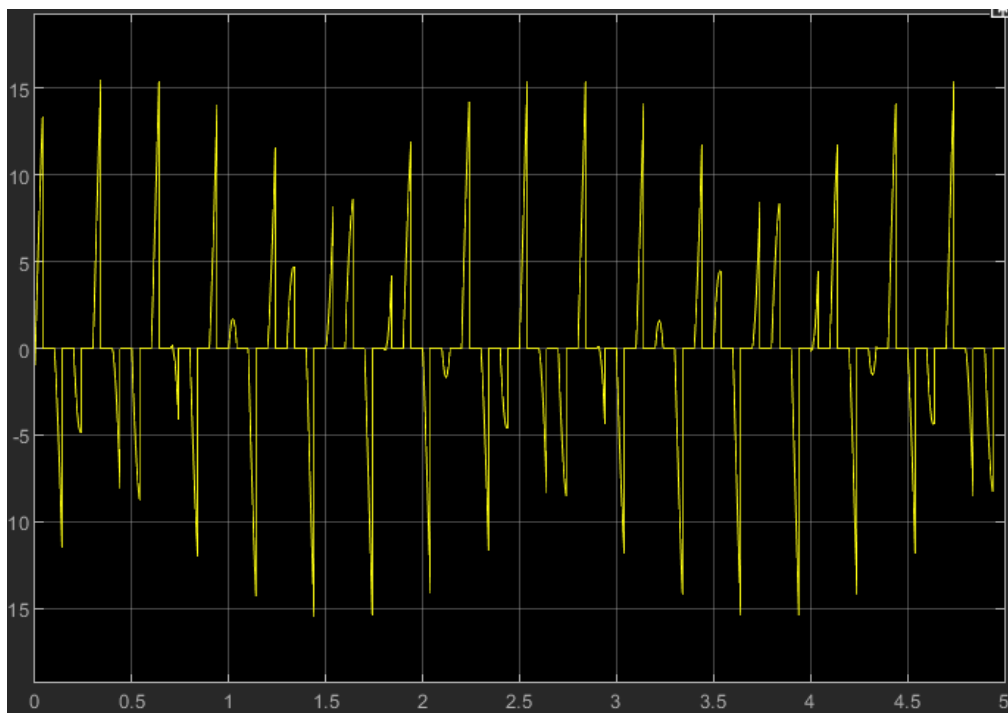
Circuito de carga

(a)

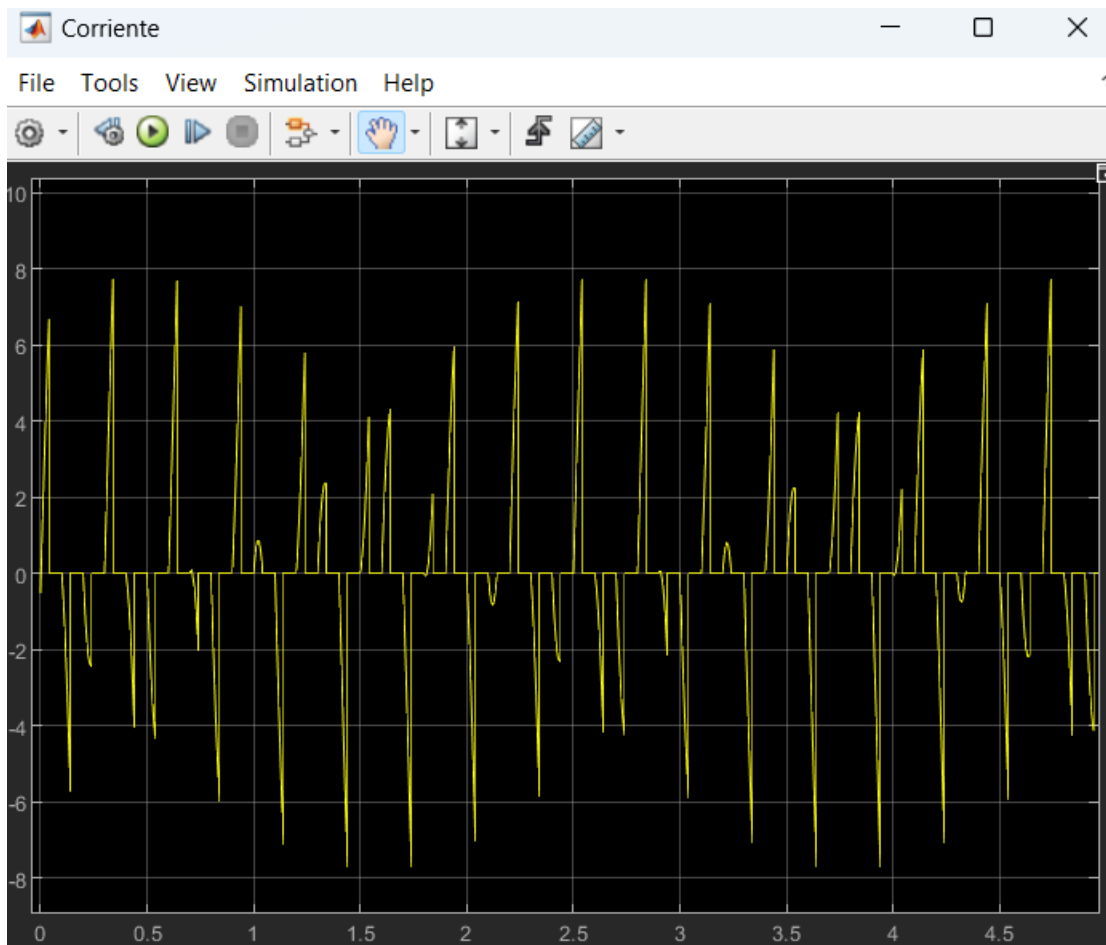


(b)

