

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

VICEPRESIDENCIA DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECANICA Y ELECTRICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECANICA Y ELECTRICA



**“GENERACIÓN DE ENERGÍA PIEZOELÉCTRICA EN LA
PLAZA DE ARMAS DE JAÉN-PERÚ PARA ILUMINACIÓN Y
SERVICIOS WIFI PÚBLICO”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

Autor : BACH. JHAN CARLOS VEGA BOBADILLA

Asesor : MG. HENRY OSWALDO PINEDO NAVA

Jaén, 22 de Julio del 2020

ACTA DE SUSTENTACIÓN

El día 30 de octubre del año 2020, siendo las 09:00 horas, se reunieron en forma virtual (Google Meet) los integrantes del Jurado:

Presidente: **Mg. Mario Félix Olivera Aldana**

Secretario: **Mg. Jannier Alberto Montenegro Juárez**

Vocal: **Mg. Jaime Odar Honorio Acosta**, para evaluar la Sustentación de:

() Trabajo de Investigación

(X) Tesis

() Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado: **“GENERACIÓN DE ENERGÍA PIEZOELÉCTRICA EN LA PLAZA DE ARMAS DE JAÉN-PERÚ PARA ILUMINACIÓN Y SERVICIOS WIFI PÚBLICO”**, presentado por el Bachiller **Jhan Carlos Vega Bobadilla** de la Carrera Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, de la Universidad Nacional de Jaén.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

(X) Aprobar

() Desaprobar

() Unanimidad

(X) Mayoría

Con la siguiente mención:

- | | | |
|----------------|------------|--------|
| a) Excelente | 18, 19, 20 | () |
| b) Muy bueno | 16, 17 | () |
| c) Bueno | 14, 15 | (14) |
| d) Regular | 13 | () |
| e) Desaprobado | 12 o menos | () |

Siendo las 11:40 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.



Mg. Mario Félix Olivera Aldana
Presidente Jurado Evaluado



Mg. Jannier Alberto Montenegro Juárez
Secretario Jurado Evaluador



Mg. Jaime Odar Honorio Acosta
Vocal Jurado Evaluador

DEDICATORIA

A Dios por ser mi guía en el camino para poder lograr mis metas en mi vida profesional y a todas las personas que de alguna manera me brindaron el apoyo en esta etapa de mi vida.

A mis padres Wilfredo y Carmen quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre y ustedes también.

A mis hermanos Marko, Thais y Mía por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento, gracias. A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

A mi hijo Ian Nicolas Anthonio por ser el motivo de mi vida y darme la fortaleza y convicción para crecer como padre y profesional.

AGRADECIMIENTO

Me complace a través de este trabajo de investigación hacer el merecido agradecimiento a la Universidad Nacional de Jaén, institución que me dio la bienvenida al mundo como tal, las oportunidades que me ha brindado son incomparables, personas de gran sabiduría quienes se han esforzado por ayudarme a llegar al punto en el que me encuentro. Sencillo no ha sido el proceso, pero gracias a las ganas de transmitir sus conocimientos y dedicación que los ha regido.

A mi asesor de tesis, Henry Pinedo Nava, por apoyarme cuando más lo necesite y por ser un profesional dedicado a la investigación sin lucro, quien con su experiencia me ha guiado oportunamente para realizar esta investigación y la responsabilidad en ejecutarla.

INDICE

I.	INTRODUCCION:	1
1.1	ANTECEDENTES:	2
1.2	PROBLEMÁTICA:	4
1.3	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:	5
1.4	HIPOTESIS:	5
1.5	JUSTIFICACIÓN:	5
II.	OBJETIVOS:	7
2.1	OBJETIVO GENERAL:	7
2.2	OBJETIVO ESPECIFICO:	7
III.	MATERIALES Y METODOS:	8
3.1	UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO:	8
3.1.1	UBICACIÓN GEOGRAFICA:	8
3.2	VARIABLES	10
3.2.1.	VARIABLE DEPENDIENTE:	10
3.2.2.	VARIABLE INDEPENDIENTE:	10
3.3	TIPO DE INVESTIGACIÓN:	10
3.4	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN:	10
3.5	TIPO DE MUESTRA:	10
3.6	POBLACIÓN Y MUESTRA	10
3.6.1.	POBLACIÓN	10
3.7	MATERIALES Y EQUIPOS:	11
3.7.1	MATERIALES:	11
3.8	TECNICA E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE MUESTRA:	11
3.9	DESCRIPCIÓN DE LOS INSTRUMENTOS UTILIZADOS:	12
3.9.1	OBSERVACIÓN DIRECTA O INDIRECTA:	12
3.9.2	DIAGRAMA:	12
3.10	TECNICAS Y PROCEDIMIENTOS:	13
3.10.1	REVISIÓN DEL SISTEMA DE ILUMINACION DE LA PLAZA DE ARMAS:	13
3.10.2	CALCULO DE CARGA INSTALADA EN ILUMINACION:	13
3.10.2.1	CALCULO DEL CONSUMO DE LA CARGA INSTALADA EN ILUMINACIÓN EN LA PLAZA DE ARMAS DE JAEN:	14
3.10.3	RECOLECCION DE DATOS DE AFLUENCIA DE PERSONAS Y TRANSITO VEHICULAR EN LA PLAZA DE ARMAS DE JAEN:	14
3.10.4	EVALUACION DE TRANSITO VEHICULAR Y PEATONAL EN LA ZONA DE MAYOR AFLUENCIA (PUNTO A):	18
3.10.5	DETERMINACIÓN DEL AREA DEL PASO PEATONAL:	21
3.10.6	SELECCIÓN DEL MEJOR SISTEMA DE ILUMINACIÓN PARA OPTIMIZAR EL FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO:	22
3.10.6.1	CALCULO DEL CONSUMO DIARIO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN PROPUESTO:	23

3.10.7	CALCULO DEL PRESUPUESTO PARA EL NUEVO SISTEMA DE ILUMINACIÓN Y GENERACIÓN DE ENERGIA PIEZOELECTRICA:	23
3.10.8	EQUIPOS Y PRINCIPIOS NECESARIOS PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN PIEZOELECTRICA:	25
3.10.9	RECOLECCIÓN DE DATOS DEL SISTEMA DE GENERACIÓN PIEZOELECTRICO:	26
3.10.10	PRUEBAS REALIZADAS CON UN PEATON:.....	33
3.10.11	PRUEBAS REALIZADAS CON UN VEHICULO MOTORIZADO:	34
3.10.12	CALCULO DE GENERACIÓN DE ENERGIA POR CIRCULACIÓN DE VEHICULOS.	36
3.10.13	CALCULO DE GENERACIÓN DE ENERGIA POR CIRCULACIÓN DE PEATONES.	38
3.10.14	DIMENSIONAMIENTO DEL GENERADOR PIEZOELECTRICO:	39
3.10.14.1	CALCULO DEL CONSUMO MEDIO DIARIO:.....	39
3.10.14.2	CALCULO DEL CONSUMO DIARIO CORREGIDO EN (Ah):.....	39
3.10.14.3	CALCULO DEL SISTEMA DE ACUMULACIÓN:	40
3.10.14.4	CALCULO DEL REGULADOR DE CARGA:.....	42
3.10.14.5	CALCULO DEL INVERSOR DE CARGA:	42
3.10.15	ANALISIS DE LA VIABILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN:.....	43
3.10.15.1	PRESUPUESTO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN PIEZOELECTRICA:	43
3.10.15.2	COSTO DE MANTENIMIENTO:.....	44
3.10.15.3	COSTO DE LA GENERACIÓN DE ENERGIA DEL SISTEMA:	46
3.10.15.4	RETORNO DE LA INVERSION:	46
3.10.15.5	METODO DE ANALISIS DE LA INVERSION CON TIR Y VAN:	47
IV.	RESULTADO.	49
4.1	SUMINISTRO DE ENERGIA:	49
4.2	SISTEMA DE GENERACIÓN PIEZOELECTRICA:	49
4.3	SISTEMA DE ALMACENAMIENTO:	49
4.4	SISTEMA DE REGULACION DE CARGA:	50
4.5	INVERSOR DE CARGA:	51
4.6	EVALUCION DE VIABILIDAD:.....	51
V.	DISCUSIÓN:.....	52
VI.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:.....	54
6.1.	CONCLUSIONES:	54
6.2	RECOMENDACIONES:.....	56
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.	57
VII.	ANEXOS.....	60

INDICE DE TABLAS

Tabla 01. Conteo vehicular y peatonal.....	13
Tabla 02. Cálculo de carga instalada en iluminación en la plaza de armas de Jaén.....	14
Tabla 03. Recolección del conteo de tránsito vehicular y peatonal en la calle Alfonso Villanueva Pinillos Plaza de Armas de Jaén.....	16
Tabla 04. Recolección de datos de tránsito peatonal y vehicular en la calle Bolívar Plaza de Armas de Jaén.....	17
Tabla 05. Recolección de datos de tránsito peatonal y vehicular en la calle San Martín Plaza de Armas de Jaén.....	18
Tabla 06. Recolección de datos de tránsito peatonal y vehicular en la calle Mariscal Castilla Plaza de Armas de Jaén.....	19
Tabla 07. Frecuencia mensual de tránsito vehicular y peatonal, correspondiente al periodo de 4 semanas.....	21
Tabla 08. Cálculo de las áreas del paso peatonal.....	23
Tabla 09. Nuevo sistema de Iluminación propuesto.....	23
Tabla 10. Presupuesto del nuevo sistema de iluminación.....	25
Tabla 11. Presupuesto invertido para el desarrollo de la investigación.....	25
Tabla 12. Tensión, corriente y desviación estándar de un disco piezoeléctrico.....	28
Tabla 13. Costo de construcción de un panel piezoeléctrico.....	33
Tabla 14. Generación promedio de la potencia del prototipo Piezoeléctrico.....	33
Tabla 15. Resultados de pruebas con un vehículo motorizado.....	35
Tabla 16. Estimación de la potencia generada por los vehículos en el paso peatonal.....	37
Tabla 17: Estimación de la generación de energía de los vehículos en el paso peatonal.....	37
Tabla 18. Estimación de la potencia generada por los peatones en el paso peatonal.....	38
Tabla 19. Estimación de la potencia generada por los peatones en el paso peatonal.....	38
Tabla 20. Presupuesto de implementación del sistema de generación Piezoeléctrico.....	44
Tabla 21. Estimación del costo de mantenimiento del sistema.....	44
Tabla 22. Análisis de la inversión con TIR y VAN.....	48
Tabla 23. Resultados de la potencia generada total.....	49
Tabla 24. Datos técnicos, tipo de conexión y número de baterías.....	49
Tabla 25. Datos técnicos de regulación de carga seleccionado.....	50
Tabla 26. Datos técnicos del inversor.....	51
Tabla 27. Análisis de la viabilidad de la implementación del proyecto.....	51

INDICE DE FIGURAS

Figura 01. Localización del área y paso peatonal donde se realizó la investigación.....	09
Figura 02. Vista satelital del área y paso peatonal “A”.....	10
Figura 03. Ubicación de las luminarias circulares tipo farola en la Plaza de Armas de Jaén.....	14
Figura 04. Histograma de tránsito peatonal y vehicular por hora.....	20
Figura 05. Histograma de tránsito peatonal y vehicular por día.....	20
Figura 06. Medición de las áreas del paso peatonal.....	22
Figura 07. Dimensiones del paso peatonal.....	22
Figura 08. Efecto piezoeléctrico en los discos de cerámica PZT.....	26
Figura 09. Prueba del disco piezoeléctrico para generación de tensión.....	27
Figura 10. Configuración de los discos piezoeléctricos en paralelo.....	28
Figura 11. Diseño en AutoCAD de la configuración de los discos piezoeléctricos en paralelo.....	29
Figura 12. Circuito de la configuración de los discos piezoeléctricos en paralelo en una fuente ideal.....	29
Figura 13. Configuración de los discos piezoeléctricos en serie.....	30
Figura 14. Diseño en AutoCAD de la configuración de los discos piezoeléctricos en serie.....	30
Figura 15. Circuito eléctrico de la configuración de los discos en serie.....	31
Figura 16. Agrupación del sistema piezoeléctricos 0.52 m x 0.52 m.....	31
Figura 17. Diseño en AutoCAD de la configuración de los discos piezoeléctricos.....	32
Figura 18. Circuito eléctrico de la configuración de los discos piezoeléctricos.....	32
Figura 19. Pruebas de laboratorio con peatones y registro de la tensión generada.....	33
Figura 20: Pruebas de laboratorio con vehículo (moto lineal).....	35
Figura 21: Ensayo de laboratorio con vehículo (auto).....	35
Figura 22. Esquema pictográfico del sistema de generación piezoeléctrica.....	42

RESUMEN

El presente trabajo de investigación muestra el aprovechamiento de la energía piezoeléctrica usando el método de cosecha de energía a través de una red distribuida especialmente que colectan la energía a través de baterías, ofreciendo así aplicar una nueva forma de generación de energías limpias. En ese sentido, la principal motivación para desarrollar esta investigación se basa en implementar un servicio público que a la vez sirva para concientizar a las personas sobre el uso de energía renovables. Por lo tanto, se determinó que un lugar idóneo para implementarlo es la Plaza de Armas de la ciudad de Jaén, ya que es un lugar muy transitado por personas y vehículos durante todo el día. Se realizó una evaluación de la transitabilidad peatonal y vehicular logrando así ubicar la mejor zona de tránsito, donde se realizó un registro durante un mes obteniendo como resultado 35334 peatones, 317 ciclistas, 316724 moto lineales, 19355 autos y 32988 pick up. Estos datos fueron utilizados para el cálculo de generación de energía piezoeléctrica, obteniendo como potencia de generación de energía de 18 975.60 kWh al año, con una inversión total de S/. 18 9756.00, un ahorro monetario de S/. 9 413.79 al año y un retorno de inversión de 3.7 años. El sistema también utilizará 8 baterías en conexión en paralelo, un regulador de carga STECA PR 10ª y un inversor de carga de 1.5 kW. Se reitera que la aplicación de este tipo de proyectos renovables en zonas públicas de alto tránsito, no necesariamente se propone suplir la demanda actual de energía para las aplicaciones citadas, sino que el principal objetivo es demostrar el concepto y concientizar a la población sobre la factibilidad y a la vez necesidad de usar energías renovables.

Palabras claves: Generación energía piezoeléctrica, energías limpias, transitabilidad vehicular, conexión en paralelo, inversor de carga

SUMMARY

This research work shows the use of piezoelectric energy using the method of energy harvesting through a specially distributed network that collects the energy through batteries, thus offering to apply a new form of clean energy generation. In that sense, the main motivation to develop this research is based on implementing a public service that at the same time serves to raise awareness among people about the use of renewable energy. Therefore, it was determined that an ideal place to implement it is the Plaza de Armas in the city of Jaen, since it is a place that is heavily traveled by people and vehicles throughout the day. An evaluation of the pedestrian and vehicular traffic was carried out, thus achieving to locate the best traffic area, where a registration was made during a month obtaining as a result 35334 pedestrians, 317 cyclists, 316724 linear motorcycles, 19355 cars and 32988 pick ups. These data were used to calculate the generation of piezoelectric energy, obtaining as a generation power 1507 kWh/month, with a total investment of S/. 24,608.90, a monetary saving of S/. 10,243.27 per year and a return on investment of 3.7 years. The system will also use 8 batteries in parallel connection, a STECA PR 10^a charge regulator and a 1.5 kW load inverter. It is reiterated that the application of this type of renewable projects in public areas of high traffic, does not necessarily aim to meet the current demand for energy for the applications mentioned, but the main objective is to demonstrate the concept and raise awareness among the population about the feasibility and at the same time the need to use renewable energy.

Keywords: Piezoelectric power generation, clean energy, vehicle trafficability, parallel connection, load inverter.

I. INTRODUCCION:

Las necesidades de mejorar nuestra vida y hacerla más confortable cada día promueve el desarrollo de nuevas tecnologías, modernos artefactos eléctricos y electrónicos que faciliten nuestras actividades diarias. Ello está muy vinculado también al crecimiento respectivo de la demanda energética, lo cual motiva la concientización sobre la generación de energía eléctrica con fuentes sostenibles económica y ambientalmente.

Se han iniciado esfuerzos globales por usar energías renovables, y ello nos motiva a buscar y aplicar alternativas de generación de energías limpias que ofrezcan dicha sostenibilidad. No siendo indiferente en nuestra ciudad de Jaén el crecimiento de la demanda energética, se planteó la implementación de una alternativa de generación de energía disponible, una tecnología muy poca conocida en nuestro país que es la energía piezoeléctrica.

En la tesis de Diego Armando Tamayo Zapata y Natalia Katherine Cardozo Gutiérrez, titulada “EL USO DE PIEZOELÉCTRICOS PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA SOSTENIBLE COMO PROYECTO PILOTO EN UN PERFIL VIAL DE BOGOTÁ”, con el motivo de optar el título de Ingeniero(a) Civil en la Universidad católica de Colombia, facultad de ingeniería civil en el año 2017 en la ciudad de Bogotá; se propuso optar una alternativa y tecnológicos futuros para las vías de Bogotá, que busquen la generación de Energías limpias y sostenibles capaces de suplir las necesidades de iluminación de la misma vía y con esto contribuir a la protección del medio ambiente (Tamayo, Zapata y Cardozo, 2017).

Es por ello que en esta investigación se impulsó el uso de métodos de “Cosecha de Energía” o “Energy Harvesting” a través de una tecnología muy poco conocida en nuestro país que son los discos de generación piezoeléctrica (PZT). La energía piezoeléctrica hace uso de la energía mecánica que se genera con el movimiento de todo los cuerpos y objetos en movimiento en este mundo. Esta energía no ha venido siendo aprovechados sino hasta el desarrollo de esta tecnología, aunque aún no está masificado su uso. De este modo, esta es una nueva estrategia de fuente de energía renovable en nuestro país y por ende en la ciudad de Jaén.

El efecto piezoeléctrico describe la relación entre un esfuerzo a tensión mecánica y un voltaje eléctrico, relación que puede darse en ambos sentidos. Esta capacidad la tienen ciertos materiales como los minerales, cerámicas y algunos polímeros, que producen una carga eléctrica en respuesta a un esfuerzo mecánico aplicado sobre ellos.

Debido a que esta fuente de energía es muy abundante y poco aprovechada, se vio importante tener que llevar a cabo esta investigación, debido a que en el Perú este tipo de tecnología es poco conocida y aprovechada, tampoco existen estudios similares en la Provincia de Jaén.

En esta investigación se brinda datos reales de aprovechamiento y generación de energía piezoeléctrica, además de generar una línea de base de investigación ya que en la Provincia de Jaén no existe ningún estudio realizado a la fecha, lo cual permitirá formular nuevos planteamientos e interrogantes de investigación.

1.1 ANTECEDENTES:

✓ NIVEL INTERNACIONAL:

En la investigación de Andres Felipe Jaramillo, Mayker Guillermo Lopez Y Kelly Johana Muñoz, titulada “DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BALDOSAS INTELIGENTES DE ALTO TRAFICO PARA LA IMPLEMENTACION EN EL SISTEMA DE TRANSPORTE PUBLICO TRANSMILENIO DE LA CIUDAD DE BOGOTA”, para obtener el título de Ingeniero de Telecomunicaciones en la Universidad Piloto de Colombia en el año 2018 en la ciudad de Bogotá, en la cual se propuso el diseño de un prototipo de baldosa que sería probada en la estación de Transmilenio de San Mateo, con la finalidad de analizar la potencia que se puede generar por un minuto en una estación tan concurrida como esta. Se diseñó la baldosa Piezoeléctrica, teniendo en cuenta el tráfico pesado a la cual se va exponer y teniendo en cuenta diferentes técnicas de conectividad de los discos piezoeléctricos llegando a la estimación de la potencia generada en la estación según la cantidad de baldosas que se requieran (Jaramillo, López y Muñoz, 2018).

De igual manera en la tesis de Diego Armando Tamayo Zapata y Natalia Katherine Cardozo Gutiérrez, titulada “EL USO DE PIEZOELÉCTRICOS PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA SOSTENIBLE COMO PROYECTO PILOTO EN UN PERFIL VIAL DE BOGOTÁ”, con el motivo de optar el título de Ingeniero(a) Civil en la Universidad católica de Colombia, facultad de ingeniería civil en el año 2017 en la ciudad de Bogotá; se propuso optar una alternativa y técnicas futuras para las vías de Bogotá, que busquen la generación de Energías limpias y sostenibles capaces de suplir las necesidades de iluminación de la misma vía y con esto contribuir a la protección del medio ambiente (Tamayo y Cardozo, 2017).

✓ NIVEL NACIONAL:

En la investigación de Miguel Angel Nuñez Culqui, titulada “APROVECHAMIENTO DE LA TECNOLOGIA PIEZOELECTRICA PARA LA GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA EN LA PISTA DE BAILE DE LA DISCOTECA LA CAYET-DISTRITO DE SORITOR-DEPARTAMENTO DE SAN MARTIN”, para optar el título profesional de Ingeniero mecánico electricista en la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo de Lambayeque-Perú en el año 2018, donde presento que existía una demanda energética en la discoteca LA CAYET debido al crecimiento de dicha discoteca y la preocupación de brindar un mejor servicio, se plantea la implementación de esta energía renovable, la cual además de contribuir a la reducción del calentamiento global por consumo de energías convencionales, reducirá los montos de la facturación mensual por consumo energético de la red eléctrica existente. Planteo la utilización de una innovadora tecnología llamada Piezoeléctrica que a partir de la fuerza ejercida en cada pisada de las personas que acuden a este local bailable. Conociendo, que se trabajara en un área de 15 m² en la pista de baile, donde permanecen en promedio 75 personas liberando 4806,76 joule de energía mecánica los que serán aprovechados por los generadores piezoeléctricos (Núñez, 2018).

