



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

PROPUESTA TECNOLÓGICA

TITULO: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA GENERADOR DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE EL USO DE DISPOSITIVOS PIEZOELÉCTRICOS IMPLEMENTADOS EN UNA MÁQUINA ELÍPTICA EN EL GIMNASIO “ZEUS” UBICADO EN LA CIUDAD DE MACHACHI – CANTÓN MEJÍA”

Autores:

Guacapiña Simba Brayan Ivan

Huerta Andrade Josué Abel

Tutora:

Freire Andrade Verónica Paulina Ing. Ms.C.

Latacunga – Ecuador

Julio 2019

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

“Yo Guacapiña Simba Brayan Ivan declaro ser autor del presente proyecto de investigación: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA GENERADOR DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE EL USO DE DISPOSITIVOS PIEZOELÉCTRICOS IMPLEMENTADOS EN UNA MÁQUINA ELÍPTICA EN EL GIMNASIO “ZEUS” UBICADO EN LA CIUDAD DE MACHACHI – CANTÓN MEJÍA**”, siendo la M.Sc. Freire Andrade Verónica Paulina tutora del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.


Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

“Yo Huerta Andrade Josué Abel declaro ser autor del presente proyecto de investigación: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA GENERADOR DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE EL USO DE DISPOSITIVOS PIEZOELÉCTRICOS IMPLEMENTADOS EN UNA MÁQUINA ELÍPTICA EN EL GIMNASIO “ZEUS” UBICADO EN LA CIUDAD DE MACHACHI – CANTÓN MEJÍA**”, siendo la M.Sc. Freire Andrade Verónica Paulina tutora del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

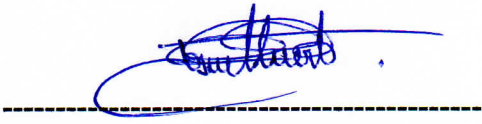
Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Latacunga, Julio 2019

AUTORES



Guacapiña Simba Brayan Ivan
C.C.: 1724040199



Huerta Andrade Josué Abel
C.C.: 0350064218



AVAL DEL TUTOR DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA GENERADOR DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE EL USO DE DISPOSITIVOS PIEZOELÉCTRICOS IMPLEMENTADOS EN UNA MÁQUINA ELÍPTICA EN EL GIMNASIO “ZEUS” UBICADO EN LA CIUDAD DE MACHACHI – CANTÓN MEJÍA”, de los señores Guacapiña Simba Brayan Ivan y Huerta Andrade Josué Abel, de la carrera de Ingeniería Electromecánica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, Julio 2019

TUTOR

Ms.C. Freire Andrade Verónica Paulina
C.C.: 0502056229



APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, los postulantes: Guacapiña Simba Brayan Ivan y Huerta Andrade Josué Abel con el título de Proyecto de Titulación: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA GENERADOR DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE EL USO DE DISPOSITIVOS PIEZOELECTRICOS IMPLEMENTADOS EN UNA MÁQUINA ELÍPTICA EN EL GIMNASIO “ZEUS” UBICADO EN LA CIUDAD DE MACHACHI – CANTÓN MEJÍA”**, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación del Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, Julio 2019

Para constancia firman:

Lector 1 (Presidente)

Ing. Moreano Martínez Edwin Homero
C.C: 0502595176

Lector 2

Ing. Cruz Panchi Luis Rolando
C.C: 0502595176

Lector 3

Ing. Arévalo Zabala Andrés
C.C: 1710326842

AVAL DE IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

MICROEMPRESA "GIMNASIO ZEUS"

Latacunga, Julio 2019

Quien suscribe, Ing. Miguel Ernesto Quinaluisa Calderón en calidad de Gerente General de la microempresa "Gimnasio Zeus", CERTIFICO que los Sres. Guacapiña Simba Brayan Ivan y Huerta Andrade Josué Abel, realizaron en las instalaciones de la microempresa el proyecto de investigación titulado: **"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA GENERADOR DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE EL USO DE DISPOSITIVOS PIEZOELÉCTRICOS IMPLEMENTADOS EN UNA MÁQUINA ELÍPTICA EN EL GIMNASIO "ZEUS" UBICADO EN LA CIUDAD DE MACHACHI - CANTÓN MEJÍA"**. En la ejecución de dicho proyecto los Sres. demostraron habilidades y conocimientos en su especialidad; así también generaron resultados que les serán de gran utilidad al área electromecánica, por cuanto se enfocaron en solucionar problemas inherentes e implementar el proyecto descrito que ayudara al proceso productivo, demostrando que estoy **CONFORME** con la entrega y el funcionamiento de la máquina entregada a nuestra microempresa.

Durante su estadía los Sres. en mención se hicieron acreedores de nuestra confianza por la responsabilidad, honestidad y profesionalismo demostrado.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los interesados dar uso a este documento como estimen conveniente.

Atentamente.



Ing. Miguel Ernesto Quinaluisa Calderón

C.C.: 1711392686

AGRADECIMIENTO

En estas líneas quiero agradecer a todas las personas que hicieron posible este trabajo de titulación y que de alguna manera estuvieron conmigo en los momentos difíciles, alegres, y tristes. Estas palabras son para ustedes.

A mis padres por todo su amor, comprensión y apoyo pero sobre todo gracias infinitas por la paciencia que me han tenido. No tengo palabras para agradecerles las incontables veces que me brindaron su apoyo en todas las decisiones que he tomado a lo largo de mi vida, unas buenas, otras malas, otras locas. Gracias por darme la libertad de desenvolverme como ser humano.

A mis hermana por llenarme de alegría día tras día, por siempre apoyarme, por preocuparse, por las peleas, los gritos y herir mi cuerpo de puro amor. ¡Mi Enana!

A mis amigos. Con todos los que compartí dentro y fuera de las aulas, que se convierten en amigos de vida y aquellos que serán mis colegas, gracias por todo su apoyo y diversión

Agradezco a mi tutora de tesis Freire Paulina Ing. Ms.C, quien con sus conocimientos y su gran trayectoria, ha logrado en mí culminar mis estudios con éxito.

Guacapiña Simba Brayán Ivan

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por la sabiduría que me ha brindado ya que sin Él yo no sería nada ni nadie, no alcanzan las palabras para expresar mi gratitud...Solo a Él sea la honra y la gloria.

De igual manera gracias a mis padres ya que han sido ellos un pilar fundamental para mi formación personal y educativa.

A todos los docentes que me han brindado sus conocimientos y experiencias, y de una manera especial a la Ing. Ms.C Freire Paulina, que en su papel de tutora supo guiarme en todo este proceso.

Huerta Andrade Josué Abel

DEDICATORIA

*Este trabajo está dedicado con todo mi
cariño para mi familia quienes han
puesto toda su confianza para lograr
un objetivo más en mi vida*

Guacapiña Simba Brayan Ivan

DEDICATORIA

A Dios, ya que de no ser por su inmensurable amor y sabiduría nada de esto sería realidad.

Dedico esta propuesta tecnológica con todo mi cariño, amor e inspiración, a quienes son mi ejemplo a seguir, mis padres Abel Huerta y Fanny Andrade, esta meta fue alcanzada gracias al esfuerzo y trabajo constante de ellos.

Y a todos mis familiares que son muy valiosos para mí.

Huerta Andrade Josué Abel

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|-------|
| DECLARACIÓN DE AUTORÍA | ii |
| AVAL DEL TUTOR DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA | iii |
| APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN..... | iv |
| AVAL DE IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA..... | v |
| AGRADECIMIENTO | vi |
| AGRADECIMIENTO | vii |
| DEDICATORIA | viii |
| DEDICATORIA..... | ix |
| RESUMEN | xviii |
| ABSTRAC..... | xix |
| INTRODUCCIÓN..... | xx |
| 1. INFORMACIÓN BÁSICA | 1 |
| PROPUESTO POR:..... | 1 |
| TEMA APROBADO | 1 |
| CARRERA..... | 1 |
| DIRECTOR DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA | 1 |
| EQUIPO DE TRABAJO: | 1 |
| LUGAR DE EJECUCIÓN: | 1 |
| TIEMPO DE DURACIÓN DE LA PROPUESTA: | 1 |
| FECHA DE ENTREGA: | 2 |
| LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD: | 2 |
| SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN DE LA CARRERA:..... | 2 |
| TIPO DE PROPUESTA TECNOLÓGICA:..... | 2 |
| 2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA..... | 3 |
| 2.1. Título de la propuesta tecnológica | 3 |
| 2.2. Tipo de alcance | 3 |
| 2.3. Área del conocimiento | 3 |
| 2.4. Sinopsis de la propuesta tecnológica | 3 |
| 2.5. Objeto de estudio y campo de acción | 3 |
| 2.5.1. Objeto de estudio..... | 3 |
| 2.5.2. Campo de acción | 3 |

| | |
|--|----|
| 2.6. Situación problemática y problema | 4 |
| 2.6.1. Situación problemática..... | 4 |
| 2.6.2. Problema..... | 4 |
| 2.7. Pregunta Científica..... | 4 |
| 2.8. Objetivo(s) | 4 |
| 2.8.1. Objetivo general | 4 |
| 2.8.2. Objetivos específicos..... | 4 |
| 2.9. Descripción de las actividades y tareas propuestas con los objetivos establecidos | 5 |
| 3. MARCO TEÓRICO | 7 |
| 3.1 Análisis de los trabajos precedentes | 7 |
| 3.2 Energía harvesting y dispositivos piezoeléctricos | 10 |
| 3.2.1 Clasificación de los dispositivos piezoeléctricos. | 12 |
| 3.3 Despolarización | 13 |
| 3.4 Inversor | 14 |
| 3.5 Batería de ciclo profundo..... | 15 |
| 3.6 Capacitor | 15 |
| 3.7 Diodo de barrera Schottky | 16 |
| 3.8 Amplificador de voltaje X16009 | 17 |
| 3.9 Regulador TK20DU | 17 |
| 3.10 Board de Energy Harvesting LTC3588-1 | 18 |
| 3.11 Cuadruplicador de voltaje..... | 19 |
| 3.12 Placa Arduino Nano | 19 |
| 4. METODOLOGÍA..... | 20 |
| 4.1 Métodos de investigación. | 20 |
| 4.1.1 Científico | 20 |
| 4.1.2 Inductivo-Deductivo | 20 |
| 4.1.3 Cuantitativo..... | 21 |
| 4.2 Técnicas | 21 |
| 4.2.1 Medición | 21 |
| 4.2.2 Toma de datos experimentales..... | 21 |
| 4.2.3 Ecuaciones de cálculo | 22 |
| Frecuencia de resonancia (fr): | 24 |

| | |
|--|----|
| Frecuencia de antiresonancia (f_a):..... | 24 |
| Tamaño del inversor..... | 25 |
| Tamaño de la batería. | 25 |
| 5. DISEÑO EXPERIMENTAL..... | 26 |
| 5.1 Etapa de generación..... | 32 |
| 5.1.3 Conexión de piezoeléctricos con carga alterna..... | 37 |
| 5.2 Etapa de rectificación..... | 38 |
| 5.2.1 Conexión de piezoeléctricos sin carga rectificada..... | 38 |
| 5.2.2 Conexión de piezoeléctricos con carga rectificada..... | 40 |
| 5.3 Etapa de acondicionamiento..... | 44 |
| 6. CÁLCULOS..... | 46 |
| 6.1 Observaciones de campo. | 47 |
| 6.1.1 Sumatoria de la carga total del gimnasio. | 47 |
| 6.1.2 Tamaño del inversor..... | 48 |
| 6.1.3 Tamaño de la batería. | 48 |
| Frecuencia de resonancia (f_r)..... | 49 |
| Frecuencia de antiresonancia (f_a):..... | 50 |
| 7. ANÁLISIS DE RESULTADOS..... | 50 |
| 8. PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTO..... | 54 |
| 8.1 Impacto económico..... | 56 |
| 8.2 Impacto técnico..... | 57 |
| 8.3 Impacto ambiental..... | 57 |
| 10. CONCLUSIONES..... | 58 |
| 11. RECOMENDACIONES..... | 59 |
| 12. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA..... | 60 |
| ANEXOS..... | 65 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 3.1. Actuador piezoeléctrico tipo pila..... | 10 |
| Figura 3.2. Actuador piezoeléctrico de banda o de flexión..... | 11 |
| Figura 3.3. Material Piezoeléctrico..... | 11 |
| Figura 3.4. Piezoeléctrico flexible LDT0-028K..... | 12 |
| Figura 3.5. Representación voltaje/deformación..... | 13 |
| Figura 3.6. Inversor 1500 DC 12V a AC 110V..... | 14 |
| Figura 3.7. Batería US 12V – 20Ah descarga profunda..... | 15 |
| Figura 3.8. Capacitor..... | 15 |
| Figura 3.9. Diodo de barrera schottky..... | 16 |
| Figura 3.10. Convertidor DC-DC X16009..... | 17 |
| Figura 3.11. Regulador TK20DU..... | 17 |
| Figura 3.12. Voltaje de regulación. (a) Sin carga. (b) Con carga..... | 18 |
| Figura 3.13. Aplicación LTC3588. | 19 |
| Figura 3.14. Diagrama de voltaje cuadriplicador..... | 19 |
| Figura 3.15. Arduino Nano..... | 20 |
| Figura 5.1. Distancia de separación entre piezoeléctricos..... | 28 |
| Figura 5.2. Ubicación de los contactos..... | 29 |
| Figura 5.3. Distancia de separación de los contactos..... | 30 |
| Figura 5.4. Diagrama de flujo..... | 31 |
| Figura 5.5. Forma de onda obtenida mediante el osciloscopio del piezoeléctrico LDT0-028K..... | 32 |

| | |
|---|----|
| Figura 5.6. Forma de onda obtenida mediante el osciloscopio del piezoeléctrico LDT0-028K con un solo impacto de deformación..... | 32 |
| Figura 5.7. Forma de onda obtenida mediante el osciloscopio del piezoeléctrico LDT0-028K en constante deformación..... | 33 |
| Figura 5.8. Tensión generada con respecto a la velocidad y número de piezoeléctricos conexión en paralelo sin carga..... | 34 |
| Figura 5.9. Tensión generada con respecto a la velocidad y número de piezoeléctricos conexión en serie sin carga..... | 35 |
| Figura 5.10. Tensión generada con respecto a la velocidad y número de piezoeléctricos conexión conexión mixta sin carga..... | 36 |
| Figura 5.11. Tensión generada con respecto a la velocidad y conexión de trabajo con carga..... | 37 |
| Figura 5.12. Tensión generada con respecto a la velocidad y conexión de trabajo sin carga..... | 39 |
| Figura 5.13. Tensión generada con respecto a la velocidad y conexión de trabajo sin carga..... | 39 |
| Figura 5.14. Tensión generada con respecto a la velocidad y tiempo de trabajo conexión paralelo sin carga..... | 41 |
| Figura 5.15. Tensión generada con respecto a la velocidad y tiempo de trabajo conexión paralelo sin carga..... | 42 |
| Figura 5.16. Forma de onda rectificadas obtenida mediante el osciloscopio del piezoeléctrico LDT0-028K..... | 43 |
| Figura 5.17. Simulación de ARDUINO cuando cumple su nivel de voltaje..... | 45 |
| Figura 5.18. Simulación de ARDUINO cuando no cumple con su nivel de voltaje..... | 45 |

| | |
|--|----|
| Figura 6.1. Circuito Equivalente..... | 49 |
| Figura 7.1. Forma de onda obtenida mediante el osciloscopio del piezoeléctrico LDT0-028K..... | 51 |
| Figura 7.2. Forma de onda obtenida mediante el osciloscopio del piezoeléctrico LDT0-028K..... | 52 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 4.1. Variable independiente (piezoeléctrico)..... | 21 |
| Tabla 4.2. Variable dependiente (sistema de generación de energía eléctrica)..... | 22 |
| Tabla 5.1. Voltaje de salida (LDT0-028K)..... | 26 |
| Tabla 5.2. Voltaje de salida (Tipo pastilla)..... | 26 |
| Tabla 5.3. Datos generados con respecto a la velocidad y el tiempo de trabajo conexión en paralelo..... | 33 |
| Tabla 5.4. Datos generados con respecto a la velocidad y el tiempo de trabajo conexión en serie..... | 35 |
| Tabla 5.5. Datos generados con respecto a la velocidad y el tiempo de trabajo conexión mixta..... | 36 |
| Tabla 5.6 Datos generados con respecto a la velocidad y conexión de trabajo con carga..... | 37 |
| Tabla 5.7. Datos generados con respecto a la velocidad, número de piezoeléctricos y conexión de trabajo rectificadora sin carga..... | 38 |
| Tabla 5.8. Datos generados con respecto a la velocidad, número de piezoeléctricos y conexión de trabajo rectificadora sin carga..... | 38 |
| Tabla 5.9. Datos generados con respecto a la velocidad, número de piezoeléctricos y el tiempo de trabajo rectificadora con carga (1N4001)..... | 40 |
| Tabla 5.10. Datos generados con respecto a la velocidad, número de piezoeléctricos y el tiempo de trabajo rectificadora con carga (1N4001)..... | 40 |
| Tabla 5.11. Datos generados con respecto a la velocidad, número de piezoeléctricos y el tiempo de trabajo rectificadora con carga (1N5820)..... | 42 |
| Tabla 5.12. Datos generados con respecto a la velocidad, número de piezoeléctricos y el tiempo de trabajo rectificadora con carga (1N5820)..... | 42 |

| | |
|--|----|
| Tabla 5.13. Uso de máquina elíptica respecto a distancia recorrida y calorías..... | 43 |
| Tabla 5.14. Uso de máquina elíptica respecto a voltaje, corriente y potencia..... | 44 |
| Tabla 5.15. Proyección en la implementación..... | 46 |
| Tabla 6.1. Observaciones de los usuarios del gimnasio en diversos horarios del día..... | 47 |
| Tabla 6.2. Cálculo de potencia..... | 47 |
| Tabla 7.1. Cálculos de consumo diario..... | 53 |
| Tabla 8.1. Costo del proyecto..... | 54 |
| Tabla 8.2. (VAN) / (TIR)..... | 55 |
| Tabla 8.3. Datos necesarios para las ecuaciones de consumo económico..... | 56 |
| Tabla 8.4. Resultados de potencia y ahorro anual del teléfono celular..... | 56 |
| Tabla 8.5. Resultados de potencia y ahorro anual del letrero led..... | 56 |
| Tabla 8.6. Ahorro total anual..... | 56 |
| Tabla 8.5. Resultados de potencia y ahorro anual, módulo Arduino..... | 57 |

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TITULO: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA GENERADOR DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE EL USO DE DISPOSITIVOS PIEZOELÉCTRICOS IMPLEMENTADOS EN UNA MÁQUINA ELÍPTICA EN EL GIMNASIO “ZEUS” UBICADO EN LA CIUDAD DE MACHACHI – CANTÓN MEJÍA”.

Autores:

Guacapiña Simba Brayan Ivan

Huerta Andrade Josué Abel

RESUMEN

Con el diseño e implementación de un sistema generador de energía eléctrica, mediante el uso de dispositivos piezoeléctricos implementados en una máquina elíptica en el gimnasio “Zeus” ubicado, en la ciudad de Machachi – cantón Mejía se busca generar una nueva propuesta tecnológica para satisfacer el consumo eléctrico de los dispositivos móviles, razón por lo cual esta propuesta mitiga al reducir el impacto ecológico negativo, generado por las actuales fuentes de generación de energía eléctrica ya que el gasto energético a nivel nacional va en aumento. El método científico, inductivo-deductivo, cuantitativo, y las técnicas de medición y cálculo son los pilares fundamentales para el desarrollo de la propuesta tecnológica, ya que con estos se puede determinar el diseño eficaz para la implementación, enfocado en la captación y almacenamiento de energía harvesting, el comportamiento de los dispositivos piezoeléctricos flexibles en el instante de su deformación, la configuración de conexión entre piezoeléctricos, la cantidad de piezoeléctricos necesarios y cálculos para el sistema de almacenamiento y entrega de energía eléctrica necesaria para la alimentación del consumo eléctrico de teléfonos móviles, generando una cantidad de 24W por máquina elíptica mediante 7 bancos de piezoeléctricos conectados en paralelo, los cuales cada uno están conformados por 5 dispositivos flexibles dando una cantidad de 35 piezoeléctricos con el uso cotidiano de la máquina elíptica en el gimnasio, mediante este proceso se garantiza el funcionamiento eficiente de este sistema de generación, el cual genera un gran impacto para la sociedad y el medio ambiente, incentivando a las personas a realizar ejercicio y de igual manera ayudar al planeta.

Palabras clave: Piezoeléctrico, Energía harvesting, Deformación, Energía Eléctrica, Captación, Almacenamiento, Generación, Consumo eléctrico.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

TITLE: “DESIGN AND IMPLEMENTATION OF AN ELECTRICAL ENERGY GENERATOR SYSTEM THROUGH THE USE OF PIEZOELECTRIC DEVICES IMPLEMENTED IN AN ELIPTIC MACHINE IN THE“ZEUS”GYM LOCATED IN THE CITY OF MACHACHI – MEJIA CANTON”

Authors

Guacapiña Simba Brayan Ivan

Huerta Andrade Josué Abel

ABSTRACT

With the design and implementation of an electric power generating system through the use of piezoelectric devices implemented in an elliptical machine in the “Zeus” gym located in the city of Machachi - Mejia Canton, it is sought to generate a new technological proposal to provide electricity consumption of mobile devices, which is why this proposal is mitigated by reducing the negative ecological impact generated by current sources of electricity generation since national energy expenditure is increasing. The scientific method, inductive-deductive, quantitative, and measurement and calculation techniques are the essential mainstay for the development of the technological approach since with these the effective design for the implementation can be determined, focused on the collection and storage of harvesting energy, the behavior of flexible piezoelectric devices at the time of deformation, the configuration of piezoelectric connection, the amount of piezoelectric necessary and calculations for the storage system and delivery of electrical energy necessary for the power consumption of mobile phone electricity generating a quantity of 24W per elliptical machine through 7 piezoelectric banks connected in parallel which each one are made up of 5 flexible devices giving a quantity of 35 piezoelectric with the daily use of the elliptical machine in the gym, this process guarantees the efficient operation of this generation system which generates a great impact for society and the environment, encouraging people to exercise and also help the planet.

Keywords: Piezoelectric, Harvesting energy, Deformation, Electrical Energy, Catchment, Storage, Generation, Electric consumption.



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

CENTRO DE IDIOMAS

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que: La traducción del resumen del proyecto de titulación al Idioma Inglés presentado por los señores GUACAPIÑA SIMBA BRAYAN IVAN y HUERTA ANDRADE JOSUÉ ABEL, egresados de la Carrera de **INGENIERÍA ELETROMECAÁNICA** de la **FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS (CIYA)**, cuyo título versa “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA GENERADOR DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE EL USO DE DISPOSITIVOS PIEZOELÉCTRICOS IMPLEMENTADOS EN UNA MÁQUINA ELÍPTICA EN EL GIMNASIO “ZEUS” UBICADO EN LA CIUDAD DE MACHACHI – CANTÓN MEJÍA”, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimen conveniente.

Latacunga, Julio del 2019

Atentamente,

Msc. Diana Karina Taipe Vergara
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS
C.C. 1720080934



CENTRO
DE IDIOMAS

INTRODUCCIÓN

En la actualidad los métodos por los cuales se realiza la obtención de energía eléctrica son una de entre varias razones por las cuales, el medio ambiente sufre alteraciones y daños, lo cual nos lleva a pensar en medios alternos para la generación del recurso eléctrico, que sean amigables con el medio ambiente.

La energía harvesting como principal objetivo tiende a cumplir la recolección y el almacenamiento de energía sobrante, una forma de energía potencialmente cosechable es la humana especialmente la empleada para la locomoción.

Mediante la investigación de nuevos métodos para generación de energía eléctrica renovable que sea amigable con el medio ambiente y la idea de aprovechar la energía mecánica de locomoción de una persona, la cual sea capaz de ser utilizada para generar energía eléctrica y poder compensar un consumo eléctrico en diversos dispositivos, se convierte en un tema con gran potencial innovador y con un gran futuro, ya que permite la obtención de energía eléctrica a partir de fuerzas naturales en conjunto con sistemas adecuados de transformación y captación.

Con las actividades diarias que realiza una persona se pueden encontrar fracciones de energía suelta las cuales pueden ser usadas para una segunda disposición, como es el caso de la energía mecánica que se obtiene mediante la locomoción humana la cual mediante materiales piezoeléctricos, pueden ser aprovechadas de gran manera para la generación de energía eléctrica.