Salidas de voltaje, corriente y potencia

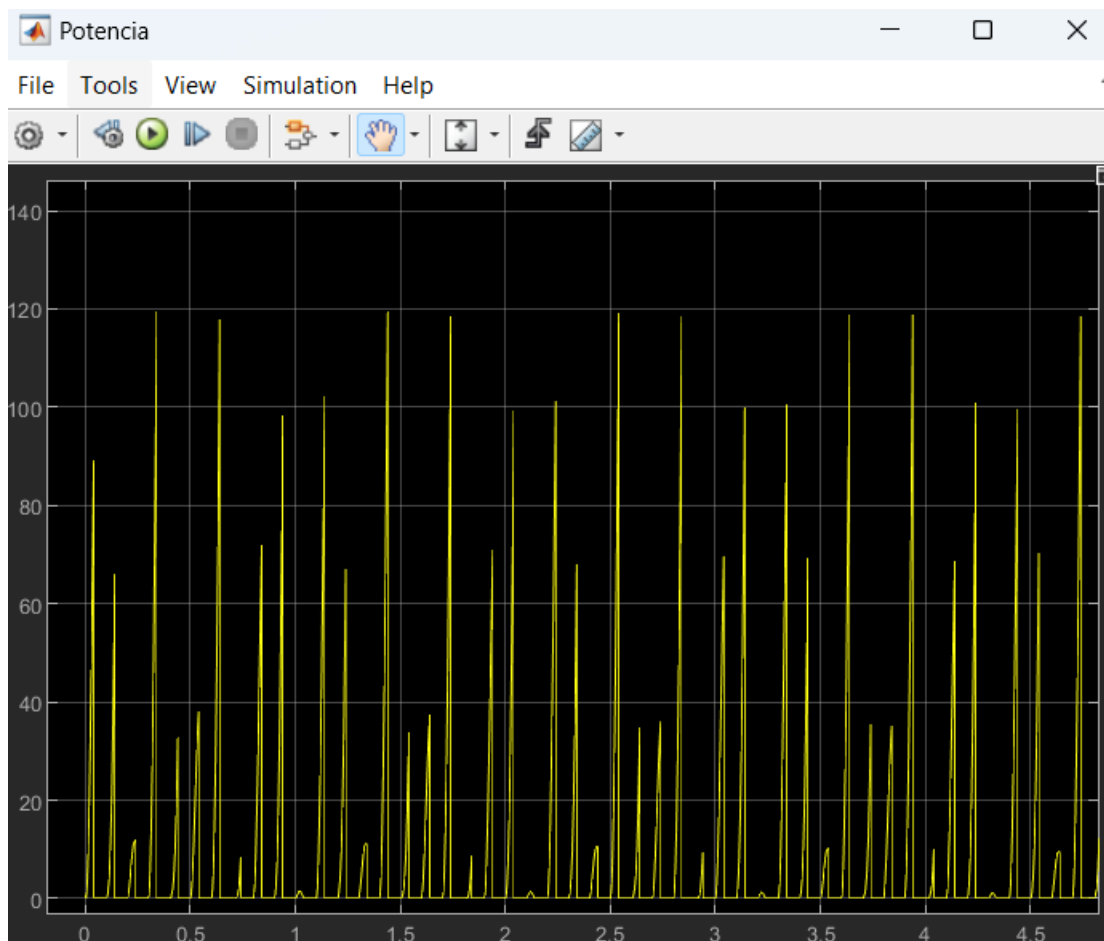


En relación con el voltaje de salida se obtiene del residuo de la caída de voltaje en la resistencia interna y la resistencia de carga del nanogenerador. Si la resistencia interna del circuito parte de 200Ω y la resistencia de carga parte de $100\text{ k}\Omega$, el voltaje de salida se calcula restando la caída del voltaje debido a la resistencia interna y la resistencia de carga del nanogenerador, teniendo un voltaje de salida de 15.35 V .



Tomando como valores referenciales de frecuencia de 16.7 Hz y 2.18 m/s generan valores de generación de corriente y voltaje considerados de 7.8 mA.

La corriente generada parte de una frecuencia dependiente a la velocidad de rotación con respecto al número de contactos empleados, se obtiene un valor de 16.7 Hz, seguido por la corriente de salida se da por el número de contactos con respecto a los rpm, teniendo una generación de 7.8mA.



En cuanto a la potencia que genera el nanogenerador, se obtiene por el producto del voltaje de salida con respecto a la corriente de salida, dando una potencia de 587.75 mW o lo que es 0.588 mW de cada nanogenerador, a esto multiplicado por los cinco nanogeneradores obtenemos una ganancia de 8.82 mW. Para conocer la potencia en kWh generada por las 24 horas de trabajo se tiene una potencia de 0.021 kWh por los cinco nanogeneradores.

Para el total de la energía que se puede obtener por el total de árboles que se encuentran dentro del campus el olivo, en la Tabla 23, se tiene la capacidad total obtenida.

Tabla 23*Generación obtenida por el total de árboles*

Tipo de generación	Triboeléctrica
Tipo de generador	Nanogenerador triboeléctrico
lugar	Acoplado a la rama del árbol de 3m en adelante
Cantidad	54
Capacidad de generación	11.41 W

Finalizando con la alimentación para una batería de pequeña carga con características de 3.7V a 350 mA. Se obtiene mediante el producto de la potencia requerida (w) con la capacidad de la batería (A), teniendo una ganancia de 1.295 W.

El tiempo necesario para cargar una batería de 3.7 y 350 mA por el total de los cinco nanogeneradores conectados en paralelo es de aproximadamente 14.9 horas.

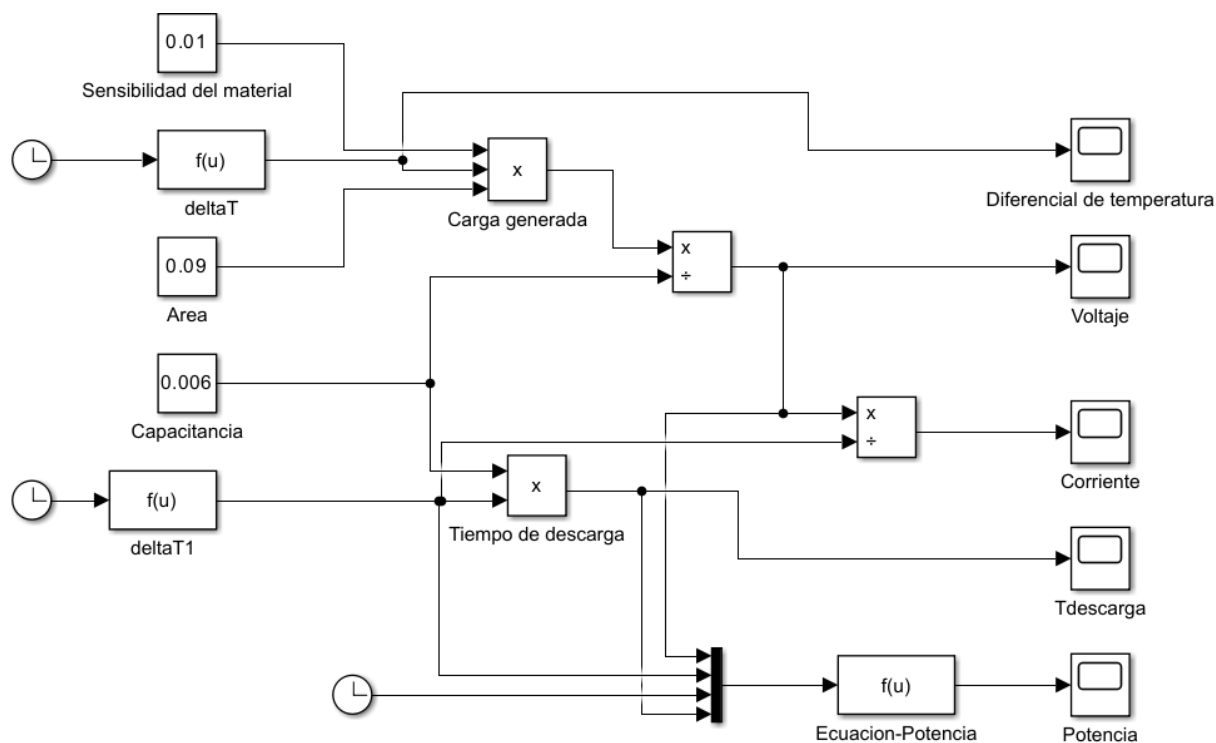
3.2.5 Generación en función al diferencial de temperatura emitidas por lámparas (PyENG)