De igual manera en la tesis de Moreno Rodriguez Estuardo Jesus y Sernaque Puertas Jose Manuel, titulada “DISEÑO DE BALDOSAS CON GENERADORES PIEZOELÉCTRICOS PARA LA ILUMINACION DEL PÓRTICO DE LA UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN”, para optar el titulado profesional de Ingeniero Mecánico Electricistas en la Universidad Señor de Sipán de Pimentel-Perú en el año 2015 en la ciudad de Pimentel, donde se planteó un sistema de generación de energía eléctrica

renovable, con el diseño de baldosas y generadores piezoeléctricos que tienen la capacidad de transformar la energía cinética residual en energía eléctrica, proveniente de peatones y vehículos para transformarla en una energía totalmente limpia, renovable y ecosustentable; la cual puede ser almacenada en una batería y luego utilizada como alimentación para un sistema de iluminación para el pórtico de la Universidad. Dando como resultados el logro del principal propósito del proyecto que es diseñar baldosas con generadores piezoeléctricos para producir una determinada generación eléctrica de 2004.48 w-h producida por los transeúntes, para alcanzar energizar el pórtico de la universidad Señor de Sipán (Moreno y Sernaque, 2015).

1.2 PROBLEMÁTICA:

Pese al crecimiento progresivo y la reducción de los costes de las fuentes de energía renovable, el carbón, el petróleo y el gas siguen siendo el pilar que sostiene un consumo de energía que no para de crecer a escala global. La transición energética también se ve amenazada por tensiones geopolíticas y comerciales y por la disminución de las inversiones en energía limpia que en la actualidad el incremento de la demanda, consumo de energía y las dificultades que existen para satisfacer esta demanda con las fuentes de energía disponibles, están prefigurando un escenario de crisis energética en el Perú enfocándose en buscar nuevas alternativas de como compensar y solventar las necesidades energéticas que nuestra nueva sociedad tecnológica requiere. Muchas empresas y profesionales están motivados y comprometidos en la búsqueda de nuevas alternativas para poder desarrollar nuevas fuentes de energía eléctrica. Es por ello que en este proyecto de investigación se propone impulsar el uso de métodos de “Cosecha de Energía” o en inglés “Energy Harvesting” a través de una tecnología muy poco conocida en nuestro país que es la energía piezoeléctrica. La energía piezoeléctrica hace uso de la energía mecánica disponible de todo ser y objeto en movimiento. Esta energía no ha venido siendo aprovechados sino hasta el desarrollo de esta tecnología, aunque aún no está masificado su uso. No obstante, en el pasado se ha usado para energizar temporalmente juguetes parlantes, por ejemplo, para producción de sonidos y expresiones en muñecas. De este modo, esta es una nueva estrategia de fuente de energía renovable en nuestro país y por ende en la ciudad de Jaén.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:

¿Se podrá generar suficiente energía eléctrica para abastecer ciertas aplicaciones y servicios de iluminación en la plaza de armas de Jaén-Perú a partir de materiales piezoeléctricos como transductores de energía mecánica producida por la circulación de vehículos y peatones?

1.4 HIPOTESIS:

El adecuado dimensionamiento de dispositivos Piezoeléctricos si permitirá generar energía eléctrica de soporte para ciertas aplicaciones y servicios de iluminación a partir de la circulación de vehículos y peatones en la plaza de armas de Jaén-Perú

1.5 JUSTIFICACIÓN:

En el transcurso de los años el crecimiento de la población mundial y la necesidad de la misma en vivir en buen confort han generado adaptarse a tecnologías que facilitan la forma de vivir de las personas, las cuales generan altos consumos de energía eléctrica convencional ya que estos hacen usos de fuentes fósiles para generarlas. La creciente demanda de energía en el mundo es cada vez mayor y ha dejado expuesta la gran necesidad y realidad para las grandes compañías energéticas de la desproporción en la relación de los recursos que demanda para satisfacer la necesidad de la población y la gran crisis energética que el mundo empezó a sufrir gracias al agotamiento de las fuentes fósiles.

En la búsqueda de nuevas formas de energías, se expuso sobre un concepto innovador sobre energías alternativas que están presentes en la naturaleza, que se basan en los flujos y ciclos naturales del planeta, que se pueden regenerar y que usadas con responsabilidad no destruyen el medio ambiente en el que vivimos. Las energías renovables pueden frenar muchos de los problemas ambientales como el calentamiento global, la lluvia acida y la contaminación de la atmosfera. Así como impulsar el uso de nuevas energías renovables o alternativas asegura una generación de energía eco sostenible a largo plazo y con esta a la reducción de gases tóxicos para el medio ambiente.

La electricidad generada por este tipo de fuente renovable suele ser del aprovechamiento de la energía solar, viento y agua, esta última es la más usada en el Perú, la cual en

nuestro sistema se encuentra saturado por el gran incremento de la industria peruana, el calentamiento global y la contaminación de nuestros ríos que es la principal fuente de generación de energía eléctrica.

La generación de diferentes formas de energía se encuentra en todos lados, uno de los ejemplos más claros es el desplazamiento de personas directa o indirectamente al realizar diferentes tipos de ejercicios o actividades, en las cuales liberan energía potencial, calorífica, cinética y otras. Este tipo de energía es desperdiciada en forma de fricción y eventualmente calor. Según estudios recientes este tipo de energías pueden ser recuperadas y transformadas en energía eléctrica que pueden ser usadas en iluminación de interiores o exteriores de cualquier tipo de ambiente o para cualquier otra aplicación de bajo consumo energético como actualmente representa los servicios de carga de baterías de dispositivos móviles o para los servicios WiFi.

Lo mencionado anteriormente es razón por la cual se realizó el estudio para el aprovechamiento de la ya citada energía piezoeléctrica a través de una de las técnicas de recuperación de energía, que provoca la presión y fricción que se realiza durante la circulación de vehículos y personas.

Este tipo de técnica es muy poca conocida localmente y puede promover en un futuro a la investigación e implementación de temáticas a nivel del Perú. Asimismo, lograr fortalecer los conocimientos en materia de nuevas tecnologías para la generación de energías alternativas que sean eco-sostenibles y ayuden a reducir la contaminación de la atmosfera. Gracias a la generación de este tipo de energías se contribuye al desarrollo de un ambiente saludable y libre de contaminantes tóxicos que puedan afectar la salud del ser humano y del medio ambiente, ya que este tipo de tecnología Piezoeléctrico no requiere de ningún tipo de energía adicional para su funcionamiento, porque trabaja con energía cinética residual liberada del movimiento corporal de las personas al caminar.

Esta aplicación de proyectos renovables en zonas públicas de alta transitabilidad, no necesariamente van a abastecer la demanda actual de energía que requieren las aplicaciones propuestas, sino que el principal objetivo es demostrar el concepto de funcionamiento de la energía piezoeléctrica y concientizar a la población sobre la factibilidad y uso de las energías renovables.

II. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL:

- ✓ Desarrollar prototipo de generador de energía eléctrica con dispositivos piezoeléctrico para aplicaciones de servicio público de bajo consumo energético en la plaza de armas de Jaén-Perú.

2.2 OBJETIVO ESPECIFICO:

- ✓ Calcular la demanda máxima promedio de energía eléctrica que se consumiría principalmente para iluminación y opcionalmente para el servicio Wifi.
- ✓ Estimar la energía mecánica, requerida para la generación eléctrica, acorde a los recursos disponibles basado en la transitabilidad de vehículos y personas en la plaza de armas de Jaén-Perú.
- ✓ Evaluar la mejor ubicación, número y geometría del arreglo de dispositivos piezoeléctricos.
- ✓ Demostrar a través de prototipo a escala la factibilidad técnica de esta tecnología.
- ✓ Evaluar la viabilidad económica de utilizar tecnología Piezoeléctrica para la aplicación propuesta.
- ✓ Contribuir con los esfuerzos globales para demostrar la factibilidad y respectiva concientización en la población acerca del uso de las energías renovables.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO:

3.1.1 UBICACIÓN GEOGRAFICA:

El área donde se aplicó este proyecto es la Plaza De Armas de Jaén-Perú, la cual se encuentra ubicada según las coordenadas: Latitud -5.705819, Longitud -78.806311.

En la Figura 01 se muestra una vista satelital de la plaza de armas de la ciudad de Jaén donde se realizó el estudio.

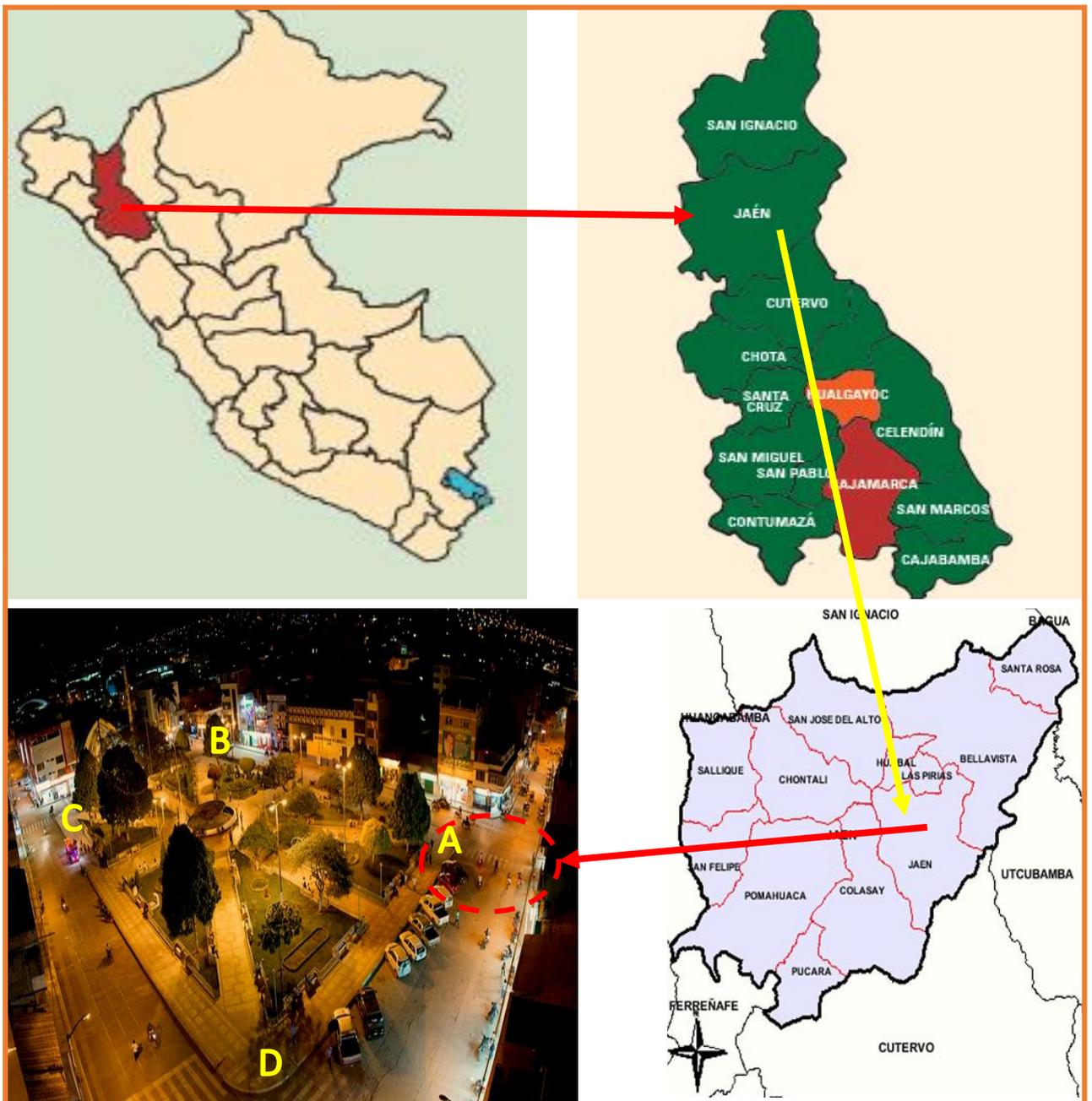


Figura 01: Localización del área y paso peatonal donde se realizó la investigación en la esquina con etiqueta A. Fuente: Elaboración propia.

Se desarrolló la investigación en la esquina “A” de la Plaza de Armas de Jaén por ser la avenida más transitada, activa y por tener conexiones con el principal puente de la ciudad, la Avenida Mesones Muro y la Avenida Pakamuros, considerando así la esquina de mayor afluencia vehicular y peatonal.



Figura 02: Vista satelital del área y del paso peatonal “A” donde se realizó el estudio, correspondiente a la Plaza de Armas de la ciudad de Jaén (Latitud -5.705819, Longitud -78.806311).

Fuente: Google Earth.

3.2 VARIABLES

3.2.1. VARIABLE DEPENDIENTE:

- Generación de energía eléctrica producida por materiales piezoeléctricos.

3.2.2. VARIABLE INDEPENDIENTE:

- Energía mecánica producida por el tránsito vehicular y peatonal.

3.3 TIPO DE INVESTIGACIÓN:

Esta investigación es de tipo descriptiva y aplicada porque se aprovechó la tecnología existente sobre energías mecánicas residuales, a través de uno de los métodos de recuperación de energía, utilizando tecnología piezoeléctrica en la plaza de armas de Jaén y generando así energía eléctrica de soporte.

3.4 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN:

La investigación se ubicó en un plano descriptivo y aplicado porque se aprovechó la tecnología existente para recuperar la energía residual generada por el tránsito vehicular y peatonal y poder convertirla a energía eléctrica utilizable.

3.5 TIPO DE MUESTRA:

Probabilístico Aleatorio Simple, se aplica por que la muestra estadística a formar en el entorno próximo al investigador, sin que medien requisitos específicos facilitando el trabajo de quien desarrolla el estudio, generalmente son seleccionados en función de su accesibilidad y proximidad a la Plaza de Armas Jaén-Perú y a criterio personal e intencional del investigador.

3.6 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.6.1. POBLACIÓN

Esta investigación se realizó en un corto estudio de población para definir la frecuencia de tránsito de vehículos y personas en la Plaza de Armas de Jaén. Sin embargo, este estudio no es la parte esencial de la presente investigación que se basa principalmente en el desarrollo tecnológico.

3.7 MATERIALES Y EQUIPOS

3.7.1 MATERIALES:

- Instrumentos básicos de medición eléctrica (e.g. multímetro o pinza amperimétrica).
- Placas piezoeléctricas (podría incluir nueva y/o residuales).
- Materiales eléctricos (cables, soldadura de estaño, etc.).
- Placas para alojar los dispositivos piezoeléctricos (e.g. Láminas de pisopack)
- Materiales de escritorio.
- Balanza para estimar la presión que realizan los vehículos y personas al transitar sobre el sistema.

3.8 TECNICA E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE MUESTRA.

Para esta investigación se usó las siguientes técnicas de recolección de datos:

- Medición:

A fin de determinar la frecuencia del tránsito vehicular y de personas en la Plaza de Armas de Jaén-Perú, de ser posible en función del tiempo sino de forma general debido a que se plantea el almacenamiento de la energía durante el día para su utilización en horario nocturno.

Se recurrió a información estadística ya disponible en las oficinas de tránsito de la MPJ y al ministerio de transportes sede-Jaén. Así mismo se elaboró una tabla de recolección de datos del tránsito vehicular y peatonal presente en la plaza de armas de Jaén. La Tabla 01 en la que se recolectó los datos en el horario de las 7 am a 10 pm y en lapsos de una hora, el número de peatones, ciclistas, moto lineal, auto y pick up. Siendo el instrumento principal para la recolección de los datos trabajados.

PROYECTO DE TESIS: "Generación de Energía Piezoeléctrica en La Plaza De Armas de Jaén-Perú para Iluminación y servicios WiFi público"						
EJECUTOR: JHAN CARLOS VEGA BOBADILLA				UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN		
FECHA:			CARRERA PROFESIONAL	IME		
UBICACIÓN						
CONTEO DEL TRÁNSITO VEHICULAR Y PEATONAL EN LA PLAZA DE ARMAS DE JAÉN QUE HAGA USO DEL PASO PEATONAL						
HORA	TIPO DE VEHÍCULO Y PEATÓN					
	PEATON	CICLISTA	MOTO LINEAL	AUTO	PICK UP	TOTAL
7 - 8 AM						
8 - 9 AM						
9 - 10 AM						
10 - 11 AM						
11 - 12 AM						
12 - 01 PM						
01 - 02 PM						
02 - 03 PM						
03 - 04 PM						
04 - 05 PM						
05 - 06 PM						
06 - 07 PM						
07 - 08 PM						
08 - 09 PM						
09 - 10 PM						
TOTAL						

Tabla 01: Conteo vehicular y peatonal. Fuente: Elaboración propia.

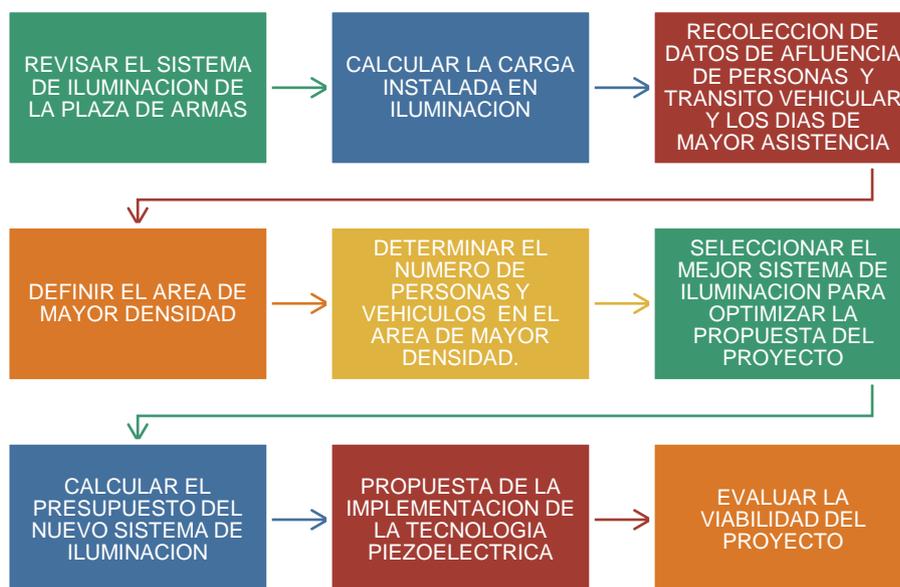
En la Tabla 01 se llevó a cabo el conteo vehicular y peatonal que circula en la Plaza de Armas de Jaén.

3.9 DESCRIPCIÓN DE LOS INSTRUMENTOS UTILIZADOS.

3.9.1 OBSERVACIÓN DIRECTA O INDIRECTA:

A través de las cuales se pueda estimar el transito promedio por hora en la Plaza de Armas de Jaén.

3.9.2 DIAGRAMA:



3.10 TECNICAS Y PROCEDIMIENTOS:

310.1 REVISION DEL SISTEMA DE ILUMINACION DE LA PLAZA DE ARMAS DE:

Se realizó la revisión del sistema de iluminación, marcando en la Figura 03 las luminarias con las que cuenta la "Plaza de Armas de Jaén y se pudo observar que las luminarias que se encuentran instaladas consumen demasiada energía y no brindan la eficiencia necesaria de iluminación según norma técnica peruana. Proponiendo así un nuevo sistema de iluminación, manteniendo la ubicación de las luminarias con las que ya cuenta la arquitectura de la Plaza de Armas de Jaén.



Figura 03: Ubicación de las luminarias circulares blanca tipo farola en la plaza de armas de Jaén.

3.10.2 CALCULO DE CARGA INSTALADA EN ILUMINACION:

Se desarrolló la siguiente Tabla 02 para calcular la carga en iluminación según se encuentra instalada en la Plaza de Armas de Jaén, dando por resultado 1.32 kW como carga total.

CALCULO DE LA CARGA INSTALADA EN ILUMINACIÓN EN LA PLAZA DE ARMAS DE JAÉN - PERÚ				
UBICACIÓN	N° DE LAMPARAS	TIPO DE LAMPARA	POT. UNIT(W)	CARGA. TOTAL (W)
CA. VILLANUEVA PINILLOS	4	INCANDESENTE	60	240
CA. BOLIVAR	2	INCANDESENTE	60	120
CA. MARISCAL CASTILLA	2	INCANDESENTE	60	120
CA. SAN MARTIN	4	INCANDESENTE	60	240
PARTE CENTRAL DEL PARQUE	10	INCANDESENTE	60	600
SUB-TOTAL(W)				1320
TOTAL(KW)				1.32

Tabla 02: Cálculo de carga instalada en iluminación en la plaza de armas de Jaén.

Fuente: Elaboración propia.