El hombre para mantener un estilo de vida saludable opta necesariamente en llevar una buena alimentación y realizar ejercicios que ayudan a conservar su rendimiento y desempeño físico, muchas personas realizan estas actividades en un gimnasio, necesitando un ambiente e instalaciones adecuadas para un mayor aprovechamiento al realizar estas actividades en cualquier máquina de ejercicio como caminadoras, bicicletas, escaladoras e incluso en la utilización del piso con las bailo terapias, así de esta manera se puede utilizar el esfuerzo físico (energía mecánica) que se realiza mediante la locomoción humana en el gimnasio para generar energía eléctrica renovable en conjunto, con la utilización de materiales piezoeléctricos los cuales pueden generar este tipo de energía renovable al realizar presión en ellos, dicha energía podría ser almacenada y utilizada para alimentar artefactos en el mismo gimnasio, como cargar un celular hasta poder hacer funcionar un sistema de audio lo cual sería de gran beneficio para la sociedad y el medio ambiente, incentivando a las personas a realizar ejercicio y de igual

manera ayudar al planeta disminuyendo el consumo eléctrico utilizando un método nuevo e innovador de generación.

Se propone diseñar e implementar un sistema generador de energía eléctrica mediante el uso de dispositivos piezoeléctricos implementados en una maquina elíptica en el gimnasio “Zeus” ubicado en la ciudad de Machachi – cantón Mejía y aprovechar la energía mecánica, de las personas mismo que contará con materiales piezoeléctricos internos los cuales funcionan con el sistema adecuado de recolección y transformación de energía.

Obteniendo un método de generación alternativo y limpio el cual alimentará la carga de teléfonos móviles, en dicha máquina elíptica se especificará las conexiones con mayor efectividad de generación para realizar un mejor aprovechamiento del equipo, y obtener mejores resultados en la captación de energía eléctrica.

En este sistema de generación la persona es el principal punto de acción ya que mediante el esfuerzo físico generado al realizar una actividad, como lo es en este caso el uso de la máquina elíptica genera la energía mecánica mediante la locomoción del cuerpo, esfuerzo principal para conseguir el recurso necesario para el almacenamiento y transformación de energía eléctrica.

1. INFORMACIÓN BÁSICA

PROPUESTO POR:

Nombre: Guacapiña Simba Brayan Ivan

Celular: 0995568189

Correo electrónico: brayan.guacapiña9@utc.edu.ec

Dirección: Cantón Mejía, Machachi

Nombre: Huerta Andrade Josué Abel

Celular: 0998732012

Correo electrónico: josue.huerta8@utc.edu.ec

Dirección: Latacunga, San Felipe

TEMA APROBADO

Diseño e implementación de un sistema generador de energía eléctrica mediante el uso de dispositivos piezoeléctricos implementados en una maquina elíptica en el gimnasio “Zeus” ubicado en la ciudad de Machachi – cantón Mejía.

CARRERA

Ingeniería Electromecánica

DIRECTOR DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

Tutor(a): Ing. Ms.C Freire Andrade Verónica Paulina

EQUIPO DE TRABAJO:

Asesor técnico:

Nombre: Ing. Ms.C Freire Andrade Verónica Paulina

Celular: 0987356515

Correo electrónico: verónica.freire@utc.edu.ec

Dirección: Latacunga

LUGAR DE EJECUCIÓN:

Sierra, Pichincha, Cantón Mejía, Parroquia Machachi, gimnasio “Zeus”

TIEMPO DE DURACIÓN DE LA PROPUESTA:

10 meses duración de los ciclos noveno y décimo.

FECHA DE ENTREGA:

Agosto 2019

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD:

Línea de investigación 5. Energías Alternativas

SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN DE LA CARRERA:

Eficiencia energética en sistemas electromecánicos y uso de fuentes renovables de energía.

TIPO DE PROPUESTA TECNOLÓGICA:

Desarrollo tecnológico en el diseño e implementación de un sistema generador de energía eléctrica mediante el uso de dispositivos piezoeléctricos para adquirir conocimiento, habilidades y aplicar cálculo, métodos, normativas para la resolución del problema afines en sistemas electromecánicos como elaboración de componentes y mecanismos que permitan la aplicación en la actividad laboral.

2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

2.1. Título de la propuesta tecnológica

Diseño e implementación de un sistema generador de energía eléctrica mediante el uso de dispositivos piezoeléctricos implementados en una maquina elíptica en el gimnasio “Zeus” ubicado en la ciudad de Machachi – cantón Mejía.

2.2. Tipo de alcance

Productivo: El proyecto pretende aprovechar la energía mecánica generada por los esfuerzos físicos para generar energía eléctrica de esta manera realizar un sistema de generación de energía eléctrica auto sustentable que abastecerá el consumo eléctrico en las instalaciones del gimnasio reduciendo el cargo a la factura eléctrica.

2.3. Área del conocimiento

Área: Ingeniería, Industria y construcción.

Sub área: 52 Ingeniería y profesiones afines.

Dibujo técnico, mecánica, metalistería, electricidad, electrónica, telecomunicaciones,

2.4. Sinopsis de la propuesta tecnológica

Para mantener un estilo de vida saludable es necesario llevar una buena alimentación y realizar ejercicio, muchas personas realizan estas actividades en un gimnasio, al realizar estas en cualquier máquina de ejercicio como caminadoras, bicicletas e incluso en la utilización del piso con las bailo terapias, así de esta manera se puede utilizar el esfuerzo físico que se realiza en el gimnasio para generar energía eléctrica renovable mediante la utilización de dispositivos piezoeléctricos los cuales pueden generar este tipo de energía mecánica, al realizar presión en ellos estos producen un cierta energía que puede ser aprovechado, dicha energía podría ser almacenada y utilizada para alimentar artefactos en el mismo gimnasio como cargar un celular hasta lograr que un sistema de audio funcione lo cual sería de gran beneficio para la sociedad y el medio ambiente, incentivando a las personas a realizar ejercicio y de igual manera ayudar al planeta.

2.5. Objeto de estudio y campo de acción

2.5.1. Objeto de estudio

Generación de energía eléctrica.

2.5.2. Campo de acción

Dispositivos piezoeléctricos para la generación de energía eléctrica.

2.6. Situación problémica y problema

2.6.1. Situación problémica

En el gimnasio “Zeus” ubicado en la ciudad de Machachi – cantón Mejía. existe la oportunidad de aprovechar la energía mecánica que los usuarios generan al realizar ejercicio, con la cual se podría realizar la transformación de dicha energía mecánica en energía eléctrica mediante la utilización de dispositivos piezoeléctricos y el correcto diseño de un sistema generador de energía eléctrica.

Como punto de enfoque se ha tomado en cuenta las máquinas elípticas las cuales tienen un uso continuo y frecuente en las que pueden ser utilizados este tipo de dispositivos piezoeléctricos.

2.6.2. Problema

¿Cómo incide la implementación de un sistema de generación de energía eléctrica mediante el uso de dispositivos piezoeléctricos implementados en una máquina elíptica para sustentar el consumo eléctrico de teléfonos móviles en el gimnasio “Zeus” ubicado en la ciudad de Machachi – cantón Mejía, durante el periodo académico Abril-Agosto 2019?

2.7. Pregunta Científica

¿Cómo mediante el uso de dispositivos piezoeléctricos implementados en una máquina elíptica se puede generar energía eléctrica para sustentar el consumo eléctrico de un dispositivo móvil en el gimnasio “Zeus” ubicado en la ciudad de Machachi – cantón Mejía en el período Abril-Agosto 2019?

2.8. Objetivo(s)

2.8.1. Objetivo general

Implementar un sistema de generación de energía eléctrica mediante dispositivos piezoeléctricos establecidos en una máquina elíptica para satisfacer el consumo eléctrico de teléfonos móviles de los usuarios del gimnasio “Zeus”, ubicado en la ciudad de Machachi – cantón Mejía, durante el período Abril-Agosto 2019.

2.8.2. Objetivos específicos

- Realizar una revisión bibliográfica de las principales investigaciones y textos sobre generación de energía eléctrica con dispositivos piezoeléctricos.
- Seleccionar los componentes del prototipo en función de las necesidades de instauración que requiere la máquina elíptica.

- Diseñar el sistema de generación de energía eléctrica a través de varios experimentos, que demuestren la configuración de instalación correcta para el prototipo.
- Implementar y evaluar el sistema piezoeléctrico en máquinas elípticas para el aprovechamiento de la energía harvesting.

2.9. Descripción de las actividades y tareas propuestas con los objetivos establecidos

| Objetivo | Tarea | Resultado |
|---|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Realizar una revisión bibliográfica de las principales investigaciones y textos sobre generación de energía eléctrica con dispositivos piezoeléctricos. | Indagar acerca de proyectos similares con utilización de dispositivos piezoeléctricos para harvesting energía. | Se pudo definir los elementos necesarios para el diseño del sistema de generación. |
| | Conceptualizar términos básicos para harvesting energía y dispositivos piezoeléctricos. | El aprovechamiento de la energía harvesting es notorio en esta implementación por el aprovechamiento del ejercicio físico. |
| <ul style="list-style-type: none"> • Seleccionar los componentes del prototipo en función de las necesidades de instauración que requiere la máquina elíptica. | Realizar una comparación de los dispositivos piezoeléctricos con respecto a su principio de funcionamiento. | Tabla comparativa de generación de voltaje en relación a su funcionamiento. |
| <ul style="list-style-type: none"> • Diseñar el sistema de generación de energía eléctrica a través de varios experimentos, que demuestren la configuración de | Estudiar el comportamiento de los dispositivos piezoeléctricos. | Mediante la observación de las formas de onda generadas por los piezoeléctricos se notó que entrega una salida alterna subamortiguada. |

| | | |
|---|--|---|
| instalación correcta para el prototipo. | Detallar el funcionamiento de la máquina elíptica para la generación de energía harvesting. | Se colocó en la superficie de la rueda 35 piezoeléctricos flexibles los cuales mediante un contacto sufren la deformación necesaria para la generación de energía eléctrica |
| | Especificar el sistema de generación del sistema piezoeléctrico para harvesting energía en máquinas elípticas. | |
| <ul style="list-style-type: none"> Implementar y evaluar el sistema piezoeléctrico en máquinas elípticas para el aprovechamiento de la energía harvesting. | Diseñar el sistema de generación para harvesting energía en máquinas elípticas con dispositivos piezoeléctricos. | Con la experimentación realizada fue determinada el tipo de conexión, tiempo de carga del sistema de generación y mediante los cálculos el dimensionamiento para el almacenaje. |
| | Aplicar pruebas de operación y funcionamiento de los diseños de generación piezoeléctrico para harvesting energía. | |
| | Evaluar los resultados obtenidos mediante pruebas a los diseños implementados. | La entrega de potencia generada es de 960W al día. |

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Análisis de los trabajos precedentes

Según estadísticas publicadas por el CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) en Ecuador al igual que en el resto de países de América Latina el número de personas que asisten a los gimnasios va cada día más en aumento [1], por lo cual el utilizar la energía física que producen las personas al momento de hacer ejercicio, es una forma de aprovechar los esfuerzos físicos como una fuente de energía renovable, que al transformarla a través de los sistemas piezoeléctricos da como resultado energía eléctrica.

En la actualidad existen varios temas de implementación para energía harvesting con dispositivos piezoeléctricos como diseños de plantillas, baldosas, muñequeras entre otras las cuales han demostrado ser efectivas y aportan a la obtención de energía limpia e innovación, ya que los dispositivos piezoeléctricos brindan grandes cualidades para hacer uso de ellos en tópicos de generación de energía.

Los dispositivos piezoeléctricos tienen la cualidad de crear un campo electromagnético al recibir una presión, la cual podemos aprovechar para generar energía eléctrica, existen una gran variedad de piezoeléctricos desde su forma de diseño hasta sus materiales de fabricación, los cuales mediante el método investigativo se va a elegir, para obtener el mejor resultado en el diseño e implementación del sistema piezoeléctrico.

Con el presente proyecto se aportará a la innovación para energía renovable harvesting (es aprovechar la energía presente en nuestro entorno o incluso en nuestro propio cuerpo para transformarla en energía eléctrica, almacenarla, y alimentar in situ pequeños dispositivos electrónicos) [2], con la utilización de dispositivos piezoeléctricos en los cuales se estudiará su relación de funcionamiento, conversión y selección de los dispositivos correctos para la transformación de energía mecánica a energía eléctrica, el mismo que al desarrollarse es de interés local, debido a que en la política de calidad del INER en su Gestión de Investigación e Innovación de Productos y Servicios, afirma que los proyectos a desarrollarse en la zona 3 tienen que cumplir con ciertos objetivos como: Tener un plan de investigación, desarrollo e innovación en eficiencia energética y energías renovables.

Y según la Constitución de la República del Ecuador Sección Octava. Artículo 385 numeral 3 considera:

Que desarrollar tecnologías e innovaciones que impulsen la producción nacional, elevan la eficiencia y productividad, mejoren la calidad de vida y contribuyen a la realización del buen vivir son de gran relevancia para el país.

Este proyecto cuenta con dispositivos piezoeléctricos, mismos que serán aplicados para el diseño de un sistema de generación que se adaptará a máquinas elípticas en el gimnasio “Zeus”. Ubicado en la ciudad de Machachi – cantón Mejía, obteniendo datos de prueba generados con el uso del sistema implementado y estudiando la interacción máquina – persona para el mejor desempeño del equipo, el cual debe ser capaz de abastecer con la energía eléctrica necesaria para alimentar ciertos aparatos eléctricos de consumo cotidiano en el gimnasio, de igual manera crear conciencia en las personas por el uso de energía renovable.

Por lo cual el proyecto se ubica en la línea de investigación institucional número 5, que abarca todo lo que comprende las Energías Alternativas, y a nivel de la carrera en la Sublínea 3. Que trata de eficiencia energética en sistemas electromecánicos y uso de fuentes renovables de energía.

En la Universidad Técnica de Loja los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones llevaron a cabo varios proyectos. Uno de ellos nombrado “Ingeniería de detalle y análisis del desempeño de un sistema de plantillas piezoeléctricas, para harvesting de energía a través del calzado” [3]. Concluyendo que los materiales de utilización y el diseño influyen de gran manera en la generación de energía, haciendo de la plantilla PZT la mejor opción del tema de investigación sobre el diseño de plantilla PVDF y PZT.

El “Análisis de la operación y desempeño de un sistema de generación de energía con la utilización de baldosas piezoeléctricas” ejecutado en la misma Universidad, analizaron el funcionamiento de las baldosas piezoeléctricas, explica las generalidades de la cinesiología (disciplina que estudia la actividad muscular del cuerpo humano), de la marcha humana y el principio de harvesting de energía a través de una baldosa piezo [4]. La cual concluye que el movimiento humano y los procesos de contacto entre suelo y pie, son punto base del estudio de energía harvesting, mediante dispositivos piezoeléctricos ya que se obtuvo datos de voltaje generado en diversas partes de presión de la baldosa piezoeléctrica.

En la Universidad Nacional Autónoma de México, José García con su tema de investigación denominado “Generación de energía utilizando el efecto piezoeléctrico”, dio solución a un problema en el bosque de Tlalpan, donde los corredores están expuestos a caídas accidentales

debido a poca iluminación que posee la pista, por lo tanto es necesario implementar una infraestructura de iluminación. [5] En la cual el tema principal de estudio fue la generación de energía en el parque para corredores de la pista, y sus resultados fueron en base a el contacto del pie del corredor y el suelo, los cuales generaron tablas de eficacia que demostraron que el sistema piezoeléctrico en parques es una idea viable.

En la Universidad Politécnica de Catalunya se presentó un tema de proyecto de “Diseño de un prototipo para generación energética, mediante tecnología piezoeléctrica. Aplicación a escaleras”, en dicho proyecto como objetivo presentan el recolectar energía mecánica desperdiciada por la locomoción de las personas, centrada en las escaleras herramienta de ascenso que son usadas habitualmente.

El “Diseño de un colector de energía piezoeléctrico (energy harvesting) mediante optimización topológica que maximice la transformación de energía mecánica, en eléctrica generada por un ser humano al caminar”, es un proyecto planteado en la Universidad Nacional de Colombia. [6] En el cual se llegó a la siguiente conclusión: Con base en las simulaciones realizadas, al comparar el voltaje generado por una cerámica piezoeléctrica, una con un bloque de aluminio unido y otra con una topología, todas tres excitadas por una misma presión, se puede concluir que el diseño de colectores de energía mediante el MOT, mejora el desempeño de los Energy Harvesting piezoeléctricos. [6]

En Israel, ingenieros del centro tecnológico Innowattech, crearon un nuevo tipo de material para carreteras basado en unos cristales piezoeléctricos, para aprovechar la energía cinética del paso de los vehículos. El material puede extenderse por todo tipo de superficies de tránsito con un grosor muy fino. Sus responsables calculan que puede generar unos 400 kW por kilómetro.[7]

Como trabajo futuro se recomienda la implementación de un planteamiento alternativo para el diseño de los Energy Harvesting, donde se incluya en el proceso de optimización el dispositivo piezoeléctrico, de tal manera que no se maximice una variable indirecta como los desplazamientos de la estructura, sino que se maximice directamente el voltaje de la cerámica al modificar sólo las variables de diseño del aluminio.

Todos estos proyectos y aplicaciones tienen como objetivo, el análisis y estudio de sistemas de generación de energía eléctrica mediante la utilización de materiales piezoeléctricos, con

diferentes diseños y empleos de utilización basándose en la aplicación de harvesting para energía.

3.2 Energía harvesting y dispositivos piezoeléctricos

“El harvesting es el proceso por el cual se captura y almacena fracciones de energía “suelta”. Una forma de energía potencialmente cosechable es la humana, especialmente la empleada para la locomoción. Los sistemas de efecto piezoeléctrico son ampliamente utilizados para capturar esta energía, especialmente a través del calzado.” [3]

“El concepto de energy harvesting se basa en la recolección, transformación y almacenamiento de energía proveniente de fuentes naturales. Uno de los dispositivos para realizar el harvesting de energía es el piezoeléctrico.” [4]

La energía harvesting conseguida de las personas por locomoción es el tópico principal en este tipo de obtención de energía, ya que al aprovechar la energía mecánica suelta o residual de diversas actividades es de gran beneficio, y aprovechamiento para una segunda utilización, como lo es en la transformación a energía eléctrica.

Hay dos tipos diferentes de actuadores piezoeléctricos / multicapas. El primero es un actuador de pila. Un actuador de pila se construye de una de estas dos maneras: apilamiento discreto o co-disparo dependiendo de los requisitos del usuario. [9]

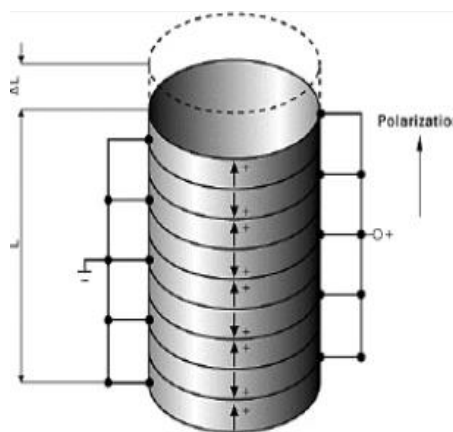


Figura 3.1. Actuador piezoeléctrico tipo pila.

Fuente: [10]

El otro tipo de actuador piezoeléctrico es un actuador de banda o de flexión, en el que se unen capas delgadas de cerámica piezoeléctrica; las capas delgadas permiten que el actuador se doble

con una mayor deflexión, pero una fuerza de bloqueo inferior que un actuador de apilamiento.[11]



Figura 3.2. Actuador piezoeléctrico de banda o de flexión.

Fuente: [12]

El efecto piezoeléctrico describe la relación entre una tensión mecánica y un voltaje eléctrico en sólidos el cual se aprecia en la figura 3.3. En la cual se muestra los dos factores para la generación de energía eléctrica. Es la capacidad de ciertos materiales –minerales, cerámicas y algunos polímeros- para producir una carga eléctrica en respuesta a un esfuerzo mecánico aplicado. También puede observarse el efecto inverso, en el que los materiales piezoeléctricos se deforman por la aplicación de un campo eléctrico. [13].

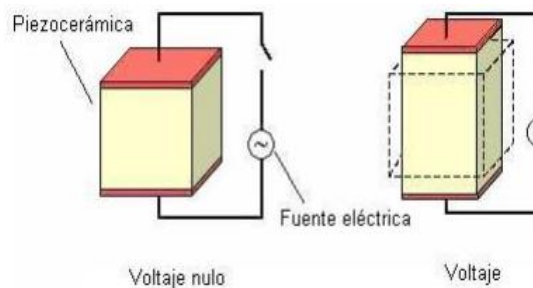


Figura 3.3. Material Piezoeléctrico.

Fuente: [13]

El efecto piezoeléctrico fue descubierto por Jacques y Pierre Curie, en 1880. Ciertos cristales sometidos a una tensión mecánica, se polarizan eléctricamente (efecto piezoeléctrico directo). Estos mismos materiales se deforman al ser expuestos a un campo eléctrico (efecto piezoeléctrico inverso). [4]

Evento que genero los principios de aplicación de dispositivos piezoeléctricos como la primera aplicación en radares de submarinos los cuales mediante una frecuencia de 50Hz, emitían vibraciones, las cuales informaban sobre proximidad de objetos, de aquí los avances de aplicaciones utilizando sistema inversos del funcionamiento principal de los dispositivos piezoeléctricos.

3.2.1 Clasificación de los dispositivos piezoeléctricos.

Los dispositivos piezoeléctricos se pueden clasificar en naturales y sintéticos, dentro de los naturales se encuentran los cristales de cuarzo y turmalina y dentro de los sintéticos se encuentran, la sal de Rochelle, el titanato de Bario y algunos componentes cerámicos como PZT, metaniobato de plomo, el fluoruro de polivinilideno, trifluoroetileno, el nylon y la polyrea.[14]

Las diversas características de los dispositivos piezoeléctricos son los parámetros más importantes al tomar en cuenta, ya que varían sus propiedades de aplicación. [14]

Son los polímeros piezoeléctricos, también conocidos como polímeros semicristalinos que son capaces de generar un momento dipolar interno debido a su estructura molecular, por lo que presentan propiedades piezoeléctricas.

El más estudiado es el PVDF, pero existen otros tipos como son LCP (polímeros líquidos de cristal), poliamidas y Parylene-C. [15]

LDT0-028K



Figura 3.4. Piezoeléctrico flexible LDT0-028K.

Fuente: [12]

El LDT0-028K es un componente flexible que cumple con la norma UNE-EN ISO 6385:2004. Mismo que comprende los principios ergonómicos para el diseño de sistemas de trabajo. Este dispositivo está formado de una película de polímero PVDF piezoeléctrico, de 28 μm de espesor con serigrafiado electrodos de tinta plateada, laminados a 0.125 mm sustrato de poliéster, y equipado con dos contactos engarzados, esta estructura física se muestra en la figura 3.3. Como la película piezo está desplazada del eje neutro mecánico, la flexión crea una tensión muy alta dentro del piezopolímero y se generan altos voltajes. (Observar datasheet en el anexo XIII).

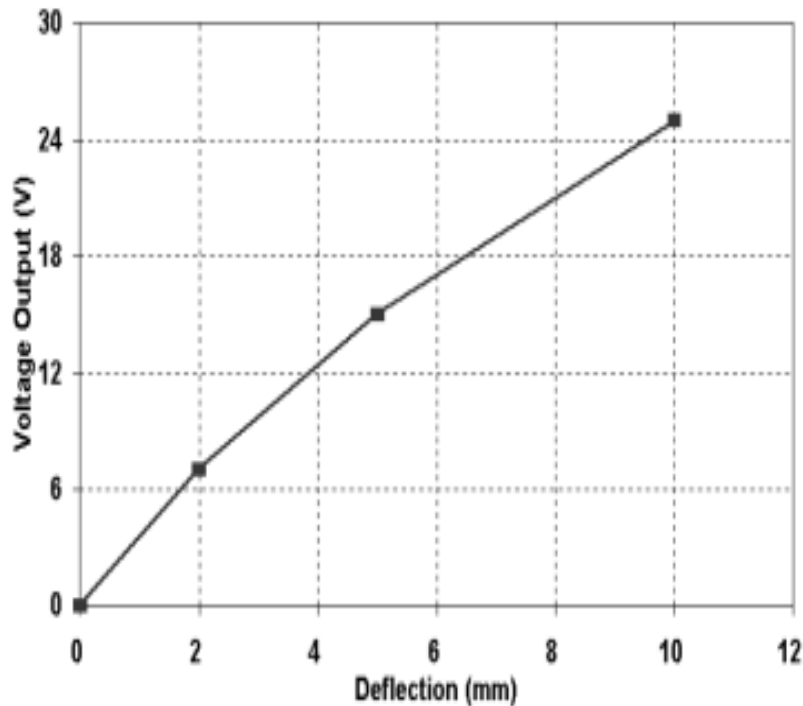


Figura 3.5. Representación voltaje/deformación.