En la actualidad la recolección de energía del ambiente circundante trae mayor interés, para ello se estudian nuevos modelos de generación de energía a pequeña escala como es el caso del nanogenerador piroeléctrico. Su diseño se enfoca en una película delgada PVDF de tres capas que está inspirado en la eliminación del calor desperdiciado.

El circuito de carga está integrado en una lámina tipo sándwich para la captación de energía térmica que emiten las lámparas de tubo fluorescente a una temperatura inducida, seguido por la conversión de la eficiencia por medio de un convertidor Buck para aumentar la eficiencia de salida del circuito, Figura 23 (a), mientras que en el apartado (b), se presentan los resultados de voltaje, corriente y potencia.

Figura 22

Circuito de carga de un nanogenerador piroeléctrico



Nota. Adaptado de emerging pyroelectric nanogenerators, por Hanjun R

Trabajando a una temperatura ambiente inicial de 20°C , posterior del día esta temperatura aumenta a 45°C , con una corriente de salida de 7V.

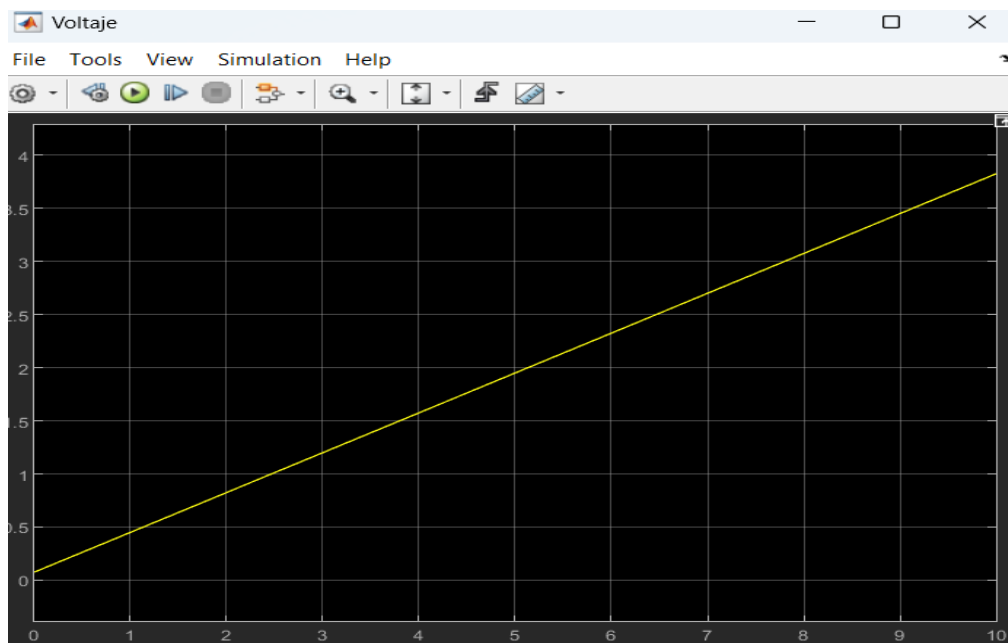
Para el cálculo de la corriente de salida, esta ajustada por la variación de temperatura y su coeficiente piroeléctrico.

Donde α es el coeficiente piroeléctrico, teniendo una corriente de 2.500015 μA .

Para la potencia de salida resulta del producto de la corriente de salida por la tensión de tiene un valor de 17.500105 μW .

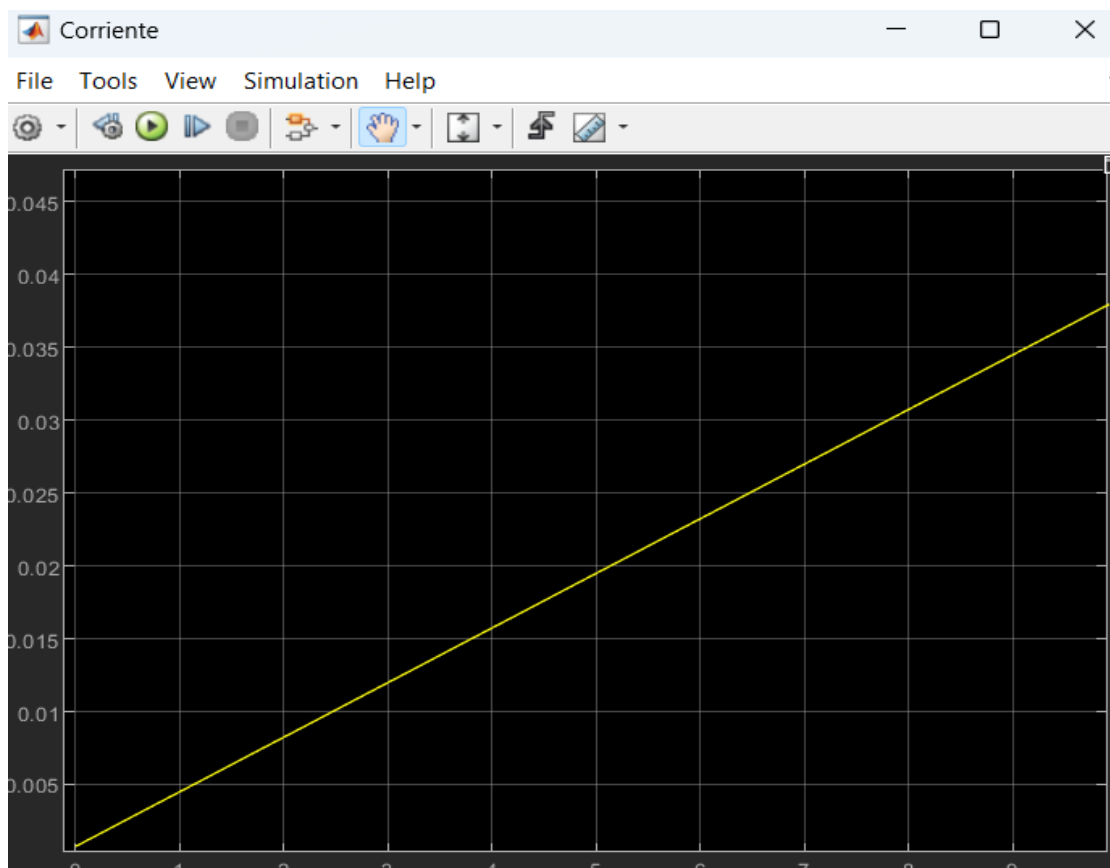
Con respecto a la energía generada durante las 8 horas, su potencia es de 49.29 μWh . Considerando la pequeña carga por parte del nanogenerador se adhiere la implementación de un circuito Buck que se muestra en la Figura 23.