3.10.2.1 CALCULO DEL CONSUMO DE LA CARGA INSTALADA EN ILUMINACIÓN EN LA PLAZA DE ARMAS DE JAEN:

Se determinó el consumo diario resolviendo la Ecuación (1), obteniendo como consumo diario 15.84 kWh/día, considerando 12 horas de radiación solar promedio que hay en la ciudad que se encuentra cerca al ecuador geográfico. Esta es la demanda diaria de iluminación de la Plaza de Armas de Jaén.

$$C. \text{ diario} = P \times T \text{ (1)}$$

$$C. \text{ diario} = 1.32 \text{ kW} \times 12 \text{ h/d}$$

$$C. \text{ diario} = 15.840 \text{ kWh/d}$$

Dónde: P: Potencia en watts.

T: Tiempo de funcionamiento del equipo al día.

C. diario: Consumo diario kWh/día.

El desarrollo de la Ecuación (1), permitió establecer el consumo diario del sistema de iluminación que cuenta la Plaza de Armas de Jaén. Se estableció que el consumo en las 12 horas de funcionamiento es de 15.840 kW/día.

3.10.3 RECOLECCION DE DATOS DE AFLUENCIA DE PERSONAS Y TRANSITO VEHICULAR EN LA PLAZA DE ARMAS DE JAEN:

Localmente se sabe que la Av. Villanueva Pinillos es la más transitada debido a que tiene conexión directa con el puente principal de la ciudad, y conduce directamente a las dos principales avenidas de la ciudad, la Av. Mesones Muro y Av. Pakamuros. No obstante, se realizó la recolección de datos de transitabilidad peatonal y vehicular para demostrar brevemente la zona de mayor densidad y afluencia de tránsito usando la Tabla 01. Se tomaron muestras en las cuatro esquinas de la plaza de armas de Jaén A, B, C, D (Ver Figuras 1 y 2), en el cual se designó el control de tránsito peatonal y vehicular que en el periodo de 7 am a 10 pm que transitaron el día 05/08/2019, obteniendo los siguientes resultados que se muestran en la Tabla 03, 04, 05 y 06. Obteniendo así el área de mayor afluencia en el punto “A” (Figura 01) como ya se había indicado que es de conocimiento local.

- Se realizó la recolección de datos en la calle Alfonso Villanueva Pinillos (**punto A**), obteniendo los siguientes resultados mostrados en la Tabla 03.

PROYECTO DE TESIS: "Generación de Energía Piezoeléctrica en La Plaza De Armas de Jaén-Perú para Iluminación y servicios WiFi público"						
EJECUTOR: JHAN CARLOS VEGA BOBADILLA			UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN			
FECHA:	05/08/2019		CARRERA PROFESIONAL	IME		
UBICACIÓN	C.A ALFONSO VILLANUEVA PINILLOS					
CONTEO DEL TRÁNSITO VEHICULAR Y PEATONAL EN LA PLAZA DE ARMAS DE JAÉN QUE HAGA USO DEL PASO PEATONAL						
HORA	TIPO DE VEHÍCULO Y PEATÓN					
	PEATON	CICLISTA	MOTO LINEAL	AUTO	PICK UP	TOTAL
7 - 8 AM	98	2	654	45	78	877
8 - 9 AM	87	0	670	36	87	880
9 - 10 AM	85	1	786	56	89	1017
10 - 11 AM	76	0	756	48	97	977
11 - 12 AM	78	2	645	56	96	877
12 - 01 PM	80	1	567	59	89	796
01 - 02 PM	84	0	590	64	94	832
02 - 03 PM	98	1	634	54	89	876
03 - 04 PM	78	1	576	59	85	799
04 - 05 PM	56	2	675	35	83	851
05 - 06 PM	75	0	623	47	79	824
06 - 07 PM	85	0	567	38	89	779
07 - 08 PM	78	2	743	49	93	965
08 - 09 PM	65	1	789	56	85	996
09 - 10 PM	56	0	768	52	76	952
TOTAL	1179	13	10043	754	1309	13298

Tabla 03: Recolección del conteo de tránsito vehicular y peatonal de la calle Alfonso Villanueva Pinillos Plaza de Armas Jaén.
Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos en la Tabla 03, nos muestran que en el transcurso del día hubo desplazamiento de 1179 peatones, 13 ciclistas, 10043 moto lineal, 745 autos y 1309 pick up, haciendo un total de 13298 desplazamientos en el paso peatonal y vehicular en el punto "A" denotado en la Figura 01.

- Se recolectó datos de la calle Bolívar (**punto B**), donde se obtuvieron los siguientes resultados mostrados en la Tabla 04.

PROYECTO DE TESIS: "Generación de Energía Piezoeléctrica en La Plaza De Armas de Jaén-Perú para Iluminación y servicios WiFi público"					
EJECUTOR: JHAN CARLOS VEGA BOBADILLA			UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN		
FECHA:	05/08/2019		CARRERA PROFESIONAL	IME	
UBICACIÓN:	CA. BOLIVAR				
CONTEO DEL TRÁNSITO VEHICULAR Y PEATONAL EN LA PLAZA DE ARMAS DE JAÉN QUE HAGA USO DEL PASO PEATONAL					
HORA	TIPO DE VEHÍCULO Y PEATÓN				
	PEATON	CICLISTA	MOTO LINEAL	AUTO	PICK UP
7 - 8 AM	43	3	243	34	46
8 - 9 AM	32	1	234	32	48
9 - 10 AM	23	2	212	42	41
10 - 11 AM	12	1	256	35	36
11 - 12 AM	21	1	187	33	43
12 - 01 PM	23	3	168	59	36
01 - 02 PM	25	4	215	46	42
02 - 03 PM	14	3	209	43	48
03 - 04 PM	25	2	178	47	33
04 - 05 PM	16	2	225	32	31
05 - 06 PM	27	1	224	38	36
06 - 07 PM	16	1	231	32	42
07 - 08 PM	18	1	241	26	48
08 - 09 PM	32	3	254	42	53
09 - 10 PM	28	0	342	44	22
TOTAL	355	28	3419	585	605

Tabla 04: Recolección de datos de tránsito peatonal y vehicular en la calle bolívar plaza de armas de Jaén. Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 04 se obtuvieron como resultados del desplazamiento peatonal y vehicular en la calle Bolívar (Punto B), 355 peatones, 28 ciclistas 3419 moto lineal 585 autos y 605 pick up, siendo este un punto de menor desplazamiento que el punto "A".

- Se realizó la recolección de datos del desplazamiento peatonal y vehicular en la calle San Martín que corresponde al punto “C”, obteniendo los siguientes resultados en la Tabla 05.

PROYECTO DE TESIS: "Generación de Energía Piezoeléctrica en La Plaza De Armas de Jaén-Perú para Iluminación y servicios WiFi público"					
EJECUTOR: JHAN CARLOS VEGA BOBADILLA			UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN		
FECHA:	05/08/2019		CARRERA PROFESIONAL	IME	
UBICACIÓN:	CA. SAN MARTIN				
CONTEO DEL TRÁNSITO VEHICULAR Y PEATONAL EN LA PLAZA DE ARMAS DE JAÉN QUE HAGA USO DEL PASO PEATONAL					
HORA	TIPO DE VEHÍCULO Y PEATÓN				
	PEATON	CICLISTA	MOTO LINEAL	AUTO	PICK UP
7 - 8 AM	25	1	205	23	32
8 - 9 AM	36	1	213	32	43
9 - 10 AM	36	0	342	35	25
10 - 11 AM	47	0	205	37	36
11 - 12 AM	41	1	198	25	31
12 - 01 PM	58	1	243	21	26
01 - 02 PM	36	1	214	27	24
02 - 03 PM	46	0	217	34	28
03 - 04 PM	42	0	342	39	21
04 - 05 PM	48	1	306	25	21
05 - 06 PM	65	0	225	27	35
06 - 07 PM	44	1	234	31	31
07 - 08 PM	36	1	254	36	35
08 - 09 PM	36	1	265	42	34
09 - 10 PM	23	1	216	42	31
TOTAL	619	10	3679	476	453

Tabla 05: Recolección de datos de tránsito peatonal y vehicular en la calle San Martín Plaza de Armas de Jaén. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos en la Tabla 05 del desplazamiento vehicular y peatonal en la calle San Martín que corresponde al punto “C” resultaron, 619 peatones, 10 ciclistas, 3679 moto lineal, 476 autos y 453 pick up, se definió también como un punto de bajo tránsito peatonal y vehicular.

- Se finalizó con la recolección de datos en la calle Mariscal Castilla que le corresponde al punto “D” según se muestra en la Figura 01, obteniendo los siguientes resultados mostrados en la Tabla 06.

PROYECTO DE TESIS: "Generación de Energía Piezoeléctrica en La Plaza De Armas de Jaén-Perú para Iluminación y servicios WiFi público"					
EJECUTOR: JHAN CARLOS VEGA BOBADILLA			UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN		
FECHA:	05/08/2019		CARRERA PROFESIONAL	IME	
UBICACIÓN:	CA. MARISCAL CASTILLA				
CONTEO DEL TRÁNSITO VEHICULAR Y PEATONAL EN LA PLAZA DE ARMAS DE JAÉN QUE HAGA USO DEL PASO PEATONAL					
HORA	TIPO DE VEHÍCULO Y PEATÓN				
	PEATON	CICLISTA	MOTO LINEAL	AUTO	PICK UP
7 - 8 AM	23	1	235	32	35
8 - 9 AM	32	1	214	26	38
9 - 10 AM	34	0	324	27	25
10 - 11 AM	26	0	198	32	26
11 - 12 AM	15	1	342	25	23
12 - 01 PM	17	0	243	21	31
01 - 02 PM	34	0	201	24	37
02 - 03 PM	32	0	213	30	25
03 - 04 PM	36	0	265	35	21
04 - 05 PM	43	2	254	24	21
05 - 06 PM	56	1	214	27	33
06 - 07 PM	45	1	203	31	25
07 - 08 PM	47	1	203	36	35
08 - 09 PM	35	2	214	25	27
09 - 10 PM	25	0	216	42	30
TOTAL	500	10	3539	437	432

Tabla 06: Recolección de datos de tránsito peatonal y vehicular en la calle Mariscal Castilla Plaza de Armas de Jaén. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados logrados en la Tabla 06 que corresponden a la calle Mariscal Castilla nos dieron como resultado del desplazamiento peatonal y vehicular en esa área, 500 peatones, 10 ciclistas, 3539 moto lineal, 437 autos y 432 pick up.

3.10.4 EVALUACION DE TRANSITO VEHICULAR Y PEATONAL EN LA ZONA DE MAYOR AFLUENCIA (PUNTO A):

Luego de realizar la recolección de datos de transitabilidad peatonal y vehicular descrita en el ítem 3.10.3, se determinó que el área de mayor afluencia es la calle Alfonso Villanueva Pinillos. Por tanto, se decidió realizar la recolección de datos en el paso peatonal de la intersección de la calle Alfonso Villanueva pinillos y la calle Bolívar (Punto A, Figuras 1 y 2), durante 4 semanas calendarios. Durante esas 4 semanas, se cuantificó la circulación vehicular y peatonal en periodos de 1 hora, desde las 7 am hasta las 10 pm. La información se presenta en distribuciones de ocurrencia respecto a hora del día y respecto a día de semana como se muestra en las Figura 04 y 05 respectivamente. Y finalmente se obtuvo la siguiente información presentada en la Tabla 07 durante el periodo mencionado de recolección de datos de transitabilidad peatonal y vehicular.

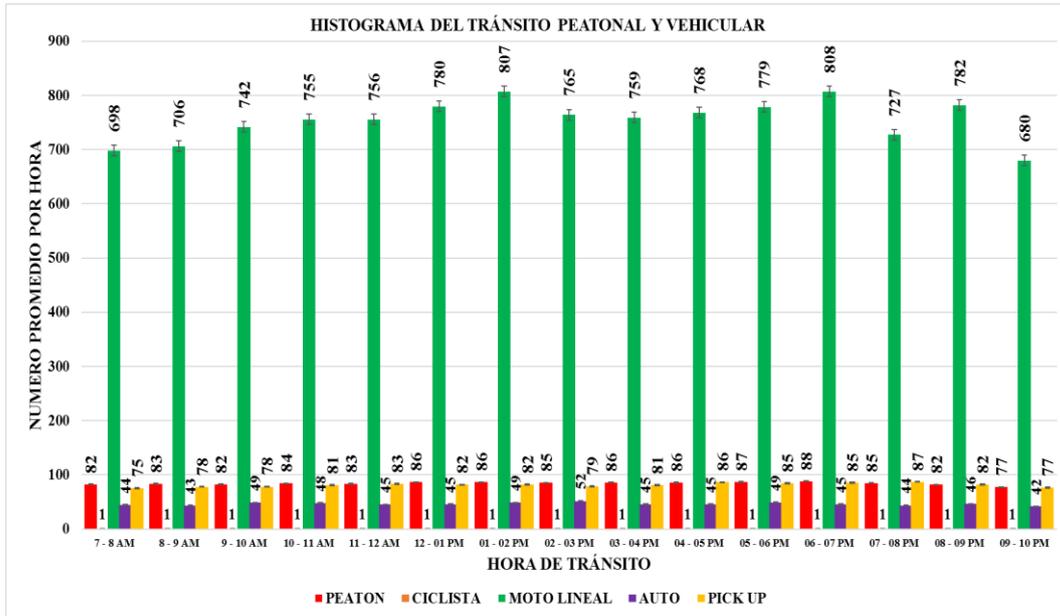


Figura 04. Histograma promedio (4 semanas) del tránsito peatonal y vehicular por hora.

Fuente: Elaboración propia

Se definió el promedio por hora de cada usuario que haga uso del paso peatonal y vehicular, los resultados que se obtuvieron se muestran en la Figura 04, donde se brinda la información correspondiente al tránsito peatonal y vehicular que existiría en esa área de investigación por cada hora encuestada en el punto A.

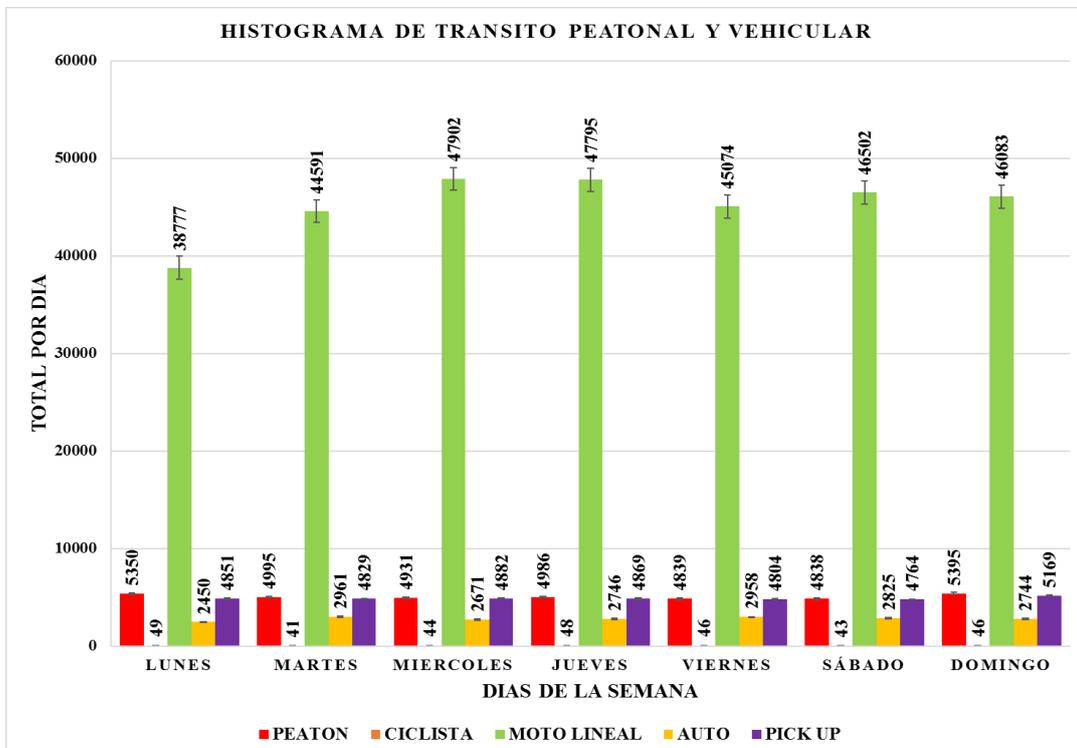


Figura 05. Histograma promedio (4 semanas) del tránsito peatonal y vehicular por día de semana.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 05 se realizó la sumatoria del tránsito peatonal y vehicular, agrupándolos en días de la semana y poder así verificar que días existiría mayor transitabilidad en dicha área de estudio, obteniendo que los días miércoles y jueves son de mayor circulación vehicular como se muestran en los resultados obtenidos.

Finalmente se realizó la cuantificación total por semana del tránsito peatonal y vehicular que circula en dicho paso peatonal, donde se obtuvo los resultados mostrados en la Tabla 07, que se realizó del 05 de agosto al 01 de setiembre del 2019 en la calle Alfonso Villanueva Pinillos, punto “A”, señalado en la Figura 01, abarcando 4 semanas de recolección de datos.

"Generación de Energía Piezoeléctrica en La Plaza De Armas de Jaén-Perú para Iluminación y servicios WiFi público"						
EJECUTOR: JHAN CARLOS VEGA BOBADILLA			UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN			
FECHA:	05 DE AGOSTO AL 01 DE SETIEMBRE	CARRERA PROFESIONAL	IME			
UBICACIÓN:	CA. ALFONSO VILLANUEVA PINILLOS					
CONTEO TOTAL DEL MES DEL TRÁNSITO VEHICULAR Y PEATONAL EN LA PLAZA DE ARMAS DE JAÉN QUE HAGA USO DEL PASO PEATONAL						
FECHA	TIPO DE VEHÍCULO Y PEATÓN					
	PEATON	CICLISTA	MOTO LINEAL	AUTO	PICK UP	TOTAL
SEMANA 01	9495	93	81947	4912	9360	105807
SEMANA 02	8276	66	79086	4497	8259	100184
SEMANA 03	8222	76	79411	4934	7105	99748
SEMANA 04	9341	82	76280	5012	8274	98989
TOTAL	35334	317	316724	19355	32998	404728

Tabla 07: Frecuencia mensual de tránsito vehicular y peatonal, correspondiente al periodo de 4 semanas. Fuente: Elaboración propia.

Se registró en la Tabla 07 durante la semana 01 un total de 105807 usuarios, en la semana 02 un total de 100184 usuarios, en la semana 03 se registró un total de 997448 usuarios y en la semana 04 se obtuvo un total de 98989 usuarios. Para finalizar se realizó la suma de las cuatro semanas de estudio obtenido un total de 35334 peatones, 317 ciclistas, 316724 moto lineal, 19355 autos y 32998 pick up, donde se registró un total de 404728 usuarios del paso peatonal y vehicular.

3.10.5 DETERMINACIÓN DEL ÁREA DEL PASO PEATONAL:

Se realizó la medición del área del paso peatonal de la calle Alfonso Villanueva Pinillos intersección con la calle Bolívar (Figura 06).



Figura 06: Medición de las áreas del paso peatonal en esquina “Punto A”.

Luego se recreó el dimensionamiento de las áreas del paso peatonal y vehicular en el programa de diseño AutoCAD 2016 como se muestra en la Figura 07.

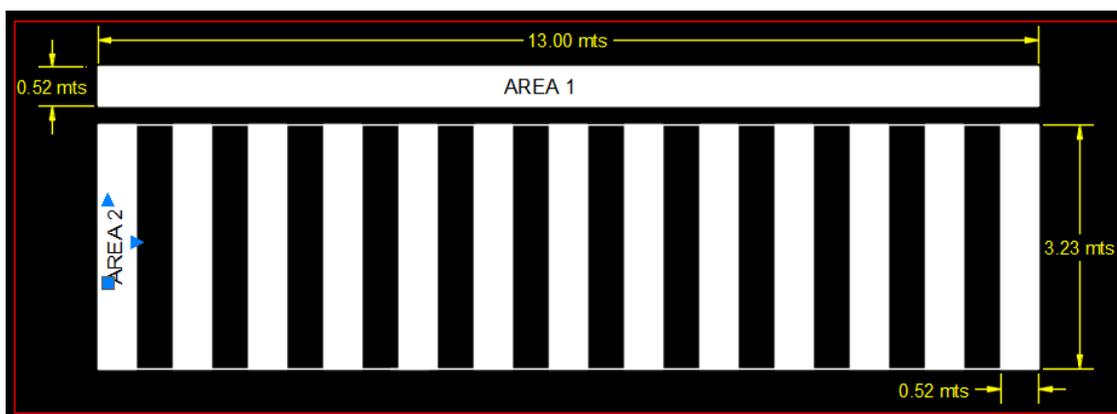


Figura 07: Dimensiones del paso peatonal.

Fuente: Elaboración propia Auto CAD 2016.

Finalmente se determinó el cálculo de las áreas del paso peatonal usando la Tabla 08 que a continuación describe, dimensiones de las áreas correspondientes al paso peatonal (área 2) y vehicular (área 1) de la zona ya seleccionada. Se obtuvo un área total de 48.75 m².

"Generación de Energía Piezoeléctrica en La Plaza De Armas de Jaén-Perú para Iluminación y servicios WiFi público"					
EJECUTOR: JHAN CARLOS VEGA BOBADILLA			UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN		
FECHA:	04 DE SETIEMBRE DEL 2019		CARRERA PROFESIONAL	IME	
CALCULO DEL AREA DE CORRESPONDIENTE A LAS LINEAS DEL PASO PEATONAL					
ITEM	LARGO (M)	ANCHO (M)	AREA (M2)	N° DE AREAS	TOTAL
AREA 1	13.00	0.52	6.76	1	6.76
AREA 2	3.23	0.52	1.68	25	41.99
TOTAL					48.75

Tabla 08: Cálculo de las áreas del paso peatonal. Elaboración: Fuente propia.