Fuente: [16]

3.3 Despolarización

Al realizar la utilización de los dispositivos piezoeléctricos se debe tomar en cuenta las condiciones de polarización, ya que al trabajar de manera inversa esta debe ser tomada en cuenta para su funcionamiento.

- El material no debe ser expuesto a campos alternativos muy fuertes.
- La tensión mecánica aplicada al material no debe exceder límites específicos.

El incumplimiento de una de estas condiciones puede causar una despolarización la cual afectaría las propiedades del dispositivo piezoeléctrico, o las desvanecerían por completo.

3.4 Inversor



Figura 3.6. Inversor 1500 DC 12V a AC 110V.

Fuente: [19]

En la figura 3.6 se muestra gráficamente un inversor convertidor de 12V a 110V de alta potencia, mismo que para su elección se basó en la norma UL 1741 [20] (esta norma da a conocer los requisitos de los inversores, convertidores, controladores de carga y equipos de sistemas de interconexión (ISE) diseñados para su uso en sistemas de energía autónomos (no conectados a la red) o interactivos con los servicios públicos (conectados a la red)).

Este inversor permite conectar los artefactos electrónicos de corriente alterna, soporta dispositivos electrónicos de alto y bajo consumo como:

Cocina De inducción, Licuadora, Parlante Amplificado (hasta 1500 rms), Computador Portátil, Tablet, Celular, Grabadora, Televisor, o artefactos de cocina que no pasen los 1500W.

Características

- Tensión de salida estable y precisa
- Protección de la temperatura, protección de sobrecarga, protección contra sobretensiones.
- Construido con ventilador de refrigeración con bajo nivel de ruido.

3.5 Batería de ciclo profundo

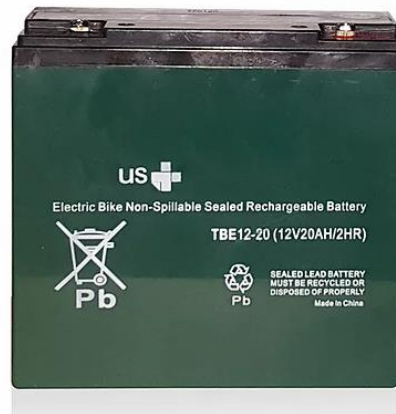


Figura 3.7. Batería US 12V – 20Ah descarga profunda.

Fuente: [21]

Las Batería US 12V-20Ah Descarga Profunda cumple con la Norma IEEE 1188 [22] la cual consiste en el Mantenimiento, pruebas y reemplazos de baterías selladas, guardan energía de modo que las fuentes de la corriente eléctrica las recarguen por medio de los alternadores, paneles solares, molinos de viento, etc. Se encuentra en la figura 3.7. [23]. Las baterías son eléctricas y químicas. Cambiando el ácido sulfúrico y el plomo en agua y sulfato de plomo, ellas crean electricidad. Cuando la electricidad es forzada nuevamente dentro de las baterías, se invierte la reacción química y la electricidad se guarda químicamente. [23]

3.6 Capacitor



Figura 3.8. Capacitor.

Fuente: [24]

El capacitor, también conocido como condensador, es un dispositivo electrónico pasivo. Está formado por dos placas conductoras y un material dieléctrico, algunos se llaman cerámicos o electrolíticos. Las placas conductoras se encuentran conectadas a las terminales de este elemento pasivo. Entre las placas se coloca un material dieléctrico o aislante [24].

También estas placas almacenan energía, almacenan carga eléctrica, esta carga se mantiene hasta que se conecte una carga en el capacitor. El condensador eléctrico, almacena carga directamente proporcional al voltaje o tensión aplicada. [24] La capacitancia, es la proporcionalidad de carga eléctrica almacenada y la diferencia de potencial aplicada.

Esta unidad de capacitancia se mide en Faradios. Para los circuitos electrónicos comúnmente se implementan capacitores o condensadores de picos, nanos o micro Faradios. [24]

3.7 Diodo de barrera Schottky



Figura 3.9. Diodo de barrera schottky.

Fuente: [25]

Existen diferentes tipos de diodos: los diodos Zener, diodos varicap, optoelectrónicos, Schottky, etc. En aplicaciones de radiofrecuencia como es la rectificación que nos ocupa, se emplean principalmente los denominados diodos Schottky para desempeñar dicha operación [26].

En inglés conocidos además como: surface barrier diodes, hot carrier diode o hot electron diode. Esto es así porque estos dispositivos son de portadores mayoritarios, lo cual reduce el tiempo de tránsito en las uniones tradicionales pnp, formadas por portadores minoritarios; al no depender de la recombinación de electrones y huecos en las mismas [26].

El diodo también posee una densidad de corriente mucho mayor que una unión pn común, lo que significa una caída de tensión en directa menor que en los diodos habituales de unión pn, alcanzando valores de entre 0,15 y 0,4 V; muy diferente a los diodos de silicio típicos cuyo valor es de 0,6V [26]. Este hecho se traduce en menores pérdidas de potencia. Como posible desventaja se encuentra en el nivel de corriente en inversa, que resulta relativamente alta. (Observar datasheet en el anexo XIV).

3.8 Amplificador de voltaje X16009



Figura 3.10. Convertidor DC-DC X16009.

Fuente: [27]

El convertidor DC-DC X16009 es un regulador de tipo conmutado elevador (Step-Up o Boost) con una alta eficiencia de conversión, excelente regulación de línea y bajo voltaje de rizado. El módulo reduce al mínimo el uso de componentes externos para simplificar el diseño de fuentes de alimentación [27]. Permite obtener un voltaje regulado a partir de una fuente con un voltaje inferior, por ejemplo: obtener 5V o 12V a partir de una batería de litio de 3.7V. Es capaz de manejar una carga de hasta 2A o 6W máximo.

Además da como resultado un voltaje de salida constante superior al voltaje de entrada frente a variaciones del voltaje de entrada o de carga [27].

3.9 Regulador TK20DU



Figura 3.11. Regulador TK20DU.

Fuente: [28]

El regulador tiene una doble misión, primero, debe eliminar el ripple y por otro lado debe poseer una impedancia de salida adecuada, con el fin de que la tensión regulada a la salida se mantenga independiente de la carga, siempre que ésta varíe entre los límites exigidos del diseño. En otras palabras, a la salida de la fuente de alimentación no estabilizada, se aplica a un dispositivo de

control que regula la tensión para dar una salida de régimen continuo. Los reguladores pueden ser serie o paralelo. En un regulador serie, el dispositivo de control se conecta en serie con la carga y para regular la salida debe en todos los casos absorber parte de la tensión de entrada o alimentación. En un regulador en derivación, el dispositivo de control se halla en paralelo con la carga y para efectuar la regulación de salida, debe dejar pasar corriente, en todos los casos cuando la corriente a través del dispositivo de control cae a cero, la acción de regulación cesa [28].

Requerimientos de un regulador [28].

- Mantener la tensión de salida constante independiente de las fluctuaciones de la entrada y la temperatura.
- Mantener la tensión constante de salida, a las exigencias de corriente de carga.
- El voltaje de salida no debe contener componentes alternos (ripple =0)
- La fuente debe poseer un sistema para limitar la corriente de salida (protección).
- El circuito regulador debe mantener el voltaje ya sea sin carga (circuito abierto), en la cual no provee corriente, o a plena carga, entregando una corriente en la salida como lo indica la figura 3.12.



Figura 3.12. Voltaje de regulación. (a) Sin carga. (b) Con carga.

Fuente: [28]

3.10 Board de Energy Harvesting LTC3588-1

Para el funcionamiento de esta tarjeta se debe observar la siguiente figura, el integrado puede tener una entrada variable como lo es un parche piezoeléctrico o una entrada DC, como lo es un panel solar. En la figura 3.13. Se puede observar que al superar un voltaje umbral en la entrada obtenemos un voltaje de salida constante, en este caso el voltaje de umbral está cercano a los 4V y puede llegar hasta 20V para obtener una salida de 1.8V, 2.5V, 3.3V o 3.6V a la salida dependiendo de la configuración. [29]

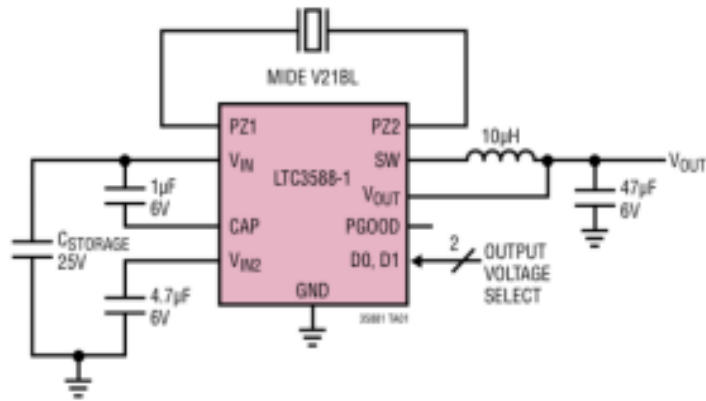


Figura 3.13. Aplicación LTC3588.

Fuente: [29]

3.11 Cuadruplicador de voltaje

El circuito multiplicador de voltaje es un circuito que permite tener un nivel de continua, igual a un factor entero del valor pico de una señal de entrada. El principio de operación de estos circuitos es la carga sucesiva de condensadores debido a la habilitación en cascada de diodos.

Este tipo de circuitos se utilizan para mantener el voltaje pico de un transformador relativamente bajo, ya que elevan el voltaje de salida de pico a dos, tres, cuatro o más veces el voltaje pico rectificado. [30]

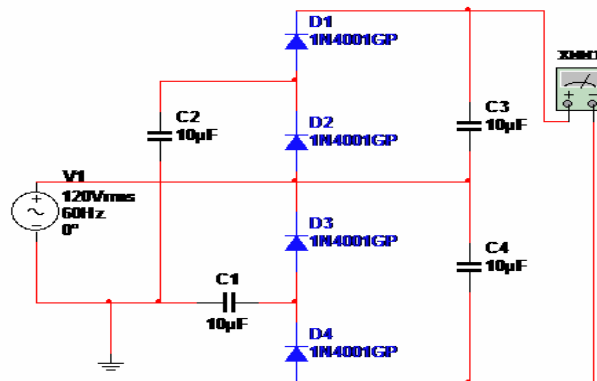


Figura 3.14. Diagrama de voltaje cuadruplicador.

Fuente: [30]

3.12 Placa Arduino Nano

Es una placa de desarrollo de tamaño compacto, completa y compatible con protoboards basada en el microcontrolador ATmega328P. Tiene 14 pines de entrada/salida digital (de los cuales 6

pueden ser usando con PWM), 6 entradas analógicas, un cristal de 16Mhz, conexión Mini-USB, terminales para conexión ICSP y un botón de reseteo.

Posee las mismas capacidades que un Arduino UNO, tanto en potencia del microcontrolador como en conectividad, solo se ve recortado en su conector USB, conector jack de alimentación y los pines cambia un formato de pines header. [31]

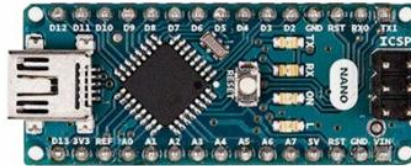


Figura 3.15. Arduino Nano.

Fuente: [31]

4. METODOLOGÍA.

4.1 Métodos de investigación.

4.1.1 Científico

[32] Implementar el método científico es de gran importancia ya que nos permite analizar y seguir una sucesión de pasos preestablecidos al momento de realizar la propuesta tecnológica como: la revisión bibliográfica, revisión de trabajos precedentes, determinación de las variables, determinación de componentes que forman parte del sistema de generación, metodología, técnicas, etc.

Todos estos pasos siguen un orden lógico y científico que son necesarios para llegar a la solución de la propuesta tecnológica.

4.1.2 Inductivo-Deductivo

[33] En el prototipo propuesto se utilizará el método inductivo-deductivo ya que se partirá de Leyes y Teoremas generales dentro de la electricidad, como la Ley de Ohm, Leyes de Kirchhoff de voltajes y corrientes y principios de funcionamiento de los piezoeléctricos para llegar a premisas particulares y viceversa, que permitirán argumentar científicamente la propuesta para la captación de energía eléctrica.

4.1.3 Cuantitativo

[34] El método cuantitativo en esta propuesta tecnológica es aplicado en la recopilación de datos que se obtendrán, en los cuales se podrá apreciar mediciones de voltaje y corriente dependiendo la velocidad y el tiempo de trabajo.

4.2 Técnicas

4.2.1 Medición

Esta técnica se utiliza para la obtención de datos los cuales se monitorearan mediante la elaboración de tablas, para medir así las variables que intervienen en el proyecto de investigación.

4.2.2 Toma de datos experimentales

Tabla 4.1. Variable independiente (piezoeléctrico)

| Variable Independiente (Piezoeléctrico) | | | | | |
|---|-------------------|--|---------------------------------|-------------|----------|
| Concepto | Categoría | Indicador | Ítem | Instrumento | Técnica |
| Emisión de energía electromagnética de alta intensidad en un breve período de tiempo | Pulsos eléctricos | Deflexión en el piezoeléctrico | Voltios (V) | Voltímetro | Medición |
| La velocidad es la magnitud física de carácter vectorial que relaciona el cambio de posición con el tiempo. | Velocidad | Rueda de la maquina elíptica | Revoluciones por minuto (r.p.m) | Tacómetro | Medición |
| El tiempo es una magnitud física con la que medimos la duración o separación de acontecimientos. | Tiempo | Tiempo de trabajo para la captación de energía | minutos (min) | Cronómetro | Medición |

Tabla 4.2. Variable dependiente (sistema de generación de energía eléctrica)

| Variable Dependiente (Sistema de Generación de energía eléctrica) | | | | | |
|--|--------------------|--|--------------------------------|---------------------------|----------------|
| Concepto | Categoría | Indicador | Ítem | Instrumento | Técnica |
| Aparato electromagnético capaz de acumular energía eléctrica y suministrarla | Batería | Batería de placa | Voltios (V) Amperios (A) | Ecuación | Cálculo |
| | | Batería de descarga profunda | | | |
| Convierte la corriente continua en corriente alterna convencional y le permitirá utilizar aparatos convencionales | Inversor | Inversor de corriente continua a corriente alterna | Voltios (V) Amperios (A) | Ecuación | Cálculo |
| Este componente del sistema administra de forma eficiente la energía hacia las baterías prolongando su vida útil protegiendo el sistema de sobrecargas | Regulador de carga | Regulador de carga de una etapa | Voltios (V) Amperios (A) | Voltímetro Amperímetro | Cálculo |
| | | Regulador de carga de dos etapas | | | |

4.2.3 Ecuaciones de cálculo

La utilización de cálculos en esta propuesta tecnológica es necesaria para la obtención de datos los cuales son fundamentales para el diseño del sistema de implementación.

La ecuación (4.1) está planteada para calcular la deflexión necesaria para mantener un rango de generación en la salida de los dispositivos piezoeléctricos y su correspondiente separación

$$deflexión(2) = \frac{deflexión(1) * Vsal(2)}{Vsal(1)} \quad (4.1)$$

Donde:

deflexión(1): Distancia de deflexión;

Vsal(1): Voltaje de salida 1;

Vsal(2): Voltaje de salida 2;

La ecuación (4.2) reflejará los datos de la superficie total de la rueda, la cual se utilizará para calcular la distancia entre contactos.

$$L = 2 * \pi * r \quad (4.2)$$

Donde:

L: longitud de la circunferencia (cm);

r: radio de la circunferencia (cm);

La distancia entre contactos está relacionada a la separación entre dispositivos piezoeléctricos, la ecuación (4.3) es aplicada para calcular la distancia entre grupos de contactos.

$$d \text{ total} = d \text{ cont} + s \text{ cont} + d \text{ gru(cont)} \quad (4.3)$$

Donde:

d total: distancia total (cm);

d cont: distancia del contacto (cm);

s cont: separación entre contactos (cm);

d gru(cont): distancia entre cada grupo de contactos (cm);

La ecuación (4.4) es aplicada para obtener el total de grupo de contactos.

$$N^{\circ} \text{ grupos} = \frac{L}{d \text{ total}} \quad (4.4)$$

Donde:

d total: distancia total (cm);

L: longitud de la circunferencia (cm);

Frecuencia de resonancia (fr):

$$fr = \frac{1}{2\pi R C} \quad (4.5)$$

$$L1 = \frac{1}{4\pi^2 fr^2 C1} \quad (4.6)$$

Frecuencia de antiresonancia (fa):

$$fa = fr \sqrt{1 + \frac{C1}{C0}} \quad (4.7)$$

Ecuaciones de potencia y ahorro del teléfono celular

$$Potencia \text{ por día} = Pot. \text{ Celular} * N^\circ \text{ usuarios} \quad (4.8)$$

$$Potencia \text{ anual} = \frac{Pot. \text{ por día} * (\text{días del año})}{1000W} \quad (4.9)$$

Ecuaciones de potencia y ahorro del letrero led

$$Potencia \text{ por día} = Pot. \text{ letrero} * N^\circ \text{ horas} \quad (4.10)$$

$$Potencia \text{ anual} = \frac{Pot. \text{ por día (letrero)} * 365}{1000W} \quad (4.11)$$

$$Ahorro\ anual = \frac{Potencia\ anual\ (letrero) * (costo\ \frac{kW}{hora})}{100} \quad (4.12)$$

Ecuaciones de potencia y ahorro del módulo Arduino

$$Potencia\ por\ día = Pot.\ Arduino * N^o\ horas \quad (4.13)$$

$$Potencia\ anual = \frac{Pot.\ por\ día\ (Arduino) * 365}{1000W} \quad (4.14)$$

$$Ahorro\ anual = \frac{Potencia\ anual\ (Arduino) * (costo\ \frac{kW}{hora})}{100} \quad (4.15)$$

Para obtener los dimensionamientos de: inversor y batería se utiliza las siguientes ecuaciones.

Tamaño del inversor.

Tamaño del inversor según ecuación planteada por José de Juana [17]

$$Tamaño\ del\ inversor = Total\ de\ Watts * 0.30 \quad (4.16)$$

Donde:

Tamaño del inversor: (W);

Factor de seguridad de: (0.30);

Total de Watts: (W);

Tamaño de la batería.

Tamaño de la batería según ecuación planteada por José Luis Cavasassi [18]

$$Capacidad\ de\ la\ batería = \frac{Total\ de\ \frac{Watts}{hora} * días\ autonomía * Perd.\ bat * Prof.\ desc}{tensión\ nominal} \quad (4.17)$$

Donde:

Total de (Watts/hora): Sumatoria de Watts (Watts/hora);

Tensión nominal de la Batería: 12(V);

Días de autonomía: Se considera los días en las que el sistema no va a generar

Perdidas de la batería:

- 40°C la batería posee 102% de capacidad
- 25°C la batería posee 100% de capacidad
- 0°C la batería posee 85% de capacidad
- -15°C la batería posee 65% de capacidad

La profundidad de descarga:

Para el cálculo de la profundidad de descarga se toma el $(100\% - \text{el porcentaje de consumo}) + 1$

5. DISEÑO EXPERIMENTAL.

Selección del material

Para la selección del tipo de piezoeléctrico a utilizar se toman como referencia la forma y datos de generación, en la tabla 5.1. Se encuentran los datos de voltaje de salida de los piezoeléctricos LDT0-028k mismos que para su generación se debe realizar una deflexión.

Tabla 5.1. Voltaje de salida (LDT0-028K)

| Deflexión | Voltaje de salida |
|------------------|--------------------------|
| 2 (mm) | 7 (V) |
| 5 (mm) | 15 (V) |
| 10 (mm) | 20-25 (V) |
| Max (90E) | >70 (V) |

En la tabla 5.2. Se puede apreciar los datos de generación del piezoeléctrico tipo pastilla, mismo que para obtener su voltaje de salida se debe realizar presión, este voltaje de salida va a depender de varias variables como el peso y altura de la persona e incluso la posición del pie. [3]

Tabla 5.2. Voltaje de salida (Tipo pastilla)

| Altura (m) | Peso (Kg) | Voltaje promedio de salida (V) | | |
|-----------------------|----------------------|---------------------------------------|----------------------------------|---|
| | | Contacto del talón | Apoyo plantar y medio | Elevación y despegue del pie |
| 0.60 | 12 | -15.07 | -8.40 | 1.33 |
| 1.20 | 25 | -26.72 | -15.34 | 2.33 |

| | | | | |
|------|-----|---------|---------|-------|
| 1.40 | 38 | -41.49 | -27.47 | 3.91 |
| 1.50 | 45 | -61.03 | -34.99 | 9.04 |
| 1.55 | 50 | -67.3 | -35.91 | 9.01 |
| 1.75 | 58 | -71.05 | -46.26 | 7.45 |
| 1.60 | 60 | -73.47 | -37.28 | 8.51 |
| 1.55 | 70 | -108.24 | -63.043 | 9.40 |
| 1.78 | 116 | -163.21 | -79.77 | 13.15 |

Tomando en cuenta los datos registrados en las tablas de cada piezoeléctrico y su forma de trabajo para la generación, el dispositivo piezoeléctrico con mayor afinidad para adaptar a la superficie de la rueda de la máquina elíptica es el dispositivo LDT0-028K, el cual por su flexibilidad es el adecuado para la implementación en este prototipo.

Posteriormente se posicionaron los piezoeléctricos en una pieza de forma semicircular, cuya construcción se realizó en fibra de vidrio (para más detalles revisar Anexo XIV, plano N° 3). Para determinar la distancia de separación entre cada piezoeléctrico se basó en la deformación que tiene cada uno de ellos, llegando a posicionarlos a una distancia de 1,5cm uno tras otro, esta separación es de gran importancia ya que de no haberla el piezoeléctrico no tendría la oportunidad de flexionarse ni de regresar a su posición original.

Distancia de separación entre cada piezoeléctrico

Tomando en cuenta los datos presentados en la tabla 5.1. Se procede a calcular mediante la ecuación (4.1) la distancia de separación:

$$2mm = 7V$$

$$X = 70V$$

$$deflexión(2) = \frac{2mm * 70V}{7V} = 20(mm)$$

Donde:

deflexión(1): Distancia de deflexión 2(mm);

Vsal(1): Voltaje de salida 7(V);

Vsal(2): Voltaje de salida 70(V);

Se puede observar que en una deflexión máxima de 20mm cada piezoeléctrico genera 70V, teniendo en cuenta que este tipo de deflexión máxima reduce la vida útil del piezoeléctrico, la mitad del voltaje que ofrece esta deflexión es más que suficiente para que el prototipo del sistema de generación funcione, se procede a calcular nuevamente la deflexión

$$70V = 20mm$$

$$35V = X$$

$$deflexión(2) = \frac{20mm * 35V}{70V} = 10(mm)$$

Donde:

deflexión(1): Distancia de deflexión 20(mm);

Vsal(1): Voltaje de salida 70(V);

Vsal(2): Voltaje de salida 35(V);

La deflexión de 10mm es suficiente para asegurar la vida útil del piezoeléctrico y producir un voltaje de generación alto de 35V, ahora se debe tomar en cuenta que al momento de la deflexión los piezoeléctricos tienden a volver a su posición original y para evitar que no exista ningún choque entre ellos, se los ubica a 5mm más de distancia con lo cual se tiene una distancia de separación de 15mm entre cada piezoeléctrico

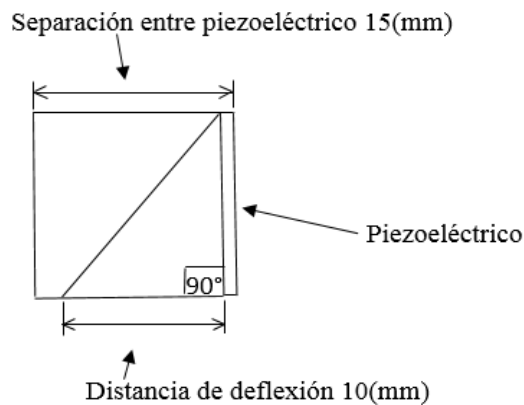


Figura 5.1. Distancia de separación entre piezoeléctricos

Una vez ya montados los piezoeléctricos se procedió a colocar los contactos en la rueda, mismos que son de gran importancia ya que son los encargados de flexionar a estos dispositivos (para más detalles revisar anexo XVI de planos, lámina N° 2), la ubicación de cada contacto está a

una distancia de 3 cm uno tras otro, esta distancia se la aplico debido a la necesidad de trabajar en sincronización realizando bancos de piezoeléctricos de 5 piezoeléctricos por cada banco.