(b)

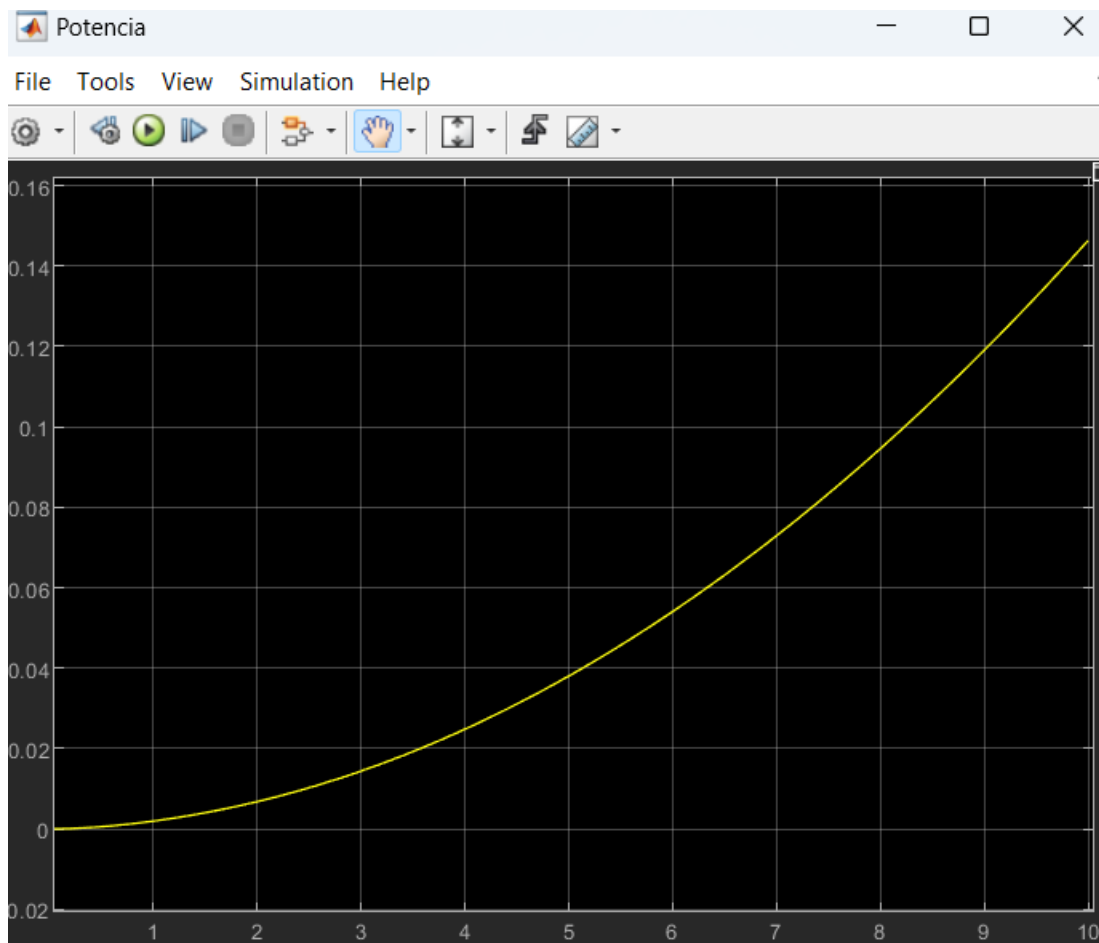


Trabajando a una temperatura ambiente inicial de $20^{\circ}C$, posterior del día esta temperatura aumenta a $45^{\circ}C$, con una corriente de salida de 7V.

Para el cálculo de la corriente de salida, esta ajustada por la variación de temperatura y su coeficiente piroeléctrico.



Donde α es el coeficiente piroeléctrico, teniendo una corriente de 2.50 μA .



Para la potencia de salida resulta del producto de la corriente de salida por la tensión de tiene un valor de 17.5 uW. Con respecto a la energía generada durante las 8 horas, su potencia es de 49.29 uWh.

Tabla 24

Generación obtenida por el total de luminarias

Tipo de generación	Piroeléctrica
Tipo de generador	Nanogenerador piroeléctrico
Lugar	Acoplado al calor que emiten las luminarias
Cantidad	120

Generación dentro de una facultad	24.55 W
Generación por todas las facultades	122.76 W

3.3 Alimentación obtenida con los nanogeneradores piro, tribo y piezoeléctricos.

3.3.1 Aplicativos *PENG* situada en la portería principal

Con la energía obtenida de cada sitio, se puede aprovechar para la alimentación propia, en la Tabla 26, indica el tiempo en horas que se puede hacer uso de esta generación mostrada.

Tabla 25

Aplicación del nanogenerador

Tipo de generación	Piezoeléctrica
Capacidad de generación	7.2 kWh
Tipo de generador	Baldosa piezoeléctrica
Aplicativo 1	
Aplicación del generador	Señaléticas LED de 10W
Cantidad	1
Tiempo de alimentación	3.6 horas
Aplicativo 2	
Aplicación del generador	Alarma de detección de movimiento (0.5W/h)
Cantidad	3
Tiempo de alimentación	24 horas

3.3.2 Aplicativos en entradas principales de cada facultad

La energía obtenida del generador va en función de la afluencia peatonal y por las

actividades que estas presentan en cada facultad, para el cálculo de la potencia total de las lámparas se indica en la ecuación 41 y el tiempo que se puede alimentar las lámparas por la ecuación 42. En la Tabla 27 se aprecia el uso de la generación por facultad.