En la Tabla 08 se realizó el cálculo total del área 1 obteniendo 6.79 m² compartida en una sola sección y el área 2 un total de 41.99 m² compartida en 25 secciones como lo indica en la Figura 05.

3.10.6 SELECCIÓN DEL MEJOR SISTEMA DE ILUMINACIÓN PARA OPTIMIZAR EL FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO:

Se calculó la potencia instalada en iluminación en la Plaza de Armas de Jaén y considerando que existe un consumo excesivo de energía según lo muestra la Tabla 02 donde existe una potencia instalada de 1.32 kW, que resulta por consumo diario 15.84 kWh/día, se decidió proponer un nuevo sistema de iluminación con el cual se ahorre energía, sea más eficiente y cumpla con las normas correspondientes a las de iluminación (DGE) que estable 200 lux como mínimo en ambientes públicos como parque y plaza de armas, por lo cual se elaboró la Tabla 09.

CALCULO DE LA CARGA INSTALADA EN ILUMINACIÓN EN LA PLAZA DE ARMAS DE JAÉN - PERÚ								
UBICACIÓN	N° DE LAMPARAS	TIPO DE LAMPARA (LED)	POT. UNIT (W)	LUMEN (Lm)	ANGULO SOLIDO	ALTURA DE INSTALACIÓN	ILUMINANCIA (LUX)	CARGA. TOTAL (KW)
CA. VILLANUEVA PINILLOS	4	CIRCULAR TIPO FAROLA	38	2850	360°	2.5	36.29	0.152
CA. BOLIVAR	2	CIRCULAR TIPO FAROLA	38	2850	360°	2.5	36.29	0.076
CA. MARISCAL CASTILLA	2	CIRCULAR TIPO FAROLA	38	2850	360°	2.5	36.29	0.076
CA. SAN MARTIN	4	CIRCULAR TIPO FAROLA	38	2850	360°	2.5	36.29	0.152
PARTE CENTRAL DEL PARQUE	10	CIRCULAR TIPO FAROLA	38	2850	360°	2.5	36.29	0.38
PUNTO DE ACCESO A INTERNET (ROUTER)	2		30	2850	360°	2.5	36.29	0.06
SUB-TOTAL							217.74	0.896
TOTAL							798.38	0.896

Tabla 09: Nuevo sistema de Iluminación propuesto.

Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 09 se describió la ubicación, número de lámparas de acuerdo a la ubicación, el tipo de lámpara, potencia unitaria, capacidad de la lámpara en lumen

(Lm), carga total por ubicación y potencia total de 0.896 kW, que a comparación el sistema que se muestra en la Tabla 02, existiría un ahorro de 4.008 kWh/día. en el nuevo sistema de iluminación

3.10.6.1 CALCULO DEL CONSUMO DIARIO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN PROPUESTO:

Se estableció el consumo diario resolviendo la Ecuación (2), obteniendo como consumo diario 10.75 kWh/d, siendo esta la demanda diaria de iluminación de la Plaza de Armas de Jaén.

$$C. \text{ diario} = P \times T \quad (2)$$

$$C. \text{ diario} = 0.896 \text{ kW} \times 12 \text{ h/día}$$

$$C. \text{ diario} = 10.75 \text{ kWh/día}$$

Donde:

P: Potencia en watts.

T: Tiempo de funcionamiento del equipo al día.

C. diario: Consumo diario kWh/día.

Este valor es el consumo diario que se registró en el sistema de iluminación propuesto en las 12 horas de iluminación que tendrá la Plaza de Armas de Jaén obteniendo un valor de 10.75 kWh/día, que sería un equivalente de consumo aproximado de una refrigeradora doméstica en 24 horas de funcionamiento.

3.10.7 CALCULO DEL PRESUPUESTO PARA EL NUEVO SISTEMA DE ILUMINACIÓN Y GENERACIÓN DE ENERGIA PIEZOELECTRICA:

Teniendo en cuenta la propuesta del nuevo sistema de iluminación en la Plaza de Armas de Jaén. Se realizó el presupuesto de implementación incluido instalación del nuevo sistema de iluminación, los datos considerados se mencionan en la Tabla 10 que a continuación se muestra:

PRESUPUESTO PARA EL NUEVO SISTEMA DE ILUMINACIÓN EN LA PLAZA DE ARMAS DE JAÉN - PERÚ (NOVIEMBRE-2019)						
UBICACIÓN	UND	CANTIDAD	DESCRIPCION	POT. UNIT(W)	COSTO UNIT.	COSTO TOTAL
CA. VILLANUEVA PINILLOS	UND	4	CIRCULAR TIPO FAROLA	38	S/. 55.00	S/. 220.00
CA. BOLIVAR	UND	2	CIRCULAR TIPO FAROLA	38	S/. 55.00	S/. 110.00
CA. MARISCAL CASTILLA	UND	2	CIRCULAR TIPO FAROLA	38	S/. 55.00	S/. 110.00
CA. SAN MARTIN	UND	4	CIRCULAR TIPO FAROLA	38	S/. 55.00	S/. 220.00
PARTE CENTRAL DEL PARQUE	UND	10	CIRCULAR TIPO FAROLA	38	S/. 55.00	S/. 550.00
MANO DE OBRA	GLB	1	INSTALACION DE LUMINARIA		S/. 100.00	S/. 100.00
TOTAL(S/.)						S/. 1,310.00

Tabla 10: Presupuesto del nuevo sistema de iluminación.

Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 10 se definió el costo de la implementación del nuevo sistema de iluminación propuesto, que se realizó en noviembre del 2019, siendo un costo de implementación total de S/. 1310.00, siendo estas luminarias led circular tipo farola de 38 W, acordes a la que se utilizan en la Plaza de Armas de Jaén.

Para el desarrollo de esta investigación se consideró un presupuesto que a continuación en la Tabla 11 se describirán los parámetros que fueron considerados en la ejecución del proyecto de investigación.

"Generación de Energía Piezoeléctrica en La Plaza De Armas de Jaén-Perú para Iluminación y servicios WiFi público"				
PRESUPUESTO PARA EL DESARROLLO	UNIDA	METRADO	PARCIAL	COSTO
Formulación del proyecto				
Costos operativos para la elaboración de la formulación (Transporte, bibliografía)	Semana	3	50	150
Ampliación del Marco teórico				
Costos operativos para la elaboración del marco teórico	Semana	4	50	200
Elaboración de los instrumentos				
Recopilación de datos en campo (personal de apoyo)	Semana	4	300	1200
Estudio Del Aprovechamiento de la energía piezoeléctrica	Semana	2	0	0
Análisis de Demanda Máxima Promedio	Semana	2	100	200
Estimación de la Energía Mecánica	Semana	2	100	200
Estudio de viabilidad	Semana	2	100	200
Resultados Obtenidos	Semana	1	100	100
Desarrollo de la investigación				
Evaluación de la toma de datos	Semana	2	100	200
Adquisición de equipamiento y material para el prototipo	Global	1	400	400
Fabricación del prototipo (*)	Global	1	500	500
Costos para ensayos	Global	1	100	100
Impresiones	Global	1	150	150
COSTO TOTAL				3600

Tabla 11: Presupuesto invertido para el desarrollo de la investigación.

(*) Servicio técnico electrónico para construir el prototipo.

Global: La unidad de medida global abarca gastos mínimos, realizándose así un solo costo total para la implementación del trabajo que se realizó en dicho ítem. Fuente: Elaboración propia.

En Tabla 11 se muestra el costo total de S/. 3600.00 de la implementación de la investigación y el prototipo propuesto para realizar las pruebas de generación piezoeléctricas.

3.10.8 EQUIPOS Y PRINCIPIOS NECESARIOS PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN PIEZOELECTRICA:

- ✚ **EFFECTO PIEZOELECTRICO:** Es el fenómeno que ocurre en determinados cristales, que al ser sometidos a tensiones mecánicas en su masa adquieren una polarización eléctrica y aparece una diferencia de potencial y carga eléctrica en su superficie.
- ✚ **DISCOS PIEZOELECTRICOS:** También llamados transductor de energía mecánica, encargados de transformar la energía proveniente del tránsito vehicular y peatonal (energía mecánica) en energía eléctrica útil. Los discos piezoeléctricos utilizados son de cerámica **PZT** (Zirconato Titanato de Plomo). A continuación, en la Figura 08 se muestra como los cristales piezoeléctricos son deformados por la aplicación de una tensión externa en la superficie del cristal, debido a esto aparecen cargas eléctricas cuya polaridad depende de la dirección de la tensión.

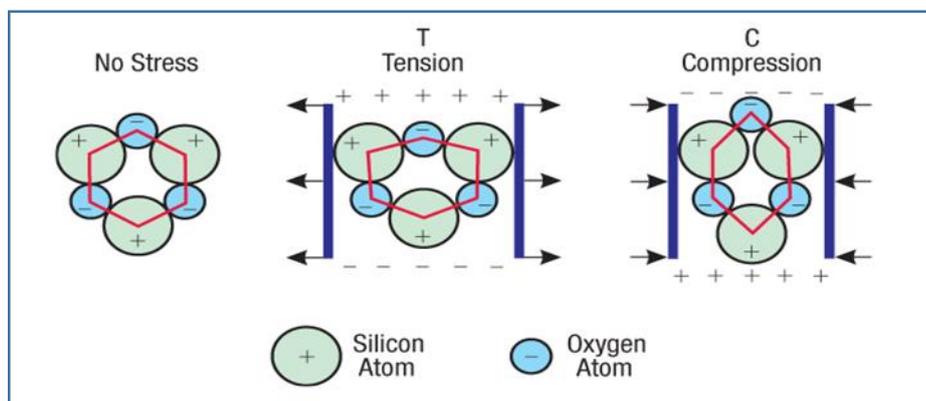


Figura 08: Efecto piezoeléctricos en los discos de cerámica PZT. Notar la polaridad de la carga correspondiente a la presión y compresión mecánica sobre material piezoeléctrico.

Esta es una representación esquemática del comportamiento eléctrico de las moléculas y átomos en un material piezoeléctrico. En la que describe el efecto piezoeléctrico y la generación de energía en base al movimiento de los átomos en las moléculas en un cristal. Todos los compuestos piezoeléctricos están hechos de iones (átomos que han ganado o perdido electrones) y por lo tanto acumulan carga eléctrica.

Los cristales piezoeléctricos están compuestos de iones positivos y negativos de manera alterna. La tensión y la compresión del material causa que se acerquen y alejen estos iones positivos y negativos creando un gradiente de energía en el cristal, que permite a su vez que fluya una corriente eléctrica.

- ✚ **PUENTE DE DIODOS:** Es un circuito electrónico capaz de rectificar la energía alterna en energía continua y producir una corriente con polaridad estable.

- ✚ **REGULADOR:** Este equipo limita la velocidad a la que la corriente eléctrica se suma o se extrae de la batería, capaz de brindar protección de una sobre carga o descarga excesiva.

- ✚ **BATERIA:** Son dispositivos de almacenamiento que consisten en una o más celdas químicas capaz de convertir la energía química en energía eléctrica.

- ✚ **INVERSOR:** Este equipo transforma la corriente continua de baja tensión a corriente alterna con una tensión de 220 V y frecuencia de 60 Hz utilizada por las luminarias.

3.10.9 RECOLECCIÓN DE DATOS DEL SISTEMA DE GENERACIÓN PIEZOELECTRICO:

Se desarrolló un prototipo de generador piezoeléctricos donde se utilizaron discos de generación PZT (Zirconato de Titanato de Plomo) y obtener así muestras reales de generación de energía piezoeléctrica. Realizamos diferentes configuraciones de los discos piezoeléctricos y encontramos los siguientes resultados al medir la corriente y tensión:

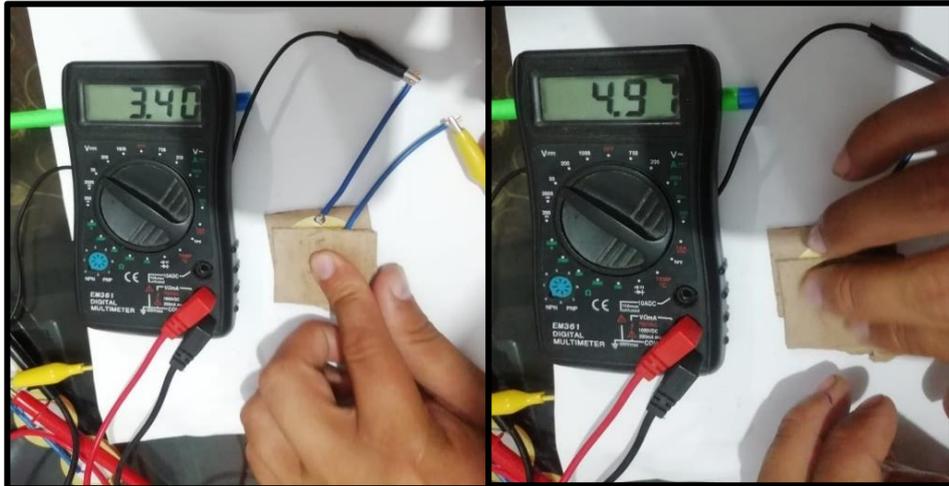


Figura 09: Prueba generación eléctrica aplicando presión en disco piezoeléctrico.

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó 10 pruebas al disco piezoeléctrico, de la cuales obtuvimos los siguientes resultados que a continuación en la Tabla 12 quedaron registrados; dándonos así un promedio de tensión, corriente y desviación estándar.

PRUEBA N°	TENSIÓN REGISTRADA (V)	CORRIENTE REGISTRADA (mA)
1	3.90	12
2	3.26	10
3	2.83	6
4	3.40	12
5	3.28	9
6	3.34	13
7	3.16	11
8	2.26	10
9	2.39	14
10	4.97	12
TOTAL PROMEDIO	3.28	10.90
DESVIACION ESTANDAR	0.77	2.28

Tabla 12: Tensión, corriente y desviación estándar de un disco piezoeléctrico.

Fuente: elaboración propia.

Las pruebas se realizaron de forma manual como se muestra en la Figura 09, donde se obtuvo un valor de tensión promedio de 3.24 V y corriente de 10.90 mA en las pruebas realizadas al disco piezoeléctrico.

PRUEBA N°01:

Al obtener los resultados de las pruebas realizadas en la Tabla 12 y tener la necesidad de aumentar la corriente de generación, se procedió a armar configuraciones de los discos en circuitos paralelo como se muestra en la Figura 10 y poder así aumentar la corriente de generación por un disco piezoeléctrico.

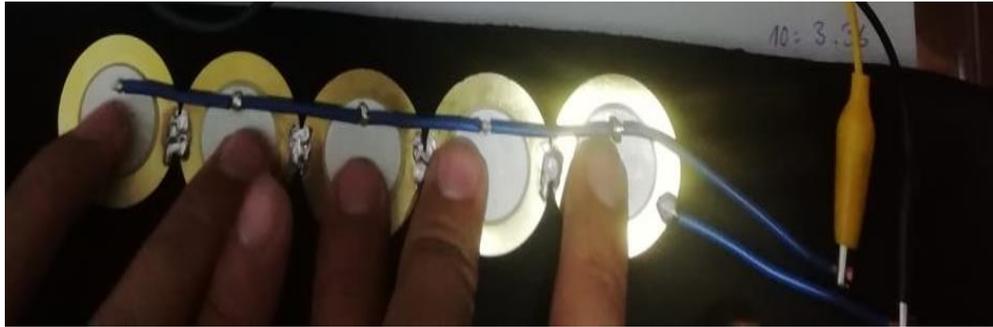


Figura 10: Configuración de los discos piezoeléctricos en paralelo.

Fuente: Elaboración propia.

Después de haber armado la configuración de los discos en paralelo, se realizó la representación esquemática del circuito eléctrico en AutoCAD 2016 de la configuración real realizada, cual se muestra en la Figura 11.

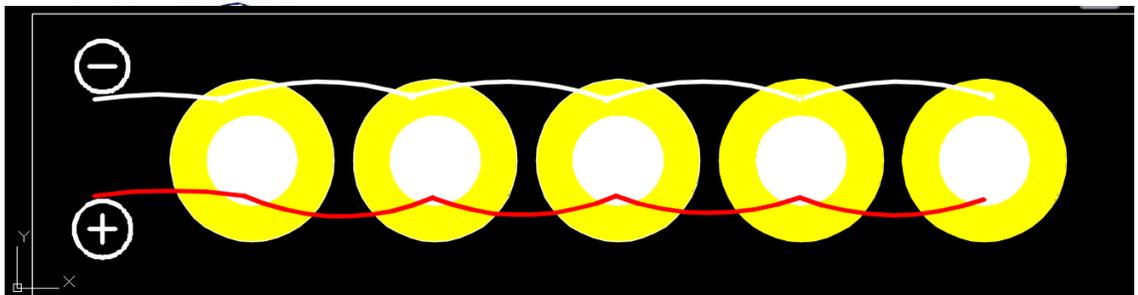


Figura 11: Representación en Auto CAD de la configuración de los discos piezoeléctricos en paralelo.

Fuente: Elaboración Propia.

A continuación, se simplificó el circuito eléctrico a solo una fuente ideal para propósitos didácticos fundamentales y así entender el comportamiento principal, el arreglo eléctrico ideal se realizó en la Figura 12.

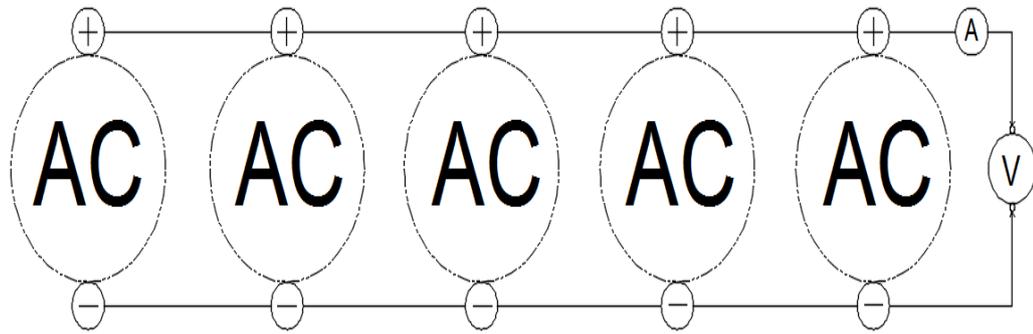


Figura 12: Circuito equivalente de la configuración de los discos piezoeléctricos en paralelo asumiéndolos como una fuente ideal AC.

Fuente: Elaboración Propia.

En este diseño que se realizó en la Figura 12, es un circuito ideal con el fin de entender mejor el funcionamiento principal de los discos piezoeléctricos considerándolos como fuentes independientes de generación eléctrica. Con esta configuración se acumula la corriente generada por cada piezoeléctrico conservando su mismo voltaje.

PRUEBA N°02:

Fue necesario alcanzar la tensión aproximada a 12 V para la generación, decidiendo así configurar en serie, 8 discos agrupados en paralelo, tal como se muestra en la Figura 13 y poder así completar la tensión requerida por el regulador para la carga de batería usados en esta investigación.



Figura 13: Configuración de los discos piezoeléctricos, 8 columnas verticales en paralelo, conectadas todas a su vez en serie.

Fuente: Elaboración propia.

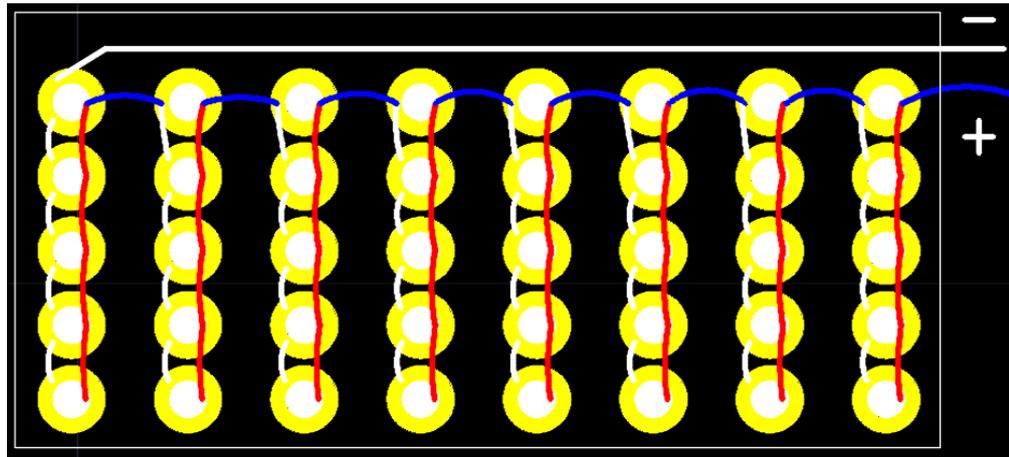


Figura 14: Representación esquemática en AutoCAD de la configuración de los discos piezoeléctricos, 8 columnas verticales en paralelo, conectadas todas a su vez en serie.

Fuente: Elaboración Propia.