Al ubicar cada contacto a 3 cm se asegura que los piezoeléctricos trabajen en sincronización, esta sincronización asegura que al momento que el piezoeléctrico este en su etapa de generación los voltajes de salida si se sumen.

Distancia entre contactos

Para saber a qué distancia se debe colocar cada contacto se calcula primero el perímetro de la circunferencia de la rueda de la máquina elíptica mediante la ecuación (4.2)

Donde:

L: longitud de la circunferencia (cm);

r: radio de la circunferencia 25.8(cm);

$$L = 2 * \pi * 25.8cm$$

$$L = 162 (cm)$$

Se debe tomar en cuenta que la distancia a la que van a estar posicionados los contactos va a ser a 3cm uno tras otro, esto se debe a la necesidad de tener que trabajar en sincronización con los piezoeléctricos, y por lo tanto los contactos se ubicaran saltando 1 piezoeléctrico tal como se lo aprecia en la figura 5.2.

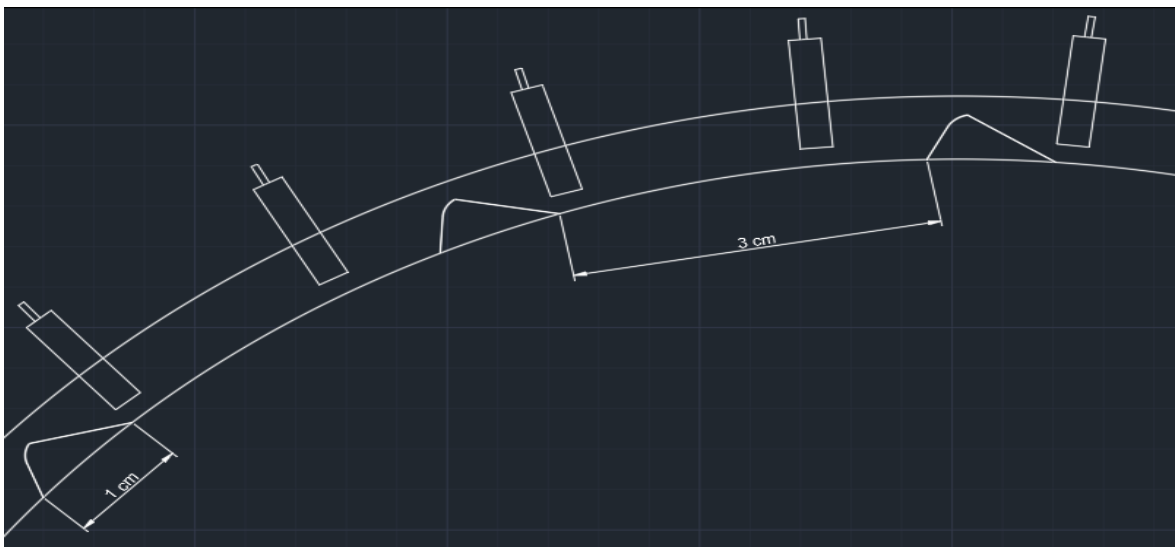


Figura 5.2. Ubicación de los contactos.

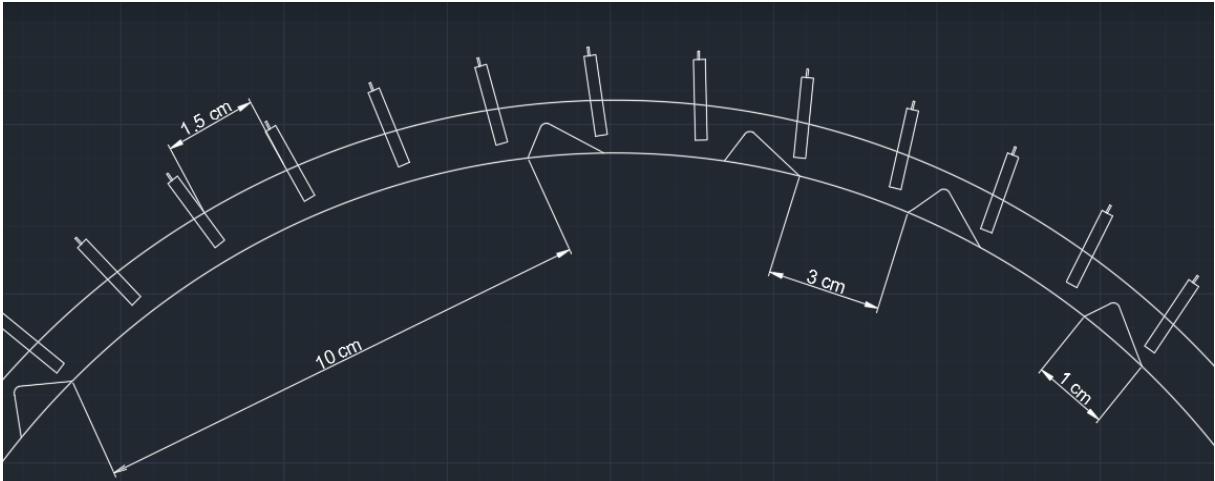


Figura 5.3. Distancia de separación de los contactos.

Además se debe tomar en cuenta la distancia de 1cm que posee cada contacto, y la separación que tendrá cada grupo de 5 contactos de 10cm, esta última separación se realiza utilizando la ecuación (4.3), esta separación sirve para no forzar demasiado y dar un descanso a los bancos conformados por piezoeléctricos.

Donde:

d_{total} : distancia total (cm);

d_{cont} : distancia del contacto 5(cm);

s_{cont} : separación entre contactos 12(cm);

$d_{gru(cont)}$: distancia entre cada grupo de contactos 10(cm);

$$d_{total} = 5cm + 12cm + 10cm$$

$$d_{total} = 27(cm)$$

Para saber cuántos grupos de contactos van estar ubicados alrededor de la rueda, se calcula mediante la ecuación (4.4).

Donde:

d_{total} : distancia total 27(cm);

L : longitud de la circunferencia 162(cm);

$$N^{\circ} \text{ grupos} = \frac{162\text{cm}}{27\text{cm}}$$

$$N^{\circ} \text{ grupos} = 6$$

Para alargar la vida de duración de los piezoeléctricos se optó por emplastarlos y recubrirlos, en cuanto a los contactos a utilizar se seleccionó el caucho, para así reducir el impacto al momento de la flexión.

El diagrama de flujo de la figura 5.4. Refleja el procedimiento mediante el cual se realiza la generación piezoeléctrica, la etapa de generación en la cual se desarrolla la especificación experimental del comportamiento y obtención de tensión directa del piezoeléctrico LDT0-028K, la etapa de rectificación, procedimiento necesario en la cual se hace uso de un cuadriplicar de tensión y diodos schottky, la etapa de acondicionamiento en la cual se condiciona un límite de almacenamiento para poder ser entregado hacia el regulador de cargas, y distribuido a la batería para que pueda ser consumido.

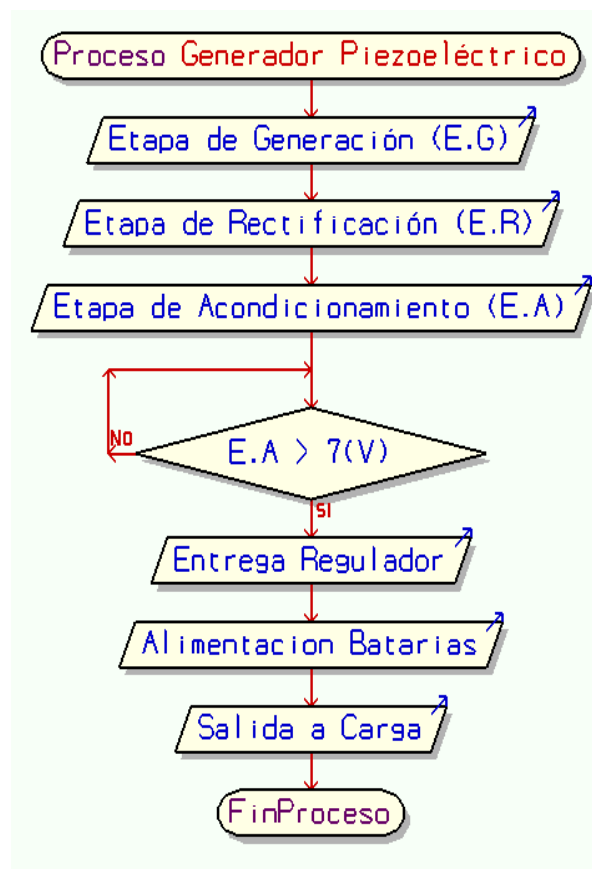


Figura 5.4. Diagrama de flujo

5.1 Etapa de generación

Para la etapa de generación la toma de datos experimentales es necesaria para poder entender la forma de trabajo de los dispositivos piezoeléctricos LDT0-028K en base a su conexión, deformación, tiempo y velocidad de trabajo, los cuales son reflejados a continuación.

La toma de datos de los dispositivos piezoeléctricos LDT0-028K, es necesario realizar un análisis de la forma de onda que este elemento tenga y comprender el tipo de traficación que este dé a conocer.

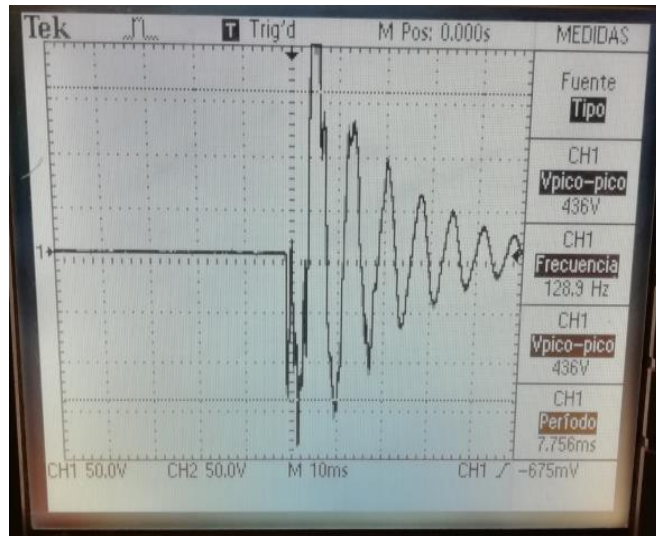


Figura 5.5. Forma de onda obtenida mediante el osciloscopio del piezoeléctrico LDT0-028K

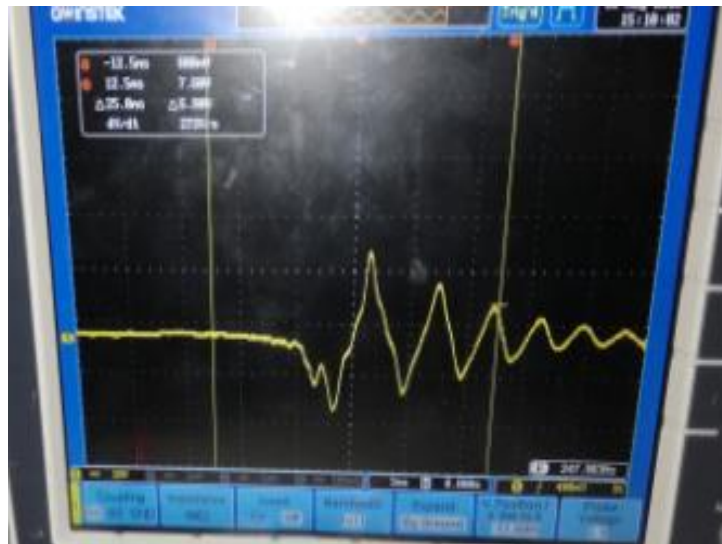


Figura 5.6. Forma de onda obtenida mediante el osciloscopio del piezoeléctrico LDT0-028K con un solo impacto de deformación.

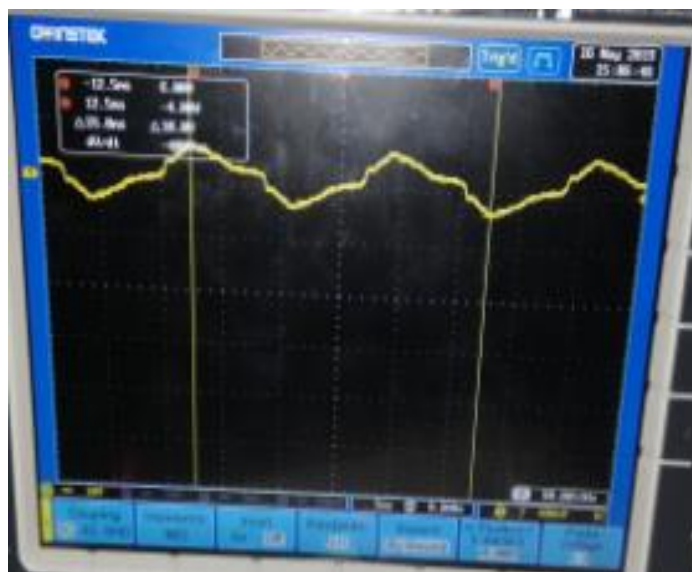


Figura 5.7. Forma de onda obtenida mediante el osciloscopio del piezoeléctrico LDT0-028K en constante deformación.

En la figura 5.5. y 5.6. Se puede observar la forma de onda obtenida mediante el osciloscopio en la cual se aprecia una señal alterna sub amortiguada, la medición de esta forma de onda es realizada en vacío sin ningún tipo de carga en un solo impacto de deformación.

La forma de onda cambia con respecto al número de deformaciones que este material experimente, la cual se puede apreciar en la figura 5.7.

Los tipos de conexión de los dispositivos piezoeléctricos en el sistema son de gran importancia al momento de la generación, para lo cual se realizó una conexión tipo paralelo y tipo serie los cuales garantizaran el funcionamiento efectivo del sistema de generación.

Conexión de piezoeléctricos en paralelo sin carga

Tabla 5.3. Datos generados con respecto a la velocidad y número de piezoeléctricos conexión en paralelo sin carga

| Numero de piezoeléctricos | Tipo de conexión | Tensión obtenida (Alterna) | Revoluciones por minuto mínima | Tensión obtenida (Alterna) | Revoluciones por minuto máxima |
|---------------------------|------------------|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| 5 | Paralelo | 8.51(V) Alterna | 483.7 (r.p.m) | 19.73(V) Alterna | 1509 (r.p.m) |

| | | | | | |
|----|----------|--------------------|---------------|---------------------|--------------|
| 10 | Paralelo | 0.73(V) Alterna | 483.7 (r.p.m) | 2.22(V) Alterna | 1509 (r.p.m) |
| 15 | Paralelo | 8.83(V) Alterna | 483.7 (r.p.m) | 12.90(V) Alterna | 1509 (r.p.m) |
| 20 | Paralelo | 9.50(V) Alterna | 483.7 (r.p.m) | 14.35(V) Alterna | 1509 (r.p.m) |

En la tabla 5.3. Se puede apreciar la variación de la tensión obtenida en forma alterna, para la obtención de estos datos se realizó la conexión de 5 piezoeléctricos en paralelo los cuales para las siguientes mediciones conforman un banco de dispositivos piezoeléctricos, estos conectados entre sí llegan a conformar una cantidad de 20 piezoeléctricos. (Observar datos de medición en el anexo II)

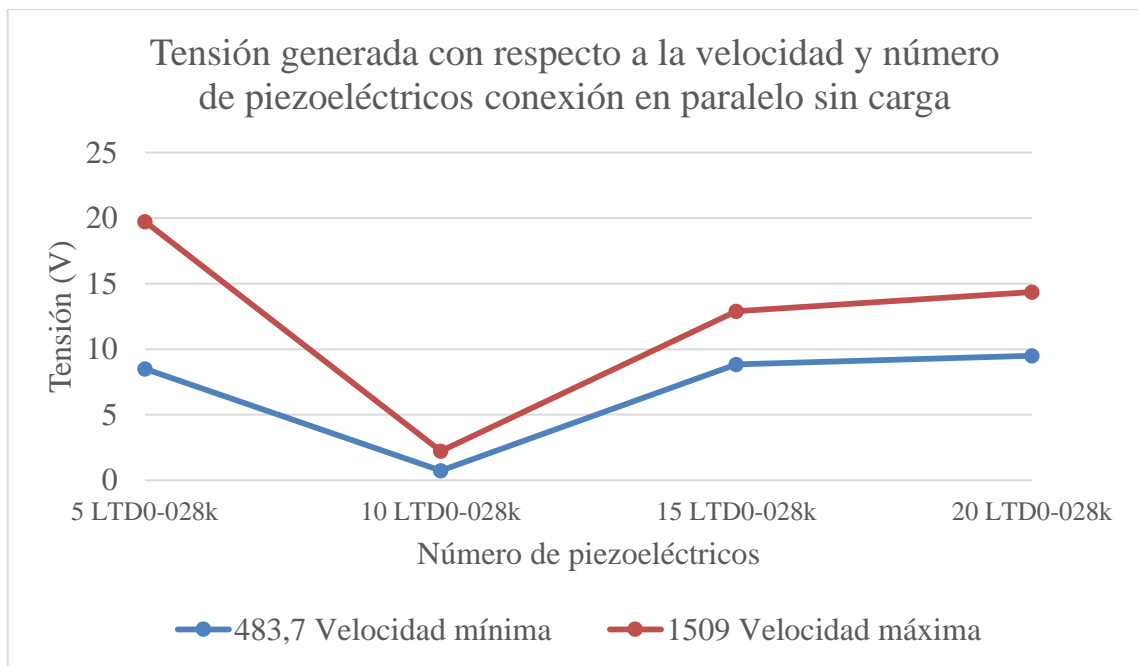


Figura 5.8. Tensión generada con respecto a la velocidad y número de piezoeléctricos conexión en paralelo sin carga.

La figura 5.8. Da a conocer que la generación de tensión es proporcional a la velocidad de trabajo, a mayor velocidad trabajen los dispositivos piezoeléctricos mayor será la tensión

obtenida, también se puede notar que con un banco de piezoeléctricos formado por 5 dispositivos LTD0-028K la tensión máxima obtenida es de 19.73V.

5.1.1 Conexión de piezoeléctricos en serie sin carga

Tabla 5.4. Datos generados con respecto a la velocidad y el tiempo de trabajo conexión en serie

| Numero de piezoeléctricos | Tipo de conexión | Tensión obtenida (Alterna) | Revoluciones por minuto mínima | Tensión obtenida (Alterna) | Revoluciones por minuto máxima |
|---------------------------|------------------|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| 5 | Serie | 15(V) Alterna | 483.7 (r.p.m) | 30(V) Alterna | 1509 (r.p.m) |
| 10 | Serie | 17.54(V) Alterna | 483.7 (r.p.m) | 42.34(V) Alterna | 1509 (r.p.m) |
| 15 | Serie | 21.6(V) Alterna | 483.7 (r.p.m) | 61.20(V) Alterna | 1509 (r.p.m) |
| 20 | Serie | 19.6(V) Alterna | 483.7 (r.p.m) | 50.91(V) Alterna | 1509 (r.p.m) |

En la tabla 5.4. Se puede apreciar la variación de la tensión en forma alterna, para la obtención de estos datos se realizó la conexión de 5 piezoeléctricos en serie los cuales para las siguientes mediciones conforman un banco de dispositivos piezoeléctricos, estos conectados entre sí llegan a conformar una cantidad de 20 piezoeléctricos.

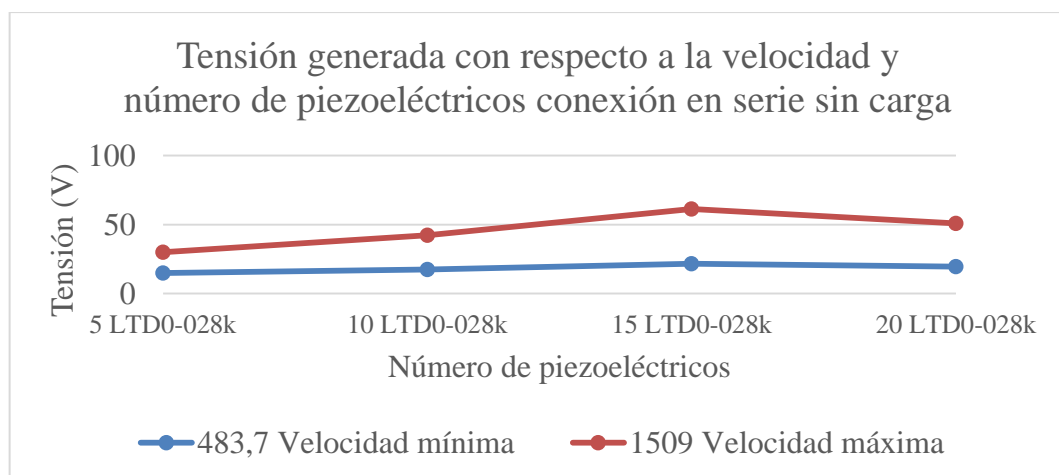


Figura 5.9. Tensión generada con respecto a la velocidad y número de piezoeléctricos conexión en serie sin carga.

La figura 5.9. Da a conocer que la generación de tensión es proporcional a la velocidad de trabajo, a mayor velocidad trabajen los dispositivos piezoeléctricos mayor será la tensión

obtenida, también se puede notar que con 3 bancos de piezoeléctricos formado por 5 dispositivos LTD0-028K cada uno la tensión máxima obtenida es de 61.20V.

5.1.2 Conexión de piezoeléctricos de manera mixta sin carga

Tabla 5.5. Datos generados con respecto a la velocidad y el tiempo de trabajo conexión mixta

| Numero de piezoeléctricos | Tipo de conexión | Tensión obtenida (Alterna) | Revoluciones por minuto mínima | Tensión obtenida (Alterna) | Revoluciones por minuto máxima |
|---------------------------|------------------|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| 10 | Mixta | 8.70(V) Alterna | 483.7 (r.p.m) | 12.41(V) Alterna | 1509 (r.p.m) |
| 15 | Mixta | 9.94(V) Alterna | 483.7 (r.p.m) | 18.30(V) Alterna | 1509 (r.p.m) |
| 20 | Mixta | 5.16(V) Alterna | 483.7 (r.p.m) | 12.12(V) Alterna | 1509 (r.p.m) |

En la tabla 5.5. Se puede apreciar la variación de la tensión obtenida en forma alterna, para la obtención de estos datos se realizó la conexión de 5 piezoeléctricos en paralelo los cuales para las siguientes mediciones conforman un banco de dispositivos piezoeléctricos y sus salidas conectadas en serie, 4 de estos bancos conectados entre sí llegan a conformar una cantidad de 20 piezoeléctricos de manera mixta. (Observar datos de medición en el anexo V)

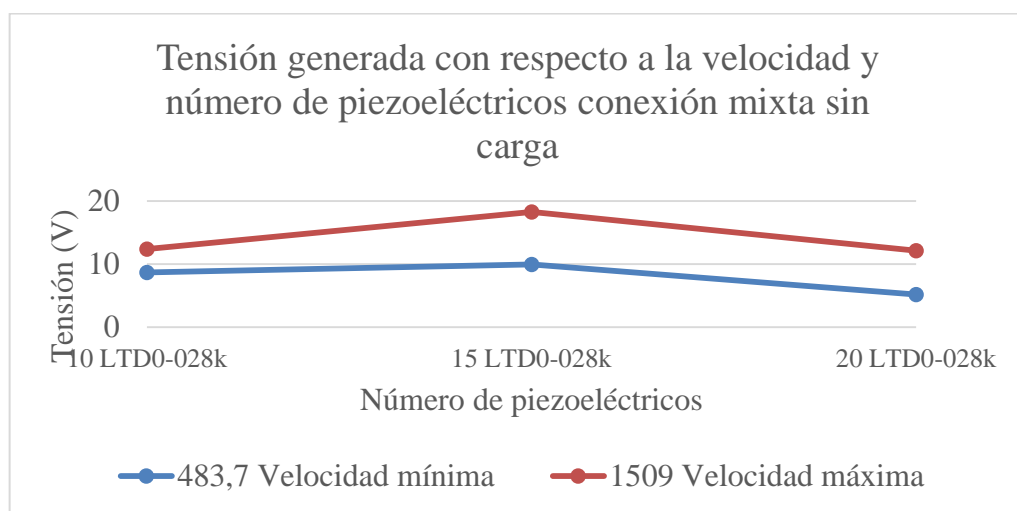


Figura 5.10. Tensión generada con respecto a la velocidad y número de piezoeléctricos conexión mixta sin carga.