Tabla 26

Aplicación del nanogenerador de cada facultad

FACAE	
Tipo de generación	Piezoeléctrica
Capacidad de generación	2.12 kW
Tipo de generador	Baldosa piezoeléctrica
Aplicativo 1	
Aplicación del generador	Señaléticas LED (10W)
Cantidad	1
Tiempo de alimentación	1.2 horas
Aplicativo 2	
Aplicación del generador	Alarma detección de movimiento (0.5Wh)
Cantidad	3
Tiempo de alimentación	8 horas
FECYT	
Tipo de generación	Piezoeléctrica
Capacidad de generación	2.93 kW
Tipo de generador	Baldosa piezoeléctrica
Aplicativo 1	

Aplicación del generador	Señaléticas LED (10W)
---------------------------------	-----------------------

Cantidad	1
-----------------	---

Tiempo de alimentación	1.2 horas
-------------------------------	-----------

Aplicativo 2

Aplicación del generador	Alarma detección de movimiento (0.5Wh)
---------------------------------	---

Cantidad	3
-----------------	---

Tiempo de alimentación	8 horas
-------------------------------	---------

FCCSS

Tipo de generación	Piezoeléctrica
---------------------------	----------------

Capacidad de generación	1.53 kW
--------------------------------	---------

Tipo de generador	Baldosa piezoeléctrica
--------------------------	------------------------

Aplicativo 1

Aplicación del generador	Señaléticas LED (10W)
---------------------------------	-----------------------

Cantidad	1
-----------------	---

Tiempo de alimentación	1.2 horas
-------------------------------	-----------

Aplicativo 2

Aplicación del generador	Alarma detección de movimiento (0.5Wh)
---------------------------------	---

Cantidad	3
-----------------	---

Tiempo de alimentación	8 horas
-------------------------------	---------

FICAYA

Tipo de generación	Piezoeléctrica
---------------------------	----------------

Capacidad de generación	2.29 kW
Tipo de generador	Baldosa piezoeléctrica
Aplicativo 1	
Aplicación del generador	Señaléticas LED (10W)
Cantidad	1
Tiempo de alimentación	1.2 horas
Aplicativo 2	
Aplicación de generador	Alarma detección de movimiento (0.5Wh)
Cantidad	3
Tiempo de alimentación	8 horas
FICA	
Tipo de generación	Piezoeléctrica
Capacidad de generación	1.55 kW
Tipo de generador	Baldosa piezoeléctrica
Aplicativo 1	
Aplicación del generador	Señaléticas LED (10W)
Cantidad	1
Tiempo de alimentación	1.2 horas
Aplicativo 2	
Aplicación del generador	Alarma detección de movimiento (0.5Wh)
Cantidad	3

Tiempo de alimentación	8 horas
-------------------------------	---------

3.3.3 Aplicativos en los escalones de cada facultad

El tránsito diario por los escalones usados por docentes y estudiantes generan una cantidad de energía considerable que pueden ayudar a suplir de manera complementaria el mismo tipo de alimentación que es usado por los generadores piezoeléctricos en las entradas de las facultades, en cuanto a las ecuaciones serán las mismas 41 y 42, seguido por resultados indicados en la Tabla 28.

Tabla 27

Aplicación del generador en los escalones de cada facultad

FACAE	
Tipo de generación	Piezoeléctrica
Capacidad de generación	2.71 kWh
Tipo de generador	Baldosa piezoeléctrica
Aplicación 1	
Aplicación del generador	Cargador USB de teléfono
Cantidad	1 entrada
Tiempo de alimentación	1.6 horas
Aplicación 2	
Aplicación de generador	Iluminación LED para escalones
Cantidad	60 LEDs SMD 3528 * 5 metros
Tiempo de alimentación	0.96 horas

FECYT

Tipo de generación	Piezoeléctrica
Capacidad de generación	3.40 kWh
Tipo de generador	Baldosa piezoeléctrica

Aplicación 1

Aplicación del generador	Cargador USB de teléfono
Cantidad	1 entrada
Tiempo de alimentación	1.6 horas

Aplicación 2

Aplicación del generador	Iluminación LED para escalones
Cantidad	60 LEDs SMD 3528 * 5 metros
Tiempo de alimentación	0.96 horas

FCCSS

Tipo de generación	Piezoeléctrica
Capacidad de generación	0.70 kWh
Tipo de generador	Baldosa piezoeléctrica

Aplicación 1

Aplicación del generador	Cargador USB de teléfono
Cantidad	1 entrada
Tiempo de alimentación	0.8 horas

Aplicación 2

Aplicación del generador	Iluminación LED para escalones
Cantidad	60 LEDs SMD 3528 * 5 metros

Tiempo de alimentación	0.48 horas
-------------------------------	------------

FICAYA

Tipo de generación	Piezoeléctrica
Capacidad de generación	2.65 kWh
Tipo de generador	Baldosa piezoeléctrica

Aplicación 1

Aplicación del generador	Cargador USB de teléfono
Cantidad	1 entrada
Tiempo de alimentación	1.6 horas

Aplicación 2

Aplicación del generador	Iluminación LED para escalones
Cantidad	60 LEDs SMD 3528 * 5 metros
Tiempo de alimentación	0.96 horas

FICA

Tipo de generación	Piezoeléctrica
Capacidad de generación	1.78 kWh
Tipo de generador	Baldosa piezoeléctrica

Aplicación 1

Aplicación del generador	Cargador USB de teléfono
Cantidad	1 entradas
Tiempo de alimentación	0.8 horas

Aplicación 2

Aplicación del generador	Iluminación LED para escalones
---------------------------------	--------------------------------

Cantidad	60 LEDs SMD 3528 * 5 metros
Tiempo de alimentación	0.48 horas

3.3.4 Aplicativo del nanogenerador triboeléctrico TENG

Con las cargas de salida del nanogenerador triboeléctrico, se realiza el dimensionamiento para la alimentación de un sensor de pequeño consumo de 0.5Wh. Para el cálculo del tiempo de operación, se realiza con la ecuación 43 y el resultado del aplicativo se indica en la Tabla 20.

Tabla 28

Aplicación del nanogenerador

Tipo de generación	Triboeléctrica
Capacidad de generación	1.295 Wh
Tipo de generador	Generador cilíndrico
Aplicación del generador	Sensor de 0.5 Wh
Cantidad	1
Tiempo de alimentación	42 minutos

3.4.5 Aplicativo del nanogenerador piroeléctrico PyENG

Respecto a una baja salida de potencia, el aplicativo a alimentar resulta un sensor de pequeña carga como es un sensor de movimiento que trabaja con 0.5wh. para el cálculo de consumo esta descrita por la ecuación 36 y en la Tabla 21 se muestra el aplicativo del generador.

Tabla 29

Aplicación del generador en las luminarias

Tipo de generación	Piroeléctrica
---------------------------	---------------

Capacidad de generación	204.06 mWh
Tipo de generador	Generador piroeléctrico de tres capas
Aplicación del generador	Sensor de 0.5 Wh
Cantidad	Un sensor
Tiempo de alimentación	24.49 minutos

3.5 Resultados

En esta sección se presenta de manera resumida los tipos de aplicativos que se obtiene en base a la generación obtenida por los tipos de generadores, posteriormente servirá como incentivo para la implementación de alguno de estos aplicativos como se muestra en la Tabla 31.