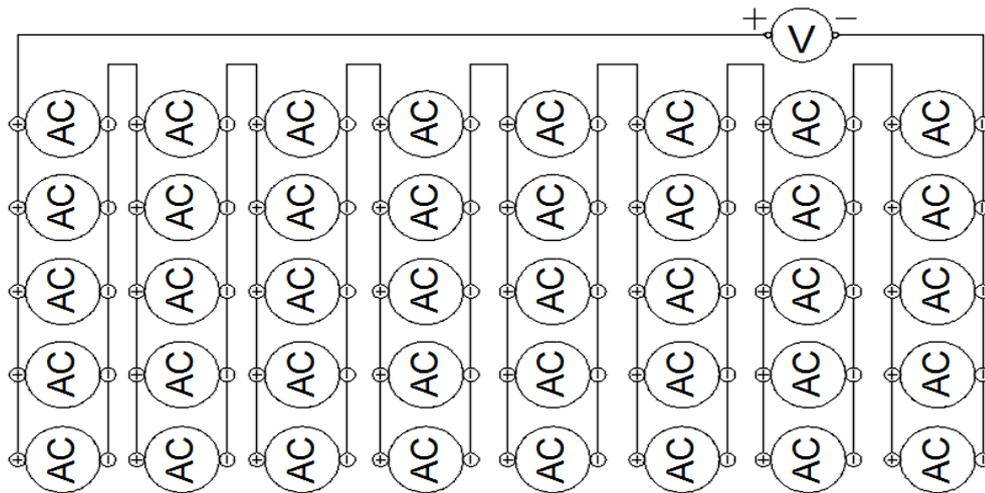


Figura 15: Circuito eléctrico equivalente de la configuración de los discos, 8 columnas verticales de 5 piezoeléctricos, conectados en serie.

Fuente: Elaboración Propia.

Se homogenizó el circuito de los discos piezoeléctricos en serie como se muestra en la Figura 15, para su mejor estudio, donde se consideran como fuentes ideales de generación de energía y poder así entender el funcionamiento de dicho sistema.

PRUEBA N°03:

Para incrementar la potencia generada por el prototipo se agrupó en paralelo dos (02) grupos de la configuración descrita en las Figuras 13, 14, y 15, tal como se muestra en la Figura 16 en donde se observa el circuito terminado del prototipo.



Figura 16: Agrupación del sistema piezoeléctrico 0.52 m x 0.52 m.
Fuente: Elaboración propia.

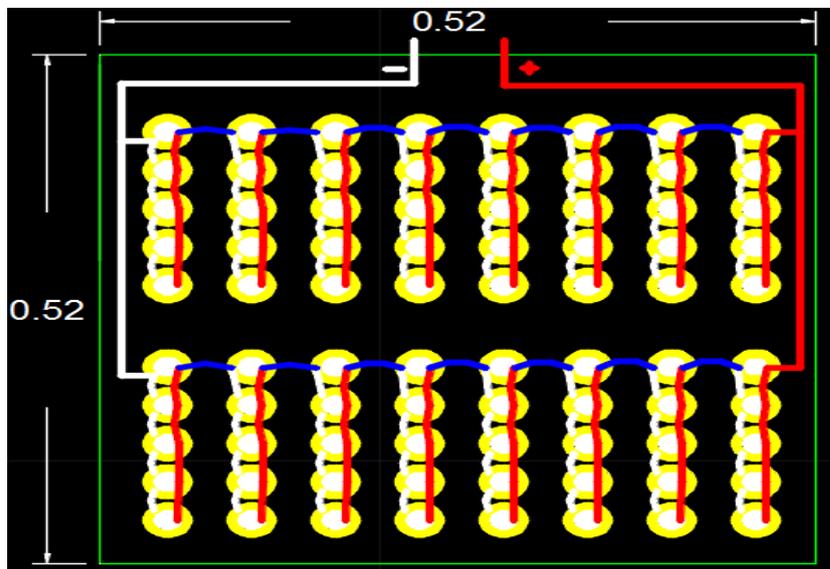


Figura 17: Esquema en AutoCAD de la configuración final de los discos piezoeléctricos.

Fuente: Elaboración Propia.

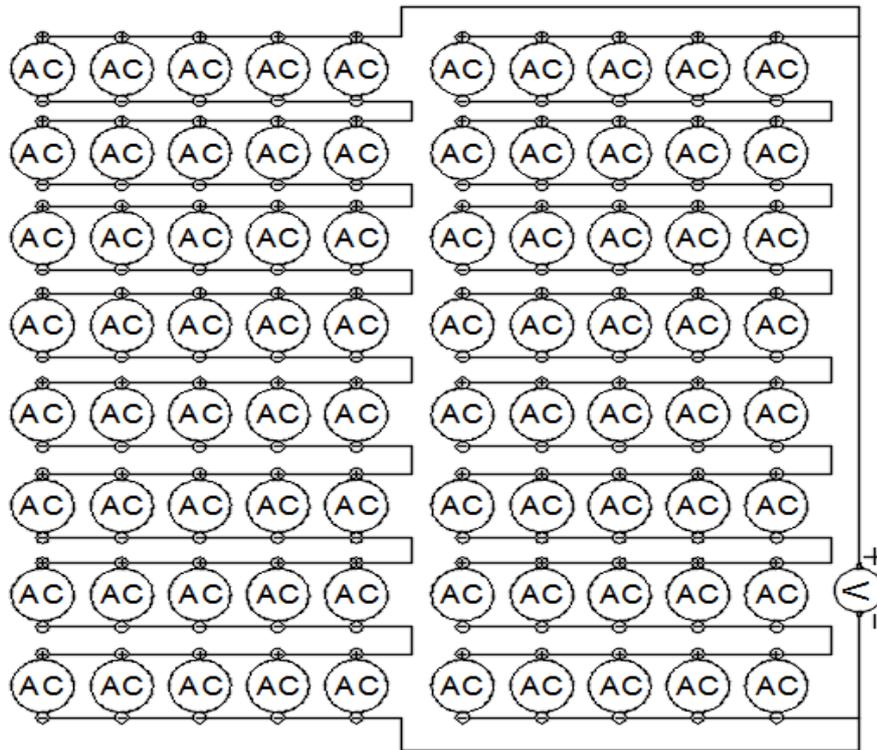


Figura 18: Circuito eléctrico de la configuración final de los discos piezoeléctricos.

Fuente: Elaboración Propia.

Finalmente se definió el circuito completo del sistema, considerando los discos piezoeléctricos como fuentes ideales de generación de energía, en la Figura 18 se muestra el circuito eléctrico final del sistema de generación piezoeléctrica y así poder realizar un estudio didáctico del comportamiento del sistema. También se determinó los valores mostrados en la Tabla 13 donde se hace referencia al costo de construcción del circuito piezoeléctrico, los cuales serán usado en los mantenimientos que se realizar el sistema de generación piezoeléctrica para su óptimo rendimiento.

COSTO DE CONSTRUCCIÓN DE UN PANEL PIEZOELECTRICO				
DESCRIPCION	UND	CANTIDAD	PRECIO	SUB.TOTAL
DISCOS PZT	UND	80	0.7	S/. 56.00
CABLE	M	5	0.3	S/. 1.50
ESTAÑO	M	3	1	S/. 3.00
MANO DE OBRA	GLB	1	25	S/. 25.00
TOTAL				S/. 85.50

Tabla 13: Costo de construcción de un panel piezoeléctrico.

Fuente: Elaboración propia.

3.10.10 PRUEBAS REALIZADAS CON UN PEATON:

Se construyó este prototipo para el soporte de tránsito vehicular y peatonal, el cual tiene un área de 0.27 m²; al realizar las pruebas con un peatón se obtuvo los siguientes resultados que se registró en la Tabla 14 en donde nos indica la tensión (V), la corriente (mA) y la Potencia (mW).

PRUEBAS REALIZADAS CON UN PEATON			
N° DE PRUEBA	TENSION REGISTRADA (V)	CORRIENTE REGISTRADA (mA)	POTENCIA (mW)
1	12.54	15.34	192.36
2	12.55	15.64	196.28
3	12.60	15.84	199.58
4	13.45	16.80	225.96
5	12.45	14.70	183.02
6	12.33	14.56	179.52
7	12.65	14.89	188.36
8	12.68	14.90	188.93
9	13.45	18.64	250.71
10	12.64	15.45	195.29
11	12.65	15.47	195.70
12	12.55	15.75	197.66
13	12.64	15.87	200.60
14	12.63	15.86	200.31
15	12.76	16.40	209.26
16	12.86	16.60	213.48
17	12.94	16.80	217.39
18	12.34	16.58	204.60
19	12.32	16.55	203.90
20	12.57	16.56	208.16
21	12.87	16.67	214.54
22	12.64	16.88	213.36
23	12.45	15.56	193.72
24	12.98	16.70	216.77
25	12.30	15.30	188.19
26	12.54	15.57	195.25
27	12.56	15.59	195.81
28	13.45	16.86	226.77
29	12.45	15.56	193.72
30	12.58	15.64	196.75
31	12.07	15.76	190.22
32	12.98	16.45	213.52
33	13.45	18.87	253.80
34	13.45	18.79	252.73
35	12.78	15.87	202.82
36	12.80	15.98	204.54
37	13.24	16.74	221.64
38	12.66	14.87	188.25
39	12.87	15.21	195.75
40	13.45	18.32	246.40
41	12.65	15.32	193.80
42	12.42	15.53	192.88
43	12.53	15.64	195.97
44	12.07	15.76	190.22
45	12.60	15.75	198.45
46	13.45	16.65	223.94
47	12.76	15.98	203.90
48	12.55	15.34	192.52
49	13.45	18.87	253.80
50	13.60	18.90	257.04
GENERACION TOTAL PROMEDIO	12.77	16.20	207.16
DESVIACION ESTANDAR	0.32	1.12	19.13

Tabla 14: Generación promedio de la potencia del prototipo Piezoeléctrico es de 207.16 mW.

Fuente: Elaboración Propia.

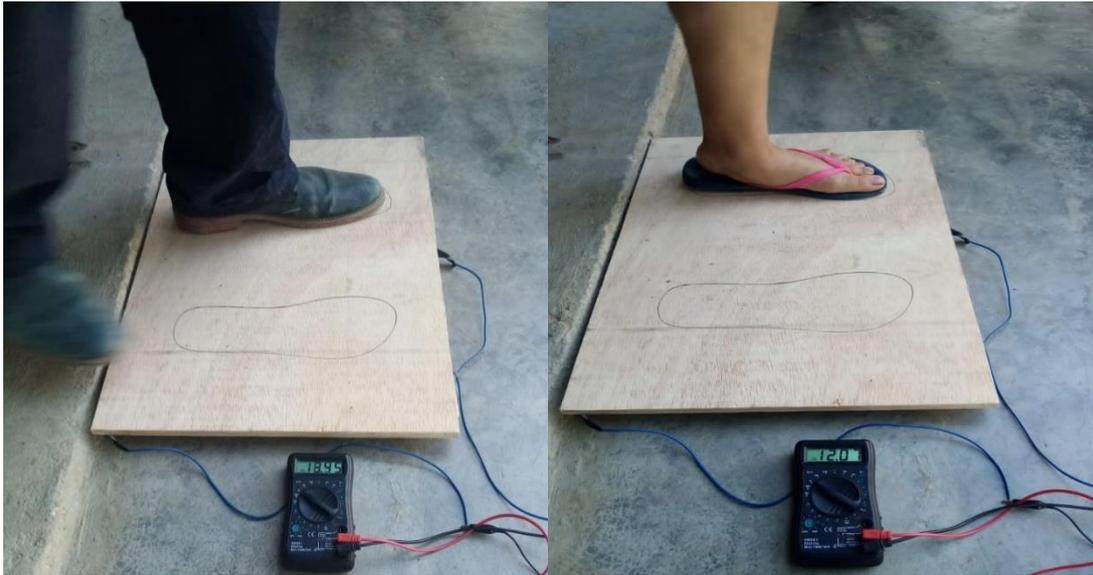


Figura 19: Pruebas de laboratorio con peatones y registro de la tensión generada.

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó las pruebas con peatones, registrando con el multítester la generación de tensión tal como se muestra en la Figura 19, donde se aprecia que al tener contacto con la baldosa piezoeléctrica automáticamente se registra una generación de energía.

Donde se obtuvo una generación total promedio de 207 mW que es igual a 0.20 W, como se registró en la Tabla 14.

3.10.11 PRUEBAS REALIZADAS CON UN VEHICULO MOTORIZADO:

Se realizó pruebas con un vehículo motorizado (moto lineal), considerándose el área del prototipo de 0.27 m², obteniendo así los siguientes resultados registrados en la Tabla 15 que se muestra a continuación:

PRUEBAS REALIZADAS CON UNA MOTO LINEAL			
N° DE PRUEBA	TENSION REGISTRADA (V)	CORRIENTE REGISTRADA (mA)	POTENCIA (mW)
1	12.8	16.88	216.06
2	12.78	16.84	215.22
3	12.98	16.9	219.36
4	13.24	18.21	241.10
5	13.25	18.23	241.55
6	13.45	18.35	246.81
7	13.52	18.42	249.04
8	12.95	16.86	218.34
9	12.9	16.88	217.75
10	13.16	18.16	238.99
11	12.26	18.26	223.87
12	13.76	18.68	257.04
13	13.41	18.32	245.67
14	12.89	16.86	217.33
15	12.95	16.87	218.47
16	12.92	16.83	217.44
17	13.31	18.3	243.57
18	13.35	18.38	245.37
19	13.45	18.35	246.81
20	12.99	17.1	222.13
21	13.1	18.11	237.24
22	13.27	18.28	242.58
23	13.45	18.36	246.94
24	13.76	18.69	257.17
25	12.89	18.87	243.23
26	13.53	18.45	249.63
27	13.46	18.35	246.99
28	13.57	18.49	250.91
29	13.54	18.47	250.08
30	12.45	18.37	228.71
31	12.99	17.2	223.43
32	12.21	18.23	222.59
33	13.25	18.24	241.68
34	13.33	18.33	244.34
35	13.34	18.35	244.79
36	13.54	18.55	251.17
37	13.44	18.44	247.83
38	13.3	18.33	243.79
39	12.8	17.21	220.29
40	12.9	17.22	222.14
41	12.5	18.47	230.88
42	13.24	18.25	241.63
43	13.35	18.38	245.37
44	13.22	18.27	241.53
45	18.21	17.19	313.03
46	12.97	17.15	222.44
47	13.65	18.69	255.12
48	13.4	18.48	247.63
49	12.53	18.32	229.55
50	13.11	18.21	238.73
GENERACION TOTAL PROMEDIO	13.25	17.99	238.47
DESVIACION ESTANDAR	0.25	0.65	12.52

Tabla 15: Resultados de pruebas con un vehículo motorizado (moto lineal).

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 20: Pruebas de laboratorio con vehículo (moto lineal) y registro del voltaje generado: (Izquierda) Antes y (Derecha) Durante el paso del vehículo.

Fuente: Elaboración propia.

Luego se hizo pruebas como un vehículo (moto lineal) como se muestra en la Figura 15, donde quedó registrado la generación de la baldosa piezoeléctrica al realizar esta prueba con un valor de 14.77 V, siendo una generación óptima para el estudio realizado. Finalmente se realizó la prueba con un auto, como se muestra en la Figura 16, debido al límite de generación máxima de los discos piezoeléctricos, el voltaje generado por el auto se consideró también como el que generaría una camioneta pick-up.

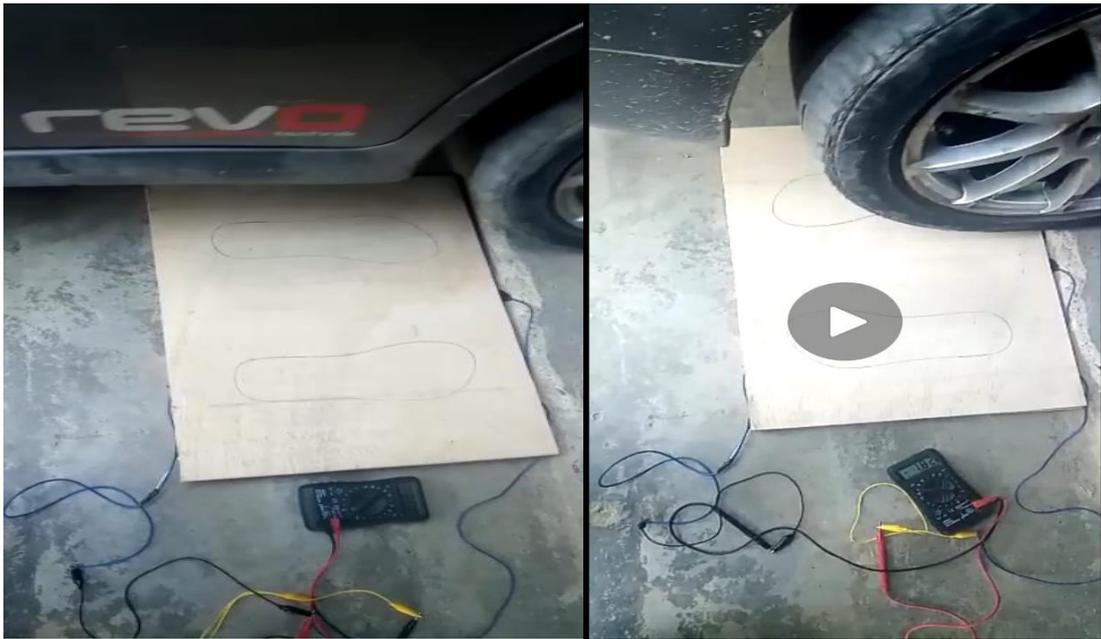


Figura 21: Ensayo de laboratorio con vehículo (auto) y registro de voltaje generado.
Fuente: Elaboración propia.

Se obtuvo en las pruebas realizadas con un vehículo motorizado una generación total promedio de 238.47 mW que sería igual a 0.24 W, como se registró en la Tabla 15.

3.10.12 CALCULO DE GENERACIÓN DE ENERGIA POR CIRCULACIÓN DE VEHICULOS.

Para poder realizar el cálculo de generación de energía con el paso de los vehículos registrados durante un mes en la Plaza de Armas de Jaén se realizó Tabla 16 en donde describe el tipo de vehículo, la circulación en una hora, en un día, en una semana, en un mes.

CALCULO DE GENERACION VEHICULAR						
ESTIMACION EN UNA 1HORA						
ITEM	DESCRIPCION	Nº DE VEHICULOS	Nº DE ITERACION	TOTAL ITERACIONES	POT. UNIT (W) DE LA BALDOSA	POT. GENERACION (kW)
1	MOTO LINEAL	654	14	9156	0.24	2.20
2	AUTO	45	28	1260	0.24	0.30
3	PICK UP	78	28	2184	0.24	0.52
TOTAL						3.02
ESTIMACION EN 1 DIA						
ITEM	DESCRIPCION	Nº DE VEHICULOS	Nº DE ITERACION	TOTAL ITERACIONES	POT. UNIT (W) DE LA BALDOSA	POT. GENERACION (kW)
1	MOTO LINEAL	10043	14	140602	0.24	33.74
2	AUTO	745	28	20860	0.24	5.01
3	PICK UP	1309	28	36652	0.24	8.80
TOTAL						47.55
ESTIMACION EN 1 SEMANA						
ITEM	DESCRIPCION	Nº DE VEHICULOS	Nº DE ITERACION	TOTAL ITERACIONES	POT. UNIT (W) DE LA BALDOSA	POT. GENERACION (kW)
1	MOTO LINEAL	81947	14	1147258	0.24	275.34
2	AUTO	4912	28	137536	0.24	33.01
3	PICK UP	9360	28	262080	0.24	62.90
TOTAL						371.25
ESTIMACION EN 1 MES						
ITEM	DESCRIPCION	Nº DE VEHICULOS	Nº DE ITERACION	TOTAL ITERACIONES	POT. UNIT (W) DE LA BALDOSA	POT. GENERACION (kW)
1	MOTO LINEAL	316724	14	4434136	0.24	1064.19
2	AUTO	19355	28	541940	0.24	130.07
3	PICK UP	32998	28	923944	0.24	221.75
TOTAL						1416.00

Tabla 16: Estimación de la potencia generada por los vehículos en el paso peatonal.

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 16 se consideró la potencia unitaria de 0.24 W que se obtuvo en las pruebas anteriores, las interacciones más favorables que tienes estos al cruzar el paso peatonal. Se obtuvo como potencia generada en un mes 1416 kW y una potencia de generación anual de 16992 kW.

Finalmente se calculó la generación de energía por circulación vehicular, tal y como se muestra en la Tabla 17

ITEM	DESCRIPCION	POTENCIA INSTANTANEA (kW)	HORA PICO DIARIO (h)	ENERGIA DE GENERACION AL DIA (kWh)	ENERGIA DE GENERACION AL MES (kWh)	ENERGIA DE GENERACION AL AÑO (kWh)
1	VEHICULAR	3.02	15	45.36	1360.80	16329.60

Tabla 17: Estimación de la generación de energía de los vehículos en el paso peatonal.

Fuente: Elaboración propia.

Se muestra en la Tabla 17 la potencia instantánea de 3.02 kW que se obtuvo de los cálculos realizados; en un trabajo constante de 15 horas diarias de las baldosas la energía producida por el sistema será de 45.36 kWh al día en la que circulan los vehículos y las interacciones más favorables que tienes estos al cruzar el paso peatonal. Produciendo un total de POT.GA 16329.60 kWh al año.