La figura 5.10. Da a conocer que la generación de tensión es proporcional a la velocidad de trabajo, a mayor velocidad trabajen los dispositivos piezoeléctricos mayor será la tensión

obtenida, también se puede notar que con 3 bancos de piezoeléctricos formado por 5 dispositivos LTD0-028K cada uno la tensión máxima obtenida es de 18.30V.

5.1.3 Conexión de piezoeléctricos con carga alterna

Tabla 5.6. Datos generados con respecto a la velocidad y conexión de trabajo con carga

| Numero de piezoeléctricos | Tipo de conexión | Tensión obtenida (Alterna) | Revoluciones por minuto mínima | Tensión obtenida (Alterna) | Revoluciones por minuto máxima |
|---------------------------|------------------|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| 20 | Paralelo | 5(V) Alterna | 483.7 (r.p.m) | 9(V) Alterna | 1509 (r.p.m) |
| 20 | Serie | 3(V) Alterna | 483.7 (r.p.m) | 2(V) Alterna | 1509 (r.p.m) |

En la tabla 5.6. Se puede apreciar la variación de la tensión obtenida en forma alterna con 20 piezoeléctricos, conectados a una carga con dos diversas formas de conexión Serie y Paralelo. (Observar datos de medición en el anexo VII)

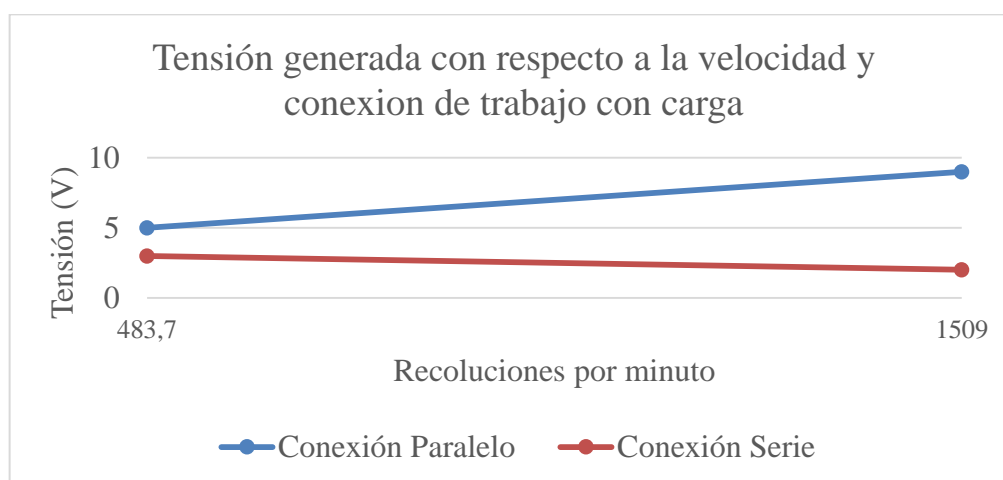


Figura 5.11. Tensión generada con respecto a la velocidad y conexión de trabajo con carga

La figura 5.11. Da a conocer que la generación en conexión paralelo es más efectiva que en serie, reflejando datos en paralelo de 5V a 9V los cuales incrementan dependiendo las revoluciones por minuto a los que estos dispositivos piezoeléctricos trabajen, y en serie 3V a 2V notándose que a mayor número de revoluciones este tiende a decrecer.

Con la obtención de estos datos experimentales se llegó a la conclusión que la manera de conexión más eficiente es en paralelo y trabajando en bancos conformados de 5 dispositivos piezoeléctricos, generando a 483.7 r.p.m una salida de 8.51V y a 1509 r.p.m una salida de

19.73V (Observar datos de medición en el anexo I), estos datos son en alterna sin ninguna carga, en el caso contrario de la aplicación de una carga la tensión obtenida es de 5V a 9V dependiendo de la velocidad aplicada.

5.2 Etapa de rectificación.

Con los datos experimentales ya obtenidos en la etapa de generación el siguiente punto a trabajar es la rectificación ya que para poder acumular la energía eléctrica generada en baterías, debemos convertir esta de alterna a continua, para esto se realizó una etapa experimental en la cual después de cada rectificación se colocó, un condensador de 4700uf donde se almacena la energía generada, misma que se detalla a continuación.

5.2.1 Conexión de piezoeléctricos sin carga rectificada

Tabla 5.7. Datos generados con respecto a la velocidad, número de piezoeléctricos y conexión de trabajo rectificada sin carga

| Numero de piezoeléctricos | Tipo de conexión | Tensión obtenida (continua) | Revoluciones por minuto mínima | Tiempo de carga en el condensador |
|---------------------------|------------------|-----------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| 5 | Paralelo | 4 (V) | 483.7 (r.p.m) | 2 minutos |
| 20 | Paralelo | 15 (V) | 483.7 (r.p.m) | 2 minutos |
| 5 | Serie | 2.5 (V) | 483.7 (r.p.m) | 2 minutos |
| 20 | Serie | 9 (V) | 483.7 (r.p.m) | 2 minutos |

Tabla 5.8. Datos generados con respecto a la velocidad, número de piezoeléctricos y conexión de trabajo rectificada sin carga

| Numero de piezoeléctricos | Tipo de conexión | Tensión obtenida (continua) | Revoluciones por minuto máxima | Tiempo de carga en el condensador |
|---------------------------|------------------|-----------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| 5 | Paralelo | 10 (V) | 1509 (r.p.m) | 2 minutos |
| 20 | Paralelo | 35 (V) | 1509 (r.p.m) | 2 minutos |
| 5 | Serie | 4 (V) | 1509 (r.p.m) | 2 minutos |
| 20 | Serie | 15 (V) | 1509 (r.p.m) | 2 minutos |

En la tabla 5.7. y 5.8. Se puede apreciar la variación de la tensión obtenida sin carga de manera rectificadora en forma continua, esta depende de la velocidad en la que la persona se encuentre trabajando, en las salida del circuito de rectificación se encuentra colocado un condensado de 4700uF a 50 voltios, el cual sin carga tiende a recolectar voltaje en su interior.

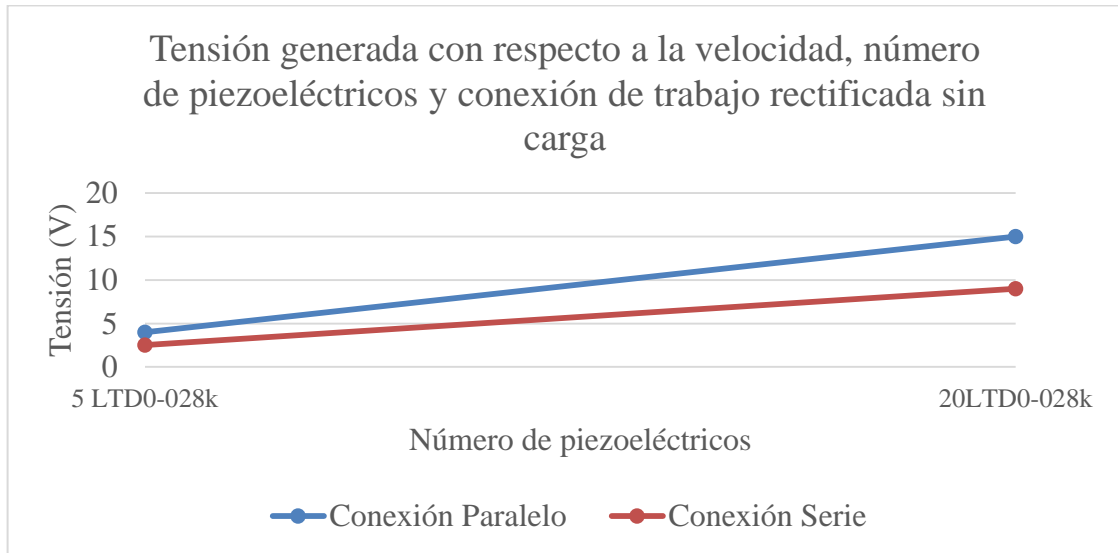


Figura 5.12. Tensión generada con respecto a la velocidad y conexión de trabajo sin carga

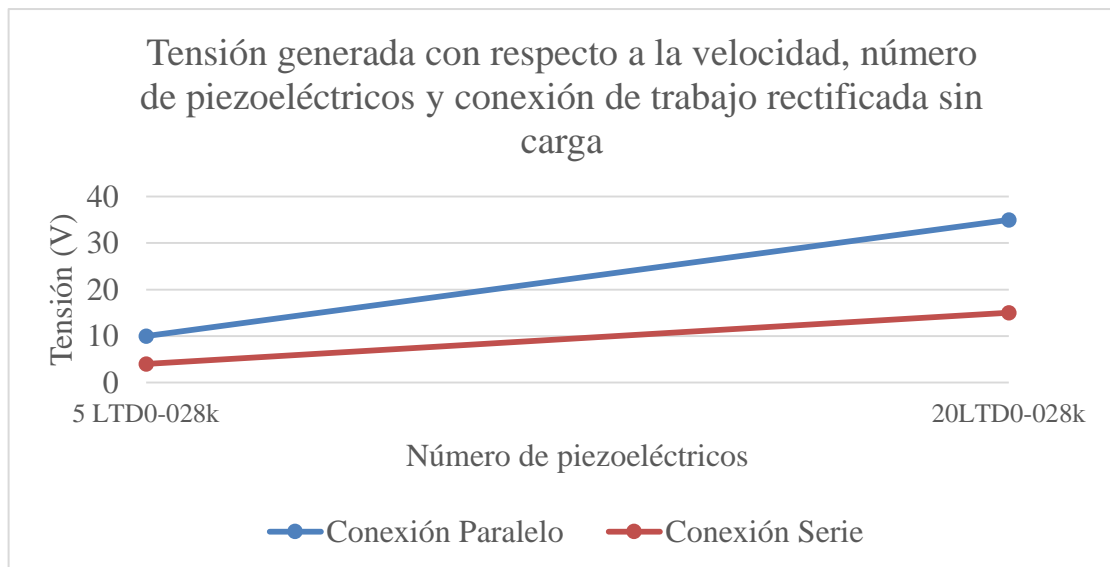


Figura 5.13. Tensión generada con respecto a la velocidad y conexión de trabajo sin carga

En las figuras 5.12. y 5.13. Se puede notar que la conexión más eficiente es en paralelo teniendo valores máximos en mínimas revoluciones de 15V y, a máximas revoluciones de 35V mostrándose gráficamente como la línea de color azul la cual es notoria que los valores de generación son mayores a la conexión en serie, graficada de color rojo.

5.2.2 Conexión de piezoeléctricos con carga rectificadora

Con la evaluación de los datos obtenidos en las tablas 5.7. y 5.8. Se llegó a la conclusión que la mejor manera de conexión en la que los dispositivos piezoeléctricos LDT0-028K trabajan son en paralelo.

Con dicha condición para la parte experimental es ver la manera del comportamiento de la tensión generada con una carga, dichos datos se reflejan a continuación.

Tabla 5.9. Datos generados con respecto a la velocidad, número de piezoeléctricos y el tiempo de trabajo rectificadora con carga (1N4001)

| Numero de piezoeléctricos | Tipo de conexión | Tensión obtenida (continua) | Revoluciones por minuto mínima | Tiempo de carga estable en el condensador |
|---------------------------|------------------|-----------------------------|--------------------------------|---|
| 5 | Paralelo | 0.25 (V) | 483.7 (r.p.m) | 3 minutos |
| 20 | Paralelo | 1.2 (V) | 483.7 (r.p.m) | 3.20 minutos |
| 35 | Paralelo | 2 (V) | 483.7 (r.p.m) | 4 minutos |

Tabla 5.10. Datos generados con respecto a la velocidad, número de piezoeléctricos y el tiempo de trabajo rectificadora con carga (1N4001)

| Numero de piezoeléctricos | Tipo de conexión | Tensión obtenida (continua) | Revoluciones por minuto máxima | Tiempo de carga estable en el condensador |
|---------------------------|------------------|-----------------------------|--------------------------------|---|
| 5 | Paralelo | 0.25 (V) | 1509 (r.p.m) | 2.10 minutos |
| 20 | Paralelo | 1.2 (V) | 1509 (r.p.m) | 2.30 minutos |
| 35 | Paralelo | 2 (V) | 1509 (r.p.m) | 3 minutos |

En la tabla 5.9. Y 5.10. Se puede apreciar la tensión obtenida con carga de manera rectificadora en forma continua, esta tensión obtenida es de manera estable y se tomó como conexión principal el tipo paralelo para esta toma de datos, debido a la impedancia de carga los valores de tensión decrecen de manera considerable.

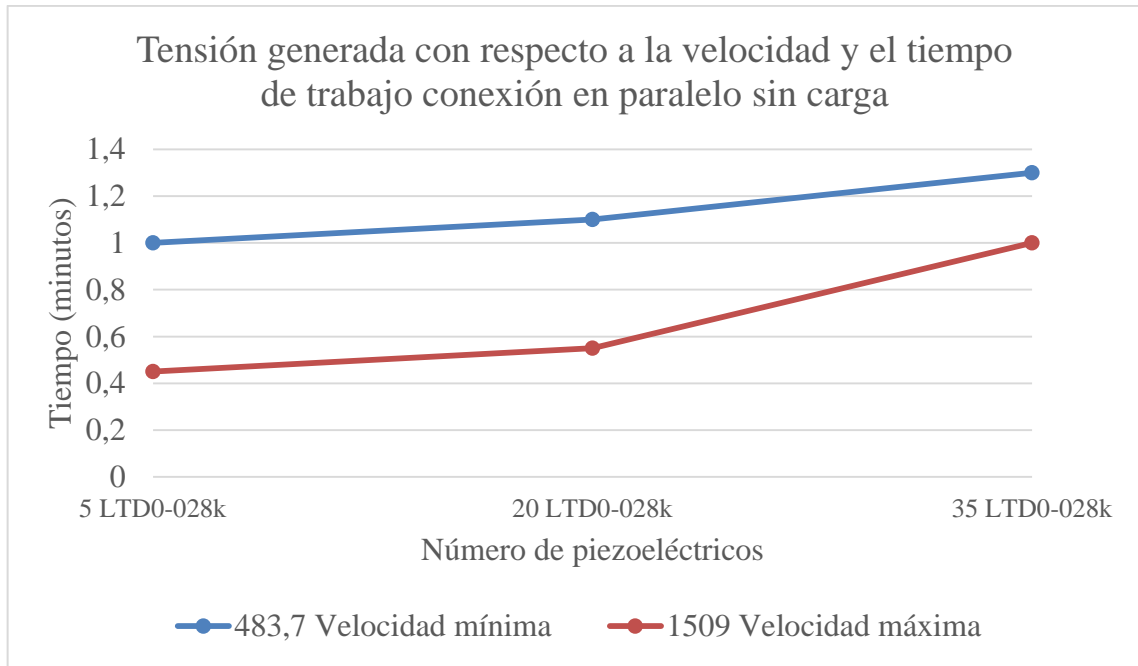


Figura 5.14. Tensión generada con respecto a la velocidad y tiempo de trabajo conexión paralelo sin carga

Se puede notar en la figura 5.14. Como a mayor velocidad de generación el tiempo de carga en el condensador es menor teniendo como resultado que con 7 bancos de trabajo el tiempo en que los condensadores llegan a recolectar 2V es de 3 minutos.

Estos datos experimentales se los obtuvo mediante la aplicación de un circuito rectificador el cual esta conforma por 4 diodos de uso convencional 1N4001 y a su salida un condensador de 4700uf a 50V.

Los diodos 1N4001 trabajan de mejor manera con una señal alterna senoidal pura, en el caso de los dispositivos piezoeléctricos LTD0-028K, estos tipos de diodos rectificadores no aprovechan la señal emitida de manera eficiente al ser alterna senoidal sub amortiguada, por lo cual se optó por utilización de diodos rectificadores schottky 1N5820 los cuales actúan con un umbral de tensión menor que los de uso convencional, adicionalmente en cada salida del diodo se encuentra ubicado un condensador de 10uf a 50V, los cuales ayudaran al circuito para amplificar la tensión. A este tipo de configuración se le denomina cuadriplicador.

Al tener un voltaje AC bajo y variante con carga, el circuito cuadriplicador se encarga de elevar tanto la tensión y la corriente.

Tabla 5.11. Datos generados con respecto a la velocidad, número de piezoeléctricos y el tiempo de trabajo rectificada con carga (1N5820)

| Numero de piezoeléctricos | Tipo de conexión | Tensión obtenida (continua) | Revoluciones por minuto mínima | Tiempo de carga estable en el condensador |
|---------------------------|------------------|-----------------------------|--------------------------------|---|
| 5 | Paralelo | 1.2 (V) | 483.7 (r.p.m) | 2.30 minutos |
| 20 | Paralelo | 4.3 (V) | 483.7 (r.p.m) | 2.45 minutos |
| 35 | Paralelo | 7.5 (V) | 483.7 (r.p.m) | 3.10 minutos |

Tabla 5.12. Datos generados con respecto a la velocidad, número de piezoeléctricos y el tiempo de trabajo rectificada con carga (1N5820)

| Numero de piezoeléctricos | Tipo de conexión | Tensión obtenida (continua) | Revoluciones por minuto máxima | Tiempo de carga estable en el condensador |
|---------------------------|------------------|-----------------------------|--------------------------------|---|
| 5 | Paralelo | 1.2 (V) | 1509 (r.p.m) | 1.20 minutos |
| 20 | Paralelo | 4.3 (V) | 1509 (r.p.m) | 1.35 minutos |
| 35 | Paralelo | 7.5 (V) | 1509 (r.p.m) | 2 minutos |

En la tabla 5.11. y 5.12. Se puede apreciar la tensión obtenida con carga de manera rectificada en forma continua, esta tensión obtenida es de manera estable y se tomó como conexión principal el tipo paralelo para esta toma de datos.

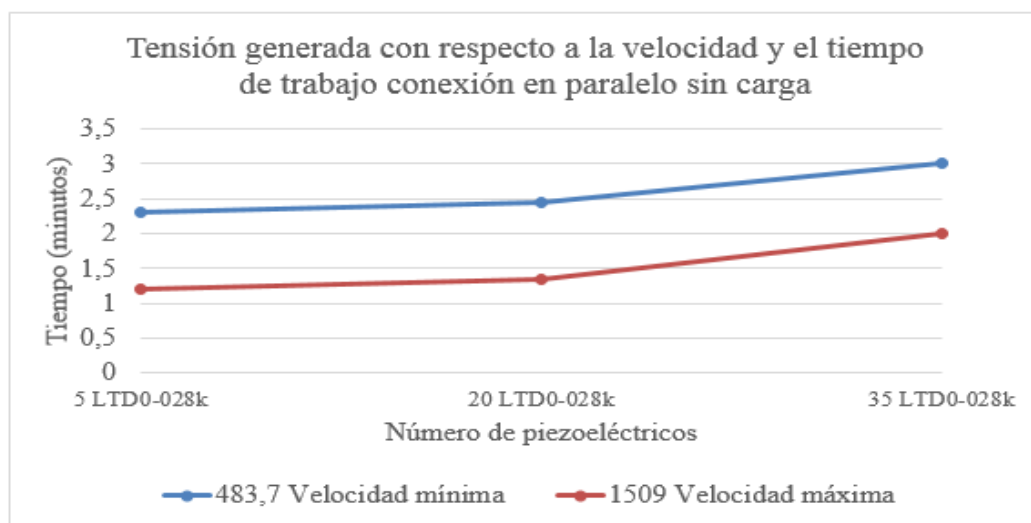


Figura 5.15. Tensión generada con respecto a la velocidad y tiempo de trabajo conexión paralelo sin carga

Se puede notar que en la figura 5.15. Como a mayor velocidad de generación el tiempo de carga en el condensador es menor, teniendo como resultado que con 7 bancos de trabajo el tiempo en que los condensadores llegan a recolectar 7.5V es de 2 minutos.

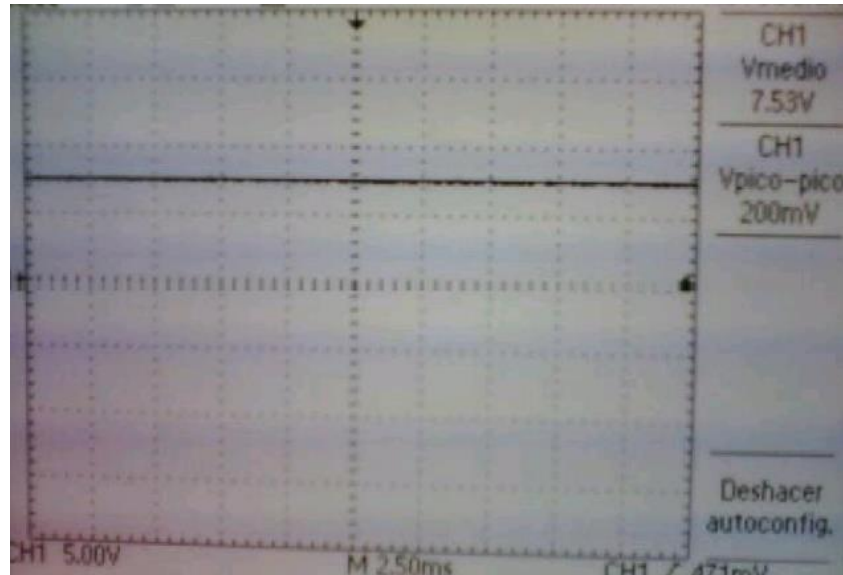


Figura 5.16. Forma de onda rectificada obtenida mediante el osciloscopio del piezoeléctrico LDT0-028K.

Estos datos experimentales se los obtuvo mediante la aplicación de un circuito cuádruplicador y a su salida un condensador de 4700uf a 50V, apreciando un uso eficaz en la rectificación.

Para reflejar datos de generación y apreciar la corriente emitida a la salida de los cuádruplicadores, el procedimiento realizado es mediante la comparación del esfuerzo físico realizado, en un periodo de tiempo determinado y la capacidad de almacenaje el cual frente a una carga permite la medición de la corriente generada.

En la tabla 5.13. Se puede notar el tiempo de utilización de la maquina elíptica de uso diario en el gimnasio en la cual los valores obtenidos de calorías y distancia recorrida son un determinante para el análisis comparativo, en el cual se relaciona el trabajo que una persona realiza en el gimnasio usando la maquina elíptica y la producción de energía que esta genera.

Tabla 5.13. Uso de máquina elíptica respecto a distancia recorrida y calorías.

| Tiempo | Calorías | Distancia recorrida |
|------------|------------|---------------------|
| 15 minutos | 141 (Kcal) | 5.837 (Km) |
| 30 minutos | 363 (Kcal) | 12.908 (Km) |
| 45 minutos | 522 (Kcal) | 20.105 (Km) |

Como consiguiente en la tabla 5.14. Se puede notar la generación de energía eléctrica en el uso cotidiano de la máquina elíptica del gimnasio, los datos de corriente se obtienen al utilizar una resistencia de $\frac{1}{4} W - 1$ ohmio.

Tabla 5.14. Uso de máquina elíptica respecto a voltaje, corriente y potencia.

| Tiempo | Voltaje | Corriente | Potencia |
|------------|-----------|------------|---------------|
| 15 minutos | 17.5 (V) | 350.3 (mA) | 6130.25 (mW) |
| 30 minutos | 29.3 (V) | 560.7 (mA) | 16428.51 (mW) |
| 45 minutos | 40.95 (V) | 740.6 (mA) | 30327.65 (mW) |

Con respecto a la comparación entre la tabla 5.13. y la tabla 5.14. Se logra generar 6130.25 (mW) en un tiempo de 15 minutos realizando un trabajo físico, en el cual el usuario logra quemar 141 (Kcal), la producción de energía eléctrica es proporcional al esfuerzo físico generado, ya que en un periodo mayor de uso de esta máquina, se logra obtener una mayor potencia, en la cual utilizando dicha máquina por 30 minutos, tiende a producir 16428.51 (mW) con un esfuerzo físico reflejado en la quema de calorías de 363 (Kcal) y por 45 minutos, tiende a producir 30327.65 (mW) con un esfuerzo físico reflejado en la quema de calorías de 522 (Kcal).