Tabla 30

Resultados generales

Tipo de generación	Capacidad de generación en la UTN	Tipo de generador	Localización	Aplicación del generador
Generador piezoeléctrico en las entradas principales				
Piezoeléctrica	7.2 kWh	Baldosa	Portería	<ul style="list-style-type: none"> • Señaléticas LED de 10W. • Alarma de detección de movimiento (0.5W).
	2.12 kWh		Principal	
	2.93 kWh	piezoeléctrica	FACAE	<ul style="list-style-type: none"> • Señaléticas LED de 10W. • Iluminación LED.
	1.53 kWh		FECYT	
	2.29 kWh		FCCSS	
			FICAYA	

	1.55 kWh		FICA	
Generador piezoeléctrico adaptado a escalones de cada facultad				
	2.71 kWh		FACAE	
	3.40 kWh		FECYT	• Cargador USB de teléfono
piezoeléctrica	0.70 kWh	Baldosa piezoeléctrica	FCCSS	• Iluminación LED
	1.06 kWh		FICAYA	
	0.71 kWh		FICA	
Generador triboeléctrico adaptado al paso vehicular				
piezoeléctrica	50.84 uW	Baldosa piezoeléctrica		• Sensores de pequeñas cargas (0.5W)
Generador triboeléctrico adaptado a las ramas del árbol				
Triboeléctrica	11.41 W	Nanogenerador cilíndrico	Campus Olivo	• Sensores de pequeñas cargas (0.5W)
Generador triboeléctrico adaptado a las luminarias				
Piroeléctrica	122.76 W	Nanogenerador de tres capas	Facultades dentro del campus el Olivo	• Sensores de pequeñas cargas (0.5W)

En base a los resultados obtenidos se puede considerar una propuesta de implementación para el aprovechamiento de este tipo de energías, ayudando de forma complementaria la alimentación de cargas autónomas, posteriormente al uso de esta generación como fuente de carga de aparatos móviles.

Conclusiones

- La evolución constante tecnológica de los nanogeneradores trae consigo mejoras en el desarrollo de captación de energía en cuanto a su versatilidad y adaptación en cualquier parte de un entorno físico. No obstante, se enfrenta a problemas significativos en cuanto se refiere a la salida equilibrada de cargas. La solución común es la adaptación de convertidores de salida sacrificando el voltaje para aumentar la señal de salida de corriente.
- La recopilación de información describe el comportamiento de concentración de sitios de mayor fuente energética en base a la circulación peatonal, vehicular y aspectos físicos como en el viento, lo cuales se obtuvieron valores teóricos favorables. Tras los valores obtenidos se desarrollaron modelos matemáticos para determinar el potencial energético en cuanto se refiera la conversión térmica y mecánica en eléctrica
- El diseño de los nanogeneradores PENG, TENG Y PyENG dentro del campus el Olivo, presenta una estrategia prometedora para aumentar la autonomía energética, posteriormente fomentar la autonomía mediante el uso de este tipo de energías alternativas permitiendo aprovechar eficientemente las fuentes de energía disponibles en el entorno dentro del campus, seguido por una propuesta para una base sólida para futuros desarrollos y aplicaciones de nanogeneradores en entorno similares.

Recomendaciones

- Se debe avanzar en la investigación de los efectos PENG, TENG Y PyENG, ya que, por su presencia en abundancia en nuestro campus universitario, estas se manifiestan mediante formas de conversión como es la térmica y mecánica que pueden ser aprovechadas de una manera eficiente. en otro aspecto se sugiere emplear circuitos adicionales para mejorar su salida. Así mismo se recomienda la validación experimental para tener resultados más precisos en condiciones reales para obtener un rendimiento más preciso del generador.

Referencias

- Abdul Halim, M., Momin Hossain, M., Shoriful Islam, M., & Khatun, E. (2022). *A Review on Techniques and Challenges of Energy Harvesting from Ambient Sources*. <http://www.ijser.org>
- Askari, H., Khajepour, A., Khamesee, M. B., Saadatnia, Z., & Wang, Z. L. (2018). Piezoelectric and triboelectric nanogenerators: Trends and impacts. *Nano Today*, 22, 10–13. <https://doi.org/10.1016/j.nantod.2018.08.001>
- Bohne García, A. C. B., Bruckmann Maynetto, M. E., & Martínez González, A. (2023). Las universidades y su contribución al desarrollo sustentable: un modelo de evaluación. *Revista Digital Universitaria*, 24(2). <https://doi.org/10.22201/CUAIEED.16076079E.2023.24.2.17>
- Chandrasekaran, S., Bowen, C., Roscow, J., Zhang, Y., Dang, D. K., Kim, E. J., Misra, R. D. K., Deng, L., Chung, J. S., & Hur, S. H. (2019). Micro-scale to nano-scale generators for energy harvesting: Self powered piezoelectric, triboelectric and hybrid devices. *Physics Reports*, 792, 1–33. <https://doi.org/10.1016/j.physrep.2018.11.001>
- Choudhary, P., Bhargava, L., Singh, V., Choudhary, M., & Suhag, A. kumar. (2020). A survey - Energy harvesting sources and techniques for internet of things devices. *Materials Today: Proceedings*, 30, 52–56. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.115>
- Delgado-Alvarado, E., Elvira-Hernández, E. A., Hernández-Hernández, J., Huerta-Chua, J., Vázquez-Leal, H., Martínez-Castillo, J., García-Ramírez, P. J., & Herrera-May, A. L. (2022). Recent Progress of Nanogenerators for Green Energy Harvesting: Performance, Applications, and Challenges. In *Nanomaterials* (Vol. 12, Issue 15). MDPI. <https://doi.org/10.3390/nano12152549>
- ECUADOR CONSOLIDA LA PRODUCCIÓN ELÉCTRICA A PARTIR DE FUENTES*