3.10.13 CALCULO DE GENERACIÓN DE ENERGIA POR CIRCULACIÓN DE PEATONES.

Se calculó la generación de energía con el paso de los peatones, en la Tabla 17, quedando registró la circulación de peatones en una hora, un día, una semana y un mes.

CALCULO DE GENERACION PEATONAL						
ESTIMACION EN 1 HORA						
ITEM	DESCRIPCION	Nº DE PEATONES	Nº DE ITERACION	TOTAL ITERACIONES	POT. UNIT (W) DE LA BALDOSA	POT. GENERACION (kW)
1	PEATON	98	25	2450	0.20	0.49
TOTAL						0.49
ESTIMACION EN 1 DIA						
ITEM	DESCRIPCION	Nº DE PEATONES	Nº DE ITERACION	TOTAL ITERACIONES	POT. UNIT (W) DE LA BALDOSA	POT. GENERACION (kW)
1	PEATON	1179	25	29475	0.20	5.90
TOTAL						5.90
ESTIMACION EN 1 SEMANA						
ITEM	DESCRIPCION	Nº DE PEATONES	Nº DE ITERACION	TOTAL ITERACIONES	POT. UNIT (W) DE LA BALDOSA	POT. GENERACION (kW)
1	PEATON	9495	25	237375	0.20	47.48
TOTAL						47.48
ESTIMACION EN UN MES						
ITEM	DESCRIPCION	Nº DE PEATONES	Nº DE ITERACION	TOTAL ITERACIONES	POT. UNIT (W) DE LA BALDOSA	POT. GENERACION (kW)
1	PEATON	35334	25	883350	0.20	176.67
TOTAL						176.67

Tabla 18: Estimación de la potencia generada por los peatones en el paso peatonal.

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 18 se contempló una potencia unitaria de 0.20 W y el número de iteraciones mínimas al cruzar el paso peatonal siendo esta la cantidad de líneas blancas y negras por las cuales los peatones tendrán que transitar al cruzar la calle en el paso peatonal seleccionado; obteniendo una potencia generada en un mes 176.67 kW, obteniendo una potencia de generación anual de 2120.04 kW al año.

Luego de realizar el cálculo de la potencia instantánea se estimó la generación de energía del sistema mostrado en la Tabla 19.

ITEM	DESCRIPCION	POTENCIA INSTANTANEA (kW)	HORA PICO DIARIO (h)	ENERGIA DE GENERACION AL DIA (kWh)	ENERGIA DE GENERACION AL MES (kWh)	ENERGIA DE GENERACION AL AÑO (kWh)
2	PEATONAL	0.49	15	7.35	220.50	2646.00
TOTAL						2646.00

Tabla 19: Estimación de la generación de energía de los peatones.

Fuente: Elaboración propia.

Se determinó según la tabla 19 la energía del sistema, donde se consideró una potencia instantánea de 0.49 kW y 15 horas de trabajo constante de las baldosas, obteniendo POT.GA de 2646 kWh al año.

3.10.14 DIMENSIONAMIENTO DEL GENERADOR PIEZOELECTRICO:

3.10.14.1 CALCULO DEL CONSUMO MEDIO DIARIO:

Se realizó el consumo medio diario tomando en cuenta el impacto por uso del inversor e impacto por eficiencia de conductores y baterías. Garrido y Morales (2019), sostienen que si el sistema dispusiera de cargas de corriente continua y cargas de corriente alterna se calcula tomando en cuenta el rendimiento del inversor en las cargas de alterna, porque existen pérdidas de eficiencia. Se utilizó la siguiente Ecuación (5).

$$E_{dm} = \frac{E_{dm,CD} + \frac{E_{dm,CA}}{n_i}}{N_{bat} \times N_{cond}} \quad (5)$$

Se asumió para el cálculo del consumo medio diario la eficiencia del inversor es 90%, eficiencia de la batería 95% y los conductores 96% de eficiencia. Se reemplazó los datos en la Ecuación (5), obteniendo que el consumo medio diario del sistema de iluminación de la Plaza de Armas de Jaén es de:

$$E_{dm} = \frac{0 + \frac{10752}{0.9}}{0.95 \times 0.96}$$
$$E_{dm} = 13\,099.41 \text{ Wh/día}$$

Donde:

E_{dm}	: Consumo medio diario (Wh/día)
$E_{dm,CD}$: Consumo medio diario en corriente directa.
$E_{dm,CA}$: Consumo medio diario en corriente alterna.
n_i	: Eficiencia del inversor.
N_{bat}	: Eficiencia de la batería.
N_{cond}	: Eficiencia de conductores.

3.10.14.2 CALCULO DEL CONSUMO DIARIO CORREGIDO EN (Ah):

Luego de calcular el consumo medio diario de la Plaza de Armas de Jaén hemos corregido dicho valor para facilitar el cálculo del sistema de almacenamiento de energía, utilizándose la Ecuación (6); se reemplazó el consumo medio diario de 13 099.41 Wh/día y el voltaje nominal del sistema de generación piezoeléctrica de 12 V, obteniendo así una carga corregida de 1 091.617 Ah/día.

$$Q = \frac{E_{dm}}{V_{N,SIST}} \quad (6)$$

$$Q = \frac{13\,099.41 \text{ Wh/día}}{12 \text{ V}}$$

$$Q = 1\,091.62 \text{ Ah/día.}$$

Donde:

Q : Carga corregida (Ah/día)

V_{N,SIST} : Voltaje nominal del sistema piezoeléctrico (V).

3.10.14.3 CALCULO DEL SISTEMA DE ACUMULACIÓN:

Habiendo calculado el consumo medio del sistema de iluminación de la Plaza de Armas de Jaén, se calculó la capacidad que requerirá el banco de baterías.

Según Garrido y Morales (2019), los criterios más utilizados para este cálculo son de amperios-hora (Ah), siendo necesario que la batería entregue el voltaje del bus CD a los inversores. Se estableció la Q corregido en (Ah) de demanda, días de autonomía del banco de baterías, factor de corrección por temperatura y factor de profundidad de descarga máxima. Con la Ecuación (7), se calculó la capacidad nominal de las baterías en función de la descarga máxima.

$$C_{B,BAT} = \frac{Q \times N_{D,auto}}{(F_{MAX,des-d}) \times Ft} \quad (7)$$

Donde:

C_{B,BAT} : Capacidad nominal del banco de baterías(Ah).

Q : Demanda de consumo corregido (Ah).

N_{D,auto} : Número de días de autonomía del banco de baterías.

F_{MAX,des-d} : Factor de profundidad de descarga máxima diaria.

Ft : Factor de corrección por temperatura.

Considerando, Q corregido (1091.617 Ah/día), N_{D,auto} equivalente a 1 día, F_{MAX,des-d} igual a un 80% y un Ft de 0.9, se obtuvo un capacidad nominal del banco de batería de 1516.14 Ah/día, que es su fracción diaria nos resultó 126.35 Ah., considerando una batería estándar según el mercado y utilizar menos cantidad de estas para evitar varias conexiones en paralelo, se consideró la Batería kaise 12V 250 Ah AGM libre mantenimiento con una vida útil de diseño aproximada de 8 a 12 años.

Con estos valores se realizó el cálculo de las baterías en paralelo que serán necesarias, se utilizó la Ecuación (8). Nos dio por resultado 6 baterías en paralelo.

$$N_{BAT,PARAL} = \frac{C_{B,BAT}}{C_{N,BAT}} \quad (8)$$

$$N_{BAT,PARAL} = \frac{1516.14 \text{ Ah}}{250 \text{ Ah}}$$

$$N_{BAT,PARAL} = 6.06 \approx 6$$

Donde:

- $N_{BAT,PARAL}$: Numero de baterías en paralelo.
 $C_{B,BAT}$: Capacidad nominal del banco de baterías (Ah).
 $C_{N,BAT}$: Capacidad nominal de la batería (Ah).

Luego se hizo el cálculo de las baterías que usaron en serie, utilizando la siguiente Ecuación (9). Este desarrollo nos dio como valor 1 baterías.

$$N_{B,SERIE} = \frac{V_{N,SISTEM}}{V_{N,BAT}} \quad (9)$$

$$N_{B,SERIE} = \frac{12}{12}$$

$$N_{B,SERIE} = 1$$

Donde:

- $N_{B,SERIE}$: Numero de baterías en serie.
 $V_{N,SISTEM}$: Voltaje del sistema (V).
 $V_{N,BAT}$: Voltaje de la batería (V).

Por último, se realizó el cálculo total de baterías del sistema de generaciones piezoeléctrica, aplicamos la siguiente Ecuación (10). Obteniendo un resultado total de 8 baterías.

$$NB_{TOTAL} = N_{BAT,PARAL} \times N_{B,SERIE} \quad (10)$$

$$NB_{TOTAL} = 6 \times 1$$

$$NB_{TOTAL} = 6 \text{ baterías.}$$

Donde:

- N_{BTOTAL} : Número total de baterías.
 $N_{BAT,PARAL}$: Número de baterías en paralelo.
 $N_{BAT,SERIE}$: Número de baterías en serie.

3.10.14.4 CALCULO DEL REGULADOR DE CARGA:

Núñez (2018) refiere para el cálculo del regulador se considera la potencia generada del sistema de generación y la tensión de operación del sistema. Aplicamos la siguiente Ecuación (11).

$$Pt = V \times I \quad (11)$$

$$I = Pt / V$$

$$I = 22.64 \text{ W} / 12 \text{ V}$$

$$I = 1.88 \text{ A.}$$

Donde:

Pt : Potencia generada por el sistema.

V : Tensión de operación del sistema.

I : Corriente de operación del sistema

Para poder calcular el regulador se necesitó la corriente de corto circuito del sistema, pero al no conocerla consideramos un regular estándar próximo, y se consideró la STECA PR de 10A/12V con 5 años de vida útil.

3.10.14.5 CALCULO DEL INVERSOR DE CARGA:

Según Mejía (2018) cita que si un receptor que necesite de una corriente de arranque, el dimensionamiento del inversor debería de ser de 25 – 30 % más grande que el total de vatios de los equipos. Se utilizó la siguiente Ecuación (12).

$$P_{inv} = PAC \times F_s + 25\% \text{ PAC} \quad (12)$$

Donde:

P_{inv} : Potencia del inversor.

PAC : Potencia de las cargas de corriente alterna.

F_s : Factor de simultaneidad.

$$P_{inv} = PAC \times F_s + 25\% \text{ PAC}$$

$$P_{inv} = 896 \text{ W} \times 1 + 224 \text{ W}$$

$$P_{inv} = 1120 \text{ W}$$

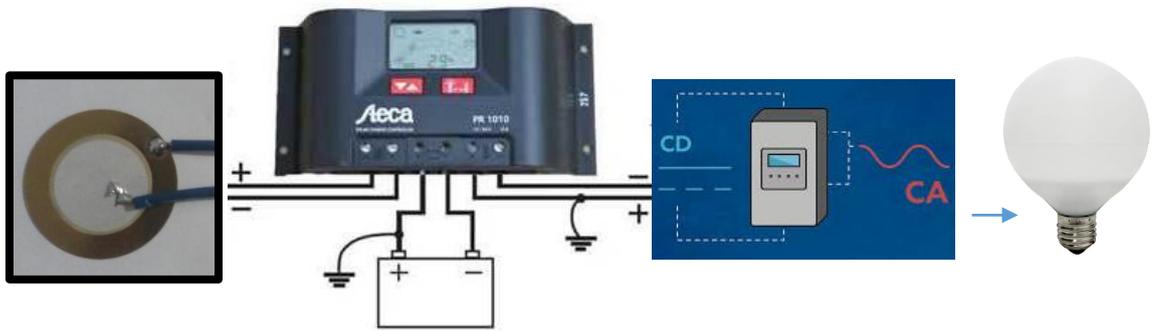


Figura 22: Esquema pictográfico del sistema de generación piezoeléctrica.

Fuente: Elaboración propia.

Al desarrollar la Ecuación (12) se obtuvo como potencia del inversor 1120 W, con este resultado se realizó la selección del inversor de carga de acuerdo al mercado existente que se optó por el PV3000 MPK, con un tiempo de vida útil 5 años.

3.10.15 ANALISIS DE LA VIABILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN:

Se realizó el estudio de viabilidad económica del proyecto y está ligada a los siguientes factores que se describirán según los ítems que se muestran a continuación:

3.10.15.1 PRESUPUESTO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN PIEZOELECTRICA:

Presupuesto para la implementación del sistema de generación piezoeléctrica en la Plaza de Armas de Jaén.

PRESUPUESTO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN PIEZOELECTRICA (NOVIEMBRE-2019)					
ITEM	DESCRIPCIÓN	METRADO	UNIDA	PRECIO UNT.	PRECIO TOTAL
MATERIALES					
1	DISCOS PIEZOELECTRICOS	14000	und	0.4	S/. 5,600.00
2	CABLE THW 18 AWG	100	m	95	S/. 95.00
3	CABLE THW 14 AWG	100	m	102	S/. 102.00
4	PUENTE DE DIODOS	8	und	0.3	S/. 2.40
5	PASTA DE SOLDAR	1	und	6	S/. 6.00
6	ESTAÑO	1	rollo	16.8	S/. 16.80
7	CINTA AISLANTE	1	rollo	5.5	S/. 5.50
8	LAMINA DE FLEXION (CAUCHO)	30	m2	40	S/. 1,200.00
TOTAL					S/. 7,027.70
HERRAMIENTAS					
9	MULTIMETRO	1	und	56	S/. 56.00
10	PINZA AMPERIMETRICA	1	und	104	S/. 104.00
11	CUTTER	1	und	12	S/. 12.00
12	ALICATE	1	und	8	S/. 8.00
13	CAUTIN SOLDADOR	1	und	16	S/. 16.00
TOTAL					S/. 196.00
EQUIPOS					
14	REGULADOR DE ENERGIA (7Amp)	1	und	210	S/. 210.00
15	INVERSOR (1300W)	1	und	850	S/. 850.00
16	BATERIA KAISE 12V 250 Ah AGM	6	und	1219	S/. 7,314.00
TOTAL					S/. 8,374.00
GASTOS ADICIONALES					
17	COSTO DEL NUEVO SISTEMA DE ILUMINACIÓN	1	glb	1310	S/. 1,310.00
18	COSTO DE INSTALACION DE GENERADOR PIEZOELECTRICO	1	glb	1000	S/. 1,000.00
19	GASTOS GENERALES	1	glb	300	S/. 300.00
TOTAL					S/. 2,610.00
COSTO TOTAL DE LA IMPLEMENTACIÓN					S/. 18,207.70

Tabla 20: Presupuesto de implementación del sistema de generación Piezoeléctrico.

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 20 se obtuvo el costo de S/. 18,207.70 para la implementación del sistema piezoeléctrico en el área total del paso peatonal ubicado el punto “A” de la Figura 01.

3.10.15.2 COSTO DE MANTENIMIENTO:

Se sostuvo que el costo del mantenimiento para un sistema piezoeléctrico con discos de PZT está basado en los siguientes datos según la Tabla 21 que a continuación se describe en el periodo de un año.

ESTIMACIÓN DEL COSTO DE MANTENIMIENTO DEL SISTEMA			
ITEM	DESCRIPCIÓN	COSTO MENSUAL	COSTO ANUAL
1	02 CIRCUITOS PIEZOELECTRICOS	S/. 85.50	S/. 1,026.00
2	COSTO DE LABORES DE MANTENIMIENTO	S/. 90.00	S/. 1,080.00
COSTO TOTAL		S/. 175.50	S/. 2,106.00

Tabla 21: Estimación del costo de mantenimiento del sistema.

Fuente: Elaboración propia.

Para realizar el mantenimiento del sistema de generación con más eficiencia se consideró que los circuitos que presenten fallas deberán ser cambiados automáticamente por circuitos nuevos los cuales ahorraran tiempo al realizar el mantenimiento, en la Tabla 21 se calculó aproximadamente que al mes se realizara un mantenimiento del sistema de generación, donde se hará 2 cambios de circuitos los cuales tienen un costo unitario de S/. 85.50 según la Tabla 13, el servicio de un operario que ejecutará el mantenimiento en horario nocturno por reducirse la afluencia de tránsito, considerando que por ser horario especial el salario será un total de S/. 90.00, llegando a un costo total anual de S/.1080.00 y al año se realizarán 24 cambios de circuitos a un costo anual de S/. 1026.00. Donde se definió según la Ecuación (I) que el monto calculado hace referencias al 8.55 % del costo de implementación del proyecto, según se muestra a continuación:

$$\begin{array}{rcl}
 100\% & \longrightarrow & S/. 18,207.70 \quad \dots\dots \quad (I) \\
 X & \longrightarrow & S/. 2106.00 \\
 X = 11.6\% & &
 \end{array}$$

$$\begin{array}{l}
 \text{COST.MANT-ANUAL} = 11.6\% \times \text{COST.IMPLE} \quad (13) \\
 \text{COST.MANT-ANUAL} = 11.6\% \times 21,229.70 \\
 \text{COST.MANT-ANUAL} = 2106.00 \text{ S/. /año}
 \end{array}$$

Donde:

COSTMANT-ANUAL: Costo del mantenimiento anual del sistema de generación piezoeléctrica.

COST.IMPLE : Costo de implementación del sistema.

En la Ecuación (13) se obtuvo que el costo de mantenimiento anual del sistema de generación piezoeléctrico es de 2106.00 S/. / año, en el cual se incluye costo de labores de mantenimiento (operario), repuestos (circuitos piezoeléctricos), materiales (cables, estaño), herramientas (cautil, multímetro) y el tiempo perdido de producción de energía en el periodo que demore realizar este mantenimiento.

3.10.15.3 COSTO DE LA GENERACIÓN DE ENERGÍA DEL SISTEMA:

Se sostuvo que para el cálculo de la energía de un sistema hay que relacionar los costos anuales de mantenimiento y la producción de energía anual, evaluados en los primeros 10 años de vida del sistema, de con la siguiente Ecuación (14). Obteniendo como resultado el costo de 0.26 S/. / kWh.

$$C_E = \frac{\text{COST.IMPLE} + (\text{COST.MANT-ANUAL})}{\text{POT.GA}} \quad (14)$$

$$C_E = \frac{48,951.70 \text{ S/. / AÑO}}{189756 \text{ kWh / AÑO}}$$

$$C_E = 0.26 \text{ S/. / kWh}$$

Donde:

C_E : Costo de energía del sistema.

COST.IMPLE : Costo de Implementación del sistema piezoeléctrico más el costo de mantenimiento.

POT.GA : Producción de energía anual del sistema piezoeléctrico.

3.10.15.4 RETORNO DE LA INVERSION:

Garrido y Morales (2019) afirma que para el cálculo del retorno de la inversión se analiza la potencia total de generación (POT.GA) por el costo tarifario de la energía S/.0.7561/kWh (C_{TF}), menos el producto de la potencia total de generación (POT.G) y el costo de generación de energía del sistema propuesto (C_E), donde se obtiene el ahorro estimado anual. Se utilizó la siguiente Ecuación (15).

$$\text{AHORRO.ESTIMADO-ANUAL} = (\text{POT.GA} \times C_{TF}) - (\text{POT.GA} \times C_E) \quad (15)$$

$$\text{AHORRO.ESTIMADO-ANUAL} = (18975.60 \times 0.7561) - (18975.60 \times 0.26)$$

$$\text{AHORRO.ESTIMADO-ANUAL} = \text{S/. } 9413.79/\text{año}$$

Donde:

POT.GA : Potencia generada anual (kWh/año).

C_{TF} : Costo tarifario de la energía. (S/. /kWh).

C_E : Costo de generación de energía del sistema propuesto (S/. /kWh).

De este modo, el uso del sistema piezoeléctrico propuesto permitirá a un ahorro económico anual de S/.9 413.79, al cual se le descontó el costo de mantenimiento anual de S/. 2 106.00, obteniendo un ahorro anual neto (A.AN) de S/. 7 307.79 Finalmente se realizó el cálculo del retorno de la inversión con la siguiente Ecuación (16):

$$R. INVER = \frac{COST.IMPLE}{AHORRO.EST-ANUAL} \quad (16)$$

$$R. INVER = \frac{S/.18,207.70}{S/.7 307.79}$$

$$R. INVER = 2.49 \text{ AÑOS}$$

Donde:

$R. INVER$: Retorno de la inversión (Años).

$COST.IMPLE$: Costo de la implementación del sistema piezoeléctrico.

$AHORRO.EST-ANUAL$: Ahorro estimado anual.

En el desarrollo de la Ecuación (16) se obtuvo como retorno de la inversión 2.49 años, considerándose un tiempo aceptable y económicamente viable como retorno de la inversión.

3.10.15.5 METODO DE ANALISIS DE LA INVERSION CON TIR Y VAN:

Utilizado para analizar la posible rentabilidad de un proyecto y sobre todo si es viable o no. Donde se utiliza dos parámetros llamados TIR (Tasa Interna de Retorno) y el VAN (Valor Actual Neto) basados en la estimación de flujos de caja que tenga el proyecto. Se realizó para el proyecto de investigación su análisis de inversión con TIR y VAN, donde se obtuvo los siguientes resultados mostrados en la Tabla 20.