5.3 Etapa de acondicionamiento

Existen diversos módulos captadores que se utilizan para la recolección de energía harvesting como son el LTC-3588 y el Eh301, los cuales son específicamente diseñados para trabajar con este tipo de dispositivos piezoeléctricos y aprovechar eficientemente la tensión de salida de estos, las características únicas que hacen de estos dispositivos especiales es que siempre están activos, tienen un limitador que mientras no llegue el almacenamiento a un nivel estable para su utilización no permite el consumo de este, y pueden trabajar con valores de tensión mínimos y de manera instantánea almacenando y elevando la tensión de salida.

En la siguiente etapa se hace el uso de varios dispositivos electrónicos como Arduino, en el cual se programará para que cumpla con una función específica, la cual es limitar el consumo de almacenamiento generado, mientras no llegue a un nivel estable el cual pueda ser aprovechado y un módulo convertidor DC- DC X16009, elevador de tensión el cual para su funcionamiento necesita una entrada de tensión mínima de 3V DC y a su salida de 12V a 35V regulables.

En la figura 5.17. se puede observar el funcionamiento de la tarjeta Arduino, en la cual cada banco de piezoeléctricos debe cumplir con el nivel necesario de 1V estable para el trabajo, los

pinos a los cuales son conectados los 7 bancos y salida positiva de los cuadruplicadores son: banco 1 – pin A0; banco 2 - pin A1; banco 3 –pin A2; banco 4 - pin A3; banco 5 - pin A4; banco 6 – pin A5; banco 7 - A6, mientras que el polo negativo de los cuadruplicadores a el pin GND del Arduino. A las salidas del Arduino se utilizó los pines 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9, los cuales mientras no se cumpla con la condición establecida de almacenamiento no darán paso a la activación del sistema, y consumo de dicho almacenamiento.

En la figura 5.18. Se nota que si alguno de los bancos de piezoeléctricos no generara el nivel necesario de carga el sistema de generación, elevación y funcionamiento del sistema no será activado, hasta que todos tengan su estado suficiente para continuar con el proceso siguiente el cual es la etapa de elevación.

Estas simulaciones se las realizo en el software Proteus. (Observar programación en el anexo XII).

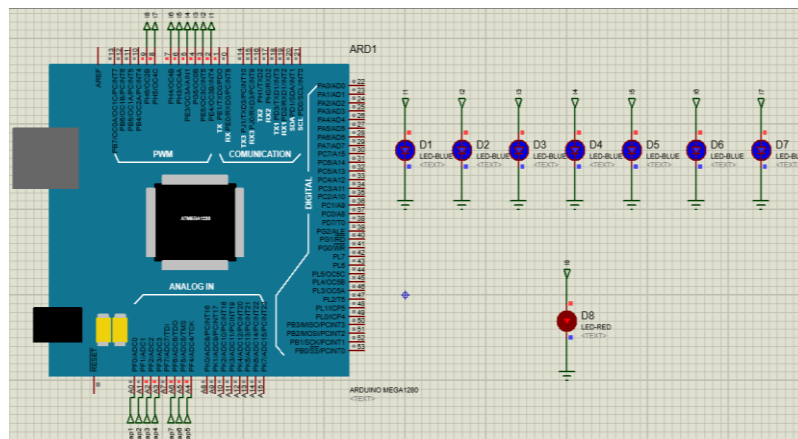


Figura 5.17. Simulación de ARDUINO cuando cumple su nivel de voltaje

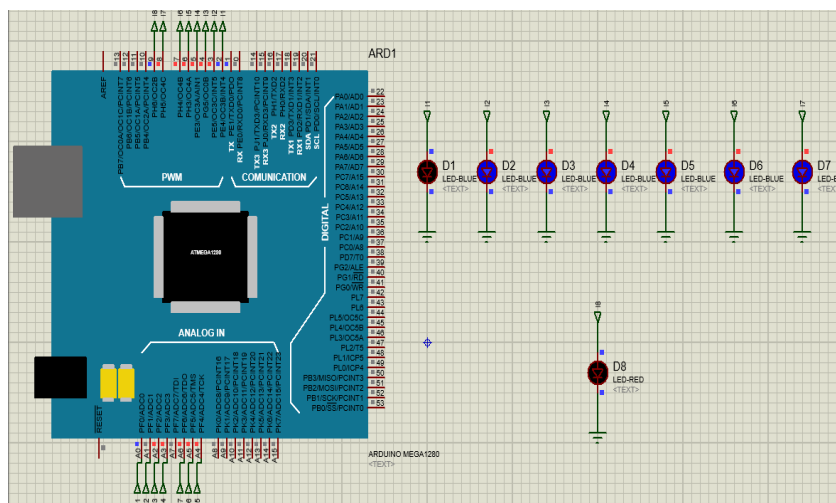


Figura 5.18. Simulación de ARDUINO cuando no cumple su nivel de voltaje.

En la salida de este dispositivo configurado para el control de utilización de la energía captada se encuentra un módulo convertidor DC- DC X16009 elevador de tensión, el cual entrega al regulador cargas con una entrada de 12V y 2A, los cuales son generados desde las salidas de los condensadores, generando 24W por máquina elíptica con el cual se alimenta las baterías de las cuales se abastece el consumo de carga de teléfonos móviles, mediante la tabla 6.1. Se puede apreciar un ingreso diario de 80 personas las cuales hacen uso de las instalaciones, un 70% de este grupo hace uso exclusivo de las máquinas elípticas, valor fragmentado en un 20% que utilizan 15 minutos, y 50% realizan la utilización en un tiempo de 30 minutos practicando spinning.

Los datos generados en la tabla 5.15. Son la proyección en la implementación del prototipo de generación de energía eléctrica, mediante dispositivos piezoeléctricos en las 10 máquinas elípticas del gimnasio “Zeus” ubicado en la ciudad de Machachi – cantón Mejía, generando como resultado diario una cantidad de 576W.

Tabla 5.15. Proyección en la implementación.

| Tiempo de trabajo | Potencia generada | Número de personas | Potencia total generada al día |
|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------------------|
| 30 minutos | 12 (W/h) | 40 | 480 (W/día) |
| 15 minutos | 6 (W/h) | 16 | 96 (W/día) |

6. CÁLCULOS

La utilización de cálculos en esta propuesta tecnológica es necesaria para obtener dimensionamientos de capacidad y tamaños del inversor, batería, regulador, potencia necesaria para el trabajo de equipos eléctricos, consumo eléctrico entre otros ya que mediante estas operaciones podemos obtener resultados o valores numéricos necesarios para la elaboración y dimensionamiento de la propuesta tecnológica.

En la tabla número 6.1. Se describe la asistencia de las personas en el gimnasio Zeus ubicado en la ciudad de Machachi cantón Mejía, en el cual se toma en cuenta el total de personas que utilizan los espacios de estudio para la generación de energía harvesting piezoeléctrica, tomando en cuenta la frecuencia con la que asisten al gimnasio y el tiempo de trabajo.

6.1 Observaciones de campo.

Tabla 6.1. Observaciones de los usuarios del gimnasio en diversos horarios del día.

| Visitas al gimnasio | Mediciones | |
|--|---|--|
| Días laborables del gimnasio | Por horarios | |
| | Lunes a Viernes: 8 am – 12 am 4 pm – 9 pm | Sábado: 8 am – 12 am |
| Cantidad de usuarios del gimnasio | 80 personas de las cuales 30 hacen uso exclusivo de las maquinas elípticas. | Alrededor de 20 personas |
| Frecuencia con la que los usuarios asisten al gimnasio | 8 am – 12 am : 2 a 3 horas de lunes a Viernes en la mañana 4 pm – 22 pm : 2 a 3 horas de lunes a Viernes en la tarde | 8 am – 12 am : 2 a 3 horas de lunes a Viernes en la mañana |

Fuente: Datos obtenidos de la lista de inscripciones mensuales y asistencias diarias en el gimnasio “Zeus” de la ciudad de Machachi, provincia de Pichincha en el año 2018.

6.1.1 Sumatoria de la carga total del gimnasio.

Tabla 6.2. Cálculo de potencia

| Secciones | Numero de Cargas | potencia (W/h) | sumatoria de potencia(W/h) | Horas de utilización | Consumo (Wh/día) | Consumo al mes (kW/mes) |
|-------------------------|------------------|----------------|----------------------------|----------------------|------------------|-------------------------|
| Cargas de baja potencia | 1 | 20 | 20 | 9 horas | 180 | 5.400 |
| sumatoria total | 1 | 20 | 20 | 9 horas | 180 | 5.400 |

En la tabla 6.2. Se muestra la carga que el sistema de generación piezoeléctrico va a alimentar, tomando en cuenta la potencia en horas, las horas de utilización y el consumo al día y mensual de este aparato eléctrico.

6.1.2 Tamaño del inversor.

Mediante la ecuación (4.16) se realiza el cálculo para la selección del inversor.

Total de watts de todos los aparatos: 20(W)

Por razones de seguridad el inversor tendrá un factor de seguridad de 0.30, queda a la elección del diseñador.

$$\text{Tamaño del inversor} = 20 W * 0.30 = 6$$

$$\text{Tamaño del inversor} = 20 W + 6 = 26(W)$$

La capacidad del inversor será de 26 (W) o más

6.1.3 Tamaño de la batería.

Para el dimensionamiento de la batería se realizó el cálculo mediante la ecuación (4.17)

Total de watts/hora: 20(W/h);

Tensión nominal de la Batería: 12(V);

Días de autonomía: Se considera los días en las que el sistema no va a generar (3 días)

Perdidas de la batería:

- 0°C la batería posee (85%) de capacidad
- $100\% - 85\% = 15\% + 1 = (1.15)$

La profundidad de descarga:

$$(100\% - 80\%)+1 = (20\%)+1 = (1.2);$$

$$\text{Capacidad de la bateria} = \frac{20*3*1.15*1.2}{12}$$

$$\text{Capacidad de la bateria} = 6,9 (A/h)$$

La batería debe ser de 12V-6,9Ah y de 3 días de autonomía

6.1.4 Circuito equivalente

Al descomponer la película piezoeléctrica en varios componentes simples que representen su comportamiento, podemos estudiar éste de forma analítica.

Estos componentes que forman en circuito equivalente están dados para una frecuencia determinada de oscilación.

El circuito equivalente se aprecia en la figura 6.1.

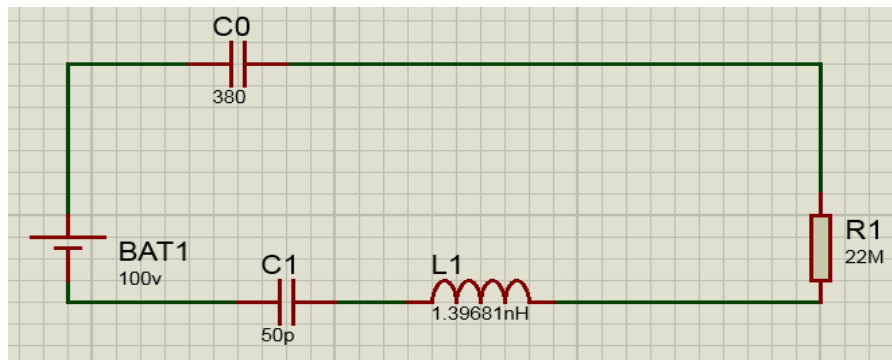


Figura 6.1. Circuito Equivalente.

En este circuito equivalente se presentan dos frecuencias, una de resonancia (f_r) y otra de antiresonancia (f_a).

Cuando la película piezoeléctrica se encuentra trabajando a (f_r) su impedancia se hace mínima, ya que la rama del circuito RLC está resonando.

Mientras que cuando el cristal trabaja en (f_a) se produce el fenómeno opuesto y la impedancia se hace máxima. Por lo cual es más viable trabajar con la (f_r) debido a que no presenta una pérdida mecánica alta. Debido a que no es común que los fabricantes presenten un valor para la inductancia (L_1), se la tiene que calcular de una forma aproximada aplicando las ecuaciones (4.5), (4.6) y (4.7).

Frecuencia de resonancia (f_r)

Donde:

C_0 : Es la capacidad propia del encapsulado y sus terminales y electrodos.

C_1 : Representa la energía potencial mecánica almacenada frente de una deformación, es el equivalente de relajamiento mecánico.

L_1 : Representa la energía almacenada por la masa en vibración

R1: Representan las pérdidas mecánicas.

$$fr = \frac{1}{2\pi (22 \times 10^6) (380 \times 10^{12})}$$

$$fr = 1.9037 \text{ (Hz)}$$

$$L1 = \frac{1}{4\pi^2 1.9037^2 (50 \times 10^3)}$$

$$L1 = 1.39681 \text{ (nH)}$$

Frecuencia de antiresonancia (fa):

$$fa = 1.9037 \sqrt{1 + \frac{50 \times 10^3}{380 \times 10^{12}}}$$

$$fa = 1.9732 \text{ (Hz)}$$

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el presente capítulo se busca recopilar información de cálculos para dispositivos piezoeléctricos y dimensionamiento del sistema, dependiendo de las cargas requeridas, tal como existe diversos dispositivos por su constitución y forma de empleo, es necesario realizar el cálculo de acuerdo a ellos para elegir el más eficaz, para emplearlo en un sistema de generación, de igual manera los pasos de transformación de energía como va a ser de energía mecánica a eléctrica, de eléctrica a eléctrica, y de eléctrica a una fuente de almacenamiento obteniendo valores máximo en un trabajo óptimo.

Para la selección del dispositivo piezoeléctrico a utilizar se realizó una comparación en la forma de trabajo y rangos de generación obteniendo como resultado que el LDT0-028K, es un dispositivo flexible el cual mediante un rango de deflexión puede generar cantidades de tensión, esta característica del piezoeléctrico es la principal para su selección e implementación en la máquina elíptica.

La ubicación de los dispositivos piezoeléctricos es de 15mm entre cada uno entregando un estimado de 35V por deformación, los cuales son ubicados en bancos de piezoeléctricos de 5 unidades, la conexión de estos dispositivos piezoeléctricos es alternada soldándose 1 piezoeléctrico creando una distancia de conexión de 30mm, con este dato se colocan los

contactos a la misma distancia de 30mm para obtener una sincronización de deflexión, en el banco de piezoeléctricos los cuales tienen una forma tipo rampa circular de caucho para disminuir la fuerza del impacto entre contacto y piezoeléctrico, el número de contactos en la superficie de la rueda es de 30, formados por grupos de 6 cada uno contiene 5 contactos de caucho, estos grupos entre si tienen una separación de 10 mm.

Conexión de 35 piezoeléctricos en paralelo

Para la obtención de datos experimentales se trabajó con 7 bancos de piezoeléctricos conformados cada uno por 5 dispositivos LDT0-028K estos están conectado en paralelo.

Tomando en cuenta que los datos experimentales del material piezoeléctrico LDT0-028K (los cuales se encuentran en el anexo XIII). Dan a conocer los valores de tensión con respecto a un porcentaje de deformación del material.

Se tomó como deformación máxima la posición de los piezoeléctricos a 15mm para la obtención de la tensión de salida de 30V alternos, los cuales al conectarse directamente los 7 bancos de piezoeléctricos en paralelo se obtiene una salida de 13V alternos, esta se mantiene dependiendo las revoluciones de la rueda, estos 13V alternos tienen una caída de tensión debido a los desfases provenientes de la forma de onda senoidal sub amortiguada, que presenta el dispositivo piezoeléctrico, los cuales en la siguiente etapa de generación en forma rectificada utilizando diodos rectificadores schottky, 1N5820 genera 7.5V continuos.

La disminución de estos datos de tensión se da por las relaciones de impedancias de carga llegando a la conclusión de que los datos obtenidos en las gráficas del datasheet del material seleccionado son realizados en vacío.

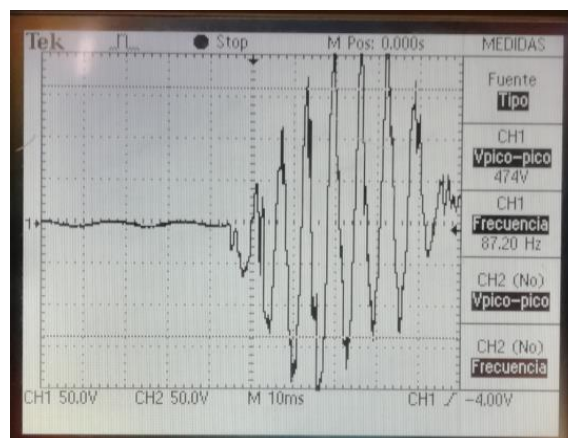


Figura 7.1. Forma de onda obtenida mediante el osciloscopio del piezoeléctrico LDT0-028K

Conexión de 35 piezoeléctricos en serie

Para la obtención de datos experimentales se trabajó con 7 bancos de piezoeléctricos conformados cada uno por 5 dispositivos LDT0-028K estos están conectados en serie.

En la conexión de serie se identifica una resta entre las tensiones generadas debido a los desfases senoidal sub amortiguados, que presenta el dispositivo al no tener una deformación uniforme en cada piezoeléctrico. Por lo cual no es recomendable realizar una conexión en serie de los materiales piezoeléctricos LDT0-028K.

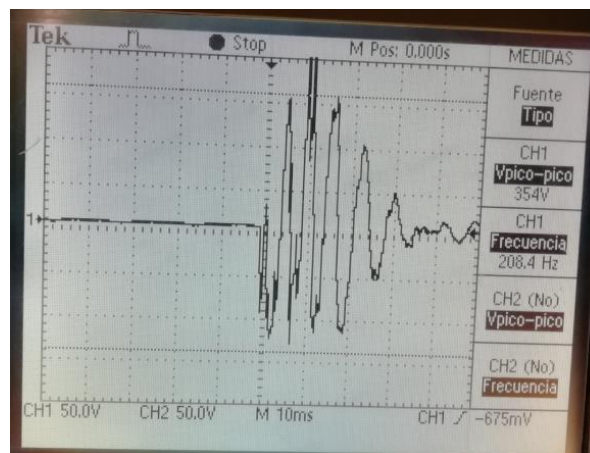


Figura 7.2. Forma de onda obtenida mediante el osciloscopio del piezoeléctrico LDT0-028K

En la figura 7.2. Se puede apreciar el tipo de onda generada mediante la medición en un osciloscopio.

Con la implementación del cuádruplicador mediante los diodos 1N5820 se aprovechó de mejor manera la captación de la generación de los dispositivos piezoeléctricos LTD0-028K, los cuales en la sumatoria de los bancos de piezoeléctricos entregan una salida de 7.5V.

Cada cuádruplicador tiene un salida variable ya que mediante el uso de la máquina elíptica se va a continuar el almacenamiento en los condensadores por su trabajo, los datos con respecto a la corriente es de 350.3 (mA) se logra generar 6130.25 (mW) en un tiempo de 15 minutos realizando un trabajo físico, en el cual el usuario logra quemar 141 (Kcal) y 560.7 (mA) en 30 minutos tiende a producir 16428.51 (mW), con un esfuerzo físico reflejado en la quema de calorías de 363 (Kcal).

Esta salida total de cuádruplicadores es entregada al sistema de acondicionamiento, una vez que el almacenaje es establecido para su consumo y a su vez es elevado mediante un módulo

convertidor DC- DC X16009, teniendo a su salida 12V y 2A los cuales son aprovechados para la carga de las baterías. (Observar anexo X)

Por otra parte se busca el dimensionamiento de los instrumentos y dispositivos a utilizar en todo el diseño como baterías de almacenamiento e inversor, tomando en cuenta el uso de las máquinas elípticas en el gimnasio Zeus ubicado en la ciudad de Machachi– cantón Mejía.

En la tabla 7.1. Se describe la recopilación de cálculos del consumo diario, dimensionamientos para la selección del inversor y batería

Tabla 7.1. Cálculos de consumo diario.

| Ítem | Valor |
|----------------------|----------------|
| Tamaño del inversor | 26 (W) |
| Tamaño de la batería | 12V a 6,9(A/h) |

Obteniendo como resultado el cumplimiento asertivo de la pregunta científica, afirmando que es posible la generación de energía eléctrica mediante dispositivos piezoeléctricos flexibles, la captación de energía harvesting generada en el gimnasio, la manipulación de la salida entregada por los dispositivos LDT0-028k, mediante la aplicación de un cuádruplicador para la entrega de alimentación a través de la fase de acondicionamiento, teniendo como resultado una generación de 24W con la implementación de 35 dispositivos flexibles por cada máquina elíptica.

8. PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTO.

Tabla 8.1. Costo del Proyecto

| Costo del Proyecto | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|----------|---------------------|------------------|--------------|---------|-----------------------------|----------------|--------------------|------------|----------|----------------|-------------|------|
| | | | | Integrantes: | | Brayan Ivan Guacapiña Simba | | | | | | | |
| | | | | | | Josue Abel Huerta Andrade | | | | | | | |
| Material directo | | | | Mano de obra | | | | Material indirecto | | | | | |
| Detalle | Cantidad | Valor unitario (\$) | Valor total (\$) | Detalle | # Horas | # Personas | Valor por hora | Cantidad | Detalle | Cantidad | Valor unitario | Valor total | |
| Piezoeléctrico LDT0-028K | 350 | 1,5 | 525 | Instalación | 7 | 2 | 10 | 140 | Transporte | 15 | 1,5 | 22,5 | |
| Inversor | 1 | 30 | 30 | | | | | | Envios | 1 | 25 | 25 | |
| Regulador de carga | 1 | 15 | 15 | | | | | | | | | | |
| Bateria de gel | 2 | 35 | 70 | | | | | | | | | | |
| Diodos rectificadores | 28 | 0,2 | 5,6 | | | | | | | | | | |
| Capacitores de 10 uf | 28 | 0,1 | 2,8 | | | | | | | | | | |
| Capacitores de 4700 uf | 7 | 0,75 | 5,25 | | | | | | | | | | |
| Baquelita | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| Acido | 1 | 0,5 | 0,5 | | | | | | | | | | |
| Cable flexible 18 | 10 | 0,2 | 2 | | | | | | | | | | |
| Arduino nano | 1 | 6,5 | 6,5 | | | | | | | | | | |
| modulo bluetooth | 1 | 5 | 5 | | | | | | | | | | |
| Conectores hembra | 700 | 0,03 | 21 | | | | | | | | | | |
| Conectores macho | 700 | 0,03 | 21 | | | | | | | | | | |
| Angulo | 1 | 3 | 3 | | | | | | | | | | |
| Mdf | 1 | 5 | 5 | | | | | | | | | | |
| Total | | | 718,65 | Total | | | | 140 | Total | | | | 47,5 |
| Costo total: | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | 906,15 | | |

Tabla 8.2. (VAN) / (TIR)

| | Inversion | Año 1 | Año 2 | Año 3 | Año 4 | Año 5 |
|---------|-------------------------------|---------|---------|--------|--------|--------|
| | 906,15 | | | | | |
| Ingreso | | 215,88 | 248,262 | 260,68 | 273,71 | 287,39 |
| Egreso | | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Total | -906,15 | 205,88 | 238,262 | 250,68 | 263,71 | 277,39 |
| | | | | | | |
| | Valor Actual Neto (VAN) | \$18,62 | | | | |
| | | | | | | |
| Tasa | 10,00% | | | | | |
| | | | | | | |
| | Tasa interna de retorno (TIR) | 11% | | | | |

8.1 Impacto económico.

Gracias a cálculos previos por Daniel Korpál [35], establece que un teléfono celular con una batería promedio (3340mAh) consume 20W y un letrero led (LEDs SMD 5050) compuesto por tiras de 5 metros consume 86.5W y la potencia de 10W consumida por el Arduino.

Tabla 8.3. Datos necesarios para las ecuaciones de consumo económico.

| Número de personas por día | Potencia consumida por el | Potencia consumida por | Arduino | Costo del (kW/h) (Tarifa de consumidor |
|----------------------------|---------------------------|------------------------|---------|---|
| 30 | 20(W) | 86.5(W) | 10(W) | 9.33 centavos |

Resultados obtenidos de la aplicación de las ecuaciones (4.8) y (4.9)

Tabla 8.4. Resultados de potencia y ahorro anual del teléfono celular.

| Potencia por día | Potencia anual | Ahorro anual (1 sola bicicleta) | Ahorro anual (10 |
|------------------|----------------|---------------------------------|------------------|
| 600 (W) | 219 (kW) | 20.43 USD | 204.3 USD |

Resultados obtenidos de la aplicación de las ecuaciones (4.10), (4.11) y (4.12)

Tabla 8.5. Resultados de potencia y ahorro anual del letrero led.

| Potencia por día | Potencia anual | Ahorro anual |
|------------------|----------------|--------------|
| 259.5 (W) | 94.71 (kW) | 8.85 USD |

Resultados obtenidos de la aplicación de las ecuaciones (4.13), (4.14) y (4.15)

Tabla 8.6. Resultados de potencia y ahorro anual módulo Arduino.

| Potencia por día | Potencia anual | Ahorro anual |
|------------------|----------------|--------------|
| 80 (W) | 29.2 (kW) | 2.72 USD |

Tabla 8.7. Ahorro total anual.

| Ahorro anual (10 bicicletas) | Ahorro anual (letrero led) | Ahorro anual Total |
|------------------------------|----------------------------|--------------------|
| 204.3 USD | 8. 85 USD | 215.88 USD |

Este resultado refleja el ahorro producido por una sola máquina elíptica en un año, cuando se lo aplique a las 10 máquinas elípticas que posee el gimnasio, dará como resultado un ahorro anual de 204.3 USD

Con el resultado del análisis económico reflejado en la tabla 8.1. Del prototipo de generación proyectado en 10 máquinas elípticas las cuales contengan la implementación, de dicho sistema de generación de energía eléctrica, mediante dispositivos piezoeléctricos se obtiene un retorno de inversión en 5 años generando una ganancia 18.62 dólares ese mismo año.

8.2 Impacto técnico.

Esta propuesta tecnológica brinda una nueva manera de generar energía eléctrica, dejando atrás el miedo a explorar nuevas fuentes de generación, el simple hecho de implementar piezoeléctricos cuyo principio de funcionamiento se basa en la flexión de su componente interno el cuarzo, abre las puertas para futuras investigaciones y descubrimientos de nuevas fuentes de generación.

8.3 Impacto ambiental.

En la actualidad la explotación de petróleo y todos sus derivados son los responsables del 30% de las emisiones de dióxido de carbono al aire, con lo cual el impacto ambiental que genera el utilizar dispositivos piezoeléctricos es realmente grande, debido a que no cuentan con ningún componente biológico en su proceso de generación, esto representa una ayuda a la reducción del CO₂, además los piezoeléctricos aprovechan aquella energía desperdiciada de los esfuerzos físicos para transformarla en energía eléctrica.

10. CONCLUSIONES

- La investigación bibliográfica fue de gran ayuda para la elección del tipo de piezoeléctrico que se utilizó en este proyecto, ya que mediante esta investigación se pudo concluir que el sensor LDT0-028K ofrece una tensión de salida entre 6V-30V, esto dependiendo de su flexión, mientras que la tensión de salida que ofrece el piezoeléctrico tipo pastilla es de 5V. Con lo cual la implementación del sensor LDT0-028K es viable.
- Gracias a las ecuaciones de dimensionamiento, se pudo seleccionar los componentes que forman el sistema de generación, dando como resultado la adquisición de un inversor de 1500 DC 12V a AC 110V, dos baterías US 12V – 20Ah de descarga profunda, un convertidor DC-DC X16009, un Arduino nano y un regulador TK20DU.
- Mediante la comparación en la forma de trabajo y rangos de generación entre el piezoeléctrico LDT0-028K y los tipo pastilla, se logró diseñar el sistema de generación con su correcta ubicación de los dispositivos piezoeléctricos en el prototipo, misma que es de 15mm entre cada uno entregando un estimado de 35V por deformación los cuales son ubicados en bancos de piezoeléctricos de 5 unidades, la conexión de estos dispositivos piezoeléctricos es alternada soldándose 1 piezoeléctrico creando una distancia de conexión de 30mm, con este dato se colocan los contactos a la misma distancia de 30mm para obtener una sincronización de deflexión.
- Luego de su implementación se pudo evaluar el sistema de generación, en el cual se tomaron mediciones que dando como resultado datos con respecto a la corriente es de 350.3 (mA) donde se logra generar 6130.25 (mW) en un tiempo de 15 minutos realizando un trabajo físico en el cual el usuario logra quemar 141 (Kcal) y 560.7 (mA) en 30 minutos tiende a producir 16428.51 (mW) con un esfuerzo físico reflejado en la quema de calorías de 363 (Kcal), con lo cual se concluye que su implementación es viable ya que por día al utilizar la máquina elíptica brinda una potencia de 600(W) y mediante la proyección de implementación a 10 máquinas elípticas refleja un impacto económico de 204.3 USD anuales.

11. RECOMENDACIONES

- Se recomienda la implementación de dispositivos piezoeléctricos en sistemas de generación de energía eléctrica ya que es una alternativa innovadora que aprovecha aquella energía libre que se desperdicia, además no contamina el medio ambiente ya que utilizan el esfuerzo físico a través de las actividades deportivas realizadas en el gimnasio para producir energía eléctrica.
- La utilización de los módulos LTC-3588 en conjunto con los Eh301 son muy recomendables al momento que se requiere trabajar con sensores piezoeléctricos tipo flexibles, ya que estos módulos son específicamente diseñados para trabajar con este tipo de dispositivos piezoeléctricos debido a que aprovechan eficientemente la tensión de salida de estos sensores, además pueden trabajar con valores de tensión mínimos y de manera instantánea almacenando y elevando la tensión de salida.
- Para mejorar la eficiencia y evitar la desincronización de los piezoeléctricos en su etapa de generación se los recomienda ubicar en un eje horizontal ya que de esta manera se asegurara que todos los contactos flexionaran a los piezoeléctricos al mismo tiempo, con lo cual se obtendrá una salida mayor de tensión.
- Se recomienda el uso de los diodos de barrera schottky cuando se esté trabajando con los piezoeléctricos LDT0-028K en la etapa de rectificación debido a que el voltaje umbral producido por estos diodos es menor, en comparación con los comunes, y por ende genera mayor ganancia de intensidad.

12. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- [1] N. CEPAL, «www.cepal.org,» CEPAL, ECLAC, Marzo 2019. [En línea]. Available: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/44445-anuario-estadistico-america-latina-caribe-2018-statistical-yearbook-latin>.
- [2] J. Dufour, «Madrid Blogs Energía y Sostenibilidad,» 28 03 2011. [En línea]. Available: <https://www.madrimasd.org/blogs/energiasalternativas/2011/03/28/131138>.
- [3] Q. M. M. Orellana, «Ingeniería de detalle y análisis del desempeño de un sistema de plantillas piezoeléctricas para harvesting de energía a través del calzado,» Loja, 2013.
- [4] M. A. V. Andrés, «Análisis de la operación y desempeño de un sistema de energía con la utilización de baldosas piezoeléctricas,» Loja, 2013.
- [5] J. M. S. G. F. G. Alfaro, «Generación de energía utilizando el efecto piezoeléctrico,» 2015.
- [6] E. S. Orozco, «Diseño de un colector de energía piezoeléctrico (energy harvesting) mediante optimización topológica que maximice la transformación de energía mecánica en eléctrica generada por un ser humano al caminar,» Medellín, 2014.
- [7] Boletín vt, «Carreteras que generan energía,» *Boletín vt*, p. 10, 09 2010.
- [8] N. K. C. G. Diego Armando Tamayo Zapata, «el uso de piezoelectricos para la generacion de energia sostenible como proyecto piloto en un perfil vial de bogota,» Bogota, 2017.
- [9] Piezo Applications, «Americanpiezo,» [En línea]. Available: <https://www.americanpiezo.com/blog/top-uses-of-piezoelectricity-in-everyday-applications/>.
- [10] M. C. Rodríguez, «www.academia.edu,» 01 2010. [En línea]. Available: <https://www.academia.edu/28883862/Piezoelectrico>.
- [11] Americanpiezo, «Americanpiezo,» [En línea]. Available: <https://www.americanpiezo.com/piezo-theory/applications.html>.
- [12] measurement, «www.electronicaembajadores.com,» 13 10 2008. [En línea]. Available: <https://www.electronicaembajadores.com/Datos/pdf1/ss/spsz/spsz001.pdf>.
- [13] Boletín vt, «Materiales Piezoeléctrico,» *Boletín vt*, p. 1, 2010.
- [14] D. Tuner, «Piezoelectric Materials and Application».

- [15] P. B. Escoto, «Desarrollo de materiales piezoelectricos mediante la aplicacion de polimeros espumados,» 2017.
- [16] S. Evanczuk, «www.digikey.com,» 11 09 2013. [En línea]. Available: <https://www.digikey.com/en/articles/techzone/2013/sep/harvesting-energy-from-biological-sources-for-body-area-networks>.
- [17] J. d. Juana, «books.google.com.ec,» 2008. [En línea]. Available: https://books.google.com.ec/books/about/Energ%C3%ADas_renovables_para_el_desarrollo.html?id=NyvcConR-xoC&printsec=frontcover&source=kp_read_button&redir_esc=y&fbclid=IwAR2Tbh-Lvrp0in9mmlnrLgzVMmg9gapNvAw935AncCZWm9KnMWDk9mKO134#v=onepage&q&f=false. [Último acceso: 21 07 2019].
- [18] J. L. Cavasassi, «http://www.cavadevices.com,» [En línea]. Available: http://www.cavadevices.com/archivos/FOLLETOS/calculo%20de%20bateria.pdf?fbclid=IwAR0kqgtCXgqQQdhRIEMW3fHtdqDBF4RopxbNLfSrGnFBN4oBgDkTpcdc_r4
- [19] linio.com.ec, «www.linio.com.ec,» [En línea]. Available: <https://www.linio.com.ec/p/inversor-convertidor-auto-vehicular-dc-a-ac-1500w-12-110v-to1vwx>.
- [20] U. Standard, «UL Standard,» 28 01 2010. [En línea]. Available: [https://www.shopulstandards.com/ProductDetail.aspx?productId=UL1741_2_B_20100128\(ULStandards2\)](https://www.shopulstandards.com/ProductDetail.aspx?productId=UL1741_2_B_20100128(ULStandards2)).
- [21] whisperpower, «www.whisperpower.com,» [En línea]. Available: <https://www.whisperpower.com/es/4/9/219/productos/bater%C3%ADas/gel-battery-12-v-180-ah.html>.
- [22] IEEE, «www.techstreet.com,» 02 08 2006. [En línea]. Available: https://www.techstreet.com/standards/ieee-1188-2005?product_id=1265125.
- [23] J. L. Cavasassi, «www.cavadevices.com,» [En línea]. Available: <http://www.cavadevices.com/archivos/FOLLETOS/BATERIAS%20CICLO%20PROFUNDO.pdf>.
- [24] D. H. Torres, «hetpro-store.com,» 27 11 2017. [En línea]. Available: <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/capacitor/>.
- [25] Vishay, «www.vishay.com,» 13 08 2013. [En línea]. Available: <https://www.vishay.com/docs/88525/1n5817.pdf>.

- [26] N. T. Tojeiro, «repositorio.unican.es,» 09 2017. [En línea]. Available: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/12026/396440.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [27] AEROSEMI, «prom-electric.ru,» 2011. [En línea]. Available: <https://prom-electric.ru/media/MT3608.pdf>.
- [28] J. I. Huircán, «www.bolanosdj.com.ar,» [En línea]. Available: <http://www.bolanosdj.com.ar/TEORIA/REGULADORES.PDF>.
- [29] D. Camello, «Estudio y Demostracion de un Sistema de Recoleccion de Energia a Partir del Alto Transito de Personas,» Barcelona, 2016.
- [30] ingromamo, «<http://comunidad.ingenet.com.mx>,» 2019. [En línea]. Available: <http://comunidad.ingenet.com.mx/ingelectrica/2011/01/05/cuadriplificadores-de-voltaje/>.
- [31] arduino.cl, «<http://arduino.cl>,» 2019. [En línea]. Available: <http://arduino.cl/arduino-nano/>.
- [32] M. Bunge, «tesisdeinvestig.blogspot.com,» [En línea]. Available: <http://tesisdeinvestig.blogspot.com/2011/05/conceptos-de-metodo-cientifico.html>.
- [33] filotecnologa, «filotecnologa.wordpress.com,» 27 10 2011. [En línea]. Available: <https://filotecnologa.wordpress.com/tag/metodo-inductivo-deductivo/>.
- [34] R. Sanz, «Formacion y Empleo,» 30 04 2017. [En línea]. Available: <https://cursos.com/metodo-cuantitativo/>.
- [35] D. Korpál, «www.xataka.com,» 22 05 2019. [En línea]. Available: <https://www.xataka.com/moviles/cuanto-dinero-cuesta-realmente-cargar-smartphone>.
- [36] RS, «es.rs-online.com,» [En línea]. Available: <https://es.rs-online.com/web/p/rectificadores-de-puente/9235407/>.
- [37] G. Baena, «lifeder,» 1985. [En línea]. Available: <https://www.lifeder.com/investigacion-bibliografica/>.
- [38] F. Arias, «lifeder,» 1999. [En línea]. Available: <https://www.lifeder.com/investigacion-de-campo/>.
- [39] F. G. Arias, «planificaciondeproyectosemirarismendi.blogspot.com,» 2012. [En línea]. Available: http://planificaciondeproyectosemirarismendi.blogspot.com/2013/04/tipos-y-diseno-de-la-investigacion_21.html.

- [40] uk.rs-online.com, «<https://uk.rs-online.com>,» [En línea]. Available: <https://uk.rs-online.com/web/p/vibration-sensors/8937222/>.
- [41] E. P. E. M. P. F. M. A. Cortés Hernández Adriana, «Propuesta de diseño de un piso generador de energía eléctrica,» 2010.
- [42] O. Michael, «Ingeniería de detalle y análisis del desempeño de un sistema de plantillas piezoeléctricas para harvesting de energía a través del calzado,» Loja, 2013.
- [43] Roboticalaupg, «Propuesta de mejora UPG,» 2016.
- [44] Orellana, «Ingeniería de detalle y análisis del desempeño de un sistema de plantillas piezoeléctricas para harvesting de energía a través del calzado,» Universidad Particular de Loja , Loja, 2013.
- [45] I. R. Mendoza, «Extracción de energía del agua mediante generadores piezoeléctricos,» 2014.
- [46] APC International, Ltd, «Americanpiezo,» [En línea]. Available: <https://www.americanpiezo.com/piezo-theory/pzt.html>.
- [47] Boletín vt, «Desarrollan una tecnología para cargar de móvil solo con la energía del cuerpo humano,» *Boletín vt*, p. 10, 03 2009.
- [48] E. Viso, «Xatakaciencia,» [En línea]. Available: <https://www.xatakaciencia.com/tecnologia/carga-la-bateria-de-tu-movil-mientras-caminas>.
- [49] J. A. C. Gutiérrez, «Baldosa piezoeléctrica para alimentar sistemas de iluminacion bajo consumo energetico,» 2013.
- [50] Webconsultas, «Webconsultas,» [En línea]. Available: <https://www.webconsultas.com/ejercicio-y-deporte/vida-activa/beneficios-del-ejercicio-fisico-869>.
- [51] Mejor con Salud, «Mejor con Salud,» [En línea]. Available: <https://mejorconsalud.com/beneficios-del-ejercicio-fisico-en-la-salud/>.
- [52] D. Cano, «En forma 180,» [En línea]. Available: <http://www.salud180.com/nutricion-y-ejercicio/beneficios-de-los-ejercicios-aerobicos>.
- [53] D. Mercola, «Fitness peak,» [En línea]. Available: <https://ejercicios.mercola.com/sitios/ejercicios/archivo/2015/05/08/ventajas-y-desventajas-de-usar-una-caminadora.aspx>.

- [54] L. M. C. Casado, «Estudio de la respuesta piezoeléctrica en PVDF».
- [55] P. D. G. G., «Movimiento Circular Uniformemente Variado,» Ambato, 2016.
- [56] Educarchile, «La ruedas de tu bicicleta y el movimiento circular uniforme,» 2006.
- [57] Matematicas Fisica, «Mate movil,» [En línea]. Available: <https://matemovil.com/movimiento-circular-uniformemente-variado-mcuv-ejercicios-resueltos/>.
- [58] The editors of encyclopaedia Britannica, «Encyclopaedia Britannica,» [En línea]. Available: <https://www.britannica.com/science/polyvinylidene-fluoride>.
- [59] ARCONEL, «www.regulacioneolica.gob.ec,» 31 01 2019. [En línea]. Available: <https://www.regulacioneolica.gob.ec/resoluciones-planes-tarifarios/>.

ANEXOS

| ANEXO I | MÁXIMA REVOLUCION MEDIDA | 1 DE 2 |
|--|--------------------------|--------|
|  | | |

| ANEXO I | MINIMA REVOLUCION | 2 DE 2 |
|--|-------------------|--------|
|  | | |

| | | |
|----------|---|--------|
| ANEXO II | CONEXIÓN DE 5 BANCOS DE PIEZOELÉCTRICOS EN PARALELO | 1 DE 2 |
|----------|---|--------|

Voltaje en alterna con el mínimo de revoluciones



| | | |
|----------|---|--------|
| ANEXO II | CONEXIÓN DE 5 BANCOS DE PIEZOELÉCTRICOS EN PARALELO | 2 DE 2 |
|----------|---|--------|

Voltaje en alterna con el máximo de revoluciones



| | | |
|---|--|--------|
| ANEXO III | CONEXIÓN DE 10 BANCOS DE PIEZO ELÉCTRICOS EN PARALELO | 1 DE 2 |
| <p style="text-align: center;">Voltaje en alterna con el mínimo de revoluciones</p>  | | |

| | | |
|--|--|--------|
| ANEXO III | CONEXIÓN DE 10 BANCOS DE PIEZO ELÉCTRICOS EN PARALELO | 2 DE 2 |
| <p style="text-align: center;">Voltaje en alterna con el máximo de revoluciones</p>  | | |

| | | |
|---|--|--------|
| ANEXO IV | <p style="text-align: center;">CONEXIÓN DE 15 BANCOS DE PIEZOELÉCTRICOS EN PARALELO</p> | 1 DE 2 |
| <p style="text-align: center;">Voltaje en alterna con el mínimo de revoluciones</p>  | | |

| | | |
|--|--|--------|
| ANEXO IV | <p style="text-align: center;">CONEXIÓN DE 15 BANCOS DE PIEZOELÉCTRICOS EN PARALELO</p> | 2 DE 2 |
| <p style="text-align: center;">Voltaje en alterna con el máximo de revoluciones</p>  | | |

| | | |
|--|--|--------|
| ANEXO V | <p align="center">CONEXIÓN DE 10 BANCOS DE PIEZOELÉCTRICOS EN PARALELO Y SALIDAS EN SERIE (MIXTO)</p> | 1 DE 2 |
| <p align="center">Voltaje en alterna con el mínimo de revoluciones</p>  | | |

| | | |
|---|--|--------|
| ANEXO V | <p align="center">CONEXIÓN DE 10 BANCOS DE PIEZOELÉCTRICOS EN PARALELO Y SALIDAS EN SERIE (MIXTO)</p> | 2 DE 2 |
| <p align="center">Voltaje en alterna con el máximo de revoluciones</p>  | | |

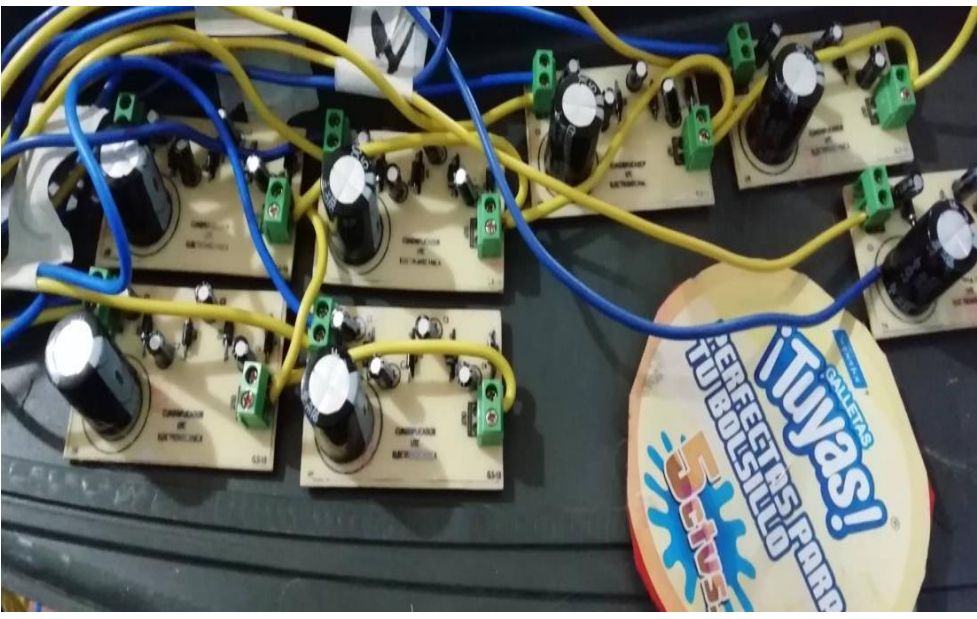
| | | |
|--|--|--------|
| ANEXO VI | <p align="center">CONEXIÓN DE 15 BANCOS DE PIEZOELÉCTRICOS EN PARALELO Y SALIDAS EN SERIE (MIXTO)</p> | 1 DE 2 |
| <p align="center">Voltaje en alterna con el mínimo de revoluciones</p>  | | |

| | | |
|---|--|--------|
| ANEXO VI | <p align="center">CONEXIÓN DE 15 BANCOS DE PIEZOELÉCTRICOS EN PARALELO Y SALIDAS EN SERIE (MIXTO)</p> | 2 DE 2 |
| <p align="center">Voltaje en alterna con el máxima de revoluciones</p>  | | |