- RENOVABLES – Ministerio de Energía y Minas.* (n.d.). Retrieved August 27, 2023, from <https://www.rekursyenergia.gob.ec/ecuador-consolida-la-produccion-electrica-a-partir-de-fuentes-renovables/>
- Gkoumas, K., & Bontempi, F. (2019). *Design of Civil Environmental Engineering Development of a piezoelectric energy harvesting sensor: from concept to reality.* 47, 150–160. <https://doi.org/10.3221/IGF-ESIS.47.12>
- Gonzales, J. (n.d.). *IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA LA MONITORIZACIÓN DE VARIABLES METEOROLÓGICAS EN EL CAMPUS UTN.* Retrieved September 18, 2023, from <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/12172/2/04%20MEL%20147%20TRABAJO%20GRADO.pdf>
- Hajra, S., Padhan, A. M., Sahu, M., Alagarsamy, P., Lee, K., & Kim, H. J. (2021). Lead-free flexible Bismuth Titanate-PDMS composites: A multifunctional colossal dielectric material for hybrid piezo-triboelectric nanogenerator to sustainably power portable electronics. *Nano Energy*, 89. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2021.106316>
- Hu, T., Wang, H., Bamgboje, D., & Harmon, W. (2023). Power Management Systems for Triboelectric Nanogenerators. In Z. L. Wang, Y. Yang, J. Zhai, & J. Wang (Eds.), *Handbook of Triboelectric Nanogenerators* (pp. 1–34). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-05722-9_11-1
- Jettanasen, C., Songsukthawan, P., & Ngaopitakkul, A. (2022). Conversion of Mechanical Energy to Electrical Energy Using Piezoelectric Materials for Bicycle Lane Lighting Systems. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(14). <https://doi.org/10.3390/app12147237>
- Jin Zhang, S., Boyer, C., & Wang, C. H. (2021). As featured in. *Nanoscale Adv*, 3, 5465.

<https://doi.org/10.1039/d1na00501d>

Korkmaz, S., & Kariper, A. (2021). Pyroelectric nanogenerators (PyNGs) in converting thermal energy into electrical energy: Fundamentals and current status. In *Nano Energy* (Vol. 84). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2021.105888>

Malaji, P. V., Ali, S. F., & Litak, G. (2022). Energy harvesting: materials, structures and methods. *The European Physical Journal Special Topics* 2022 231:8, 231(8), 1355–1358. <https://doi.org/10.1140/EPJS/S11734-022-00578-7>

Muthu, M., Pandey, R., Wang, X., Chandrasekhar, A., Palani, I. A., & Singh, V. (2020). Enhancement of triboelectric nanogenerator output performance by laser 3D-Surface pattern method for energy harvesting application. *Nano Energy*, 78. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2020.105205>

Pan, S., & Zhang, Z. (2019). Fundamental theories and basic principles of triboelectric effect: A review. In *Friction* (Vol. 7, Issue 1, pp. 2–17). Tsinghua University Press. <https://doi.org/10.1007/s40544-018-0217-7>

Pongampai, S., Charoonsuk, T., Pinpru, N., Pulphol, P., Vittayakorn, W., Pakawanit, P., & Vittayakorn, N. (2021). Triboelectric-piezoelectric hybrid nanogenerator based on BaTiO₃-Nanorods/Chitosan enhanced output performance with self-charge-pumping system. *Composites Part B: Engineering*, 208. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2020.108602>

Prauzek, M., Konecny, J., Borova, M., Janosova, K., Hlavica, J., & Musilek, P. (2018). Energy Harvesting Sources, Storage Devices and System Topologies for Environmental Wireless Sensor Networks: A Review. *Sensors* 2018, Vol. 18, Page 2446, 18(8), 2446. <https://doi.org/10.3390/S18082446>

Renewable Energy Agency, I. (2020). *GLOBAL RENEWABLES OUTLOOK 2050 ENERGY*

TRANSFORMATION EDITION: 2020. www.irena.org

- Ryu, H., Lee, J. H., Kim, T. Y., Khan, U., Lee, J. H., Kwak, S. S., Yoon, H. J., & Kim, S. W. (2017). High-Performance Triboelectric Nanogenerators Based on Solid Polymer Electrolytes with Asymmetric Pairing of Ions. *Advanced Energy Materials*, 7(17). <https://doi.org/10.1002/AENM.201700289>
- Sezer, N., & Koç, M. (2021a). A comprehensive review on the state-of-the-art of piezoelectric energy harvesting. *Nano Energy*, 80. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2020.105567>
- Sezer, N., & Koç, M. (2021b). A comprehensive review on the state-of-the-art of piezoelectric energy harvesting. *Nano Energy*, 80. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2020.105567>
- Tian, J. (2023). An overview of pyroelectric photodetector: Photoresponse mechanisms and applications. *AIP Advances*, 13(5), 50701. <https://doi.org/10.1063/5.0146279/2892291>
- Wang, W., Jiang, Y., & Thomas, P. J. (2021). Structural design and physical mechanism of axial and radial sandwich resonators with piezoelectric ceramics: A review. In *Sensors (Switzerland)* (Vol. 21, Issue 4, pp. 1–24). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/s21041112>
- Xu, C., Zhang, B., Wang, A. C., Cai, W., Zi, Y., Feng, P., & Wang, Z. L. (2019). Effects of Metal Work Function and Contact Potential Difference on Electron Thermionic Emission in Contact Electrification. *Advanced Functional Materials*, 29(29). <https://doi.org/10.1002/ADFM.201903142>
- Zhao, C., Zhang, Z., Guo, J., Hu, Q., Sun, Z., & Piao, X. (2019). Controllable synthesis of special reed-leaf-like carbon nanostructures using copper containing catalytic pyrolysis for high-performance field emission. *Applied Sciences (Switzerland)*, 9(3). <https://doi.org/10.3390/APP9030440>
- Zi, Y., & Wang, Z. L. (2017). Nanogenerators: An emerging technology towards nanoenergy. *APL*