BASA DE DATOS UTILIZADOS EN EL ANALISIS DEL VAN Y TIR				
AÑO	INVERSION INICIAL	GASTOS	INGRESOS	FLUJO DE CAJA
0	S/. 18,207.70	S/. 0.00	S/. 0.00	-S/. 18,207.70
1	S/. 0.00	S/. 2,106.00	S/. 9,413.80	S/. 7,307.80
2	S/. 0.00	S/. 2,106.00	S/. 9,413.80	S/. 7,307.80
3	S/. 0.00	S/. 2,106.00	S/. 9,413.80	S/. 7,307.80
4	S/. 0.00	S/. 3,416.00	S/. 9,413.80	S/. 5,997.80
5	S/. 0.00	S/. 3,166.00	S/. 9,413.80	S/. 6,247.80
6	S/. 0.00	S/. 2,106.00	S/. 9,413.80	S/. 7,307.80
7	S/. 0.00	S/. 2,106.00	S/. 9,413.80	S/. 7,307.80
8	S/. 0.00	S/. 9,420.00	S/. 9,413.80	-S/. 6.20
9	S/. 0.00	S/. 2,106.00	S/. 9,413.80	S/. 7,307.80
10	S/. 0.00	S/. 2,106.00	S/. 9,413.80	S/. 7,307.80

TIR	35.80%
VAN	S/. 11,549.34
TASA DE DESCUENTO	18%
COST. MANT. ANUAL.	S/. 2,106.00
GASTO DE INVERSOR Y REGULADOR	
S/. 1,060.00	AÑO 5
LUMINARIAS	
S/. 1,310.00	AÑO 4
BATERIAS	
S/. 7,314.00	AÑO 8

Tabla 22: Análisis de la inversión con TIR y VAN.

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados que se obtuvieron en la Tabla 22, fueron un TIR igual a 35.80% y un VAN de S/. 11 549.34, considerando el retorno de la inversión, el costo de mantenimiento anual de S/. 2106.00 y un cambio de baterías a los 8 años aproximadamente por el tipo de conexión que se realizó, porque esta conexión reduce el tiempo de vida promedio de 10 años a 8 años, cuyos datos representan la viabilidad económica del proyecto.

Se asumió que el costo del personal de operación, monitoreo y verificación del funcionamiento del proyecto no está incluido en el análisis de gastos, ya que se asume que este trabajo lo realizara un empleado de la MPJ, el mismo que tiene a cargo el monitoreo del sistema eléctrico de la fuente y el sistema de iluminación de la Plaza de Armas de Jaén, siendo este un gasto asumido por la MPJ.

IV. RESULTADO.

Los resultados que se obtuvieron al realizar la implementación del prototipo de generación de energía piezoeléctrica se detallan a continuación:

4.1 SUMINISTRO DE ENERGIA:

El costo del suministro de energía es de: S/. 0.7561/ kWh según el tipo de tarifa en Jaén BT5B no residencial (Pliego Tarifario Electro Oriente-2019, www.elor.com.pe).

4.2 SISTEMA DE GENERACIÓN PIEZOELECTRICA:

El prototipo generador de energía piezoeléctrica tiene un área de 0.27 m² y cual contiene 80 unidades de discos piezoeléctricos. En la estimación teórica para el área total del paso peatonal y vehicular, contiene un área de 28.52 m² se deberá utilizar 14000 discos piezoeléctricos, o 175 unidades de paneles de generación de energía piezoeléctrica, obteniendo así los siguientes resultados:

ITEM	DESCRIPCION	POTENCIA INSTANTANEA (kW)	HORA PICO DIARIO (h)	ENERGIA DE GENERACION AL DIA (kWh)	ENERGIA DE GENERACION AL MES (kWh)	ENERGIA DE GENERACION AL AÑO (kWh)
1	VEHICULAR	3.02	15	45.36	1360.80	16329.60
2	PEATONAL	0.49	15	7.35	220.50	2646.00
TOTAL						18975.60

Tabla 23: Resultados de la potencia generada total.

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 23 se obtuvo como potencia generada en el paso peatonal de 2 646 kWh al año y vehicular de 16 329.60 kWh al año, acumulando así un total en el transcurso de un año de 18 975.60 kWh todo el sistema de generación piezoeléctrico.

4.3 SISTEMA DE ALMACENAMIENTO:

Al realizar el cálculo de sistema de almacenamiento se obtuvo los siguientes resultados: se consideró un tipo de batería comercial y para evitar muchas conexiones en paralelo se optó por baterías kaise 12V 250 Ah AGM. Según la Tabla 22.

ITM	DESCRIPCIÓN	CAPACIDAD BANCO DE BATERIAS (AH/DIA)	PARALELO	SERIE	TOTAL
1	BATERIA KAISE KBAS 12V 250 Ah AGM LIBRE DE MANTENIMIENTO	1516.134 Ah/dia	6	1	6

Tabla 24: Datos técnicos, tipo de conexión y numero de baterías.

Fuente: Elaboración propia.

Se definió para el sistema de almacenamiento la Batería kaise 12V 250 Ah AGM libre mantenimiento, con una capacidad de banco de batería de 1516.13 Ah/día siendo esta una de las más comerciales para este tipo de sistema eléctricos.

Se realizó la conexión de 6 baterías en paralelo, este tipo de conexión eléctrica de las baterías en un sistema eléctrico teórico perfecto no habría ningún problema, pero esto no existe en la vida real ya que para conectarlas en paralelo se requiere que todas las baterías sean completamente iguales en características eléctricas (voltaje y corriente) de otro modo las diferencias acelerarán su deterioro. Las baterías conectadas en paralelo o en serie-paralelo inicialmente no dan ningún problema, pero al cabo de un tiempo de funcionamiento, y si es intensivo, se empiezan a apreciar las evidencias de los fallos que generan: la carga no es uniforme, la capacidad que presenciamos por su funcionamiento es inferior a la que se debe ser, el desgaste de las baterías se acelera, la resistencia interna de las baterías no es idéntica, el estado de carga de las baterías nunca es igual.

4.4 SISTEMA DE REGULACION DE CARGA:

Para la mejor selección del regulador de carga se consideró la potencia generada del sistema y considerando las más acorde de acuerdo el mercado, según la Tabla 25.

ITM	DESCRIPCIÓN	TENSION DEL SISTEMA	CONSUMO PROPIO	(Amp) salida/ entrada	GRADO DE PROTECCIÓN
1	REGULADOR DE CARGA STECA PR 10A	12V	12.5 mA	10	IP 32

Tabla 25: Datos técnicos de regulador de carga seleccionado.

Fuente: Elaboración propia.

Se definió un sistema de regulación de carga acorde al mercado existente, optando así por el regulador de carga STECA PR 10 A, con una tensión del

sistema de 12 V, consumo propio de 12.5 mA, entra y salida 10 A, una protección IP32 contra goteo de agua y cuerpos solidos con un diámetro mayor a 2.5 mm.

4.5 INVERSOR DE CARGA:

Se obtuvo en el cálculo del inversor de carga de 1220 W, de acorde al mercado el inversor que se eligió es el PV3000 MPK 12V. Con las siguientes características de la Tabla 26.

ITM	DESCRIPCIÓN	TENSION DEL SISTEMA	SALIDA VOLTAJE NOMINAL	FACTOR DE POTENCIA	RANGO OPERATIVO TEMPERATURA
1	INVERSOR DE CARGA PV3000 MPK-1.5KW	12 VDC	220V/240VAC	0.8	0° C - 40° C

Tabla 26: Datos técnicos del inversor.

Fuente: Elaboración propia.

El inversor se definió de acuerdo a los cálculos que se realizaron y a los estándares del mercado actual siendo este el inversor de carga PV3000 MPK-1.5 kW, con una tensión de salida de 12 VDC, salida de voltaje nominal 220 V/240 VAC, un factor de potencia de 0.8 y una temperatura de funcionamiento de 0° C – 40° C, el más óptimo para su funcionamiento del sistema de generación piezoeléctrico.

4.6 EVALUCION DE VIABILIDAD:

La evaluación de viabilidad se compuso por varios factores de operación obteniendo así los siguientes resultados en la Tabla 27.

ITM	DESCRIPCIÓN	PRESUPUESTO DE INVERSION	COSTO DE LA ENERGIA DEL SISTEMA	AHORRO MONETARIO ANUAL	RETORNO DE LA INVERSION (AÑOS)
1	ANALISIS DE VIABILIDAD DEL PROYECTO	S/. 18,207.70	S/. 0.26	S/. 9,413.79	2.49

Tabla 27: Análisis de la viabilidad de la implementación del proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos en la Tabla 25, se realizó el cálculo del presupuesto de inversión de S/. 18 207.70, con un costo de la energía del sistema de S/. 0.26, obteniendo un ahorro monetario anual de S/. 9 413.79 y un retorno de la inversión de 2.49 años, siendo este un proyecto económicamente viable.

V. DISCUSIÓN:

Núñez (2018) en su investigación denominada, “Aprovechamiento de la tecnología piezoeléctrica para la generación de energía eléctrica en la pista de baile de la discoteca la Cayet-distrito de Soritor-departamento de San Martín”, realizó una estimación de potencia de generación de 49.414 W en su dispositivo piezoeléctrico en un área total de 15 m², la cual cubrirá una potencia instalada de 413 W en donde las baterías se cargaran en 29.14 horas; en la presente investigación, se obtuvo una potencia instalada de 1.32 kW en iluminación y una estimación de generación de potencia del prototipo de 1592.67 kW, la diferencia entre ambas generaciones de potencia de los dispositivos se debe a la demanda energética de la aplicación, distinta configuración, ubicación, diseño del circuito eléctrico y sus pérdidas de generación de los discos piezoeléctricos en el área de desarrollo.

Jaramillo, López y Muñoz (2018) realizaron una investigación denominada “Diseño de un prototipo de baldosas inteligentes de alto tráfico para implementación en el sistema de transporte publico Transmilenio de la ciudad de Bogotá”, para determinar la potencia de generación de su baldosa deciden instalar sus discos piezoeléctricos en conexión paralelo, adicionando un puente de diodos y un condensador electrolítico de 10 uf, obteniendo así una potencia generada por baldosa de 225 mW con una tensión de 15 V y una corriente de 3mA, en donde el área total de la baldosa es de 0.245 m² que fue utilizada para pruebas con peatones, para el diseño del dispositivo de generación de energía piezoeléctrica en la Plaza de Arma de Jaén-Perú se estimó una baldosa de 0.27 m² de área total afectada que genera 207.16 mW, con una tensión variante de 12.5 a 13 V y una corriente promedio de 16.20 mA de igual manera se utilizó el dispositivo en pruebas con peatones y vehículos, la diferencia entre generación se debe al tipo de conexiones no óptimas para reducir pérdidas que utilizaron en los circuitos de los dispositivos de prueba.

Tamayo y Cardozo (2017) en su investigación “El uso de piezoeléctricos para la generación de energía sostenible como proyecto piloto en un perfil vial de Bogotá” basaron su investigación en la tecnología Innowattech que plantea que una vía de 1 km carril de carretera se puede producir 250 kWh, este valor fue obtenido con base en generadores incrustados a lo largo de la vía en dos filas, con un tránsito aproximado a 600 vehículos por hora. Esta tecnología se dispone debajo del pavimento, consistiendo

unos elementos llamados pastas de plásticos con almohadillas de producción de energía de Innowattech. Por lo tanto, dedujeron que para su investigación que realizaron en 10 m de vía se tendrá una generación de 2.5 kWh. Realizando su análisis de inversión el costo por instalación de 1 m² les resultó en \$ 606 800.82 pesos colombianos que en soles sería un aproximado de S/. 548.50, para la implementación del presente proyecto de investigación, se realizó una evaluación de inversión aproximada de S/. 18 207.70 en 48.75 m², considerando que el costo de implementación en 1 m² es de S/. 373.49, con un retorno de inversión de 2.49 años, la diferencia entre costo de implementación se debe al uso y avanza de la tecnología en el mercado de adquisición, siendo el mercado Colombia uno de los más económicos y actualizados para este tipo de tecnología.

La conexión requerida por el sistema de almacenamiento es del tipo paralelo porque el sistema requiere de alta corriente para su funcionamiento autónomo y ya que en el mercado actual no existe ningún tipo de producto con capacidad disponible para una sola batería y si existiera en el mercado exterior el costo de adquisición es muy elevado y difícil de conseguir, es así que se realizó para esta investigación la conexión en paralelo de 6 baterías de 250 Ah para poder alcanzar la corriente requerida por el sistema de iluminación. Se resalta que las conexiones en paralelo de baterías tienen complicaciones de compatibilidad de voltaje que no son motivo de estudio en el presente trabajo y se asume que no existen dichas dificultades.

En el análisis que se realizó del TIR y VAN, no se consideró el personal de operación, control y monitoreo porque se asumió que lo realizara el mismo personal de la MPJ que viene laborando en los trabajos de control del sistema eléctrico de la fuente e iluminación de la Plaza de Armas de Jaén. Así mismo no se encontró estadísticas del % de fallas y deterioro de los discos piezoeléctricos que podrían afectar la estimación del costo de mantenimiento que se consideró en el proyecto.

Se asumió para este proyecto de generación de energía piezoeléctrica que el tránsito vehicular y peatonal tiene contacto con el 100% del área de cada panel por donde estos pasan, porque los paneles están cubiertos por una placa sólida que se asumió que al ejercer presión en cualquier parte del panel esta baja uniformemente flexionando así todos los discos piezoeléctricos al mismo tiempo, logrando de esta manera obtener un cálculo de generación uniforme y favorable para los parámetros requeridos.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

6.1. CONCLUSIONES:

- ✓ Se calculó la demanda máxima promedio en iluminación teniendo en cuenta las normas vigentes correspondientes (DGE), el código nacional de electricidad y verificando las mejores especificaciones técnicas que presentan los sistemas de iluminación led de acuerdo a sus características técnicas, para que este sistema sea más eficiente, en la que se obtuvo en total 0.896 kW en iluminación y servicio de wifi.
- ✓ Nuestra estimación de la energía mecánica requerida para la generación de energía eléctrica se basó principalmente en la transitabilidad de vehículos y peatones conforme al estudio realizado durante las 4 semanas del mes de agosto del 2019 en la Plaza de armas de Jaén-Perú, obteniendo como resultado total de las 4 semanas 34 689 peatones, 317 ciclistas, 311 474 moto lineal, 18943 moto lineal y 32 517 pick up, que se consideraron para la generación de energía Piezoeléctrica. Debido al alcance de la investigación no se ha hecho un estudio más extenso en otros meses del año como correspondería y por ello constituye un estudio inicial para la aplicación de esta nueva tecnología.
- ✓ Conforme a las pruebas 1, 2 y 3 primero se tuvo la necesidad de aumentar la corriente de generación instalando así 5 discos en circuito paralelo como lo indica la Figura 08, luego para lograr la tensión requerida se agruparon en serie 8 los discos agrupados en paralelo tal y como se muestra en la Figura 10, finalmente para poder incrementar la potencia de generación se agrupó en paralelo dos grupos de la configuración en serie como se muestra finalmente en la Figura 12 y obteniendo así el circuito general de los dispositivos piezoeléctricos.
- ✓ Se implementó un prototipo generador piezoeléctrico utilizando discos PZT (Zirconato de Titanio de Plomo), el cual es ampliamente disponible en el país para propósitos de implementación y especialmente para el mantenimiento del sistema, en un área de 0.27 m², que contienen 40 unidades de discos piezoeléctricos. Registrándose una potencia generada en un mes de 176.67 kW peatonal y

vehicular de 1416 kW. Demostrando así la factibilidad técnica de esta tecnología nueva.

- ✓ Se realizó el análisis de viabilidad económica del proyecto propuesto, estimando una inversión total de S/. 18,207.70. El retorno de la inversión de 2.49 años, con un costo de la energía del sistema de 0.26 S/. /kWh y un ahorro monetario de 9413.79 soles. La puesta en marcha de la propuesta real de este proyecto de investigación podría crear conciencia en la población sobre el uso de energías renovables disponibles y la mejora de nuevas tecnologías para poder aprovechar mejor las energías existen, además de la ampliamente difundida energía solar.

- ✓ Gracias a esta investigación inicial concluimos que es factible el uso de esta tecnología para aprovechar la energía mecánica residual que generamos en nuestro entorno y lograr fortalecer los conocimientos en materia de nuevas tecnologías para la generación de energías alternativas que sean eco-sostenibles y ayuden a reducir la contaminación de la atmosfera y contribuir al desarrollo de un ambiente saludable y libre de contaminantes tóxicos que puedan afectar la salud del ser humano y el medio ambiente.

- ✓ Asimismo, el uso de este tipo de energías renovables en ambientes públicos sirve también para generar conciencia y compromiso ambiental en la población. Ese fue uno de los motivos intrínsecos que tiene el presente trabajo de investigación y desarrollo tecnológico.

6.2 RECOMENDACIONES:

A fin de mejorar futuras investigaciones y estudios se recomienda:

- ✓ Determinar frecuencia de la circulación de tránsito, ampliando el estudio vial a un periodo de al menos un año y en todas las esquinas de la Plaza de Armas de la ciudad de Jaén donde se aplica el proyecto.
- ✓ Definir el área que ilumina una lámpara de led estándar. Calcular el área total transitable del parque, definir una cantidad y distribución óptima y eficientemente de los postes de iluminación.
- ✓ Calcular la cobertura en área de la señal wifi, las áreas donde se espera sean usados, para determinar el número de routers y la cantidad de energía requerida para este sistema.
- ✓ Evaluar la degradación real de los piezoeléctricos con el uso, a fin de cuantificar mejor los costos de mantenimiento, evaluar el requerimiento masivo directo con fabricante para reducir costos construir y evaluar prototipo.
- ✓ Es necesario hacer como trabajo futuro, una evaluación del tiempo de vida que tendrá la baldosa piezoeléctrica, de acuerdo al material usado en su fabricación del sistema de deflexión y absorción de impacto de la fuerza ejercida sobre esta. La cual determine la sustitución del sistema de deflexión.
- ✓ Para poder determinar la generación de energía piezoeléctrica a futuro se puede considerar los casos más convenientes para los vehículos que circulen por el paso peatonal, tengan contacto con más del 50 % de los paneles instalados y así la producción de energía sería mucho mayor y más rentable. Se asume también que los peatones respetarán las normas de tránsito y circularán por el paso peatonal. No obstante, esto representa una suposición no tan precisa ya que es conocida la falta de educación vial en los peatones y la falta de monitoreo con lo cual sería altamente probable que crucen las calles de cualquier forma.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- Jara, R., Ambrosio, R., Jiménez, A. y Torres, R.(2012). Modelado analítico de un micro generador de potencia basado en tecnología MEMS y materiales piezoeléctricos. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Chihuahua, México.
- Cabello, A. (2006). Solución para el Desarrollo Sustentable (1ª Edición.). Argentina: Editora REFINOR S.A.
- Casanova, M. (2013). Sistemas de cosecha de energía para sistemas electrónicos autónomos. Tesis de pregrado. Escuela Superior de Ciencias Experimentales y tecnológicas. Universidad Rey Juan Carlos. MADRID, ESPAÑA.
- Castellanos, N. (2013). Evaluación preliminar del uso del efecto piezoeléctrico para generación de energía. INVENTUM, 8(15), 35-40. <https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.8.15.2013.35-40>
- Cortez, A., Ensaztiga, E. y Pineda, M. (2010). Propuesta de diseño de un piso generador de energía eléctrica. Tesis grado de pregrado. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Instituto Politécnico Nacional. México.
- FECYT. (2010). Materiales piezoeléctricos. Ministerio de Ciencia e Innovación. (Edición N°3). ESPAÑA.
- Guennam, A. (2005). Modelo para compuestos piezoeléctricos utilizados en control activo. Tesis de Maestría. Instituto de Estructuras. Universidad Nacional de Tucumán. San Miguel de Tucumán, ARGENTINA.
- Hidalgo, J. , Jaramillo, J. y Padilla, J. (2013). Diseño, implementación y evaluación del desempeño de una estación de aeróbicos para harvesting de energía, utilizando efecto piezoeléctrico. Tesis pregrado. Escuela de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones. Universidad Técnica Particular de Loja. Ecuador.
- bañez, J. (2012). Diseño de un prototipo para generación energética mediante tecnología piezoeléctrica. Tesis de grado. Escuela profesional de Ingeniería Industrial. Universidad Politécnica de Catalunya. Aplicación a escaleras. Barcelona, España.

- Jaramillo, A., López, M. y Muñoz, J. (2018). Diseño de un prototipo de baldosa inteligente de alto tráfico para la implementación en el sistema de transporte Transmilenio de la ciudad de Bogotá. Tesis de pregrado. Facultad de Ingeniería de Telecomunicaciones. Universidad Piloto de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Jimenez, B. (1995). Materiales piezoeléctricos: formas de presentación, ventajas y desventajas en las aplicaciones. Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid, Serrano, 144. España.
- Villegas, E. (2008). Diseño de un anemómetro basado en el efecto piezoresistivo. Tesis de pregrado. Escuela de Ingeniería Electrónica. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago- Costa Rica.
- Merino, V. (2013). Análisis de la operación y desempeño de un sistema de generación de energía con la utilización de baldosas piezoeléctricas. Tesis de pregrado. Universidad técnica particular de Loja. Loja-Ecuador.
- Moreno, J. y Sernaqué, J. (2015). Diseño de baldosas con generadores piezoeléctricos para la iluminación del pórtico de la Universidad Señor de Sipán. Tesis de pregrado. Escuela académico profesional de ingeniería mecánica y eléctrica. Universidad Señor de Sipán. Pimentel-Perú.
- Nuñez, M. (2018). Aprovechamiento de la tecnología piezoeléctrica para la generación de energía eléctrica en la pista de baile de la discoteca la Cayet-districto de Soritor-Departamento de San Martín. Tesis de pregrado. Facultad de ingeniería mecánica y eléctrica. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Lambayeque - Perú.
- Palomino, K. (2016). Prototipo generador de energía eléctrica por el uso de una bicicleta elíptica para la iluminación de un ambiente de deporte. Tesis de pregrado. Carrera profesional de Ingeniería Electrónica. Universidad Tecnológica del Perú. Lima - Perú.
- Rodríguez, I. (2014). Extracción de Energía del Agua Mediante Generadores Piezoeléctricos. Tesis de pregrado. Departamento de sistemas Energéticos. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España.
- Sepúlveda, E. (2014). Diseño de un Colector de Energía Piezoeléctrico (Energy Harvesting) mediante optimización topológica que maximice la

transformación de energía mecánica en electricidad generada por un ser humano al caminar. Tesis de Maestría. Departamento de ingeniería mecánica. Universidad Nacional de Colombia. Medellín - Colombia.

- Tamayo, D. y Cardozo, N. (2017). El uso de piezoeléctricos para la generación de energía sostenible como proyecto piloto en un perfil vial de Bogotá. Tesis de pregrado. Programa de ingeniería civil. Universidad Católica de Colombia. Bogotá- Colombia.
- Mejía, E. (2018). Diseño de un sistema fotovoltaico autónomo para el suministro de energía eléctrica al laboratorio de ingeniería mecánica de la universidad politécnica amazónica. Universidad Politécnica Amazónica. Bagua Grande-Perú. Recuperado de <http://repositorio.upa.edu.pe/bitstream/handle/UPA/19/Informe%20Final%20de%20Proyecto%20de%20Investigaci%3%b3n%20SFA%20-%202018%20UPA.pdf?sequence=6&isAllowed=y>.
- Garrido, J. y Morales, M. (2019). Diseño de un sistema fotovoltaico autónomo para la demanda eléctrica del centro de salud magllanal, Jaén – Cajamarca. Tesis de pregrado. Carrera profesional de ingeniería mecánica y eléctrica. Universidad nacional de Jaén. Jaén – Perú.

VII. ANEXOS

ANEXO 1: Dimensionamiento del disco piezoeléctrico PZT.

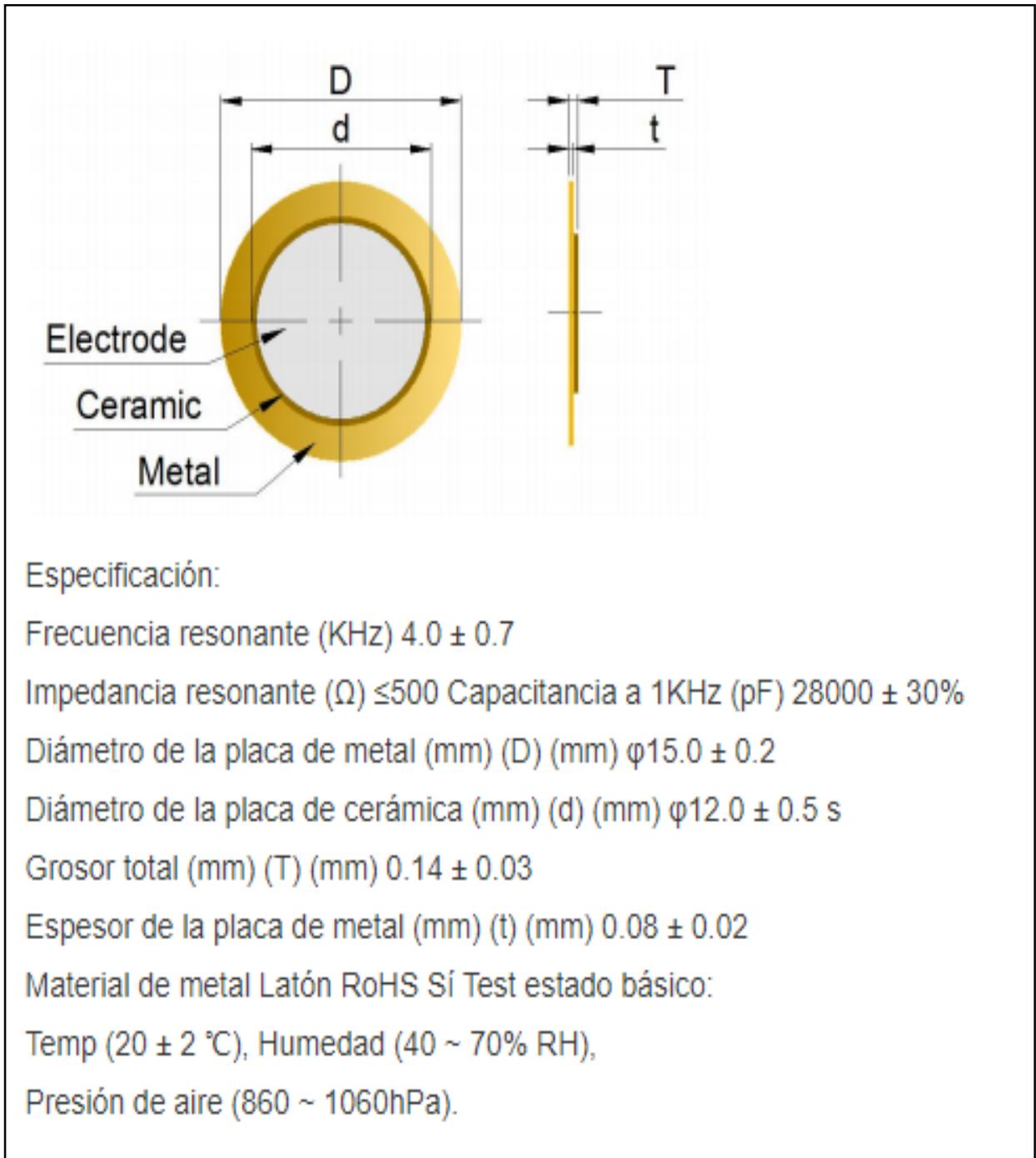
ANEXO 2: Especificaciones técnicas del sistema de almacenamiento.

ANEXO 3: Especificaciones técnicas del regulador de carga.

ANEXO 4: Datos técnicos del inversor de carga.

ANEXO 5: Datos técnicos de las Luminarias propuestas.

ANEXO 1: DIMENSIONAMIENTO DEL DISCO PIEZOELÉCTRICO PZT.



ANEXO 2: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO.

KBAS122500 12V 250Ah

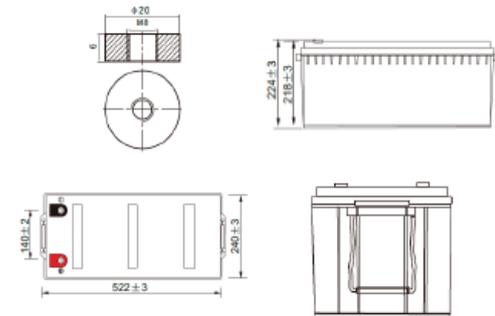


The Kaise Solar range is mainly used in the renewable energies industry, given their optimal performance in cyclic use. With lower acid density, excess of electrolyte and larger distance between plates the batteries maintain a low temperature and also slows down the plate grid corrosion speed. These batteries have a unique plate grid configuration which, alongside the high quality AGM separator and the battery management system, ensures the batteries have a longer service life. The valves were specially designed to control water loss and prevent air and other elements from getting in.

Performance Characteristics

Nominal Voltage	12V	
Dimensions	Length (mm / inch)	522 / 20.55
	Width (mm / inch)	240 / 9.45
	Height (mm / inch)	218 / 8.58
	Total Height (mm / inch)	224 / 8.81
Approx. Weight	(Kg / lbs) 57.4 / 126.6	
Design Life	8 - 12 years	
Terminal	M8	
Container Material	ABS	
Rated Capacity	250.0 Ah / 2.50 A	(100hr, 1.80V/cell, 25°C / 77°F)
	208.0 Ah / 10.4 A	(20hr, 1.80V/cell, 25°C / 77°F)
	200.0 Ah / 20.0 A	(10hr, 1.80V/cell, 25°C / 77°F)
	172.5 Ah / 34.5 A	(5hr, 1.75V/cell, 25°C / 77°F)
	122.0 Ah / 122.0 A	(1hr, 1.60V/cell, 25°C / 77°F)
Max. Discharge Current	2000A (5s)	
Internal Resistance	Approx 2.7mΩ	
Operating Temp. Range	Discharge : -15 - 50°C (5 - 122°F)	
	Charge : 0 - 40°C (32 - 104°F)	
	Storage : -15 - 40°C (5 - 104°F)	
Nominal Operating Temp. Range	25 ± 3°C (77 ± 5°F)	
Cycle Use	Initial Charging Current less than 50.0A	
	Voltage: 14.4V - 15.0V at 25°C (77°F)	
	Temp. Coefficient: -30mV/°C	
Standby Use	Initial Charging Current less than 50.0A	
	Voltage: 13.5V - 13.8V at 25°C (77°F)	
	Temp. Coefficient: -20mV/°C	
Capacity affected by Temperature	40°C (104°F)	103%
	25°C (77°F)	100%
	0°C (32°F)	86%
	Self Discharge	

Dimensions and Terminal (Unit: mm (inches))



Applications

- Renewable Energy
- Alarm systems
- Electric Test Equipment
- Emergency lighting systems
- Marine equipment
- Telecommunications systems

Certifications

ISO 9001:2008 ISO 14001:2008



Discharge Current vs. Discharge Voltage

Final discharge voltage V/CELL	1,8	1,75	1,7	1,6
Discharge current (A)	≤ 0,1CA	0,25CA ≥ I > 0,1CA	0,55CA ≥ I > 0,25CA	I > 0,55CA

ANEXO 3: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL REGULADOR DE CARGA.

REGULADORES DE CARGA SOLAR

Steca PR

PR 1010, PR 1515, PR 2020, PR 3030

La serie de reguladores de carga Steca PR 10-30 es la más destacada entre los reguladores de carga solar.

Las tecnologías de carga más modernas unidas a la determinación del estado de carga con Steca-AntoniC, que ha sido de nuevo claramente mejorada, forman la unidad perfecta para el cuidado y control de la batería para una potencia de módulo de hasta 900 Wp. Mediante de símbolos, un gran display informa al usuario sobre los estados de funcionamiento. El estado de carga se representa de forma visual como si de indicadores de barra se tratasen. Datos como por ejemplo la tensión, el corriente y el estado de carga se pueden visualizar también en el display con números de forma digital. Además, el regulador dispone de un contador de energía que el usuario mismo puede resetear.

CLASSIC



Características del producto

- Regulador híbrido
- Determinación del estado de carga con Steca AntoniC (SOC)
- Selección automática de tensión
- Regulación MAP
- Tecnología de carga escalonada
- Desconexión de carga en función de SOC
- Reconexión automática del consumidor
- Compensación de temperatura
- Toma de tierra en uno o varios terminales positivos o sólo en uno de los terminales negativos
- Registrador de datos integrado
- Función de luz nocturna y diurna
- Función de autotest
- Carga mensual de mantenimiento

Funciones de protección electrónica

- Protección contra sobrecarga
- Protección contra descarga total
- Protección contra polaridad inversa de los módulos, la carga y la batería
- Fusible electrónico automático
- Protección contra cortocircuito de la carga y los módulos solares
- Protección contra sobretensión en la entrada del módulo
- Protección contra circuito abierto sin batería
- Protección contra corriente inversa por la noche
- Protección contra sobretemperatura y sobrecarga
- Desconexión por sobretensión en la batería

Indicaciones

- Display LCD gráfico
 - para parámetros de funcionamiento, avisos de fallo, autotest

Manejo

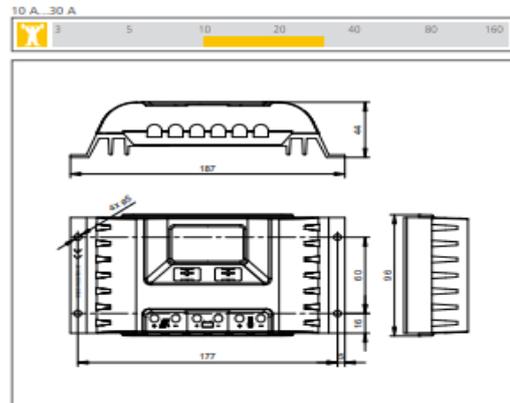
- Fácil manejo con menús
- Programación por medio de botones
- Conmutación manual de carga

Certificaciones

- Aprobado por el Banco Mundial para Nepal
- Conforme a los estándares europeos (CE)
- Conforme a RoHS
- Fabricado en Alemania
- Desarrollado en Alemania
- Fabricado conforme a ISO 9001 e ISO 14001

Opciones

- Interfaz de prepago
- Sensor de temperatura externo
- Contacto de alarma



	PR 1010	PR 1515	PR 2020	PR 3030
Funcionamiento				
Tensión del sistema	12 V (24 V)			
Consumo propio	12,5 mA			
Datos de entrada CC				
Tensión de circuito abierto del módulo solar	< 47 V			
Corriente del módulo	10 A	15 A	20 A	30 A
Datos de salida CC				
Corriente de consumo	10 A	15 A	20 A	30 A
Tensión final de carga	líquido 13,9 V (27,8 V); gel 14,1 V (28,2 V)			
Tensión de carga reforzada	14,4 V (28,8 V)			
Carga de compensación	14,7 V (29,4 V)			
Tensión de reconexión (SOC / LVR)	> 50 % / 12,6 V (25,2 V)			
Protección contra descarga profunda (SOC / LVD)	< 30 % / 11,1 V (22,2 V)			
Condiciones de uso				
Temperatura ambiente	-10 °C ... +50 °C			
Equipamiento y diseño				
Ajuste del tipo de batería	líquido (ajustable a través menú)			
Terminal (cable fino / único)	16 mm ² / 25 mm ² - AWG 6 / 4			
Grado de protección	IP 32			
Dimensiones (X x Y x Z)	187 x 96 x 44 mm			
Peso	350 g			

Datos técnicos a 25 °C / 77 °F

Áreas de aplicación:



Steca PA TS10
Sensor de temperatura externo

ANEXO 4: DATOS TÉCNICOS DEL INVERSOR DE CARGA.



PV3000 MPK Series Inversor solar de Baja Frecuencia

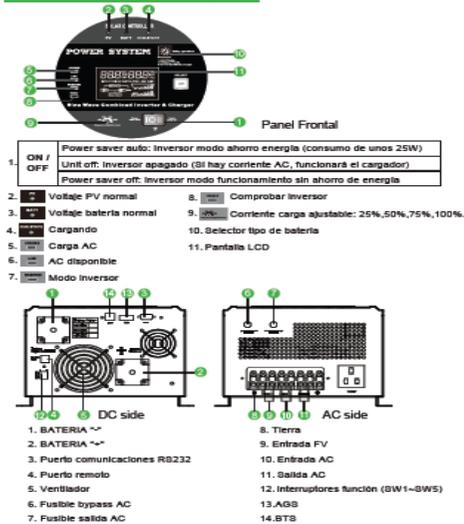
Características:

- Potencia de salida entre 1kW y 6kW
- Onda senoidal pura
- Cargador AC de alta potencia
- Regulador MPPT integrado de 40A / 60A según versiones
- Eficiencia máxima del MPPT de 98%
- Transformador interno de bobinado en cobre
- Pantalla de monitorización y configuración de ajustes
- Diseño de gran eficiencia con modo de ahorro de energía
- Comunicaciones mediante puerto RS232
- Compatibilidad con generador y arranque automático AGS
- Cargador integrado de entre 35 hasta 75A según versiones
- Aislamiento galvánico

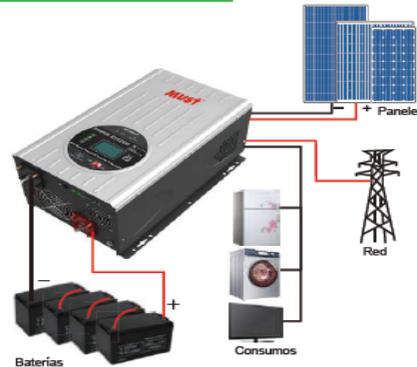
Introducción:

Este es un inversor multifunción que combina las tareas de un inversor de baterías junto con un regulador de carga solar de tipo MPPT maximizador y un cargador de baterías integrado para ofrecer un producto todo en uno. Este modelo con bobinado de baja frecuencia crea una senoidal pura a partir de un transformador de cobre, que le da una gran fiabilidad y durabilidad. Podemos visualizar el funcionamiento del inversor a través de la pantalla LCD de su parte frontal.

Información pantalla display:



Conexión del sistema solar:



Especificaciones

MODELO	PV30-1KW MPK	PV30-1.5KW MPK	PV30-2KW MPK	PV30-3KW MPK	PV30-5KW MPK	PV30-8KW MPK	
Voltaje nominal banco de baterías	12VDC	12VDC	12VDC	12VDC	24VDC	24VDC/48VDC	
SALIDA INVERSOR	Potencia nominal	1KW	1.5KW	2KW	3KW	5KW	
	Potencia arranque (20ms)	3KW	4.5KW	6KW	9KW	15KW	
	Capacidad arranque motores	1HP	1HP	1HP	2HP	3HP	
	Onda eléctrica	Onda senoidal pura / Igual a la entrada (modo bypass)			Onda senoidal pura / Igual a la entrada (modo bypass)		
	Salida voltaje nominal RMS	220V/230V/240VAC(+/-10% RMS)			220V/230V/240VAC(+/-10% RMS)		
	Frecuencia salida	50Hz/60Hz +/-0.3 Hz			50Hz/60Hz +/-0.3 Hz		
	Eficiencia Inversor (Pico)	>88%			>88%		
	Eficiencia conectado AC	>95%			>95%		
	Factor de potencia	0.8			1.0		
	Tiempo transferencia típico	10ms(max)			10ms(max)		
AC ENTRADA	Voltaje	230VAC			230VAC		
	Rango voltaje seleccionable	155-280VAC			155-280VAC		
BATERIA	Rango de frecuencia	50Hz/60Hz (Auto) 40-80Hz			50Hz/60Hz (Auto) 40-80Hz		
	Voltaje mínimo arranque	10.0VDC /10.5VDC			20.0VDC~21.0VDC /40.0VDC~42.0VDC		
	Alarma batería baja	10.5VDC+/-0.3V			21.0VDC+/-0.6V /40.0VDC+/-1.2V		
	Corte bajo voltaje	10.0VDC+/-0.3V			20.0VDC+/-0.6V /40.0VDC+/-1.2V		
	Alarma alto voltaje	16.0VDC+/-0.3V			32.0VDC+/-0.6V /64.0VDC+/-1.2V		
	Recuperación alto voltaje	15.5VDC+/-0.3V			31.0VDC+/-0.6V /62.0VDC+/-1.2V		
	Consumo en reposo	<25W con modo ahorro			<50W con modo ahorro		
	Voltaje salida	Depende tipo batería			Depende tipo batería		
	AC CARGADOR	Fusible entrada AC	10A	30A	30A	30A	40A
		Protección sobrecarga	15.7VDC			31.4VDC/62.8VDC	
Máxima corriente carga		35A	45A	65A	75A	70A	
BYPASS & PROTECCIÓN	Onda de entrada	Onda pura (red o generador)			Onda pura (red o generador)		
	Frecuencia nominal entrada	50Hz o 60Hz			50Hz o 60Hz		
	Protección sobrecarga	Corta-circuitos			Corta-circuitos		
	Protección cortocircuito salida	Corta-circuitos			Corta-circuitos		
	Límite intensidad Bypass	10A	15A	30A	30A	40A	
REGULADOR CARGA	Corriente máxima Bypass	30Amp			40Amp		
	Potencia FV máxima	600W			1600W		
	Corriente FV máxima	40A			60A		
	Selección voltaje DC	12V			24V/48V auto		
	Rango MPPT	16-100VDC			32-145VDC @ 24V / 64-145VDC @ 48V		
CARACT. FÍSICAS	Voltaje máximo MPPT VDC	100VDC			145VDC		
	Eficiencia máxima	>98%			>98%		
	Consumo stand-by regulador	<2W			<2W		
	Instalación	En pared			En pared		
	Dimensiones (W*H*D)	423*247*197mm			597*247*197mm		
OTROS	Peso neto (Inversor) kg	18.5	19.5	23.5	28.7	50.4	
	Peso bruto (Inversor) kg	21.5	22.4	25.8	31.2	54	
	Rango operativo temperatura	0°C to 40°C					
	Temperatura almacenamiento	-15°C to 60°C					
	Nivel sonoro	60dB MAX					
Pantalla	LED+LCD						
Volumen(20GF/40GF/40HZ)	460uds / 920uds / 1060uds			320uds / 640uds / 750uds			

Panels conexión



ANEXO 5: DATOS TÉCNICOS DE LAS LUMINARIAS PROPUESTAS.

Ficha técnica

Base o Casquillo	E27
Voltaje / alimentacion	220-240V
Wattios	38W
Color tono	Blanco Neutro
Temperatura del Color	4000K
Luminosidad	2850 lúmenes
Angulo de Luz	360°
Tamaño	175x100mm
Vida Util	15000H
Material Composicion	Termoplástico
Normativa Calidad	CE, RoHS, TÜH, FC
Dimmable	NO
Tipo de IP	IP20