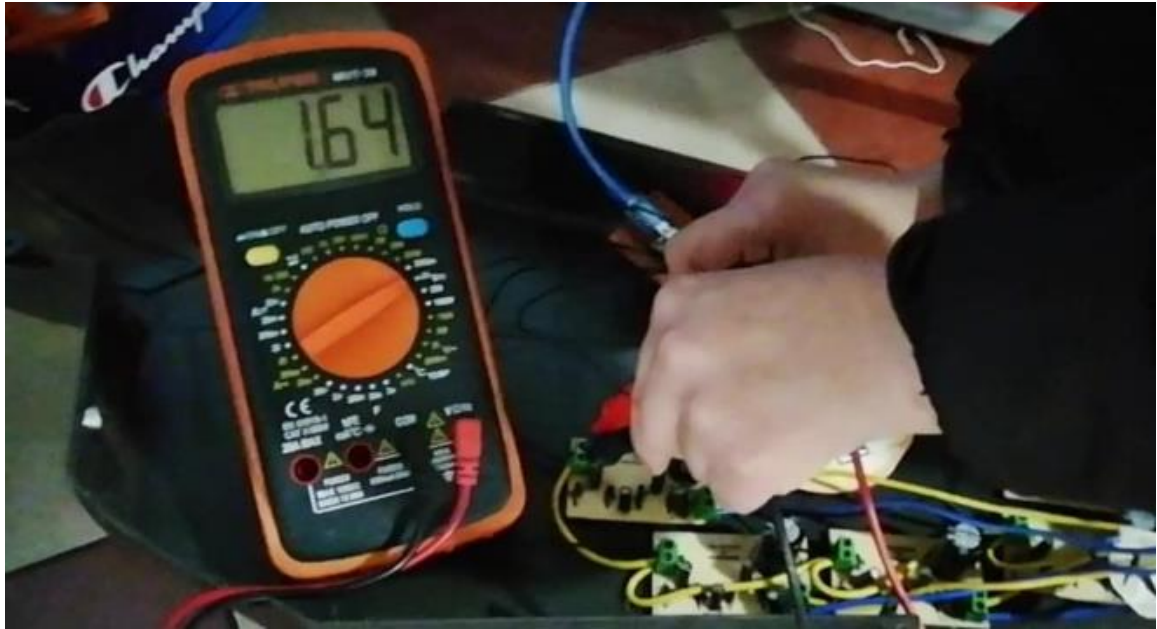
| | | |
|--|--|--------|
| ANEXO VII | <p align="center">CONEXIÓN DE 20 BANCOS DE PIEZOELÉCTRICOS EN PARALELO Y SALIDAS EN SERIE (MIXTO)</p> | 1 DE 2 |
| <p align="center">Voltaje en alterna con el mínimo de revoluciones</p>  | | |

| | | |
|---|--|--------|
| ANEXO VII | <p align="center">CONEXIÓN DE 20 BANCOS DE PIEZOELÉCTRICOS EN PARALELO Y SALIDAS EN SERIE (MIXTO)</p> | 2 DE 2 |
| <p align="center">Voltaje en alterna con el máxima de revoluciones</p>  | | |

| | | |
|--|---------------------------|--------|
| ANEXO VIII | PLACAS DEL CUADRIPLICADOR | 1 DE 1 |
|  | | |

| | | |
|--|--|--------|
| ANEXO IX | IMPLEMENTACIÓN DE LOS CUADRIPLICADORES | 1 DE 1 |
|  | | |

| | | |
|---------|--|--------|
| ANEXO X | MEDICIÓN DE VOLTAJE A LA SALIDA DE LOS CUADRIPLICADORES | 1 DE 1 |
|---------|--|--------|



| | | |
|----------|---------------------------|--------|
| ANEXO XI | PIEZOELÉCTRICOS LDT0-028K | 1 DE 1 |
|----------|---------------------------|--------|



| ANEXO XII | CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN DE ARDUINO | 1 DE 5 |
|--|-----------------------------------|--------|
| <pre>const int capacitor1 = A0; const int capacitor2 = A1; const int capacitor3 = A2; const int capacitor4 = A3; const int capacitor5 = A4; const int capacitor6 = A5; const int capacitor7 = A6; const int salida1 = 2; const int salida2 = 3; const int salida3 = 4; const int salida4 = 5; const int salida5 = 6; const int salida6 = 7; const int salida7 = 8; const int salida8 = 9; int sensorcap1 = 0; int sensorcap2 = 0; int sensorcap3 = 0; int sensorcap4 = 0; int sensorcap5 = 0; int sensorcap6 = 0; int sensorcap7 = 0; int i1 = 0; int i2 = 0; int i3 = 0; int i4 = 0; int i5 = 0; int i6 = 0; int i7 = 0;</pre> | | |

| ANEXO XII | CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN DE ARDUINO | 2 DE 5 |
|--|-----------------------------------|--------|
| <pre>void setup() { pinMode(salida1, OUTPUT); pinMode(salida2, OUTPUT); pinMode(salida3, OUTPUT); pinMode(salida4, OUTPUT); pinMode(salida5, OUTPUT); pinMode(salida6, OUTPUT); pinMode(salida7, OUTPUT); pinMode(salida8, OUTPUT); digitalWrite(salida1,LOW); digitalWrite(salida2,LOW); digitalWrite(salida3,LOW); digitalWrite(salida4,LOW); digitalWrite(salida5,LOW); digitalWrite(salida6,LOW); digitalWrite(salida7,LOW); digitalWrite(salida8,LOW); Serial.begin(9600); } void loop() { sensorcap1 = analogRead(capacitor1); sensorcap2 = analogRead(capacitor2); sensorcap3 = analogRead(capacitor3); sensorcap4 = analogRead(capacitor4); sensorcap5 = analogRead(capacitor5); sensorcap6 = analogRead(capacitor6); sensorcap7 = analogRead(capacitor7);</pre> | | |

```
if (sensorcap1 > 204)
{
digitalWrite(salida1, HIGH);
i1 = 1;
}
else {
digitalWrite(salida1, LOW);
i1 = 0;
}

if (sensorcap2 > 204)
{
digitalWrite(salida2, HIGH);
i2 = 1;
}
else {
digitalWrite(salida2, LOW);
i2 = 0;
}

if (sensorcap3 > 204)
{
digitalWrite(salida3, HIGH);
i3 = 1;
}
else {
digitalWrite(salida3, LOW);
i3 = 0;
}
if (sensorcap4 > 204)
{
```

| ANEXO XII | CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN DE ARDUINO | 4 DE 5 |
|---|-----------------------------------|--------|
| <pre>digitalWrite(salida4, HIGH); i4 = 1; } else { digitalWrite(salida4, LOW); i4 = 0; } if (sensorcap5 > 204) { digitalWrite(salida5, HIGH); i5 = 1; } else { digitalWrite(salida5, LOW); i5 = 0; } if (sensorcap6 > 204) { digitalWrite(salida6, HIGH); i6 = 1; } else { digitalWrite(salida6, LOW); i6 = 0; } if (sensorcap7 > 204) { digitalWrite(salida7, HIGH); i7 = 1; } else { digitalWrite(salida7, LOW);</pre> | | |

```
i7 = 0;
}

if (i1 == 1 and i2 == 1 and i3 == 1 and i4 == 1 and i5 == 1 and i6 == 1 and i7 == 1)
{
digitalWrite(salida8, HIGH);
}
else {
digitalWrite(salida8, LOW);
}

Serial.print("sensorcap1 = ");
Serial.print(sensorcap1);
Serial.print("sensorcap2 = ");
Serial.print(sensorcap2);
Serial.print("sensorcap3 = ");
Serial.print(sensorcap3);
Serial.print("sensorcap4 = ");
Serial.print(sensorcap4);
Serial.print("sensorcap5 = ");
Serial.print(sensorcap5);
Serial.print("sensorcap6 = ");
Serial.print(sensorcap6);
Serial.print("sensorcap7 = ");
Serial.print(sensorcap7);

delay(2);
```


Experiment #1

LDT0 as Vibration Sensor - with the crimped contacts pushed through a printed-circuit board, the LDT0 was soldered carefully in place to anchor the sensor. A charge amplifier was used to detect the output signal as vibration from a shaker table was applied (using a charge amplifier allows a very long measurement time constant and thus allows the "open-circuit" voltage response to be calculated). Small masses (approximately 0.26g increments) were then added to the tip of the sensor, and the measurement repeated. Results are shown in Table 1 and the overlaid plots in Fig. 1. Without adding mass, the LDT0 shows a resonance around 180 Hz. Adding mass to the tip reduces the resonance frequency and increases "baseline" sensitivity.

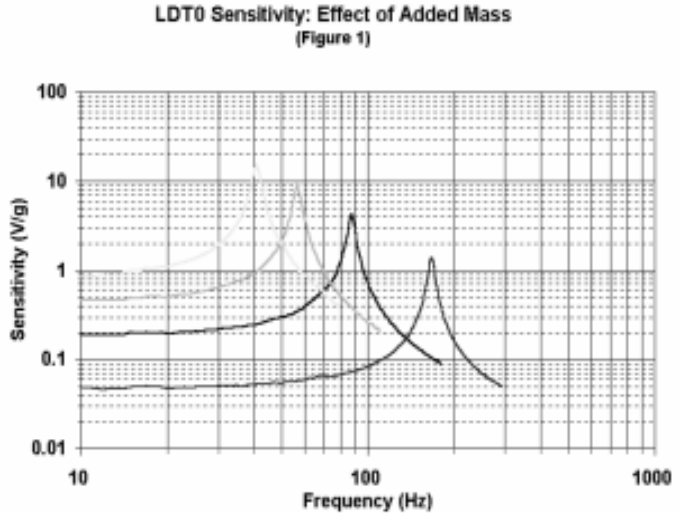
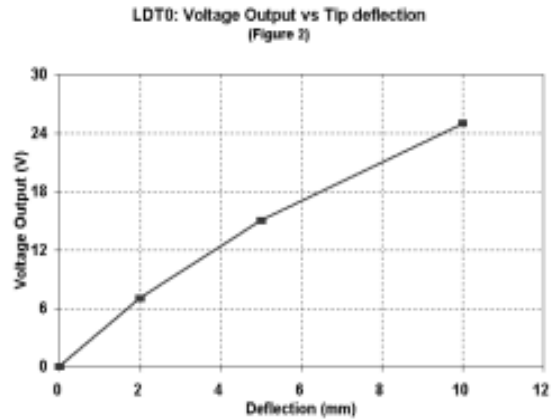


TABLE 1: LDT0 as Vibration Sensor (see Fig 1)

| Added Mass | Baseline Sensitivity | Sensitivity at Resonance | Resonant Frequency | +3 Db Frequency |
|------------|----------------------|--------------------------|--------------------|-----------------|
| 0 | 50 mV/g | 1.4 V/g | 180 Hz | 90 Hz |
| 1 | 200 mV/g | 4 V/g | 90 Hz | 45 Hz |
| 2 | 400 mV/g | 8 V/g | 60 Hz | 30 Hz |
| 3 | 800 mV/g | 16 V/g | 40 Hz | 20 Hz |

Experiment #2

LDT0 as Flexible Switch - using a charge amplifier to obtain "open-circuit" voltage sensitivity, the output was measured for controlled tip deflections applied to the sensor (supported by its crimped contacts as described above). 2 mm deflection was sufficient to generate about 7 V. Voltages above 70V could be generated by bending the tip of the sensor through 90° (see Table 2, Fig. 2).



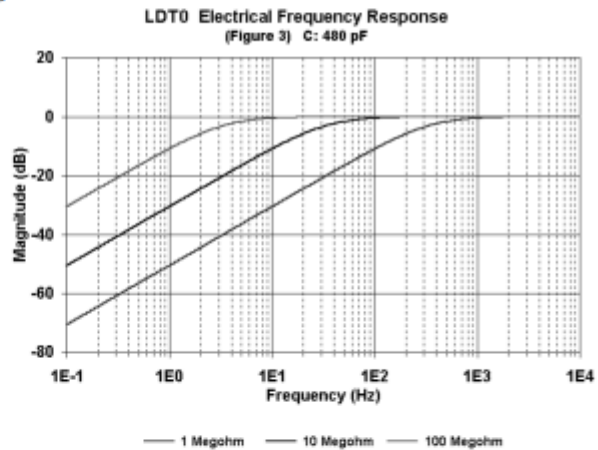
examples of Properties (continued)

TABLE 2: LDT0 as Flexible Switch (see Fig 2)

| Tip Deflection | Charge Output | o/c Voltage Output |
|----------------|---------------|--------------------|
| 2 mm | 3.4 nC | 7 V |
| 5 mm | 7.2 nC | 15 V |
| 10 mm | 10 - 12 nC | 20 - 25 V |
| max (90E) | > 30 nC | > 70 V |

Experiment #3**LDT0 Electrical Frequency Response -**

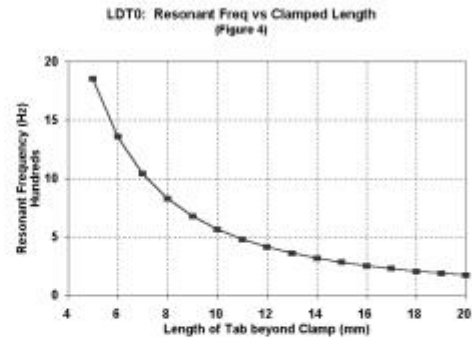
when the source capacitance of around 480 pF is connected to a resistive input load, a high-pass filter characteristic results. Using an electronic noise source to generate broad-band signals, the effect of various load resistances was measured and the -3 dB point of the R-C filter determined (see Table 3, Fig. 3).

**TABLE 3: LDT0 Electrical Frequency Response**
(see Fig 3)

| Load Resistance | -3 db Frequency |
|-----------------|-----------------|
| 1 Megohm | 330 Hz |
| 10 Megohm | 33 Hz |
| 100 Megohm | 3.3 Hz |

Experiment #4

LDT0 Clamped at Different Lengths - using simple clamping fixture, the vibration sensitivity was measured (as in (1) above) as the clamp was moved to allow different "free" lengths to vibrate. The sensor may be "tuned" to suit specific frequency response requirements (see Table 4, Fig. 4).

**TABLE 4: LDT0 Clamped at Different Lengths (See Fig. 4)**

| Length Beyond Clamp | Resonant Frequency | Settling Time (5 cyc) |
|---------------------|--------------------|-----------------------|
| 20 mm (no clamp) | 180 Hz | 28 msec |
| 16 mm | 250 Hz | 20 msec |
| 11 mm | 500 Hz | 10 msec |
| 7 mm | 1000 Hz | 5 msec |

The information in this sheet has been carefully reviewed and is believed to be accurate; however, no responsibility is assumed for inaccuracies. Furthermore, this information does not convey to the purchaser of such devices any license under the patent rights to the manufacturer. Measurement Specialties, Inc. reserves the right to make changes without further notice to any product herein. Measurement Specialties, Inc. makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its product for any particular purpose, nor does Measurement Specialties, Inc. assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. Typical parameters can and do vary in different applications. All operating parameters must be validated for each customer application by customer's technical experts. Measurement Specialties, Inc. does not convey any license under its patent rights nor the rights of others.

ordering information

| Description | Part Number |
|-------------|-------------|
| LDT0-028K | 1002794-0 |
| LDTM-028K | 1005447-1 |

North America

Measurement Specialties, Inc.
1000 Lucas Way
Hampton, VA 23666
Sales and Customer Service
Tel: +1-800-745-8008 or
+1-757-766-1500
Fax: +1-757-766-4297
Technical Support
Email: piezo@meas-spec.com

Europe

MEAS Deutschland GmbH
Hauert 13
44227 Dortmund
Germany
Sales and Customer Service
Tel: +49 (0)231 9740 21
Technical Support
Tel: +49 (0)6074 862822
Email: piezoeurope@meas-spec.com

Asia

Measurement Specialties (China), Ltd.
No. 26 Langshan Road
Shenzhen High-Tech Park (North)
Nanshan District
Shenzhen, China 518107
Sales and Customer Service
Tel: +86 755 3330 5088
Technical Support
Email: piezo@meas-spec.com


www.vishay.com
1N5817, 1N5818, 1N5819

Vishay General Semiconductor

Schottky Barrier Plastic Rectifier

DO-204AL (DO-41)

FEATURES

- Guardring for overvoltage protection
- Very small conduction losses
- Extremely fast switching
- Low forward voltage drop
- High frequency operation
- Solder dip 275 °C max. 10 s, per JESD 22-B106
- Material categorization: For definitions of compliance please see www.vishay.com/doc/299912

RoHS
COMPLIANT**TYPICAL APPLICATIONS**

For use in low voltage high frequency inverters, freewheeling, DC/DC converters, and polarity protection applications.

MECHANICAL DATA

Case: DO-204AL (DO-41)

Molding compound meets UL 94 V-0 flammability rating Base P/N-E3 - RoHS-compliant, commercial grade

Terminals: Matte tin plated leads, solderable per J-STD-002 and JESD 22-B102

E3 suffix meets JESD 201 class 1A whisker test

Polarity: Color band denotes the cathode end

| PRIMARY CHARACTERISTICS | |
|-------------------------|------------------------|
| I_{TAV} | 1.0 A |
| V_{RRM} | 20 V, 30 V, 40 V |
| I_{FSM} | 25 A |
| V_F | 0.45 V, 0.55 V, 0.60 V |
| T_J max. | 125 °C |
| Package | DO-204AL |
| Diode variations | Single |

| MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25\text{ °C}$ unless otherwise noted) | | | | | |
|--|----------------|---------------|--------|--------|------------|
| PARAMETER | SYMBOL | 1N5817 | 1N5818 | 1N5819 | UNIT |
| Maximum repetitive peak reverse voltage | V_{RRM} | 20 | 30 | 40 | V |
| Maximum RMS voltage | V_{RMS} | 14 | 21 | 28 | V |
| Maximum DC blocking voltage | V_{DC} | 20 | 30 | 40 | V |
| Maximum non-repetitive peak reverse voltage | V_{RSM} | 24 | 36 | 48 | V |
| Maximum average forward rectified current at 0.375" (9.5 mm) lead length at $T_L = 90\text{ °C}$ | I_{TAV} | 1.0 | | | A |
| Peak forward surge current, 8.3 ms single half sine-wave superimposed on rated load | I_{FSM} | 25 | | | A |
| Voltage rate of change (rated V_F) | dV/dt | 10 000 | | | V/ μ s |
| Operating junction and storage temperature range | T_J, T_{STG} | - 65 to + 125 | | | °C |

| ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25\text{ °C}$ unless otherwise noted) | | | | | | |
|---|---|-------------|--------|--------|--------|------|
| PARAMETER | TEST CONDITIONS | SYMBOL | 1N5817 | 1N5818 | 1N5819 | UNIT |
| Maximum instantaneous forward voltage | 1.0 | $V_F^{(1)}$ | 0.450 | 0.550 | 0.600 | V |
| Maximum instantaneous forward voltage | 3.1 | $V_F^{(1)}$ | 0.750 | 0.875 | 0.900 | V |
| Maximum average reverse current at rated DC blocking voltage | $T_A = 25\text{ °C}$ $T_A = 100\text{ °C}$ | $I_R^{(1)}$ | 1.0 | | | mA |
| | | | 10 | | | |
| Typical junction capacitance | 4.0 V, 1.0 MHz | C_J | 125 | 110 | | pF |



www.vishay.com

1N5817, 1N5818, 1N5819

Vishay General Semiconductor

| THERMAL CHARACTERISTICS (T _A = 25 °C unless otherwise noted) | | | | | |
|---|-------------------------------------|--------|--------|--------|------|
| PARAMETER | SYMBOL | 1N5817 | 1N5818 | 1N5819 | UNIT |
| Typical thermal resistance | R _{th(j-c)} ⁽¹⁾ | | 50 | | °C/W |
| | R _{th(j-l)} ⁽¹⁾ | | 15 | | |

Note

⁽¹⁾ Thermal resistance from junction to lead vertical PCB mounted, 0.375" (9.5 mm) lead length with 1.5" x 1.5" (38 mm x 38 mm) copper pads

| ORDERING INFORMATION (Example) | | | | |
|--------------------------------|-----------------|------------------------|---------------|----------------------------------|
| PREFERRED P/N | UNIT WEIGHT (g) | PREFERRED PACKAGE CODE | BASE QUANTITY | DELIVERY MODE |
| 1N5819-E3/54 | 0.332 | 54 | 5500 | 13" diameter paper tape and reel |
| 1N5819-E3/73 | 0.332 | 73 | 3000 | Ammo pack packaging |

RATINGS AND CHARACTERISTICS CURVES

(T_A = 25 °C unless otherwise noted)

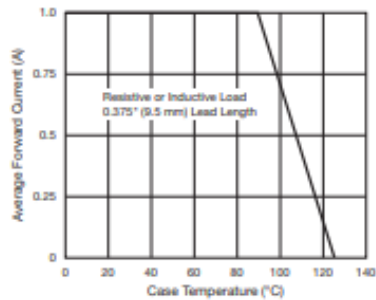


Fig. 1 - Forward Current Derating Curve

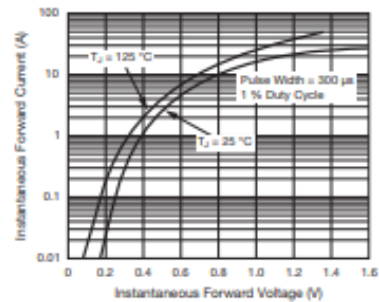


Fig. 3 - Typical Instantaneous Forward Characteristics

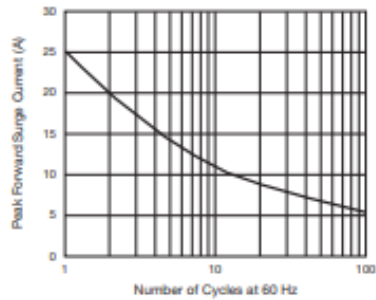


Fig. 2 - Maximum Non-Repetitive Peak Forward Surge Current

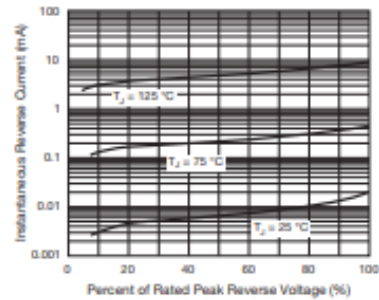


Fig. 4 - Typical Reverse Characteristics



www.vishay.com

1N5817, 1N5818, 1N5819

Vishay General Semiconductor

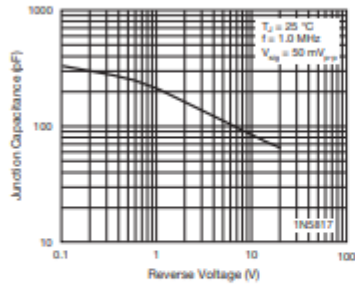


Fig. 5 - Typical Junction Capacitance

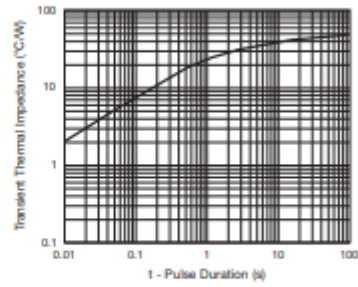


Fig. 7 - Typical Transient Thermal Impedance

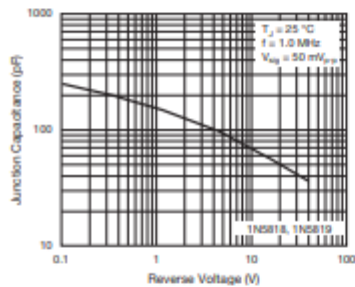
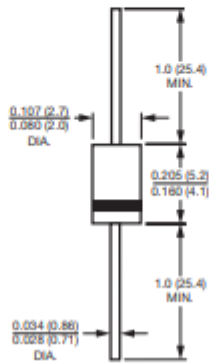


Fig. 6 - Typical Junction Capacitance

PACKAGE OUTLINE DIMENSIONS in inches (millimeters)

DO-204AL (DO-41)



www.vishay.com

Legal Disclaimer Notice

Vishay

Disclaimer

ALL PRODUCT, PRODUCT SPECIFICATIONS AND DATA ARE SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN OR OTHERWISE.

Vishay Intertechnology, Inc., its affiliates, agents, and employees, and all persons acting on its or their behalf (collectively, "Vishay"), disclaim any and all liability for any errors, inaccuracies or incompleteness contained in any datasheet or in any other disclosure relating to any product.

Vishay makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of the products for any particular purpose or the continuing production of any product. To the maximum extent permitted by applicable law, Vishay disclaims (i) any and all liability arising out of the application or use of any product, (ii) any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages, and (iii) any and all implied warranties, including warranties of fitness for particular purpose, non-infringement and merchantability.

Statements regarding the suitability of products for certain types of applications are based on Vishay's knowledge of typical requirements that are often placed on Vishay products in generic applications. Such statements are not binding statements about the suitability of products for a particular application. It is the customer's responsibility to validate that a particular product with the properties described in the product specification is suitable for use in a particular application. Parameters provided in datasheets and / or specifications may vary in different applications and performance may vary over time. All operating parameters, including typical parameters, must be validated for each customer application by the customer's technical experts. Product specifications do not expand or otherwise modify Vishay's terms and conditions of purchase, including but not limited to the warranty expressed therein.

Except as expressly indicated in writing, Vishay products are not designed for use in medical, life-saving, or life-sustaining applications or for any other application in which the failure of the Vishay product could result in personal injury or death. Customers using or selling Vishay products not expressly indicated for use in such applications do so at their own risk. Please contact authorized Vishay personnel to obtain written terms and conditions regarding products designed for such applications.

No license, express or implied, by estoppel or otherwise, to any intellectual property rights is granted by this document or by any conduct of Vishay. Product names and markings noted herein may be trademarks of their respective owners.

| | | |
|-----------------|--|---------------|
| ANEXO XV | PLANOS DEL SISTEMA GENERADOR DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE EL USO DE DISPOSITIVOS PIEZOELÉCTRICOS | 1 DE 1 |
|-----------------|--|---------------|

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TITULACIÓN:

GRADO EN INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

ANEXO XV: FLUJOGRAMA CORRESPONDIENTE A LA PROGRAMCIÓN DE ARDUINO

TITULO:

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA GENERADOR DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE EL USO DE DISPOSITIVOS PIEZOELÉCTRICOS IMPLEMENTADOS EN UNA MÁQUINA ELÍPTICA EN EL GIMNASIO “ZEUS” UBICADO EN LA CIUDAD DE MACHACHI – CANTÓN MEJÍA”.

AUTORES:

Guacapiña Simba Brayan Ivan

Huerta Andrade Josué Abel

| | | |
|-----------|---|--------|
| ANEXO XVI | PLANOS DEL SISTEMA GENERADOR DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE EL USO DE DISPOSITIVOS PIEZOELÉCTRICOS | 1 DE 1 |
|-----------|---|--------|

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TITULACIÓN:

GRADO EN INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

ANEXO XIV: PLANOS DEL SISTEMA GENERADOR DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE EL USO DE DISPOSITIVOS PIEZOELÉCTRICOS

TITULO:

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA GENERADOR DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE EL USO DE DISPOSITIVOS PIEZOELÉCTRICOS IMPLEMENTADOS EN UNA MÁQUINA ELÍPTICA EN EL GIMNASIO “ZEUS” UBICADO EN LA CIUDAD DE MACHACHI – CANTÓN MEJÍA”.

AUTORES:

Guacapiña Simba Brayan Ivan

Huerta Andrade Josué Abel