Materials, 5(7). <https://doi.org/10.1063/1.4977208/1023864>

Anexos

Anexo 1

Código del registro peatonal

```
#include <Wire.h>

#include <Adafruit_SSD1306.h>

#include <SPI.h>

#include <SD.h>

#define SCREEN_WIDTH 128

#define SCREEN_HEIGHT 64

#define OLED_RESET -1

Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire,
OLED_RESET);

const int trigPin1 = 2; // Pin de trigger del primer sensor

const int echoPin1 = 3; // Pin de echo del primer sensor

const int trigPin2 = 4; // Pin de trigger del segundo sensor

const int echoPin2 = 5; // Pin de echo del segundo sensor

const int SD_CS = 10; // Pin del chip select para la tarjeta SD

File dataFile;

void setup() {

  Serial.begin(9600);

  pinMode(trigPin1, OUTPUT);

  pinMode(echoPin1, INPUT);

  pinMode(trigPin2, OUTPUT);

  pinMode(echoPin2, INPUT);
```

```
// Inicializar la pantalla OLED

if(!display.begin(SSD1306_I2C, 0x3C)) {

    Serial.println(F("SSD1306 allocation failed"));

    for(;;);

}

// Inicializar la tarjeta SD

if (!SD.begin(SD_CS)) {

    Serial.println(F("Error al inicializar la tarjeta SD."));

    return;

}

// Abrir el archivo en modo escritura

dataFile = SD.open("registro.txt", FILE_WRITE);

// Verificar si el archivo se abrió correctamente

if (dataFile) {

    dataFile.println("Registro de personas:");

    dataFile.close();

} else {

    Serial.println(F("Error al abrir el archivo."));

}

}

void loop() {

    long duration1, distance1, duration2, distance2;
```

```
// Activar el primer sensor
digitalWrite(trigPin1, LOW);
delayMicroseconds(2);
digitalWrite(trigPin1, HIGH);
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(trigPin1, LOW);
duration1 = pulseIn(echoPin1, HIGH);
distance1 = (duration1 / 2) / 29.1;

// Activar el segundo sensor
digitalWrite(trigPin2, LOW);
delayMicroseconds(2);
digitalWrite(trigPin2, HIGH);
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(trigPin2, LOW);
duration2 = pulseIn(echoPin2, HIGH);
distance2 = (duration2 / 2) / 29.1;

// Mostrar las distancias en el Monitor Serie
Serial.print("Distancia 1: ");
Serial.println(distance1);
Serial.print("Distancia 2: ");
Serial.println(distance2);

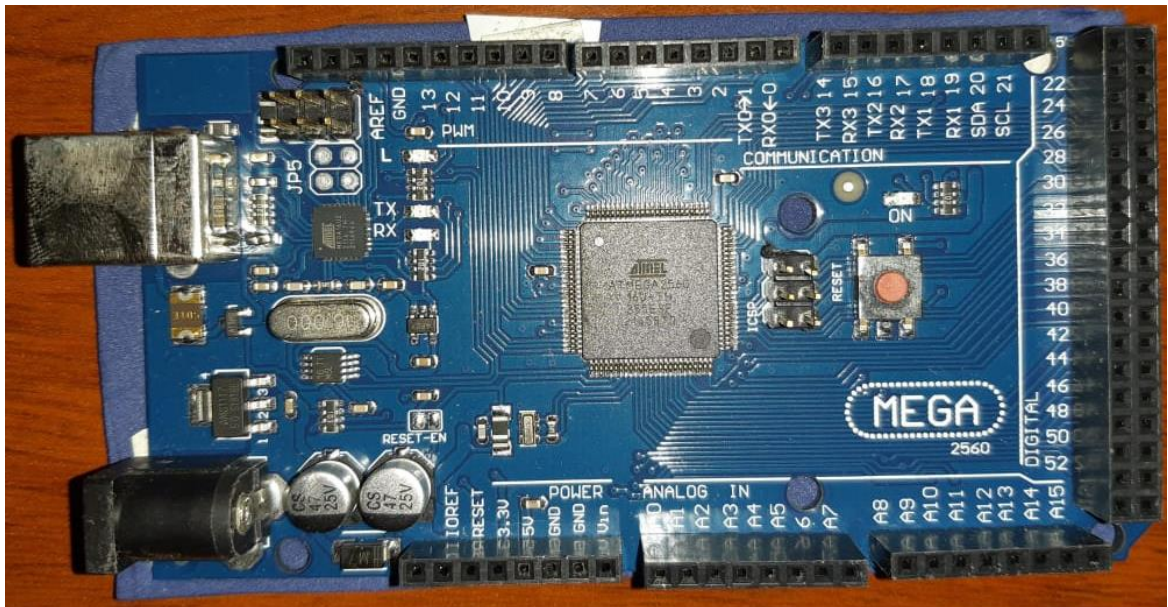
// Verificar si una persona ha pasado por el punto de registro
```

```
if (distance1 >= 10 && distance1 <= 100 && distance2 >= 10 && distance2 <= 100) {  
    Serial.println(";Persona detectada en el punto de registro!");  
  
    // Mostrar en el monitor serial  
  
    Serial.println("Guardando en SD...");  
  
    // Guardar en la tarjeta SD  
  
    dataFile = SD.open("registro.txt", FILE_WRITE);  
  
    if (dataFile) {  
        dataFile.print("Persona detectada - ");  
  
        dataFile.print("Distancia 1: ");  
  
        dataFile.print(distance1);  
  
        dataFile.print(" cm, ");  
  
        dataFile.print("Distancia 2: ");  
  
        dataFile.print(distance2);  
  
        dataFile.println(" cm");  
  
        dataFile.close();  
  
        Serial.println("Guardado correctamente en SD.");  
    } else {  
        Serial.println("Error al abrir el archivo en SD.");  
    }  
}  
  
// Actualizar la pantalla OLED  
  
display.clearDisplay();  
  
display.setTextSize(1);
```

```
display.setTextColor(SSD1306_WHITE);  
  
display.setCursor(0,0);  
  
display.println("Registro:");  
  
display.setTextSize(2);  
  
display.setCursor(0,10);  
  
display.print("D1: ");  
  
display.println(distance1);  
  
display.print("D2: ");  
  
display.println(distance2);  
  
display.display();  
  
delay(1000);  
  
}
```

Anexo 2

Arduino Mega 2560



Anexo 3

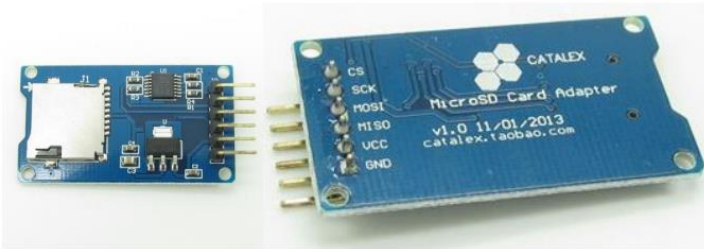
Sensor para la detección de peatones



Anexo 4

Módulo de almacenamiento de datos

Micro SD Card Micro SDHC Mini TF Card Adapter Reader Module for Arduino



Description

- The module (MicroSD Card Adapter) is a Micro SD card reader module for reading and writing through the file system and the SPI interface driver, SCM system can be completed within a file MicroSD card
- Support Micro SD Card, Micro SDHC card (high speed card)
- Level conversion circuit board that can interface level is 5V or 3.3V
- Power supply is 4.5V ~ 5.5V, 3.3V voltage regulator circuit board
- Communications interface is a standard SPI interface
- 4 M2 screws positioning holes for easy installation
- Control Interface: A total of six pins (GND, VCC, MISO, MOSI, SCK, CS), GND to ground, VCC is the power supply, MISO, MOSI, SCK for SPI bus, CS is the chip select signal pin;
- 3.3V regulator circuit: LDO regulator output 3.3V for level conversion chip, Micro SD card supply;

Anexo 5

Parámetros del módulo SSD

Interface Parameters:

Items	Min	Typical	Max	Unit
Power Voltage VCC	4.5	5	5.5	V
Current	0.2	80	200	mA
Interface Electrical Potential	3.3 or 5			V
Support Card Type	Micro SD Card(<=2G), <u>Mirco</u> SDHC Card(<=32G)			—
Size	42X24X12			mm
Weight	5			g

Mirco SD Card Interface Module:

