

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE TRUJILLO
BENEDICTO XVI**

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICO
ELÉCTRICA**



**“PROPUESTA DE DISEÑO DE BALDOSAS PIEZOELÉCTRICAS PARA
ABASTECER EL SISTEMA DE ILUMINACIÓN DEL FRONTIS DEL
MERCADO DE ABASTOS DE MIRAMAR – MOCHE”**

**TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL EN
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

AUTOR(ES)

Br. Luis Fernando Mendoza Balladares

Br. Royer Paima Saboya

ASESOR(A)

Mg. Ing. Fernando Saldaña Milla

LINEA DE INVESTIGACIÓN

Procesos y Tecnología

TRUJILLO – PERÚ

2022



AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

Monseñor Dr. Héctor Miguel Cabrejos Vidarte, O.F.M.

Rector, Fundador y Gran Canciller de la UCT Benedicto XVI

Dr. Gilberto Domínguez López

Director Ejecutivo

Dra. Silvia Valverde Zavaleta

Vicerrectora Académica

Dr. Francisco Alejandro Espinoza Polo

Vicerrector de Investigación

Mg. Ing. Breitner Guillermo Díaz Rodríguez

Decano de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura

Mons. Ricardo Exequiel Angulo Bazauri

Gerente de Desarrollo Institucional

CPC. Alejandro Carlos García Flores

Gerente de Administración y Finanzas

Dra. Teresa Sofía Reátegui Marín

Secretaria General



CONFORMIDAD DEL ASESOR

Yo Mg. Ing. Fernando Arístides Saldaña Milla con DNI N.º 18135414, como asesor del trabajo de investigación “PROPUESTA DE DISEÑO DE BALDOSAS PIEZOELÉCTRICAS PARA ABASTECER EL SISTEMA DE ILUMINACIÓN DEL FRONTIS DEL MERCADO DE ABASTOS DE MIRAMAR - MOCHE” desarrollado por el bachiller Mendoza Balladares, Luis Fernando con DNI N.º 76669537 y el bachiller Paima Saboya, Royer con DNI N.º 74130867. Respectivamente, egresados del Programa Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica.

Considero que dicho trabajo de titulación reúne los requisitos tanto técnicos como científicos y corresponden con las normas establecidas en el reglamento de titulación de la Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI y en normativa para la presentación de trabajos de titulación de la Facultad de ingeniería y Arquitectura.

Por tanto, autorizo la presentación del mismo ante el organismo pertinente para que sea sometido a evaluación por la comisión de la clasificación designado por el Decano de la Facultad de ingeniería y Arquitectura.

Mg. Ing. Fernando Saldaña Milla

ASESOR



DEDICATORIA

A dios por guiarme a cumplir mis metas, A mis padres por guiar mi camino en mi formación personal y profesional, por ser mi soporte y apoyo durante todo mi año universitario, por darme fuerzas de seguir adelante y mejorar cada día más.

Mendoza Balladares, Luis Fernando.

A mi madre, quien, con sus valores, su amor y su apoyo, me guio para ser un buen hijo y, sobre todo una persona de bien. Y a todas las personas que luchan por sus objetivos honestamente, que llevan en sí, prohibido rendirse

Paima Saboya, Royer.



AGRADECIMIENTOS

A la universidad católica de Trujillo Benedicto XVI donde me vio crecer de manera profesional, a los docentes por inculcarnos nuevos conocimientos, valores y experiencias que hoy en día nos ayuda a afrontar en el mundo laboral. Existiendo mi agradecimiento al Mg. Ing. Fernando Saldaña milla, quien nos asesoró y acompañó durante todo el proceso de nuestra tesis para obtener buenos resultados.

Mendoza Balladares, Luis Fernando.

Mi más sincero agradecimiento a los docentes de la universidad católica de Trujillo Benedicto XVI, quienes impartieron sus conocimientos y experiencias profesionales. Especialmente al Mg. Ing. Fernando Saldaña milla, quien asesoró la realización de este proyecto. Extiendo mi agradecimiento a la Ingeniera Romero Rodríguez Mónica, por impartir sus conocimientos y su ejemplo de perseverancia, bondad e igualdad.

Paima Saboya, Royer.



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Mendoza Balladares Luis Fernando con DNI N.º76669537 y Paima Saboya Royer con DNI N.º 74130867, egresados del Programa de Estudios de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI, damos fe que hemos seguido rigurosamente los procedimientos académicos y administrativos emanados por la Facultad de Ingeniería y Arquitectura , para la elaboración y sustentación del informe de tesis titulado: “PROPUESTA DE DISEÑO DE BALDOSAS PIEZOELÉCTRICAS PARA ABASTECER EL SISTEMA DE ILUMINACIÓN DEL FRONTIS DEL MERCADO DE ABASTOS DE MIRAMAR - MOCHE”, el cual consta de un total de 109 páginas, en las que se incluye 29 tablas y 58 figuras, más un total de 28 páginas en anexos.

Dejamos constancia de la originalidad y autenticidad de la mencionada investigación y declaramos bajo juramento en razón a los requerimientos éticos, que el contenido de dicho documento, corresponde a nuestra autoría respecto a redacción, organización, metodología y diagramación. Asimismo, garantizamos que los fundamentos teóricos están respaldados por el referencial bibliográfico, asumiendo un mínimo porcentaje de omisión involuntaria respecto al tratamiento de cita de autores, lo cual es de nuestra entera responsabilidad.

Se declara también que el porcentaje de similitud o coincidencia es de 5%, el cual es aceptado por la Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI.

Los autores

DNI 76669537

DNI 74130867



INDICE DE CONTENIDO

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS.....	ii
CONFORMIDAD DEL ASESOR	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Formulación del problema	2
1.2.1 Problema general.....	2
1.2.2 Problemas específicos	2
1.3 Formulación de objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo general	3
1.3.2 Objetivos específicos.....	3
1.4 Justificación de la investigación	3
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 Antecedentes de la investigación	5
2.1.1. Antecedentes internacionales	5
2.1.2. Antecedentes nacionales	6
2.2 Bases teórico científicas.....	7
2.2.1. Tecnología piezoeléctrica.....	7
2.2.2. Sistema de iluminación	14
2.2.3. Diseño de un sistema piezoeléctrico	18
2.2.4. Captación de energía	19
2.2.5. Baldosa piezoeléctrica PAVEGEN	20
2.2.6. SOFTWARE SolidWorks	21
2.2.7. Software Proteus	21
2.3. Definición de términos básicos	22
2.4 Formulación de hipótesis	23
2.4.1 Hipótesis general	23



2.4.2 Hipótesis específicas	23
2.5 Operacionalización de variables	24
Capítulo III: METODOLOGÍA.....	25
3.1. Tipo de investigación.....	25
3.2. Método de investigación	25
3.3. Diseño de investigación	25
3.4. Población, muestra y muestreo	25
3.5. Técnicas e instrumentos de recojo de datos.....	26
3.5.1. Técnicas.....	26
3.5.2. Instrumentos	26
3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	26
3.7. Ética investigativa.....	26
Capítulo IV: RESULTADOS	27
4.1 Presentación y análisis de resultados	27
4.1.1. Determinar el consumo eléctrico del sistema de iluminación del frontis del mercado de abastos Miramar - Moche.	27
4.1.2. Determinar cómo afecta los parámetros eléctricos en el diseño del sistema de iluminación.....	28
4.1.3. Determinar cómo afecta los parámetros eléctricos y mecánicos en el diseño de la baldosa piezoeléctrica.	34
4.1.4. Analizar y evaluar la simulación del diseño de la baldosa piezoeléctrica mediante el software SolidWorks y Proteus.	59
4.1.5. Determinar el presupuesto que involucra la implementación de baldosas piezoeléctricas para abastecer el frontis del mercado de abastos Miramar – Moche... ..	69
4.2 Discusión de resultados	73
Capítulo V: CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS	75
5.1 Conclusiones	75
5.2 Sugerencias	76
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	77
ANEXOS	81
Anexo 1: Instrumentos de medición	81
Anexo 2: Ficha técnica	82
Anexo 3: Validez y fiabilidad de instrumentos.....	82
Anexo 4: Informe de simulación en SolidWorks.....	83
Información de modelo.....	83
Propiedades de estudio	84



Unidades	84
Propiedades de material.....	85
Cargas y sujeciones	85
Información de malla.....	86
Información de malla - Detalles.....	86
Información sobre el control de malla:	86
Fuerzas resultantes.....	87
Fuerzas de reacción.....	87
Momentos de reacción	87
Fuerzas de cuerpo libre	87
Momentos de cuerpo libre	87
Resultados del estudio	88
Anexo 5: Matriz de consistencia.....	90



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tipos de materiales piezoeléctricos.....	13
Tabla 2 Operacionalización de variables.....	24
Tabla 3 Consumo eléctrico del sistema de iluminación.....	28
Tabla 4 Resumen de los resultados.....	30
Tabla 5 Especificaciones del sensor piezoeléctrico PZT 5H 35mm.....	34
Tabla 6 Número de personas que ingresan y se retiran por la puerta principal del mercado de abastos.....	42
Tabla 7 Promedio de medición de las variables eléctricas de la baldosa piezoeléctrica.....	49
Tabla 8 Sujeciones.....	60
Tabla 9 Cargas aplicadas.....	61
Tabla 10 Tensiones resultantes.....	62
Tabla 11 Desplazamientos.....	62
Tabla 12 Factor de seguridad.....	63
Tabla 13 Presupuesto del sistema de iluminación y baldosas piezoeléctricas.....	69
Tabla 14 Costo de sistema del sistema de iluminación y baldosas piezoeléctricas.....	72
Tabla 15 Instrumentos de medición.....	81
Tabla 16 Matriz de consistencia.....	90
Tabla 17 Tipos de alumbrado según la clasificación vial.....	91
Tabla 18 Tipos de calzada.....	91
Tabla 19 Niveles de luminancia, iluminancia e índice de control de deslumbramiento.....	92
Tabla 20 Uniformidad media de iluminancia.....	92
Tabla 21 Características de Ledvance Floodlight Performance 20W.....	92
Tabla 22 Datos Técnicos de LSOH-80.....	94
Tabla 18 Especificaciones del sensor piezoeléctrico PZT 5H 35mm.....	94
Tabla 23 Especificaciones del Diodo 1N4007.....	95
Tabla 24 Propiedades de Resistencia y Densidad (contrachapado pino radiata).....	95
Tabla 25 Propiedades de Resistencia y Densidad (contrachapado pino radiata).....	96
Tabla 26 Propiedades de lámina de acrílico de 8mm.....	97
Tabla 27 Propiedades mecánicas de algunos alambres para resortes.....	98
Tabla 28 Fórmulas para calcular las dimensiones de resortes de compresión.....	99
Tabla 29 Promedio de medición de las variables eléctricas de un disco piezoeléctrico ...	100



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Generación de voltaje del material piezoeléctrico	8
Figura 2 Efecto piezoeléctrico	9
Figura 3 Generación de electricidad mediante disco piezoeléctrico	9
Figura 4 Comportamiento piezoeléctrico bajo carga cuasi-estática	10
Figura 5 Comportamiento piezoeléctrico bajo carga dinámica	11
Figura 6 Baldosas piezoeléctricas.....	11
Figura 7 Tipos de luminarias	15
Figura 8 Cable eléctrico.....	16
Figura 9 Regulador PWM	16
Figura 10 Inversor CC/CA	17
Figura 11 Baterías.....	17
Figura 12 Modelo de tapa de radiador.....	18
Figura 13 Circuito eléctrico montaje baldosa piezoeléctrica	18
Figura 14 Modelo de tapa de radiador.....	19
Figura 15 Modelo de estructura Cantiléver	19
Figura 16 Modelo de rueda dentada	20
Figura 17 Baldosas Piezoeléctricas - PAVEGEN	20
Figura 18 Software PROTEUS	21
Figura 19 Rendering en 3D de la Iluminación del frontis del Mercado de Abastos de Miramar	29
Figura 20 Rendering de colores falsos de la Iluminación del frontis del Mercado de Abastos de Miramar	29
Figura 21 Esquema del sistema de distribución de iluminación	32
Figura 22 Disco piezoeléctrico de 35mm	34
Figura 23 Polaridad del disco piezoeléctrico sometido a presión mecánica	35
Figura 24 Polaridad de disco piezoeléctrico cuando se retira la presión mecánica.....	35
Figura 25 Dimensiones del diodo 1N4007	36
Figura 26 Circuito de diodo rectificador de onda completa	36
Figura 27 Circuito de rectificación y filtrado	37
Figura 28 Condensador electrolítico.....	37
Figura 29 Circuito de carga y descarga del condensador	38
Figura 30 Gráfica de la carga del condensador	39



Figura 31 Gráfica de la descarga del condensador	41
Figura 32 Acrílico.....	44
Figura 33 Dimensiones del resorte	45
Figura 34 Dimensión del contacto pulsador	48
Figura 35 Ensamblaje de la baldosa	49
Figura 36 Tiempo de descarga de una batería	53
Figura 37 Esquema de abastecimiento al sistema de iluminación mediante baldosas piezoeléctricas	55
Figura 38 Ubicación de baldosas piezoeléctricas	56
Figura 39 Área de ubicación de baldosas piezoeléctricas	58
Figura 40 Circuito completo de una baldosa piezoeléctrica.....	59
Figura 41 Cargas y fijaciones	60
Figura 42 Parámetros de malla	61
Figura 43 Esfuerzo en nodos	63
Figura 44 Gráfico de nodos	64
Figura 45 Gráfico de esfuerzo cortante y momento flector con carga distribuida	65
Figura 46 Diagrama de esfuerzos por Von Mises	67
Figura 47 Dimensiones de Ledvance Floodlight Performance 20W.....	93
Figura 48 Diagrama Fotométrico de Ledvance Floodlight Performance 20W.	93
Figura 49 Circuito paralelo de 5 discos piezoeléctricos.....	101
Figura 50 Conexión y medición en circuito paralelo de los discos piezoeléctricos.....	101
Figura 51 Circuito de rectificación.....	101
Figura 52 Medición del circuito con el puente rectificador.....	102
Figura 53 Circuito de rectificación con filtro capacitivo.....	102
Figura 54 Conexión del puente diodo con su filtro capacitivo.....	102
Figura 55 Medición de tensión rectificado y filtrado de los discos piezoeléctricos.....	103
Figura 56 Colocación y conexión en paralelo de los piezoeléctricos sobre la capa base..	103
Figura 57 Colocación y conexión puente rectificador y filtro capacitivo.	104
Figura 58 Colocación de resorte y capa pulsadora sobre el acrílico.	104



RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo principal brindar una propuesta de un diseño de baldosas piezoeléctricas para iluminar el frontis del mercado de abastos de Miramar. La investigación es de tipo aplicada considerado un diseño no experimental. Por lo que se realizó un análisis de la demanda máxima, la cual es de 80W, posteriormente se determinaron los parámetros necesarios para dar la iluminación adecuada en el frontis del mercado, considerando por normativa una cantidad aproximada de 70 lux, seguido se determinaron los parámetros mecánicos, obteniendo que los disco piezoeléctricos tiene una resistencia de 4276,54 MPa y 22HB de dureza, y eléctricos, como la potencia de 0,54W 13,92 de voltaje, para realizar el diseño de las baldosas piezoeléctricas. Se realizó una simulación para constatar que los circuitos realizados se instalen correctamente y el material de las baldosas resista las cargas aplicadas, obteniendo un factor de seguridad máximo de 13. Finalmente se realizó el presupuesto necesario para abastecer la iluminación del frontis mediante la fabricación de las baldosas piezoeléctricas, con un costo de S/24 380.38 en total.

Palabras claves: Piezoeléctrica, diseño mecánico eléctrico, sistema de iluminación, simulación, circuitos eléctricos



ABSTRACT

The main objective of this research is to provide a proposal for a piezoelectric tile design to illuminate the front of the Miramar food market. The research is of an applied type considered a non-experimental design. Therefore, an analysis of the demand was made, which is 80W, then the necessary parameters were determined to provide adequate lighting in the front of the market, considering by regulation an approximate amount of 70 lux, then the mechanical parameters were determined, obtaining that the piezoelectric disc has a resistance of 4276.54 MPa and 22HB of hardness, and electrical, as the power of 0.54W 13.92 voltage, to make the design of piezoelectric tiles. A simulation was carried out to verify that the circuits are installed correctly and that the material of the tiles resists the applied loads, obtaining a safety factor of 10. Finally, the necessary budget was prepared to supply the lighting of the front wall by manufacturing piezoelectric tiles, at a cost of S/24,380.38 in total.

Keywords: Piezoelectric, electrical mechanical design, lighting system, simulation, electrical circuits



CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del problema

El incremento de la población mundial, la industria, y otros sectores han disparado la demanda de energía eléctrica mundial, que viene causando un gran impacto al ambiente debido al uso de fuentes como los combustibles fósiles, sólo en el año 2018 se registró un consumo equivalente a 9,938 millones toneladas de petróleo; siendo China y a los miembros del OCDE los que concentran el 59% del consumo de petróleo (Ríos, Guamán, & Vargas, 2018). Debido a este motivo, a nivel mundial se han firmado protocolos para la disminución del CO₂ en la atmósfera, incentivándolos actualmente el uso de fuentes alternativas en la generación energética, por lo que, en las últimas décadas a nivel mundial viene existiendo una tendencia en la utilización de energías renovable con la finalidad de dar máximo provecho a los recursos utilizables y reducir los impactos ambientales (Noguera, 2019).

La energía solar fotovoltaica y eólica, son las energías que más se investigan y poseen mayor desarrollo tecnológico en la actualidad, en comparación a otras alternativas de generación que de momento no cubren la demanda o que la cantidad de energía generada no sustenta su costo, sin embargo la energía fotovoltaica y la eólica necesitan amplias áreas para su aprovechamiento, lo que su implementación a gran escala en áreas urbanas no es muy viable, haciéndose factible solo en proyectos de pequeña escala o para cubrir una determinada carga en zonas periurbanas.

En el ámbito urbano, la micro generación por piezoeléctricos es una alternativa que muchos países en vías de desarrollo vienen fomentando con diversas investigaciones y proyectos. Ya que la tecnología piezoeléctrica se puede utilizar en lugares de mayor tránsito vehicular, donde la presión ejercida en el generador piezoeléctrico crea una diferencia de potencia el cual es almacenado en bancos de baterías, para su aprovechamiento en el alumbrado público, mientras que otras investigaciones se han centrado en el aprovechamiento de la fuerza humana para la generación eléctrica mediante dispositivos que usen el movimiento de las extremidades humanas (Noguera, 2019), como zapatillas, mochilas y otros equipos portátiles que puedan generar energía suplementaria (Ríos, Guamán, & Vargas, 2018).

Según el Ministerio de Energía y Minas (2019), en el Perú el consumo energético a nivel nacional ha evolucionado considerablemente, registrando un consumo de 31 mil



GWh en el año 2019 respecto al año 2010 que solo se registraba un consumo de 16.4 GWh en el rubro industrial, de 7.1 GWh a 9.8 GWh en el rubro residencial, de 5.2 GWh a 5.3 GWh en el rubro comercial y de 0.7 GWh a 1.1 GWh en el rubro de alumbrado público; teniendo así por consecuencia un aumento del consumo per cápita de electricidad de 584 kWh a 1505 kWh desde el año 1995 al año 2018. Por lo expuesto anteriormente, los sistemas de alumbrado público demandan mucha energía, por lo que una opción para reducir el consumo de estos, es mediante la generación de energía con fuentes renovables.

Es por ello que en el mercado de abastos Miramar, se encuentra ubicado en el distrito de Alto Moche, provincia de Trujillo, departamento de La Libertad, el establecimiento brinda el servicio de provisión de alimentos de primera necesidad a los pobladores, con un horario de atención de 6:00 a 14:30 horas, aprovechando la luz solar donde las personas concurren de manera masiva a la zona para realizar sus compras, posteriormente en horas de la noche el mercado no cuenta con luz artificial para su iluminación exterior, es por ello que aprovechando la energía mecánica que emiten las personas al asistir al mercado, se desea realizar la propuesta de diseño de la tecnología piezoeléctrica como alternativa de energía renovable así iluminar el frontis del mercado de abastos Miramar, así mismo incentivar el uso de ésta tecnología en nuestro país, para la producción de energía eléctrica y contribuyendo a minimizar la contaminación ambiental.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Cómo se puede aprovechar la energía mecánica de las personas para abastecer el sistema de iluminación del frontis del mercado de abastos Miramar - Moche?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuánto es el consumo eléctrico que demanda el sistema de iluminación del frontis del mercado de abastos Miramar - Moche?
- ¿Cómo afectan los parámetros eléctricos en el diseño del sistema de iluminación?
- ¿Cómo afectan los parámetros eléctricos y mecánicos en el diseño de la baldosa piezoeléctrica?
- ¿De qué manera se puede analizar y evaluar la simulación del diseño de la baldosa piezoeléctrica?



- ¿Cómo conseguir un panorama financiero acerca de la implementación de baldosas piezoeléctricas para abastecer el frontis del mercado de abastos Miramar - Moche?

1.3 Formulación de objetivos

1.3.1 Objetivo general

Elaborar la propuesta de diseño de baldosas piezoeléctricas para abastecer el sistema de iluminación del frontis del mercado de abastos de Miramar - Moche.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar el consumo eléctrico del sistema de iluminación del frontis del mercado de abastos Miramar - Moche.
- Determinar cómo afecta los parámetros eléctricos en el diseño del sistema de iluminación del frontis del mercado de abastos Miramar - Moche.
- Determinar cómo afecta los parámetros eléctricos y mecánicos en el diseño de la baldosa piezoeléctrica.
- Analizar y evaluar la simulación del diseño de la baldosa piezoeléctrica mediante el software SolidWorks y Proteus.
- Determinar el presupuesto que involucra la implementación de baldosas piezoeléctricas para abastecer el frontis del mercado de abastos Miramar – Moche

1.4 Justificación de la investigación

Justificación teórica

Se justifica teóricamente porque, busca ser base de futuras investigaciones o punto de partida para documentos técnicos de gestión energética ya que expone la problemática a la que nos enfrentamos, sobre la dependencia energética y su uso excesivo. La alternativa propuesta es una técnica muy poco conocida localmente, por ende, ayudará a promover en un futuro a la investigación e implementación de temáticas a nivel nacional y a su vez fortalecer los conocimientos referentes a nuevas tecnologías para la generación de energías alternativas que sean eco-sostenibles y ayuden a reducir la contaminación ambiental (Vega, 2020).



Justificación tecnológica

Se justifica tecnológicamente la presente investigación porque permitirá fomentar la aplicación de tecnología limpia para la obtención de energía eléctrica, y así iluminar el frontis del mercado de abastos Miramar - Moche. Logrando impulsar la utilización de tecnologías eco amigables con el medio ambiente y funcionar como una técnica para incentivar el uso de diversas fuentes de energía no muy comunes o no convencionales (Carrillo & Velandia, 2017).

Justificación ambiental

El presente proyecto beneficia indirectamente el medio ambiente mediante la utilización de baldosas piezoeléctricas, ya que, reduce los efectos negativos creados por el uso de energías convencionales, como el agotamiento de los recursos naturales utilizados para producirlo, así como la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, entre otros (Gonzales, 2019). Esta investigación es de importancia medioambiental, debido a que brinda aportes para una eficiente gestión ambiental e impulsa la generación de nuevas alternativas promoviendo la disminución de los diferentes impactos ambientales y el desarrollo sostenible que conlleva (Carrillo & Velandia, 2017).

Justificación práctica

Se justifica de manera práctica la presente investigación ya que motiva el desarrollo de actividades o mecanismos de uso eficiente del recurso energético, donde el enfoque de un diseño de baldosas piezoeléctricas sea una herramienta para dilucidar los efectos provocados por la demanda de energía eléctrica, y lograr abastecer las necesidades energéticas de forma sostenible (Gonzales, 2019).



CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

Los antecedentes internacionales y nacionales que se mencionan a continuación son en medida de reforzar la presente investigación.

2.1.1. Antecedentes internacionales

Según Fischer y Duarte (2018) en su tesis tuvo como objetivo principal la investigación de la tecnología de recolección de energía, utilizando materiales piezoeléctricos. Se determinó la potencia eléctrica, la evaluación de los fabricantes de las baldosas, dimensión del banco de baterías e inversor y posteriormente la evaluación económica del proyecto. Como resultado se obtuvo un cálculo de potencia de 800 W, determinando una superficie de 8,37 metros cuadrados equivalente a 4 módulos, considerando un tránsito de 1 persona cada 5 segundos durante 12 horas diarias, el sistema contará con 8 baterías de 6V y 696Ah de capacidad, por último, un inversor de 24/220V, con una inversión de \$76 236. Finalmente se concluye que los sistemas piezoeléctricos no son tan rentables en comparación de un sistema fotovoltaico, ya que estos últimos están mejor desarrollados y avanzados.

Además, los autores Arévalo y Lamprea (2019) en su tesis tuvieron como objetivo general diagnosticar una alternativa de solución de energía renovable mediante la implementación de un sistema de baldosas piezoeléctricas en la USTV. Dicho sistema fue por medio una prueba piloto en uno de los salones de la universidad y la construcción de un prototipo de 41 x 41 cm; logrando una producción por pisada de 0,0072 W. Como resultado del trabajo de investigación utilizando 180 baldosas producen 107,71 W anuales, por último, se estimó la viabilidad económica de la investigación. Se concluyó que la alternativa con baldosas piezoeléctricas en la universidad no es viable económicamente por el elevado costo de producción.

Por otra parte, el autor Soria (2019) en su tesis tuvo como objetivo primordial alimentar el sistema de iluminación mediante la investigación de un sistema de baldosas con características piezoeléctricas, para tal fin utilizaron un modelo de diez baldosas que recibirán los pasos de las personas determinando así la cantidad de energía recolectada y acopiada en un banco de baterías para su posterior uso, como resultado se obtuvo que la



rentabilidad del proyecto no es favorable económicamente, mientras que en cuestiones ambientales se dejó de emitir dióxido de carbono al ambiente en grandes cantidades.

Asimismo, Ojeda (2019) en su tesis tuvo como objetivo primordial iluminar la multicancha en la sede Viña del Mar de la USM mediante la implementación y diseño de un sistema de baldosas piezoeléctricas, luego de recopilar información sobre los componentes de los sistemas piezoeléctricos y desarrollar la ingeniería básica del proyecto, se obtuvo como resultado que se necesitarán 12 baldosas, 4 focos led de 250 W para la iluminación, entre otros accesorios, teniendo un costo total de \$ 30 245,29. Se concluyó en que se logró abastecer la energía requerida para la iluminación de la multibanca con la tecnología piezoeléctrica, pero el costo del proyecto es elevado.

Por otro lado, Burbano (2021) en su tesis tuvo como objetivo principal implementar y diseñar un sistema tipo baldosa con elementos piezoeléctricos para la producción de energía eléctrica, como metodología se analizaron los antecedentes se definió los requisitos y/o características del sistema, se diseñó el prototipo y se realizaron pruebas. Como resultado se obtuvo la propuesta de usar cuatro piezoeléctricos en tres diferentes formas de conexión (serie, paralelo, mixto) lo que indica que la mejor forma de conexión es la paralela, se concluyó la eficiencia de estos sistemas es directamente proporcional al flujo de personas que concurren de instalación del sistema piezoeléctrico.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Como antecedentes nacionales, se analizó la investigación de Concha y Zamalloa (2017) donde tiene como objetivo principal la ejecución de un sistema en una estación del tren eléctrico de Lima, Perú, que permita la generación de energía renovable bajo el enfoque de la tecnología piezoeléctrica. Utilizando como proveedor a PAVEGEN de las baldosas piezoeléctricas se obtuvo como resultado del proyecto que en un plazo de 49 días se podía implementar el proyecto con un costo total de proyecto de S/ 194,972.7 y la recuperación estaría entre los 7,3 y 17,7 meses. Se concluyó que el sistema es viable logrando reducir los costos energéticos de la estación.

Además, Manayay (2020) en su tesis tuvo como objetivo principal utilizar baldosas con generadores piezoeléctricos en el sistema de luminaria led de la discoteca Tarima para la disminución de la adquisición de energía eléctrica. La metodología de investigación estuvo dada por un diseño no experimental, enfoque cuantitativo y tipo aplicada, tuvo como



resultados que se necesitan un total de 198 baldosas, obteniendo un VAN de 1 153,86 y un TIR de 17% el cual es factible en un tiempo de 5 años. En conclusión, se logró realizar la iluminación que se necesitaba en el establecimiento, obteniendo beneficios económicos.

Por otra parte, Benavente (2020) en su tesis tuvo como objetivo principal utilizar un sistema piezoeléctrico simulado para reducir los costos energéticos en la UTP – sede Arequipa. Se consideraron las etapas de un sistema piezoeléctrico, la simulación en el software Proteus y por último un coste beneficio, Obtuvo como resultados que por pisada se obtiene un total de 7.74W referente a costo beneficio se obtuvo un VAN de S/. 39 585,38; un TIR de 45% y un tiempo de recuperación de 13 años. Con el resultado se concluyó que la alternativa de un sistema de piezoeléctrico simulado es viable siendo beneficioso para la universidad.

Asimismo, Núñez (2018) en su tesis tuvo como objetivo principal generar energía eléctrica mediante un estudio del aprovechamiento de la tecnología piezoeléctrica en la zona de baile de la discoteca La Cayet, el diseño del proyecto fue pre experimental, con pretest y postest. Se obtuvo como resultados que un área de quince metros cuadrados se necesitaban 6 025 unidades de discos piezoeléctricos, con una potencia instalada de 1050 W y total a invertir de S/. 10 209,03. Se concluye que el sistema piezoeléctrico es factible para la zona en estudio tanto en materia de energía como en costos económicos

Por otro lado, López y Prudencia (2020) en su tesis tuvo como objetivo implementar un modelo de piezoeléctrico adecuado a un soporte con el movimiento cinético para obtener energía renovable, la metodología que se emplea fue de diseño experimental y del tipo aplicada, obteniendo como resultado que mediante el prototipo se pudo obtener y recolectar energía renovable. Se concluyó que se logró desarrollar el objetivo del proyecto obteniendo energía limpia mediante el movimiento corporal de los individuos.

2.2 Bases teórico científicas

2.2.1. Tecnología piezoeléctrica

Efecto piezoeléctrico

El efecto piezoeléctrico también llamado piezoelectricidad, este fue puesto en evidencia por Hankel en 1881 para dar a conocer el descubrimiento de los hermanos Curie del año anterior. Es la propiedad que exhiben ciertos cristales cuando son abatidos a presión o tensión mecánica (Gómez, 2018), por otro lado también, es un fenómeno físico que

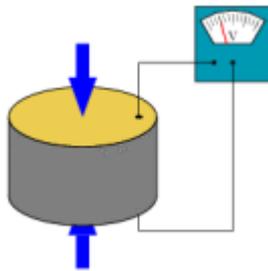


presentan algunos materiales en los cuales aparece un diferencial de potencial eléctrico en determinadas caras, esto sucede cuando el material es deformado (Morocho & Ordoñez, 2020).

Desde un punto de vista molecular, antes que el cristal piezoeléctrico sea sometido a tensión, deben coincidir negativamente y positivamente entre las cargas en los centros de gravedad. Cuando desplegamos cierta tensión, su estructura interna se altera, generando pequeños dipolos debido a la falta de alineación de los centros de gravedad de las cargas. Los polos opuestos se inhabilitan, y surge que el material queda polarizado, presenta en la superficie del material una distribución de cargas y esto genera un campo eléctrico (Gómez, 2018).

Figura 1

Generación de voltaje del material piezoeléctrico

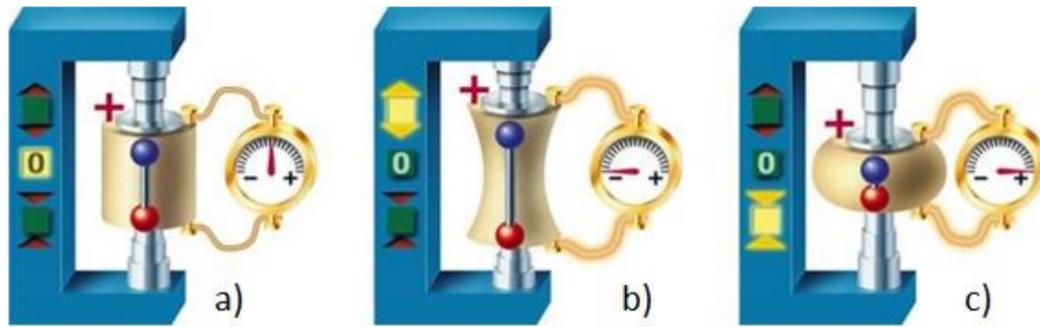


Nota. Extraído de (Fischer & Duarte, 2018)

Existe la posibilidad de transductores, los cuales son dispositivos que utilizan características físicas como la piezoelectricidad para transformarla en otro prototipo de energía, tal es el caso, que pasa a transformarse de energía mecánica a energía eléctrica; este transductor tiene un desempeño que varía en un porcentaje, obteniéndose del divisor de la energía ya transformada por la energía total que se va a transformar. El efecto piezoeléctrico se puede generar de tres diferentes maneras, una de ellas es cuando las condiciones son nulas, la otra es cuando hay una fuerza de tracción, generando una diferencia de cargas polarizadas en un mismo sentido, y por último se da cuando se genera una diferencia en el potencial en el sentido contrario del caso anterior (Tena, 2017).



Figura 2
Efecto piezoeléctrico

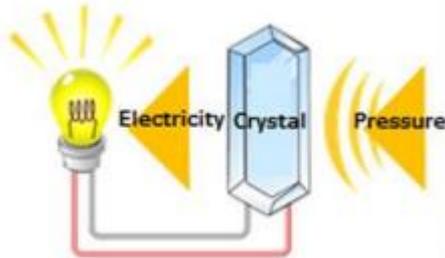


Nota. Extraído de (Tena, 2017).

Disco piezoeléctrico

Son sensores piezoeléctricos que actúan mediante la deformación por acción de una fuerza tienden a polarizarse eléctricamente generando un campo eléctrico que puede usarse como energía mecánica para luego transformarse en energía eléctrica (De Sousa & Manganiello, 2018).

Figura 3
Generación de electricidad mediante disco piezoeléctrico



Nota. Extraído de (Fischer & Duarte, 2018)

El disco piezoeléctrico PZT presenta 27mm de diámetro, correspondiéndole 20 mm al contenido de sustrato piezoeléctrico, siendo de tamaño pequeño para lograr la aplicación de fuerza en el centro del sustrato la tapa y capa superior de la baldosa piezoeléctrica en los polímeros de presión. El circuito de este disco puede estar representado por una fuente de voltaje conectada en serie con un capacitor, Molina (2020) desarrolló un prototipo de baldosa piezoeléctrica con 16 discos piezoeléctricos, es por ello que insertó un campo con el objetivo de controlar todos los discos, ayudando a tener conocimiento de su valor para el cálculo del voltaje.



Medidas eléctricas de los parámetros del disco piezoeléctrico

- **Voltaje generado por mediante la carga mecánica**

Es la aplicación de una fuerza a la superficie de un disco piezoeléctrico, generando un voltaje, está determinado por la siguiente fórmula (Álvarez et al., 2017):

$$V = -g_{33} x h x \frac{F}{A}$$

Donde:

A: área efectiva

V: voltaje obtenido

g_{33} : piezoeléctrica constante

F: fuerza ejercida

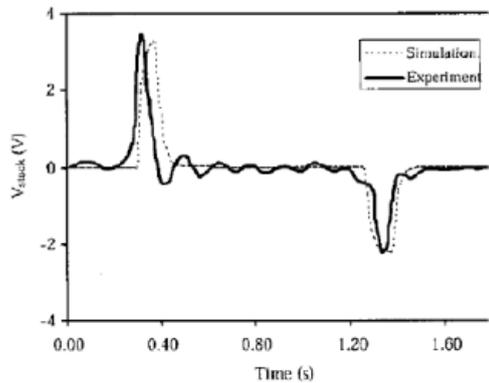
h: grosor o longitud

- **Comportamiento del piezoeléctrico bajo carga cuasi estática**

Se generan dos picos de voltaje, uno positivo cuando se aplica la fuerza y otro negativo en el instante en que se retira la fuerza (Fischer & Duarte, 2018).

Figura 4

Comportamiento piezoeléctrico bajo carga cuasi-estática

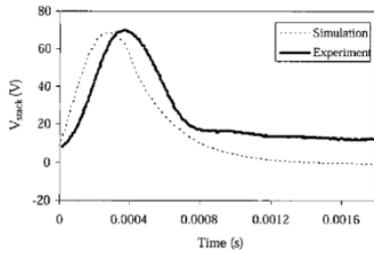


Nota. Extraído de (Fischer & Duarte, 2018).

- **Comportamiento del piezoeléctrico bajo carga dinámica**

Solo presenta un pico de voltaje y es por lo general 10 veces mayor al anterior. Se ilustra en la siguiente figura (Fischer & Duarte, 2018).

Figura 5
Comportamiento piezoeléctrico bajo carga dinámica



Nota. Extraído de (Fischer & Duarte, 2018).

Baldosas piezoeléctricas

La baldosa piezoeléctrica ha sido aplicada desde la primera mitad del siglo XX, pero a nivel mundial no hay mucho conocimiento sobre ella, este enfoque implica utilizar la energía generada por las personas mientras caminan como fuente de electricidad. Esto surgió debido al número de personas que transitan por diferentes lugares, generando una energía que no estaba siendo utilizada, por ende, se planteó un método para su buen aprovechamiento convirtiéndola en energía eléctrica. Las baldosas piezoeléctricas en una modalidad para la generación de energía renovable, sostenible, la cual puede solucionar los problemas con abastecimiento energético y el consumo excesivo (Valencia, 2019).

La baldosa piezoeléctrica está hecha de materiales que pueden cambiar la energía cinética en energía eléctrica a través de fenómenos piezoeléctricos. Está compuesto por elementos piezoeléctricos, los cuales al ser pisados generan electricidad, ésta tiene aplicaciones para sistemas de iluminación, señaléticas y provisiones de electricidad, etc. (Morocho & Ordoñez, 2020).

Figura 6
Baldosas piezoeléctricas



Nota. Extraído de (Morocho & Ordoñez, 2020)



Ecuaciones del modelo piezoeléctrico

Estas ecuaciones relacionan parámetros mecánicos como la tensión, la deformación con los parámetros eléctricos, como el voltaje, intensidad de corriente, etc.

Ecuación 1:

$$P = dT$$

Dónde:

P: Vector de polarización.

T: Tensión mecánica N/m².

d: constante de carga del piezoeléctrico

Ecuación 2:

$$P = D - \epsilon^T E$$

Donde:

ϵ : Permitividad eléctrica

E: Campo eléctrico

D: Desplazamiento

Ecuación 3: Las ecuaciones anteriores se pueden relacionar entre si

$$D = dT + \epsilon^T E$$

$$E = gT + \frac{D}{\epsilon^T}$$

Donde:

d: carga piezoeléctrica

g: constante de carga piezoeléctrica

ϵ^T : permitividad

T: tensión mecánica

Ecuación 4: Campo eléctrico generado por una tensión mecánica aplicada.

$$S = dE$$

$$S = gD$$

Donde:

S: Deformación mecánica

d: constante de carga piezoeléctrica

E: campo eléctrico



Tipos de materiales piezoeléctricos

En términos de materiales piezoeléctricos, ha habido avances técnicos debido a sus excelentes capacidades piezoeléctricas y electromecánicas, el PZT a base de plomo se creó como un material específico para su uso en actuadores, sensores y transductores. Los piezocompuestos, los polímeros y la cerámica se encuentran entre los materiales piezoeléctricos más prevalentes (Fischer & Duarte, 2018).

Los materiales piezocompuestos tienen el beneficio de una mayor flexibilidad ya que están contruidos con un piezoeléctrico cerámico en su fase activa y un polímero en su fase pasiva. Los MFC son una forma de compuesto piezoeléctrico compuesto por varias piezocerámicas intercaladas entre dos capas adhesivas y láminas de electrodos. Además, se emplean principalmente en la fabricación de energía eléctrica a través de la aplicación de vibraciones de alta y baja frecuencia en los diversos tipos de fuerzas que se les aplican (Álvarez et al., 2017).

En la tabla 1 se aprecia los tipos de materiales piezoeléctricos, siendo los siguientes: el cuarzo, el titanato de bario, el sulfato de litio, el metaniobato de bario, cerámicos polarizados y zirconato titanato de plomo.

Tabla 1

Tipos de materiales piezoeléctricos

Material	Ventajas	Desventajas
Cuarzo	Estabilidad eléctrica, química y térmica. Resistencia al deterioro.	Se necesita de un alto voltaje. Menor eficiencia en la generación de energía acústica. Deficiente amortiguación y resistencia.
Titanato de bario	Emisor eficiente por el módulo piezoeléctrico.	Frecuencia menor a 15MHz.
Sulfato de litio	Óptima amortiguación acústica. Receptor eficiente.	Uso menor a 75°C. Material frágil.
Metaniobato de bario	Eficiente estabilidad térmica. Resistente a temperaturas altas.	Deficiente resistencia mecánica y baja frecuencia.
Cerámicos polarizados	Uso menor a 300°C. Resistente a la humedad.	Menor resistencia y dureza al deterioro.
Zirconato titanato de plomo (PZT)	Excelente emisor por el módulo piezoeléctrico.	Elevado factor de deformación.

Nota. Extraído de (Álvarez et al., 2017).



2.2.2. Sistema de iluminación

Conjunto de elementos que generan luz artificial para proporcionar mejoras en la visibilidad, en espacios interiores o exteriores de una casa, empresa o industria (Skarżyński et al., 2021).

Tipos de luminarias

Existen varios tipos de luminarias entre ellas se encuentran entre ellas la incandescente, fluorescente, descarga y LED, ésta última entre una mejor iluminación por menos potencia, la cual la convierte en la más económica (Skarżyński et al., 2021).

- **Incandescente**

La iluminación incandescente produce luz a través del calentamiento del alambre al ser atravesado con corriente eléctrica de manera constante, este calentamiento llega a temperatura alta, de tal manera que la radiación emitida se relaciona con distintas zonas, como del espectro electromagnético y en una de ellas es la correspondiente a la luz visible (Grudilec, 2018).

- **Fluorescente**

Consiste en un tubo de vidrio que en su parte inferior tiene un gas que cuando es atravesado por electrones, tiene función de transmitir luz de color blanca; la pared interna del tubo está cubierta por una sustancia fluorescente o fosforescente, cuyo objetivo es pasar a transformarse de luz ultravioleta a luz visible, esto es posible debido a que también en su interior posee un gas inerte, argón (Ar) y una dosis pequeña de mercurio en líquido (Villa, 2017).

- **Descarga**

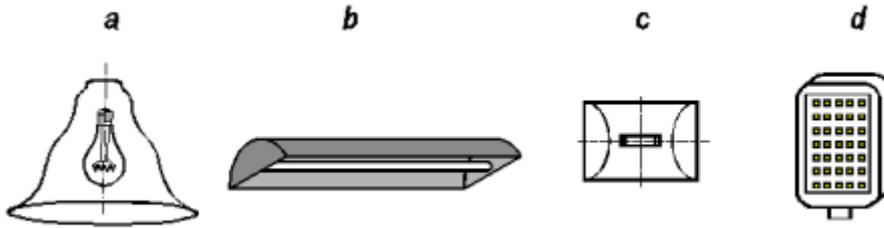
Luminaria en la que se genera la luz, indirectamente o directa, mediante una descarga eléctrica de un gas, una combinación de varios gases, un vapor metálico y vapores (MINEM, 2017). La luz emitida es generada por la excitación de un gas que ha sido sometido a descargas eléctricas, el tipo de luminaria depende de la presión y el gas contenido se tendrá diferentes tipos de luminarias, con diferentes características (Opcc, 2020).

- **Led**

La luminaria LED, también llamada diodo emisor de luz, no se conecta directamente de la corriente eléctrica, esta puede proveerse a través de un casquillo (MINEM, 2017).



Figura 7
Tipos de luminarias



Nota. Extraído de (Skarżyński et al., 2021)

Diseño de la iluminación según normativas

Se basa en la elección de normas nacionales o internacionales que regulan o definen las reglas de cálculo para la iluminación de cada tipo de espacio (interior o exterior) y lograr cumplir con las especificaciones mínimas para mejorar la visibilidad de los usuarios (iluminica, 2020). Entre las normas Nacionales encontramos el RNE (reglamento nacional de edificaciones), mientras que de manera internacional encontramos muchas más como: normas CIE, ISO: 5000 (gestión de energía), UNE 12464 – 2(alumbrado exterior), entre otras.

Selección de luminarias

Esta selección depende del tipo de luminaria que se desea instalar en el sistema de iluminación, la cual se basa en requisitos técnicos incluyendo el uso que se le desea dar en el espacio, ya sea interior o exterior y criterios complejos de diseño (iluminica, 2020).

Cableado

Elementos que conducen la energía eléctrica hasta las luminarias para que cumplan su función, es importante su correcta instalación para que un sistema de iluminación opere correctamente (iluminica, 2020).



Figura 8
Cable eléctrico

INDECO
empresa Nexans



Nota. Extraído de INDECO

Regulador PWM

Dispositivo que es usado mayormente en energía solar, en este caso se utilizará como interruptor entre las baldosas piezoeléctricas y las baterías, su función principal es forzar a las baldosas fotovoltaicas a trabajar en la misma tensión que las baterías (Luna Paipa et al., 2018).

Figura 9
Regulador PWM



Nota. Extraído de Autosolar.

Inversor CC/CA

Es un instrumento electrónico el cual convierte la corriente alterna (CA) a una corriente continua (CC) con la finalidad de alimentar a los elementos que funcionen con éste último tipo de corriente (Estabilizadores Work, 2017).



Figura 10
Inversor CC/CA



Nota. Extraído de Autosolar

Baterías

Tena (2017) aplicó el uso de una batería que no contara con mucha capacidad debido a que el piezoeléctrico no generaría cargas altas, en este caso una batería recargable PikCell ni-cd, con una energía total de 1,08 Wh, con una resistencia de $100K\Omega$ y $1M\Omega$, con una capacidad de 300 mA, con un voltaje de 3,6 voltios, para aplicarla en encender los Leds.

Dispositivo para almacenar energía eléctrica generada por las energías renovables en este caso por la tecnología piezoeléctrica, para tal fin se requiere un banco de baterías de ciclo profundo, la energía almacenada puede utilizarse de noche (Ministerio de Energía de Chile, 2019).

Figura 11
Baterías



Nota. Extraído de Sun Stone Power



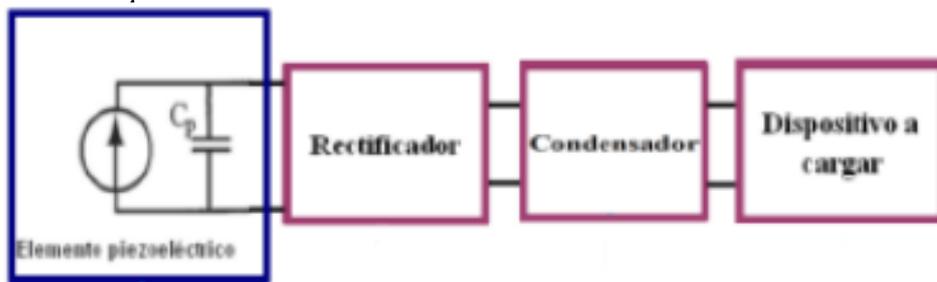
2.2.3. Diseño de un sistema piezoeléctrico

El diseño del sistema piezoeléctrico consta de 3 etapas: la primera, la captación de la energía mecánica o cinética mediante las pisadas generados por las personas; segundo, un rectificador se encarga de convertir la energía alterna a continua; tercero, el condensador es el encargado de almacenar los voltajes captados por las pisadas de las personas (De Sousa & Manganiello, 2018).

El sistema piezoeléctrico constituye de un recorrido para la debida fabricación de energía eléctrica, a partir de la presión que ejerce una persona, generando un voltaje con una intensidad suficiente para ejecutar el funcionamiento del circuito integrado, la energía provocada se rectifica con un puente de diodos almacenado dentro de un chip, para luego almacenarse en un condensador, cuando esté debidamente cargado, el chip por si solo provocará que esa energía vaya a la batería para su almacenamiento (Tena, 2017).

Figura 12

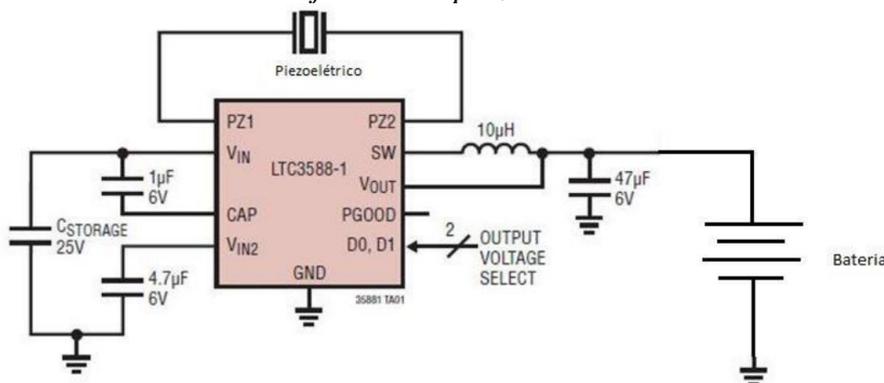
Modelo de tapa de radiador



Nota. Extraído de (De Sousa & Manganiello, 2018).

Figura 13

Circuito eléctrico montaje baldosa piezoeléctrica



Nota. Extraído de (Tena, 2017).

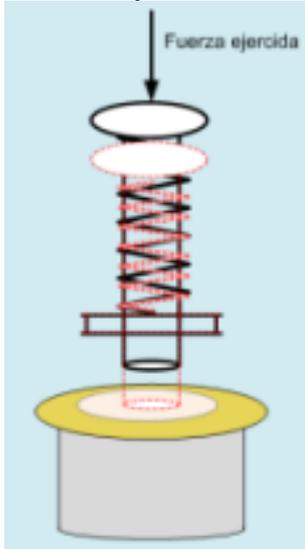


2.2.4. Captación de energía

La energía mecánica o cinética se encuentran entre las más frecuentes en términos de captación de energía. Un mecanismo de resorte proporciona fuerza externa al tipo de tapa del radiador, lo que le permite volver a su posición original (Morocho & Ordoñez, 2020).

Figura 14

Modelo de tapa de radiador

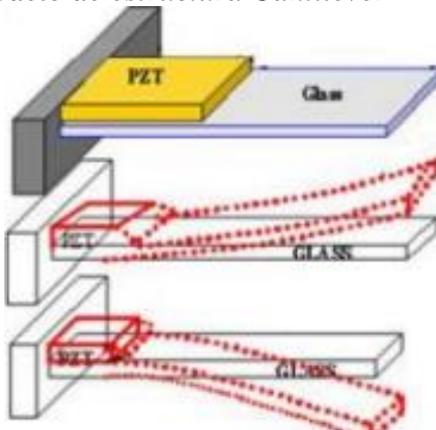


Nota. Extraído de (Morocho & Ordoñez, 2020).

Según Morocho y Ordoñez (2020) menciona que las vibraciones que se utilizan para reunirse en el estilo de construcción en Cantiléver consisten en una o dos láminas de dispositivos piezoeléctricos con electrodos en la capa superior y también en la capa inferior, creando una deformación significativa; con este tipo de estructura se llevan a cabo diferentes aplicaciones industriales.

Figura 15

Modelo de estructura Cantiléver



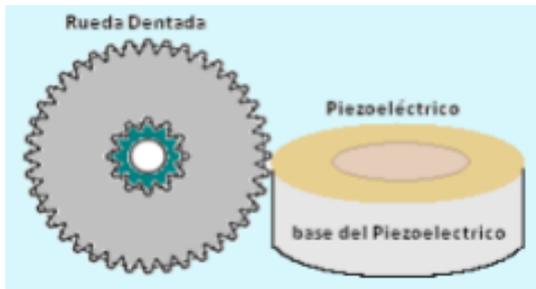
Nota. Extraído de (Morocho & Ordoñez, 2020).



Se emplea un sistema de mecanismo de engranajes en el modelo de rueda dentada para recuperar la energía mecánica de las vibraciones de las pisadas al transitar.

Figura 16

Modelo de rueda dentada



Nota. Extraído de (Morocho & Ordoñez, 2020).

2.2.5. Baldosa piezoeléctrica PAVEGEN

Laurence Kemball - Cook fue el creador de las baldosas PAVEGEN, que utilizan tecnología de recolección de energía en naciones europeas y se implementan en una variedad de entornos, incluidos aeropuertos, estaciones de metro y centros comerciales (Ojeada, 2019).

La dimensión de las baldosas PAVEGEN son de 45 X 60 centímetros y están destinadas a áreas de alto tráfico; su superficie está hecha de caucho reciclado, lo que los hace amigables con el medio ambiente (Ojeada, 2019).

Figura 17

Baldosas Piezoeléctricas - PAVEGEN



Nota. Extraído de PAVEGEN



2.2.6. SOFTWARE SolidWorks

SOLIDWORKS CAD es un programa de diseño mecánico que permite a los diseñadores esbozar conceptos rápidamente, experimentar con características y medidas y crear modelos y dibujos completos (Chuquimarca, Suárez, & López, 2021).

Este documento repasa los principios y el vocabulario que se utilizan en todo el programa SOLIDWORKS. Permite al usuario familiarizarse con las funcionalidades que se utilizan con frecuencia en SOLIDWORKS (Chuquimarca, Suárez, & López, 2021).

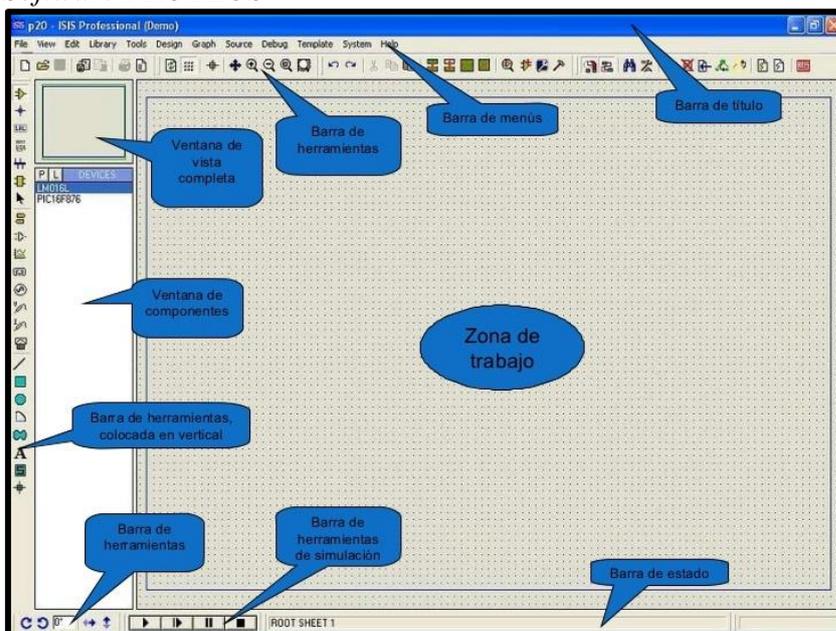
2.2.7. Software Proteus

Es un programa integral de simulación electrónica creado para la implementación de proyectos electrónicos en las fases de construcción, depuración, simulación y diseño (Waluyo, Bitang, & Januariyansah, 2021).

Este programa tiene una amplia gama de modelos de dispositivos eléctricos, lo que le permite experimentar con diseños y ahorrar tiempo al evitar una serie de dificultades con la implementación real (Waluyo, Bitang, & Januariyansah, 2021).

Este programa permite la interacción con muchas partes que integran un circuito incluyendo microcontroladores o microprocesadores, así como un análisis exhaustivo del sistema y una visualización adecuada del mismo (Chuquimarca, Suárez, & López, 2021).

Figura 18
Software PROTEUS



Nota. Extraído de (Chuquimarca, Suárez, & López, 2021).



2.3. Definición de términos básicos

Piezolectricidad

Propiedad que tienen algunos elementos, que al ser deformados producen una tensión (Soria, 2019).

Electricidad

Es la acción que realizan los electrones al moverse de un punto a otro (Soria, 2019).

Luminaria

Dispositivo que produce luz artificial (iluminica, 2020)

Intensidad de corriente

El número de carga que viaja a través de un conductor por unidad de tiempo se define como el nivel de intensidad de la corriente, con unidad de medida en amperios (A). Más: esto se puede comparar con la corriente de un río (Morocho & Ordoñez, 2020).

Sistema de iluminación

Conjunto de elementos que garantizan la visibilidad de manera artificial a los usuarios (iluminica, 2020).

Energía cinética

Es la energía de un cuerpo en movimiento. Es la habilidad o el trabajo que permite que una cosa se mueva desde el reposo o la quietud a una velocidad específica. (Ministerio de Energía de Chile, 2019).



2.4 Formulación de hipótesis

2.4.1 Hipótesis general

Elaborando una propuesta de diseño de baldosas piezoeléctricas se puede aprovechar la energía mecánica de las personas para abastecer el sistema de iluminación del frontis del mercado de abasto de Miramar- Moche.

2.4.2 Hipótesis específicas

- El sistema de iluminación del frontis del mercado de abastos Miramar – Moche tiene un consumo eléctrico significativo.
- Los parámetros eléctricos influyen de manera significativa en la iluminación del frontis del mercado de abastos de Miramar-moche.
- Los parámetros eléctricos y mecánicos influyen de manera significativa en la generación de la baldosa piezoeléctrica.
- El diseño de la baldosa piezoeléctrica, se puede analizar y evaluar mediante los softwares SolidWorks y Proteus.
- Realizando un presupuesto podemos conseguir un panorama financiero acerca de la implementación de baldosas piezoeléctricas para abastecer el frontis del mercado de abastos Miramar-moche.



2.5 Operacionalización de variables

Tabla 2

Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumento	Escala de medición
Variable independiente: Baldosa piezoeléctrica	La baldosa piezoeléctrica está compuesto por elementos piezoeléctricos, los cuales al ser presionados por los transeúntes generan energía eléctrica (Morochó & Ordoñez, 2020)	De los dispositivos piezoeléctricos se obtendrán parámetros eléctricos al ser estimulados por los pasos de las personas que concurren al mercado.	Parámetros eléctricos de los discos piezoeléctricos	1. Voltaje 2. Corriente 3. Potencia	Multímetros digitales y virtuales	1. voltios 2. amperios 3. watts
				1. Peso de las personas 2. Dimensiones de la baldosa		Balanza flexómetro
Variable dependiente: Sistema de iluminación	Es la forma de iluminación artificial proporcionada por dispositivos eléctricos que emiten (Quispe & Tonato, 2021).	La iluminación genera un consumo de energía eléctrica la cual será cubierta por la energía producida en las baldosas eléctricas.	Parámetros eléctricos del sistema de iluminación	Energía eléctrica	Guía de análisis documental	Kw/h
				Costo mensual del consumo de energía eléctrica del frontis del mercado		Guía de análisis documental

Nota. Elaboración propia



CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Tipo de investigación

El autor Nicomedes (2018) manifiesta que una investigación aplicada es cuando se esfuerza por desarrollar el conocimiento por aplicación directa a los problemas y, en el proceso, genera nueva información, con cuyo uso se logra el conocimiento de la realidad. Por lo que, el tipo de investigación del presente proyecto de estudio es aplicada ya que se abordará el problema de escasez de iluminación en el frontis del mercado de abastos de Miramar, brindando nueva información sobre diferentes formas de generar energía eléctrica eco amigable y limpia utilizando tecnología piezoeléctrica es del tipo aplicada.

3.2. Método de investigación

Los autores Rodríguez & Pérez (2017) asegura que una investigación es hipotética deductiva cuando la hipótesis es inicio para disgregación de nuevas deducciones, las hipótesis son sometidas a verificaciones y se puede comprobar la veracidad de la hipótesis inicial. Por lo tanto, el presente trabajo de investigación será hipotético deductivo debido a que, se partirá de una hipótesis general para luego dividirse en específicas las cuales serán desarrolladas durante el proyecto para determinar su veracidad.

3.3. Diseño de investigación

El autor Maldonado (2016) indica que una indagación es no experimental cuando no se alteran las variables del objeto en estudio, es decir no hay estímulos a que se expongan los elementos de estudio. Por lo que, no se manipulará la variable dependiente el cual es el sistema de iluminación, y ni tampoco la variable independiente que son las baldosas piezoeléctricas, significando así un diseño no experimental.

3.4. Población, muestra y muestreo

La población según Baena (2017) son aquellos elementos que conciertan con explícitas características similares entre sí, es por ello que la población utilizada para el trabajo de investigación serán las instalaciones del mercado de abastos Miramar ubicado en el distrito de Alto Moche, departamento de La Libertad.



Baena (2017) describe a la muestra como una parte de la población dentro de la cual debe tener características similares en lo posible. Como muestra utilizaremos el frontis del mercado de abastos ya que en esa zona se desarrollará el proyecto de investigación, para este proyecto no se aplicó ningún método de muestreo.

3.5. Técnicas e instrumentos de recojo de datos

3.5.1. Técnicas

Según Baena (2017) la observación es un elemento fundamental para desarrollar una investigación siendo un principal apoyo al momento que se desee dar con la información concreta estando presente en el lugar donde se realiza el estudio.

Además, Baena (2017) menciona que el análisis documental es la investigación en libros, artículos o medios digitales acerca del trabajo de investigación que se está proponiendo, en ese sentido el proyecto recolecta información acerca de los diferentes dispositivos electrónicos y piezoeléctricos utilizados.

3.5.2. Instrumentos

Guía de observación: según los autores Ortega Carbajal et al (2015) se utiliza para recopilar información sobre los elementos de la investigación, por lo que este proyecto emplea formatos de registro para conocer las cualidades únicas de los elementos.

Guía de análisis documental: según los autores Ortega Carbajal et al (2015) mediante la técnica de análisis documental se podrá hacer el registro de las especificaciones que se requieren para el trabajo de investigación.

3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para el desarrollo de los objetivos del presente proyecto se utilizará el apoyo de programas tecnológicos como Proteus, SolidWorks, Dialux, AutoCAD que en conjunto con los demás instrumentos se logrará obtener los resultados para dar solución al objetivo inicial.

3.7. Ética investigativa

Se consultaron fuentes de información las cuales fueron registradas siguiendo los procedimientos establecidos por la norma APA 7ma edición, cumpliendo así con los derechos de autor.



CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1 Presentación y análisis de resultados

En el presente capítulo se presentan los resultados obtenidos del diseño de baldosas piezoeléctricas, además de algunas consideraciones importantes a tomar en cuenta para comprender más a fondo el diseño.

4.1.1. Determinar el consumo eléctrico del sistema de iluminación del frontis del mercado de abastos Miramar - Moche.

El consumo eléctrico del sistema de iluminación está dado por el consumo total de todas las cargas eléctricas siendo las únicas, las luminarias conectadas al sistema.

$$Carga\ total\ instalada = \sum consumo\ eléctrico\ c/luminaria$$

El sistema de iluminación cuenta con 4 luminarias cada una con un consumo de potencia de 20 W. Por tanto, se tiene una carga total instalada:

$$Carga\ total\ instalada = 4 \times 20W$$

$$Carga\ total\ instalada = 80W$$

Sin embargo, es necesario establecer un factor de demanda que indica la relación entre la demanda máxima y la carga total conectada, como las luminarias serán encendidas todas a la vez en su totalidad el factor de demanda es del 100%. Teniendo una máxima demanda de:

$$Máxima\ Demanda\ (MD) = 80W \times 100\%$$

$$Máxima\ Demanda\ (MD) = 80W$$

Esto implica que el sistema de iluminación del frontis del mercado de abastos Miramar-Moche, el cual cuenta con 4 luminarias, va a tener un consumo 80 W siendo que todas las luminarias serán encendidas en conjunto.



Tabla 3

Consumo eléctrico del sistema de iluminación

CONCEPTO	Cantidad	C. INSTAL. Uni. (W)	C. total Instal. (W)	F. Dem %	M.DEM PARC. (W)	M.DEM TOTAL (W)
CONSUMO ELÉCTRICO	4	20	80	100%	80	80

Estos resultados nos sirven para a constatar la primera hipótesis específica, de determinar el consumo eléctrico del sistema de iluminación del frontis del mercado de abastos Miramar - Moche.

4.1.2. Determinar cómo afecta los parámetros eléctricos en el diseño del sistema de iluminación.

Se realizará el diseño del sistema de iluminación del frontis del Mercado de Abastos de Miramar-Moche

El Ministerio de Energía y Minas (2002) en la Norma Técnica DGE “Alumbrado de Vías Públicas en Zonas de Concesión de Distribución” señala:

- Los tipos de alumbrado según la clasificación vial (Anexo A6) por lo que para locales comerciales le corresponde el alumbrado tipo III.
- Los tipos de calzada de acuerdo al tipo de superficie (Anexo A7), que para el presente estudio es calzada oscura por tener una superficie de revestimiento de asfalto.
- Niveles de iluminancia media de acuerdo al tipo de alumbrado (Anexo A8), que para el presente estudio le corresponde una iluminancia media de 10-20 lux
- Niveles de uniformidad de luminancia e iluminancia (Anexo A9), que en este caso es de 0,25 – 0,35

La luminaria utilizada es la Ledvance Floodlight Performance 20W que se emplea en fachadas y cuyas características, dimensiones y diagrama fotométrico se presentan en Anexo 10,11 y 12 respectivamente.

El sistema de iluminación fue diseñado en el software Dialux y ha sido realizado en base a los requerimientos anteriormente mencionados. Los resultados obtenidos se presentan a continuación:



Figura 19

Rendering en 3D de la Iluminación del frontis del Mercado de Abastos de Miramar

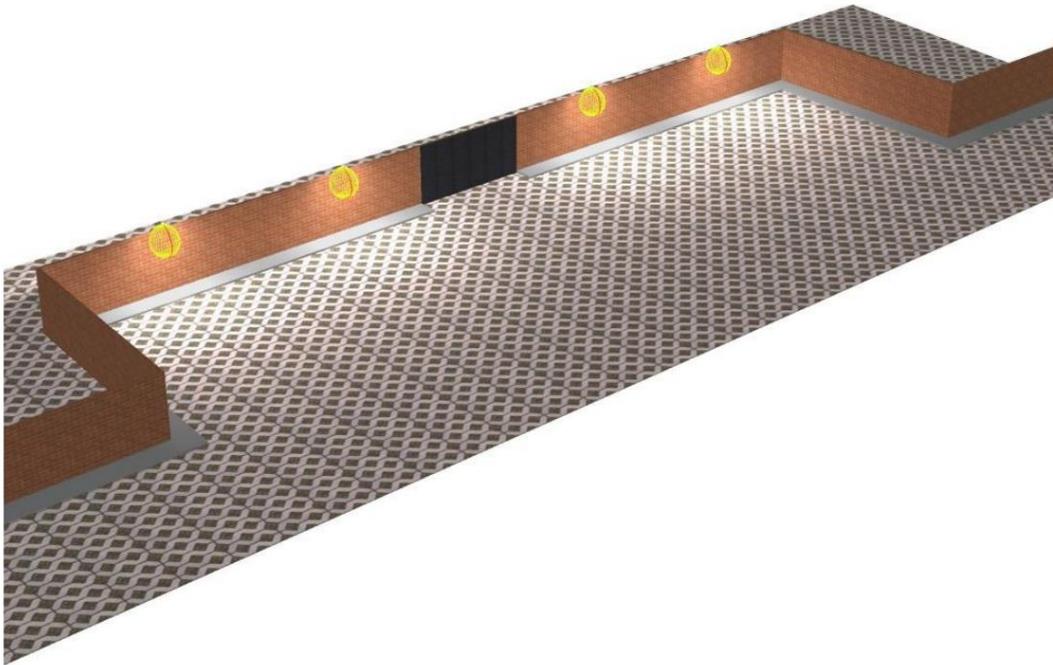
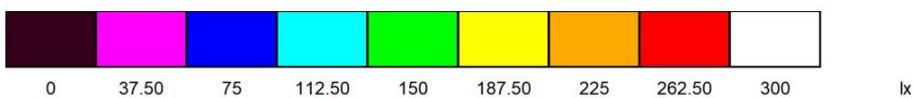
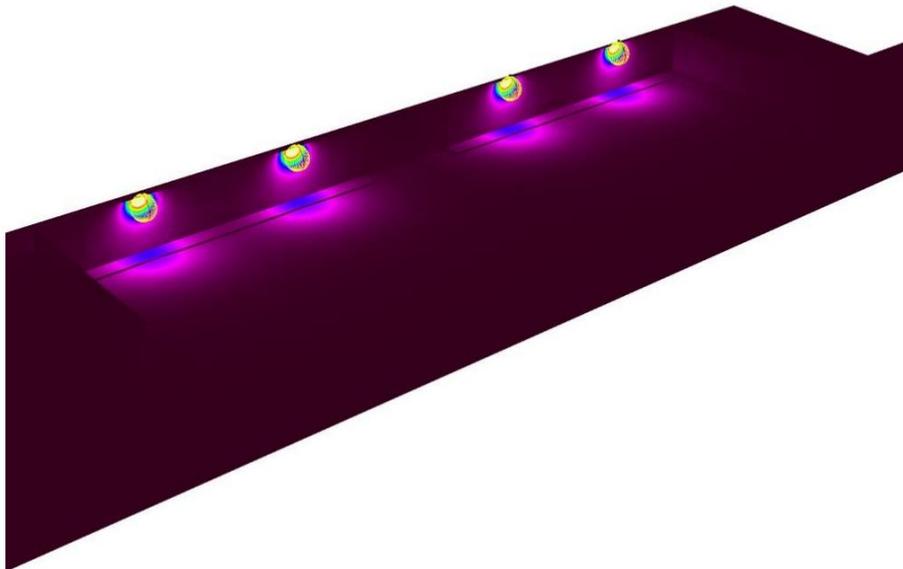


Figura 20

Rendering de colores falsos de la Iluminación del frontis del Mercado de Abastos de Miramar



Así mismo, como resumen de resultados obtenidos del estudio lumínico tenemos



Tabla 4

Resumen de los resultados

Iluminancia media (lux)	Iluminancia mínima (lux)	Iluminancia máxima (lux)	E _{min} /E _m	E _{min} /E _{max}
34	6.17	70	0.18	0.09

Cálculo de conductor para alumbrado. Para el cálculo del conductor se hace en base a dos criterios, en primer lugar, por capacidad de corriente en la que se tiene:

$$I_n = \frac{P}{V \times f_p}$$

Dónde

I_n : Corriente nominal

V: Voltaje nominal

f_p : Factor de potencia

Entonces:

$$I_n = \frac{80 \text{ W}}{220 \text{ V} \times 0,9}$$

$$I_n = 0,4 \text{ A}$$

Por seguridad se considera una corriente de diseño que es igual al 25% de la corriente nominal.

$$I_d = 1.25 \times I_n$$

$$I_d = 1.25 \times 0,4 \text{ A}$$

$$I_d = 0,51 \text{ A}$$

Teniendo la corriente de diseño se elige un calibre de **2,5 mm²**.

El segundo criterio es en base a la caída de tensión de igual o menor a 2,5%

$$S = \frac{k \times \rho \times I_d \times L \times f_p}{\Delta V}$$

Dónde

k: 2 para circuitos monofásicos y $\sqrt{3}$ para circuitos trifásicos

S: Sección del conductor (en mm²)

ρ : Resistividad específica del conductor ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)

ρ_{cu} : 0,018 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$

L: Longitud del conductor (m)



I_d : Corriente de diseño

f_p : Factor de potencia

ΔV : Caída de voltaje (2,5 % según CNE-Utilización 2006)

$$S = \frac{2 \times 0,018 \times 0,51 \times 34,8 \times 0,9}{2,5}$$
$$S = 0,228 \text{ mm}^2$$

Se obtuvo un diámetro de $0,226 \text{ mm}^2$ por lo que se elige el conductor de $2,5 \text{ mm}^2$ por ser la sección mínima aceptada en el CNE-Utilización 2006.

Comparando ambos criterios se tiene la misma sección del conductor por lo que se eligió un conductor de $2,5 \text{ mm}^2$.

Además, para instalaciones comerciales se recomiendan dos tipos de conductores LSOH 450/750 o NH 450/750 por sus propiedades de tener mayor nivel de seguridad lo que los convierte en los conductores más usados en baja tensión en ambientes públicos.

Para el presente diseño se eligió el conductor LSOH-80 cuya tabla de datos técnicos se detalla en el Anexo 13.

Por tanto, el conductor para alumbrado es: $1 \times 2.5 \text{ mm}^2$ (F) + $1 \times 2.5 \text{ mm}^2$ (N) + $1 \times 2.5 \text{ mm}^2$ (T) LSOH-80

Cálculo de la intensidad para el Interruptor Termomagnético

La capacidad de corriente de un Interruptor Termomagnético debe ser igual o mayor que la corriente de diseño. Es decir:

$$I_d \leq I_t$$
$$0,51 \text{ A} \leq I_t$$

Por lo que se eligió un **interruptor termomagnético de 6 A**

Cálculo de conductor para alimentador

Puesto que las únicas cargas presentes son las del sistema de iluminación, el conductor para el alimentador es el mismo, es decir: $1 \times 2.5 \text{ mm}^2$ (F) + $1 \times 2.5 \text{ mm}^2$ (N) + $1 \times 2.5 \text{ mm}^2$ (T) LSOH-80



Dimensionamiento para el conductor de puesta tierra del sistema de iluminación

En el Código Nacional de Electricidad, en el tomo de utilización, punto 2 de la sección 060-204, se menciona que el diámetro mínimo para la puesta a tierra debe ser de 2,5mm², es por esta razón que se optó por la utilización de esa medida de cable.

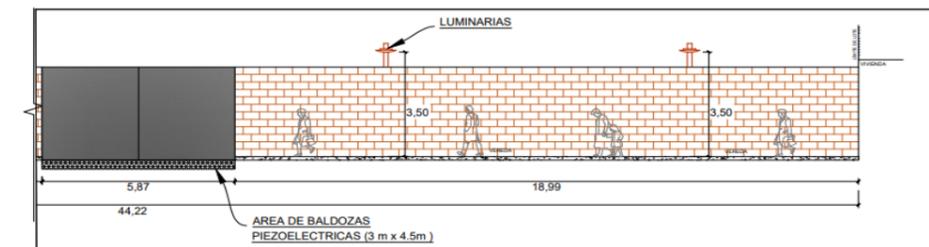
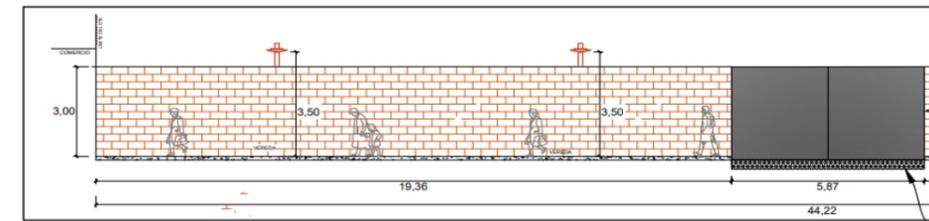
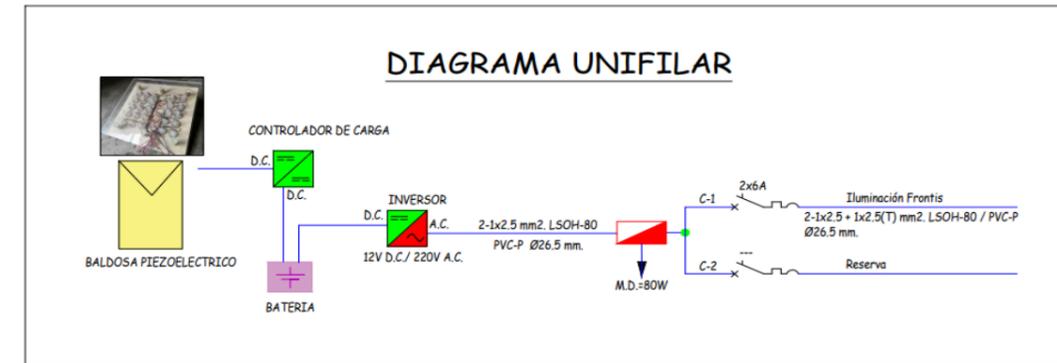
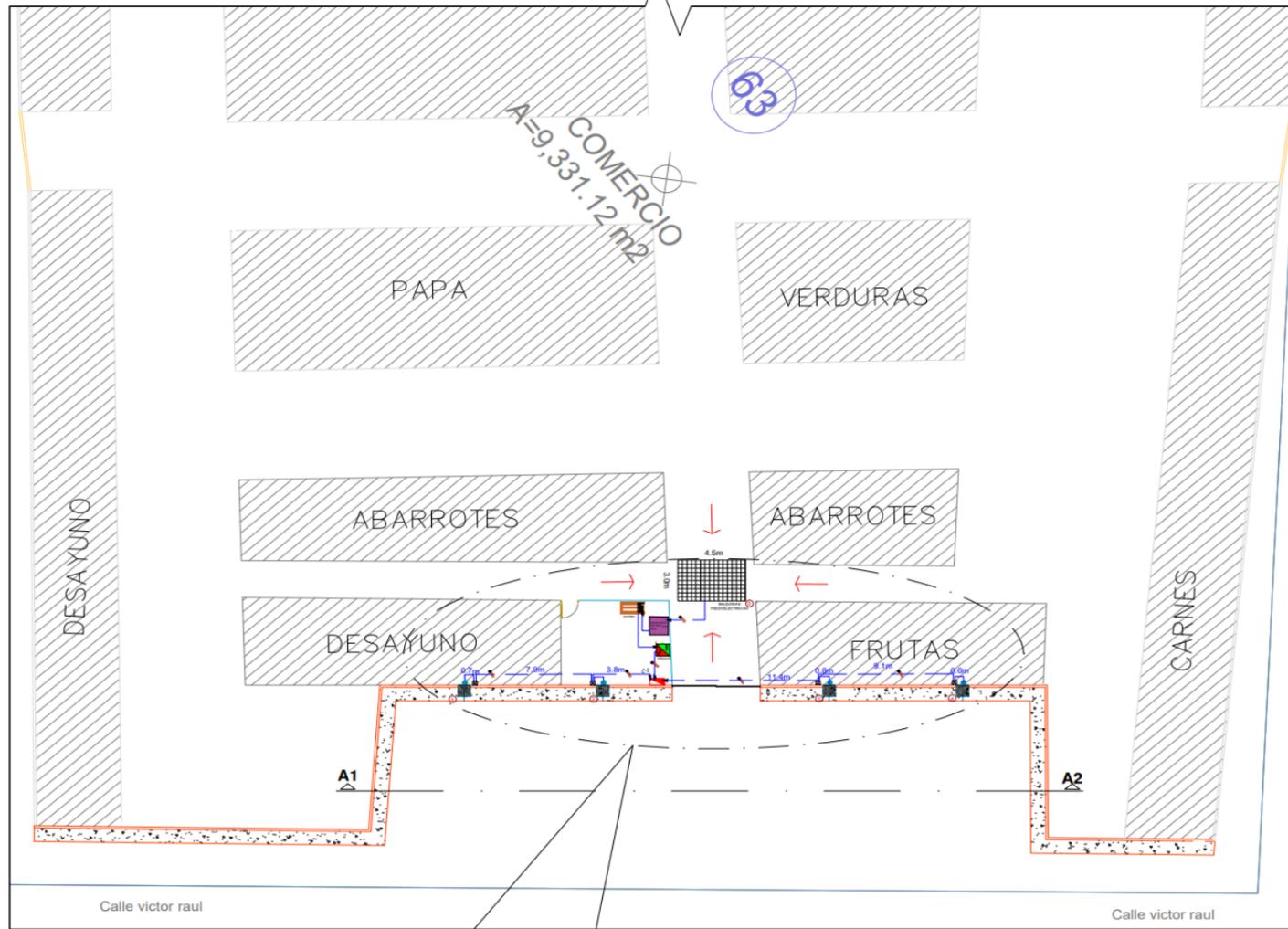
Ubicación del sistema de iluminación

En la siguiente página se puede apreciar el plano del sistema de iluminación de las baldosas piezoeléctricas, así como el diagrama unifilar del sistema implementado. Asimismo, se muestra la ubicación de las lámparas a utilizar, estas estarán instaladas únicamente en la fachada del mercado.

Estos resultados nos sirven para a constatar la segunda hipótesis específica, los parámetros eléctricos influyen de manera significativa en la iluminación del frontis del mercado de abastos Miramar – moche

Figura 21

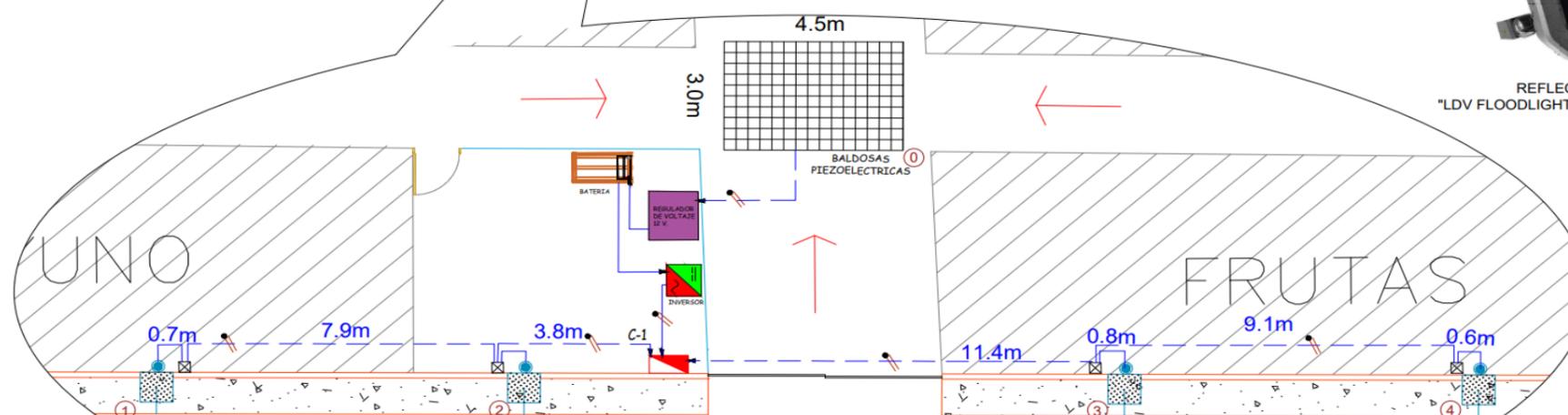
Esquema del sistema de distribución de iluminación



REFLECTOR TIPO:
"LDV FLOODLIGHT PFM 20W/830 WT(3000°K)"

SIMBOLO	DESCRIPCION
	TABLERO GENERAL DE DISTRIBUCION EMPOTRADO
	SALIDA PARA ALUMBRADO, TIPO: "LDV FLOODLIGHT PFM 20W/830 WT(3000°K)" - H=3.50m
	POSTE DE F* 4 m. - PROYECTADO
	148 BALDOSAS PIEZOELECTRICA DE 0.30x0.30m
	BATERIA
	CONTROLADOR DE CARGA
	INVERSOR MONOFASICO DE 24V D.C./220V A.C.
	TUBO EMPOTRADO EN PARED O PISO, ø26.5 mm PVC-P, CON 2-1x2.5mm2 TIPO LSOH-80
	TUBO EMPOTRADO EN PISO, ø26.5 mm PVC-P, CON 2-1x2.5mm2 TIPO LSOH-80
	INDICA NUMERO DE CONDUCTORES EN CIRCUITO - LINEA NEUTRO
	INDICA NUMERO DE CONDUCTORES EN CIRCUITO - LINEA FASE
	CAJA DE PASE CON TAPA CIEGA, EMPOTRADA EN PARED / 150x150x100 MM
	INTERRUPTOR AUTOMATICO THERMOMAGNETICO 220 V- 10KA

LEYENDA



RECORRIDO INSTALACIONES ELECTRICAS FRONTIS. (PROYECTADO)
ESCALA : 1 / 150

 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA ELÉCTRICA	UNIVERSIDAD:	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE TRUJILLO BENEDICTO XVI
	PROYECTO:	PROPUESTA DE DISEÑO DE BALDOSAS PIEZOELECTRICAS PARA ABASTECER EL SISTEMA DE ILUMINACIÓN DEL FRONTIS DEL MERCADO DE ABASTOS DE MIRAMAR - MOCHE
PLANO DE:	INSTALACIONES ELCTRICAS INTERNAS DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN, DIAGRAMA UNIFILAR Y CORTES DEL FRONTIS	LAMINA N°: II.EE - 01
AUTORES:	BR. LUIS F. MENDOZA BALLADARES BR. ROYER PAIMA SABOYA	Diseño: L.F.M.B. / R.P.S. C.A.D.: L.F.M.B. / R.P.S.
Districto:	MOCHE	Provincia: TRUJILLO Departamento: LA LIBERTAD
Fecha:	Setiembre 2022	Escala: INDICADA



4.1.3. Determinar cómo afecta los parámetros eléctricos y mecánicos en el diseño de la baldosa piezoeléctrica.

Parámetros eléctricos para el diseño de la baldosa piezoeléctrica

Discos piezoeléctricos: Los discos piezoeléctricos serán los encargados de transformar la energía mecánica proveniente de las personas en energía eléctrica.

Figura 22

Disco piezoeléctrico de 35mm



Se eligió un disco piezoeléctrico de 35mm cuyas especificaciones son mostradas en el Anexo 14.

Para el diseño de la baldosa piezoeléctrica se realizaron pruebas de resistencia a la compresión, dureza e impedancia del disco PZT 5H, utilizando una máquina de prueba electromecánica (modelo WDW-S20), donde se obtuvo los siguientes resultados

Tabla 5

Especificaciones del sensor piezoeléctrico PZT 5H 35mm

DISCO PIEZOELÉCTRICO 5H 35 mm	VALOR
Resistencia a la compresión	4267,516 N/mm ²
Dureza Brinell de Latón	78 HB 1/8 pulg/5.5 KN/58 s
Dureza Brinell del PZT	22HB 1/16pulg/4 KN/74 s

La Dureza Brinell de Latón de 78 HB 1/8 pulg/5.5 KN/58 s que indica una dureza de 78, medida en un ensayo con una bola indentadora de 1/8 pulg Ø y una carga de 5.5 KN aplicada durante 58s.

Durante este ensayo también se midió la impedancia del disco PZT-5H, utilizando un disco sin fisuras, se pudo observar que la impedancia del disco es inversamente proporcional a la frecuencia, ya que a frecuencias más bajas la impedancia del disco era



máxima. Determinando valores de 100 mHz la impedancia fue $30\text{ K}\Omega$, por otro lado, se estableció una frecuencia de 100 kHz, el valor de la impedancia fue de $30\ \Omega$. Por lo tanto, el disco PZT-5H debe operar a frecuencias más altas para obtener mejores resultados (Viswanath y Srikanth,(2017).

Puente diodo rectificador

Es preciso tener claro que los sensores piezoeléctricos no generan corriente continua, sino que generan corriente alterna, esto es de gran importancia al momento de armar el circuito.

Cuando el generador piezoeléctrico se encuentra sometido a una presión mecánica, polariza sus cargas en un sentido sobre la superficie (ver figura 23), y al retirar dicha presión mecánica alterna el sentido de su polaridad (ver figura 24), por el cual; se le agrega al circuito un puente rectificador de honda completa compuesto por cuatro diodos, con el fin de no permitir el paso a las posibles tensiones negativos producidos por los sensores piezoeléctricos.

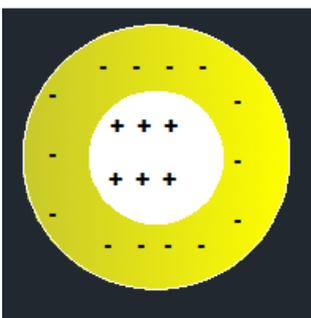
Figura 23

Polaridad del disco piezoeléctrico sometido a presión mecánica



Figura 24

Polaridad de disco piezoeléctrico cuando se retira la presión mecánica



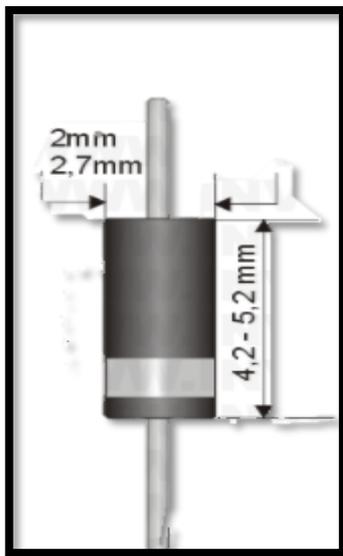


Se le agrega al circuito un puente rectificador de onda completa compuesto por cuatro diodos, con el fin de no permitir el paso a las posibles tensiones negativas producidas por los sensores piezoeléctricos.

Para elaborar el puente rectificador de onda completa se selecciona un tipo de diodo de la serie 1N400X ya que generalmente se usan como rectificadores en fuentes de alimentación. Utilizamos el diodo 1N4007 para el proyecto, ya que presenta el valor máximo de tensión inversa en comparación con los otros diodos (Rapetti, 2017).

Figura 25

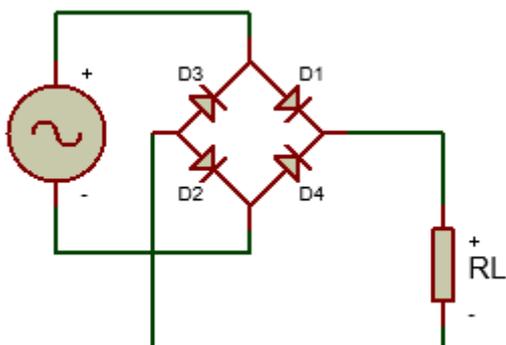
Dimensiones del diodo 1N4007



A partir de las especificaciones del diodo 1N4007 (Anexo 15), se realiza la conexión del puente rectificador utilizando cuatro diodos, tal como lo podemos ver en la figura 26 tiene una conexión que en cada semiperiodo conduce solo un par de diodos. Se utiliza esta conexión por que es la más empleada como fuente de alimentación, debido a que se obtiene una corriente directa (DC).

Figura 266

Circuito de diodo rectificador de onda completa



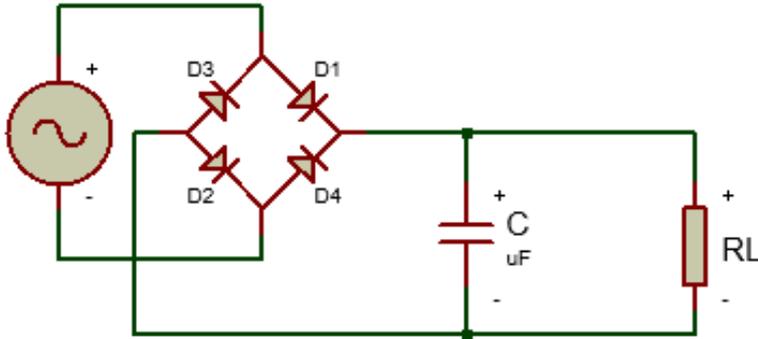


Condensador

Se usa en el circuito un condensador en paralelo con el objetivo de nivelar la onda rectificadora como se observa en la figura 27. Esto hace que la tensión de rizado sea la más pequeña posible, para obtener una corriente continua parecida a la que proporciona una pila o batería.

Figura 277

Circuito de rectificación y filtrado



Para la construcción de la baldosa piezoeléctrica, la parte que corresponde al circuito electrónico, se determinó por usar un condensador electrolítico, debido a las mejores propiedades que presenta ante las variables eléctricas, en comparación con los diodos de tipo poliéster y cerámico (Jaramillo, Guillermo y Muñoz,(2018).

Figura 28

Condensador electrolítico



Cálculo de capacidad del condensador

$$C = \frac{1}{2\pi * f * Z}$$



Dónde:

Z: impedancia [Ω]

f: frecuencia [Hz]

C: capacidad del condensador [Faradios]

Reemplazando:

Z=2.2 K Ω ; designado para el cálculo

El disco piezoeléctrico va a trabajar a frecuencias bajas de 1-7 Hz, para el cálculo se consideró un valor de 7 Hz

$$C = \frac{1}{2\pi * 7 * 2200} = 10.3 \mu\text{F}$$

$$C = 10.3 \mu\text{F}$$

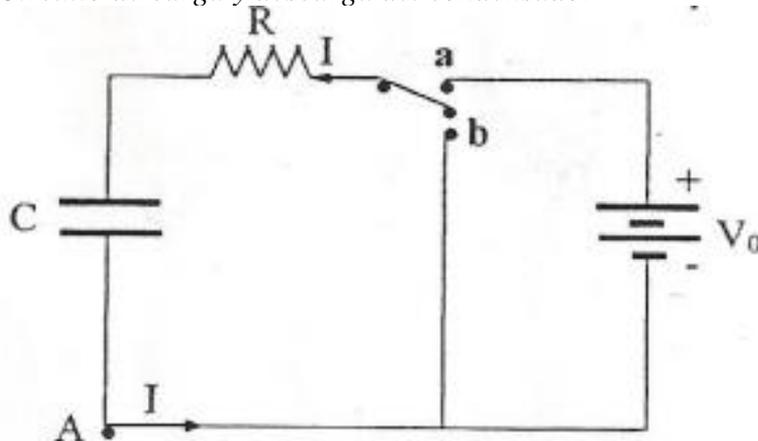
Para este proyecto se consideró usar un condensador electrolítico de 10 μF

Cálculo de carga y descarga del condensador

Para desarrollar el cálculo de carga y descarga del condensador, tenemos que regirnos al circuito equivalente figura 29.

Figura 299

Circuito de carga y descarga del condensador





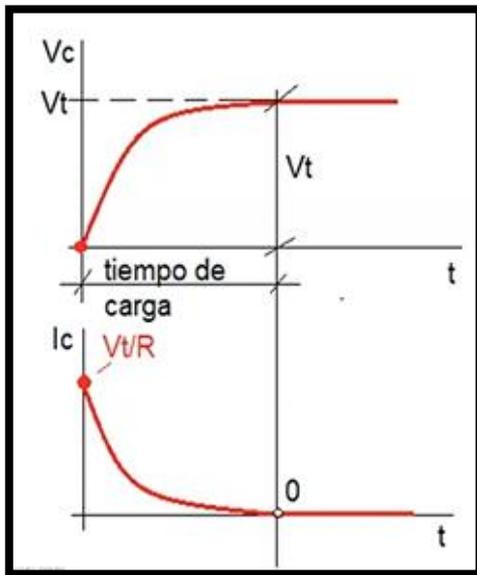
Carga del condensador

En la figura 29 podemos observar como el interruptor se encuentra abierto, al momento de cambiar a la posición A, se dará el paso al corriente, por consiguiente, a la carga del condensador. Estableciéndose una corriente $I(t)$ y una tensión en el condensador (V_c) que es opuesta a la tensión de la fuente (V_o). Una vez cargada el condensador la $V_c = V_o$ y la corriente se detiene $i = 0$, haciendo que el condensador adquiere su máximo valor $q = C * V_c = C * V_o$.

Durante de la carga del condensador la tensión del condensador V_c y la carga q aumentan en el dominio del tiempo, caso contrario sucede con la corriente $I(t)$, esto se da siguiendo una ley exponencial figura 30.

Figura 30

Gráfica de la carga del condensador



$$V_c = V_o \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right)$$

$$q(t) = C V_o \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right)$$

$$I(t) = \frac{V_o}{R} e^{-\frac{t}{RC}}$$

Dónde:

$V_c(t)$: Tensión del condensador en el instante.

$I(t)$: Corriente que circula por el circuito en el instante.

$q(t)$: Carga del condensador en el instante.



V_o : Tensión de la fuente de alimentación.

C: Capacidad del condensador.

R: Resistencia del circuito.

Tiempo de carga

Para calcular el tiempo que toma un condensador en cargarse, se debe tener en cuenta la constante τ .

$\tau=RC$ [s]; tiempo que demora el condensador al 63%

$\tau=5RC$ [s]; tiempo que demora el condensador en cargarse completamente.

Reemplazando valores, se tiene:

Una tensión rectificadora de 12V

$C= 10 \mu\text{F}=0.00001 \text{ F}$

$R=2.2 \text{ K}\Omega$ (se designa el valor de la R para calcular τ)

$\tau = RC =1200 * 0.00001 =0.02 \text{ s}$

$\tau= 5 * 0.06 =0.1 \text{ s}$ (el condensador se cargará completamente en 0.01 s)

$$V_c = V_o \left(1 - e^{-\frac{\tau}{RC}} \right)$$

$$V_c = 12(1 - e^{-1})$$

$$V_c = 7.58 \text{ V}$$

La tensión del condensador cargado en 0.02s tiene un valor de 7,58 V.

Se encontró el valor de la corriente $I(t)$ que circula por el circuito en el instante:

$$I(t) = \frac{V_o}{R} e^{-\frac{\tau}{RC}}$$

$$I(t) = \frac{12}{2200} e^{-1}$$

$$I(t) = 2\text{mA}$$

Descarga del condensador

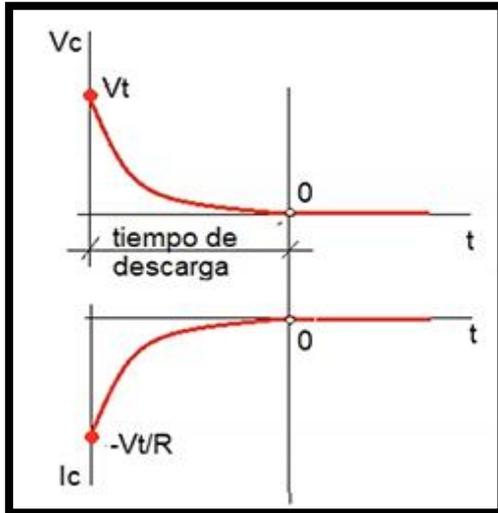
Una vez cargada completamente el condensador, se obtuvo que la tensión del condensador V_c coincide con la tensión de la fuente V_o y cuando el interruptor cierra circuito se establece una $I(t)$, provocando que el condensador se descargue y la V_c disminuye.



Durante la descarga del condensador, la corriente $I(t)$, la carga $q(t)$ y la tensión del condensador $V_c(t)$, disminuyen en el dominio del tiempo siguiendo una ley exponencial figura 31.

Figura 311

Gráfica de la descarga del condensador



$$V_c(t) = V_0 e^{\frac{-t}{RC}}$$

$$q(t) = q_0 e^{\frac{-t}{RC}}$$

$$I(t) = \frac{V_0}{R} e^{\frac{-t}{RC}}$$

Tiempo de descarga

Para calcular el tiempo que toma un condensador en descargarse, se debe tener en cuenta la constante τ (tau).

$\tau = 5RC$ [s]; tiempo que demora el condensador cargarse completamente.



Parámetros mecánicos para el diseño de la baldosa piezoeléctrica

Número de personas que transcurren al mercado

El conteo de la cantidad de personas que ingresan y se retiran por la puerta principal del mercado de abastos, se realizó durante el mes de octubre del 2021 y se observa en la tabla 6.

Tabla 6

Número de personas que ingresan y se retiran por la puerta principal del mercado de abastos

	lunes	martes	miércoles	jueves	viernes	sábado	domingo
Semana 1	385	410	395	506	660	789	850
Semana 2	405	396	388	497	597	820	833
Semana 3	413	406	412	487	676	842	913
Semana 4	392	413	420	520	646	790	880
Promedio	398.75	406.25	403.75	502.5	644.75	810.25	869

Peso promedio de una persona

En el transcurso del conteo realizado para conocer la cantidad de personas que transcurren al mercado de abastos de Miramar, se pudo apreciar que de lunes a viernes mayormente transcurren mujeres, siendo un 95%, y los fines de semana transcurren un 90%, siendo completado por presencia masculino con 10%,

Mayormente las personas que transitan el mercado, son amas de casa. Por ende, para este trabajo de investigación, tomaremos el peso promedio de las mujeres del Perú como dato. Siendo de 57 Kg el peso promedio de las mujeres del país, donde la mayoría pesa entre 50-69 kg y el 21% pesa menos de 50 Kg (Instituto Nacional de Estadística e Infomática INEI, 2002).

Fuerza aplicada sobre la baldosa piezoeléctrica

En base a la masa obtenida anteriormente (57 kg), se determina la fuerza a la que será sometida la baldosa

$$F = 558.6 \approx 559 \text{ N}$$

Forma geométrica de la baldosa

Para poder determinar la forma geométrica más adecuada para una baldosa piezoeléctrica, hay que tener en cuenta algunas características de la marcha de una persona, tiene una cadencia normal de 90- 140 pasos/min, una anchura de paso estándar de 10 cm y una longitud de paso estándar de 30 cm. Teniendo un área de la pisada estándar del ser humano de 300 cm² y una baldosa de 30*30cm (largo *ancho).



Estos datos se ingresaron al software, donde arrojó 259.7 cm² como el área total de la superficie generada. Así mismo aplicando una fuerza de 402.07 N sobre una baldosa de forma cuadrada, se pudo obtener mejores valores promedios de Tensión y Potencia respecto a una baldosa rectangular (Vargas, 2020).

Para el dimensionado del prototipo de la baldosa se tuvo presente las siguientes indicaciones; el área que ocupará los discos piezoeléctricos, teniendo en cuenta el diámetro del disco, la conexión de los circuitos, el área de la pisada estándar de una persona y sobre todo la obtención de mejores valores de las variables eléctricas.

Dado a las anteriores indicaciones, se optó por dimensionar una baldosa de forma cuadrada 30 x 30 cm, y por tanto con un área de 0,09 m².

Selección de material de revestimiento

Para el revestimiento se hace una división en dos partes, la caja protectora que soporta los sensores piezoeléctricos, la capa pulsadora ubicada encima del sistema piezoeléctrico, en el cual se coloca los contactos pulsadores de barra de silicona, y que serán responsables de hacer contacto con cada sensor.

Capa base y guarda conectado. La capa base será la encargada de guardar el conexionado del generador piezoeléctrico. Está hecha de un material que ofrezca resistencia a la humedad y resistencia mecánica, lo cual los sensores y circuito estarán adheridos a esta, por lo cual se debe garantizar que este material no presente propiedades conductoras.

El material usado para la caja protectora, es el tablero contrachapado o tablero triplex de madera pino radiata (Anexo 16). Se elige este material ya que los tableros se fabrican de varias capas de madera que suelen ser impar, teniendo de 2-3mm de espesor, que son pegado con adhesivo de fenol-formaldehído y prensado en caliente, permitiendo que el tablero obtenga mejor estabilidad, alta resistencia mecánica y una fácil manipulación (Arriaga, Peraza, & Garcia, 2007).

Para determinar el espesor de nuestra baldosa nos guiamos de los cuadros de propiedades de resistencia y módulo de elasticidad, donde se aprecia que los valores de la resistencia y elasticidad del tablero crece al aumentar su espesor. Teniendo en cuenta los valores de resistencia y el módulo de elasticidad. Se optó por usar el tablero de 18mm de espesor.



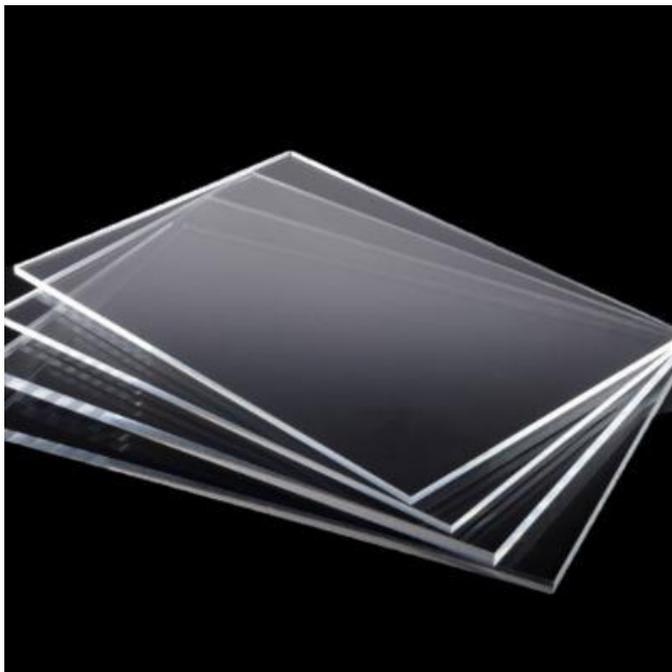
Capa pulsadora

Esta capa se escoge teniendo en cuenta los parámetros de liviandad, firmeza, resistencia y donde su espesor debe lograr distribuir la fuerza a lo largo de toda la baldosa, haciendo que todos los sensores reciban una presión uniforme (Jaramillo, Guillermo y Muñoz,(2018).

Se optó por usar el material de lámina de acrílico de 8mm por sus propiedades y características (Anexo 17), que se adecuan al propósito.

Figura 32

Acrílico



Resorte

Se utiliza un resorte de compresión helicoidal, para que la capa pulsadora retorne a su posición inicial luego de ser comprimida por una fuerza. Para este proyecto se puso a prueba un resorte de compresión helicoidal de alambre de bronce fosforado con extremos sencillos y esmerilados, para comprobar que el resorte no presente el fenómeno de pandeo, de esta manera saber que las características del resorte a prueba son el adecuado.

Características de resorte:

$$D_{ext} = 17 \text{ mm}$$

$$d = 1.2 \text{ mm}$$

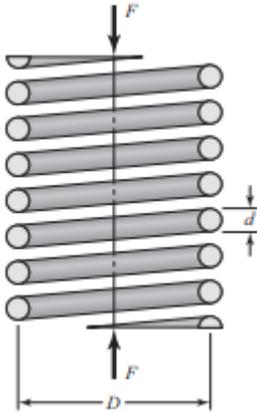
$$L_0 = 30 \text{ mm}$$

$$N_t = 8 \text{ esp}$$

$$F = 559 \text{ N}$$



Figura 333
Dimensiones del resorte



Donde:

D_{ext} : diámetro exterior

D : diámetro de centro a centro

d : diámetro del alambre

L_0 : longitud del resorte en posición inicial

N_t : número de espiras total

F : fuerza aplicada

Cálculo de la constante elástica del resorte (K)

$$F = K * Y \quad \text{Ley de Hooke}$$

$$K = \frac{d^4 * G}{8D^3 * N_a}$$

Donde:

F : fuerza aplicada [kN]

K : constante elástica o razón del resorte [$\frac{kN}{mm}$]

Y : deformación del resorte [mm]

G : módulo de rigidez

N_a : número de espiras activas

Se tiene el módulo de rigidez (G) del material de bronce fosforado (Anexo 18)

$$G = 41.4 \text{ Gpa} = 41.4 \text{ kN}$$



Calculamos el diámetro de centro a centro (D):

$$D = D_{ext} - d$$

$$D = 17 - 1.2$$

$$D = 15.8 \text{ mm}$$

En base a las fórmulas presentadas en Anexo 19 se puede determinar el número total de espiras por ser resorte de extremo plano- esmerilado.

$$N_t = N_a + 1$$

$$N_a = 7 \text{ esp}$$

Reemplazando

$$K = \frac{1.2^4 * 41.4 * 10^3}{8 * 15.8^3 * 7}$$

$$K = 0.39 \text{ kN}$$

Se calcula si el resorte presenta el fenómeno de pandeo, utilizando la siguiente fórmula:

$$L_0 < 2.63 \frac{D}{\alpha}$$

En base a las constantes de las condiciones de los resortes helicoidales de compresión **Anexo 20** se va a elegir una constante $\alpha=0.5$ ya que el resorte se va a encontrar entre superficies planas.

Reemplazando:

$$30\text{mm} < 2.63 \frac{15.8}{0.5}$$

$$30\text{mm} < 83.1\text{mm}$$

Se puede apreciar que el resultado es mayor que la L_0 , no se presenta el fenómeno de pandeo, por lo tanto, el tipo de resorte de compresión helicoidal es adecuado para el proyecto.

Cálculo del desplazamiento del resorte

Encontramos la deformación del resorte

$$Y = \frac{F}{K}$$

$$Y = \frac{559}{39} = 14 \text{ mm}$$



Esfuerzo normal de compresión sobre los resortes, con un diámetro exterior de 17mm

$$F = \frac{F_{neta}}{n_{res}}$$

Donde:

F_{neta} : fuerza aplicada a la baldosa; 559N

n_{res} : número de resorte;6

$$F = \frac{559}{6}$$

$$F = 93.2N$$

Encontramos el área del resorte:

$$A_{res} = \frac{\pi}{4} D^2$$

$$A_{res} = \frac{\pi}{4} 0.017^2$$

$$A_{res} = 227mm^2$$

$$\sigma_{res} = \frac{F}{A}$$

$$\sigma_{res} = \frac{93.2N}{227mm^2} = 412kN/m^2$$

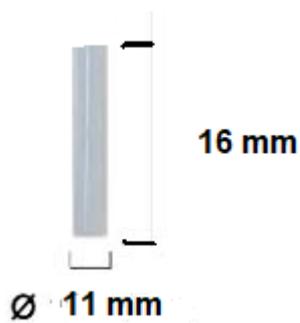
Contacto pulsador

Se escoge un material, para que esté adherido a la capa pulsadora junto con los resortes, esta será la encargada de realizar el contacto a los discos piezoeléctricos al momento de aplicar presión a la capa pulsadora. Así mismo el material debe de ser suave al tacto, liviano y tener gran resistencia a la compresión para impedir que los discos sean dañados. (Jaramillo, Guillermo, & Muñoz, 2018)

Se optó por usar como contacto pulsador la barra de silicona cilíndrica de material polímero, por las propiedades que esta presenta. respecto al diámetro y altura, se consideró la barra cilíndrica de 11 mm, debido que, al momento de la presión, la silicona no debe causar daño a la soldadura del disco, y para la altura se considera 16mm.



Figura 34
Dimensión del contacto pulsador



Proceso constructivo del sistema de generación piezoeléctrico

La elaboración de la baldosa piezoeléctrica se realizará teniendo en cuenta los siguientes materiales y componentes electrónicos:

- 25 sensores
- 5 condensadores electrolíticos
- 20 diodos
- 1 lámina de acrílico de 8mm
- 35 chupas de silicona
- 6 resortes
- Un tablero tríplex 18 mm

Para evitar que los discos piezoeléctricos se maltratan entre ellos, se considera una distancia de separación de 3mm.

Medición de variables eléctricas de la baldosa piezoeléctrica

Finalmente, se ensambla la baldosa (ver figura 35) y se realiza pruebas de medición para obtener resultados más precisos, donde obtuvimos los siguientes valores (ver tabla 7).



Figura 35
Ensamblaje de la baldosa

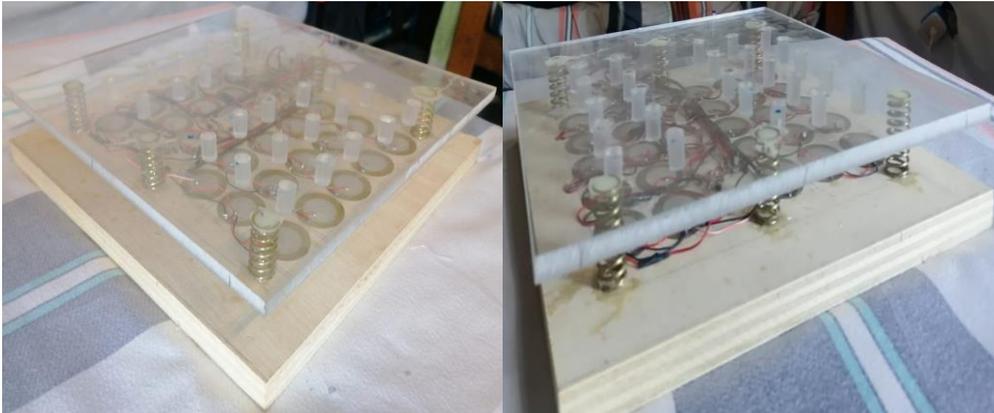


Tabla 7
Promedio de medición de las variables eléctricas de la baldosa piezoeléctrica

PRUEBA	TENSIÓN [v]	CORRIENTE [mA]	POTENCIA [mW]
1	13.6	37	503.2
2	14.2	42	596.4
3	13.8	37	510.6
4	14.2	43	610.6
5	13.8	39	538.2
6	13.5	33	445.5
7	13.6	34	462.4
8	13.9	38	528.2
9	14.4	47	676.8
10	14.2	41	582.2
PROMEDIO	13.92	39.1	544.272

Prueba de los discos piezoeléctricos

El proceso de prueba, medición y ensamblado de la baldosa piezoeléctrica se detalla en Anexo 21.

Cantidad de baldosas piezoeléctricas

Se sabe que la potencia promedio generada por la baldosa es de 0.54W y para cubrir la potencia de 80W que demanda la iluminación de la fachada del mercado de abastos de Miramar, se calcula la cantidad de baldosas que se necesita.

$$N_{bald} = \frac{P_D}{P_{bald}}$$



Donde:

N_{bald} : Número de baldosas

P_D : Potencia demandada del sistema de iluminación; 80W

P_{bald} : Potencia generada de una baldosa piezoeléctrica; 0.54W

Reemplazando:

$$N_{bald} = \frac{80W}{0.54W} = 148 \text{ baldosas piezoeléctricas}$$

Se necesita 148 baldosas piezoeléctricas para cubrir la potencia que demanda la iluminación de la fachada.

Área a cubrir con baldosas

$$A_c = N_{bald} * A_{bald}$$

Donde:

A_c : Área a cubrir [m²]

N_{bald} : Número de baldosas piezoeléctricas; 148 baldosas

A_{bald} : Área de la baldosa piezoeléctrica; 0.09m²

Reemplazando:

$$A_c = 148 \text{ bald} * 0.09 \text{ m}^2$$

$$A_c = 13.3 \text{ m}^2$$

Se necesita un área de 13.3 m², para instalar 148 baldosas piezoeléctricas.

Cálculo de corriente total del sistema de generación de baldosas

$$I_T = I_{bald} * N_{bald}$$

Donde:

I_T : Corriente total del sistema de generación de baldosas [A]

I_{bald} : Corriente de la baldosa; 0.039A

N_{bald} : Número de baldosas

$$I_T = 0.039 * 148$$

$$I_T = 5.77A$$



Regulador

La energía generada por las baldosas piezoeléctricas debe ser regulada para mantener una tensión de carga constante y evitar que tensiones mayores perjudiquen la vida útil de la batería. (Industrias GSL, 2021)

Para regular la tensión generada por las baldosas piezoeléctricas y también teniendo en cuenta la corriente total generada por el sistema de baldosas, que es de 5.77A. Se optó por utilizar un regulador PWM Modelo PC 1500B 10A/12VDC, que ofrece una tensión de salida igual con la que trabaja la batería y cuyas características se detallan en Anexo 22.

Batería

Se debe elegir una batería descarga lenta en el tiempo, ya que va entregar corriente en un tiempo prologando. Por ende, para este proyecto se optó por usar una batería de tipo monoblock AGM.

Cálculo de capacidad de batería

En base a un consumo de 800 Wh/Día y mediante la siguiente expresión:

$$Ah = \frac{\frac{Wh}{Día} * D_{aut}}{P_{des} * V_B}$$

Donde:

Ah: Capacidad de la batería

Wh/Día : Cantidad de potencia para iluminar 16 focos de 12W durante 6 horas

D_{aut} : Día de autonomía(es el número de días que nuestra batería puede proporcionar energía cuando la generación de nuestra fuente es nula) para el cálculo se consideró el valor de 1 día

P_{des} : Profundidad de descarga de la batería, como el tipo de batería es monoblock AGM, se considera el 70%

V_B : tensión de la batería; 12V

Reemplazando:

$$Ah = \frac{800 * 1}{0.7 * 12}$$
$$Ah = 95Ah$$

De acuerdo al cálculo, se tiene que usar una batería que tenga una capacidad mínima de 95 Ah. Por ende, se optó por usar la batería monoblock tensite AGM de 12V 100Ah.



Tensión de carga de la batería

La batería suele cargarse a un nivel mínimo del 10%, esto quiere decir que la batería de 12V se carga a:

$$12V \times 0.10 = 1.2 V$$

$$12V + 1.2V = 13.2V$$

Como se sabe, el sistema de baldosas genera una tensión de 13.92V, por lo tanto, no presenta dificultad al momento de cargar de la batería.

Cálculo de tiempo de carga de la batería

De acuerdo al cálculo, se tiene que usar una batería que tenga una capacidad mínima de 95 Ah. Por ende, se optó por usar la batería monoblock tensite AGM de 12V 100Ah /100

Cuando la batería se somete a descarga de corriente constante, se produce cambio de tensión en sus terminales con respecto al tiempo. Para que la batería no se vea perjudicado se toma un valor menor de 100% de descarga, así el ciclo de vida mejora. Por ese motivo se toma como valor de referencia la tasa de 20 horas mas no de 100, para calcular el tiempo de carga y descarga.

Cálculo de tiempo de descarga de la batería

Para calcular el tiempo de descarga de nuestra batería, se necesita la capacidad de la batería y la tasa de 20 horas

$$I_{20} = \frac{C_{bat}}{t_{20}}$$

Donde:

I_{20} : Corriente que entrega la batería a una tasa de 20 horas

C_{bat} : Capacidad nominal de la batería

t_{20} : Tasa de tiempo de 20 horas

$$I_{20} = \frac{100Ah}{20h}$$

$$I_{20} = 5A$$

Nuestra batería tranquilamente puede entregar 5A durante 20 horas. Se sabe que la corriente de luminarias es de 0.4A



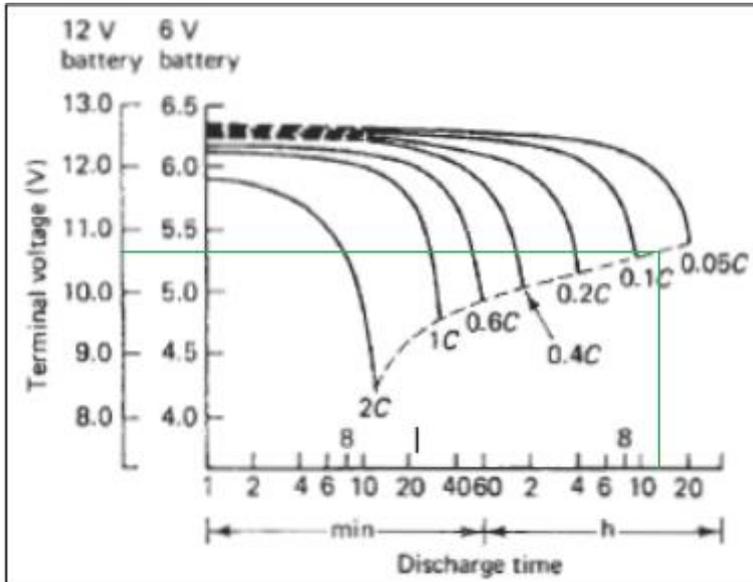
Por lo tanto, se tiene que:

$$\frac{0.4A}{5A} = 0.08$$

Con el resultado nos dirigimos al grafico

Figura 36

Tiempo de descarga de una batería



En el grafico se puede apreciar que en la curva 0.08C, por lo tan nuestra batería entrega una tensión final aproximada a 10.7V, alrededor de 13 horas.

Cálculo de tiempo de carga de la batería

La capacidad de la batería en carga, también es representada por la siguiente fórmula

$$Ah = 1A \cdot C_{20}$$

En la elección de la batería la capacidad es 100Ah ($1A \cdot C_{20}$). Como se mencionó anteriormente, se trabaja con una tasa de 20 horas para no perjudicar el ciclo de vida de la batería

$$C_c = 1A * 20horas$$

Donde:

C_c : Capacidad de batería a una tasa de 20 horas

1A: dato de formula

t_{20} : Tasa de 20 horas



Reemplazando:

$$C_c = 1A * 20horas$$

$$C_c = 20Ah$$

Ahora se calcula el tiempo

$$t_c = \frac{C_c}{I_T}$$

Donde:

t_c : tiempo de carga de la batería

I_T : Corriente total del sistema de generación de baldosas

Reemplazando:

$$t_c = \frac{20Ah}{5.77A}$$

$$t_c = 3.46 h$$

La batería se va a cargar en 3.46 horas, a una corriente de 5.77^a

Inversor

Se necesita un inversor para transformar la corriente continua de 12V que genera la batería a corriente alterna de 220V para suministrar la energía necesaria a las luminarias.

Selección del inversor

La selección del inversor, se llevó a cabo teniendo en cuenta las variables eléctricas de generación del sistema de baldosas 13.92VDC y una corriente máxima de 5.77A

$$P_{tot} = V * I$$

Donde:

P_{tot} : Potencia total generada por el sistema de baldosas [W]

V : Tensión generada por el sistema de baldosas; 13.92V

I : Corriente total generada por el sistema de baldosas; 5.77A

Reemplazando:

$$P_{tot} = 13.92 V * 5.77 A$$

$$P_{tot} = 80.3W$$

Para el correcto funcionamiento de las luminarias, se necesita 220VAC con un consumo de corriente total de 0.4A.



$$P_{sal} = V_{sal} * I_{dem}$$

Donde:

P_{sal} : Potencia de salida [W]

V_{sal} : Tensión de salida; 220VAC

I_{dem} : Corriente que demanda las luminarias; 0.4A

Reemplazando:

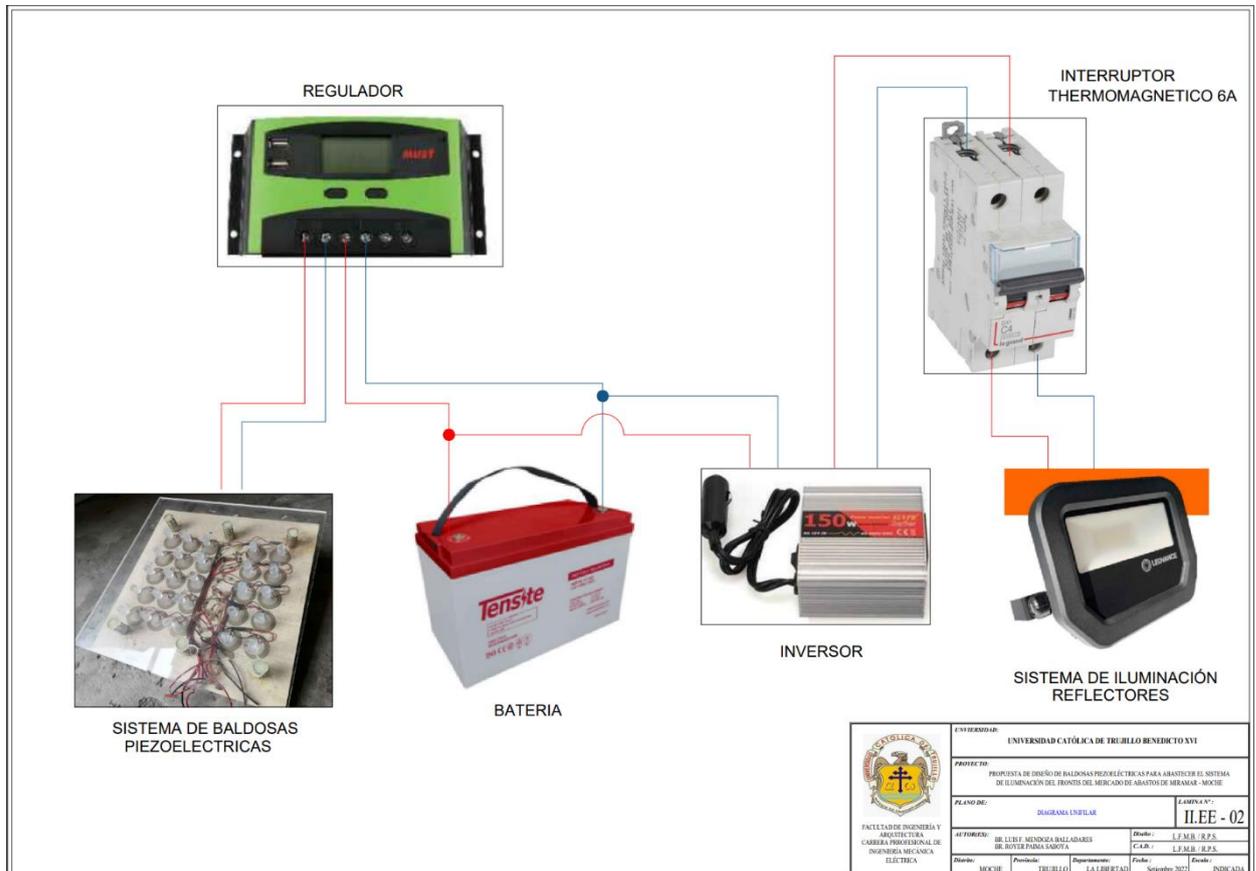
$$P_{sal} = 220 * 0.4$$

$$P_{sal} = 88W$$

La potencia que va a emitir el inversor para las luminarias será de 88W. así mismo, la potencia que genera el sistema de baldosas P_{tot} y la potencia de salida P_{sal} tienen valores muy cercanos, que nos ayudan a seleccionar un inversor adecuado para el correcto funcionamiento. Teniendo en cuenta los cálculos realizados, se optó por usar un inversor POWER INVERTER SUVPR de 12VDC a 220VAC 150W. Además, el cable situado entre el inversor de 12V y la batería debe ser de 50mm para minimizar las pérdidas de corriente.

Figura 377

Esquema de abastecimiento al sistema de iluminación mediante baldosas piezoeléctricas





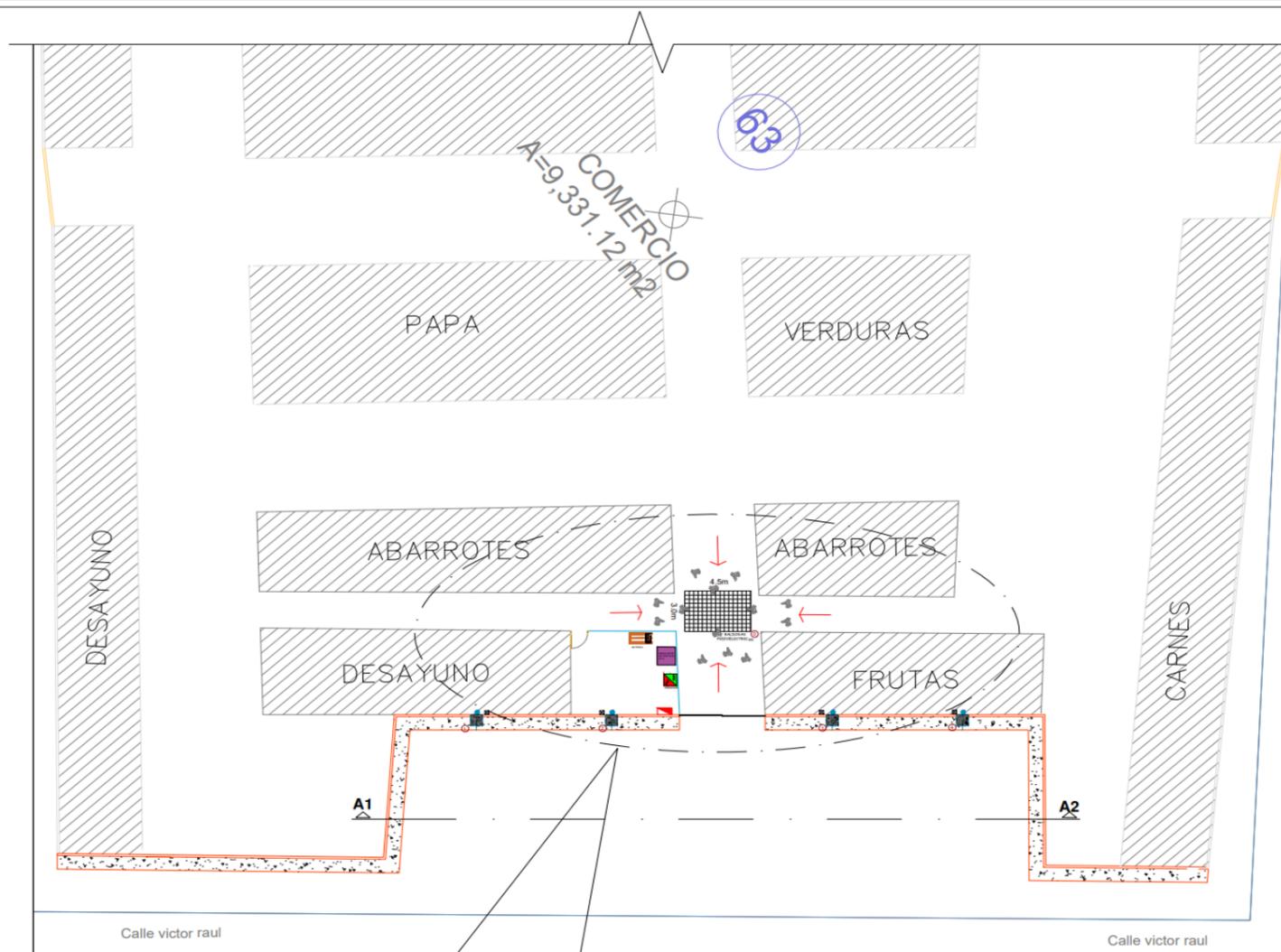
Ubicación de las baldosas piezoeléctricas

En la siguiente página se muestra el plano de ubicación de las baldosas piezoeléctricas, se seleccionó esa zona por el gran flujo de personas que pasan la zona, esto facilita que las baterías se mantengan siempre con su carga máxima y la iluminación sea constante.

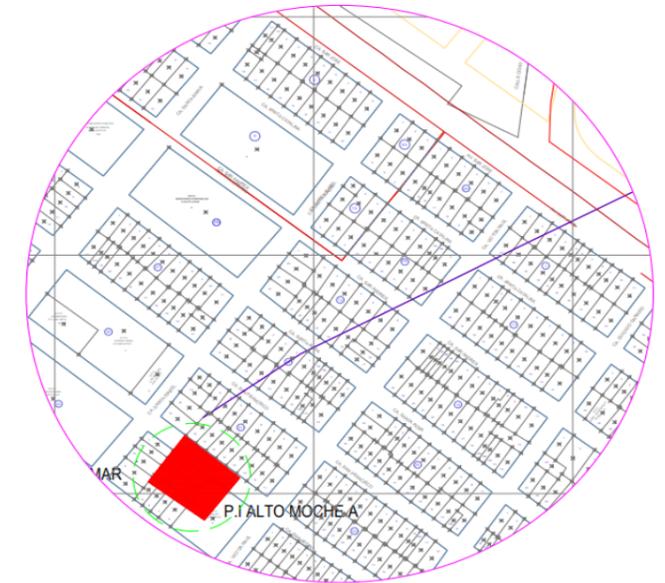
Estos resultados nos sirven para a constatar la tercera hipótesis específica, que los parámetros eléctricos y mecánicos influyen de manera significativa en la generación de la baldosa piezoeléctrica

Figura 38

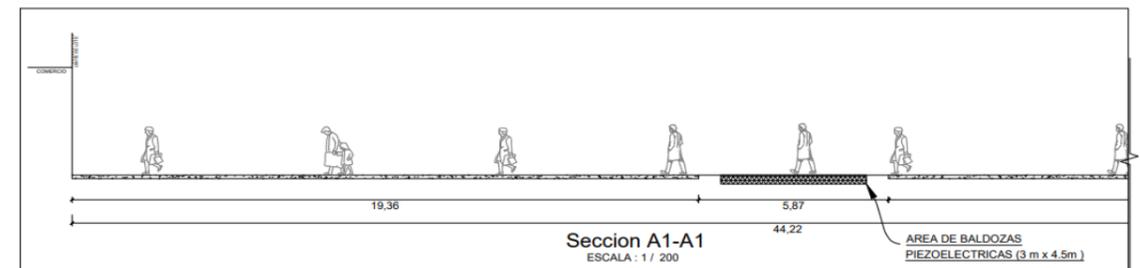
Ubicación de baldosas piezoeléctricas



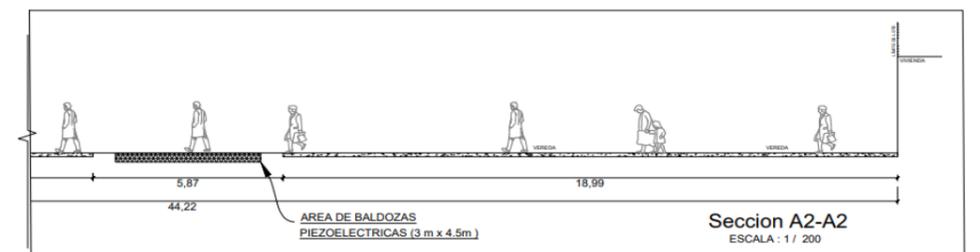
BALDOSA PIEZOELECTRICA SIC



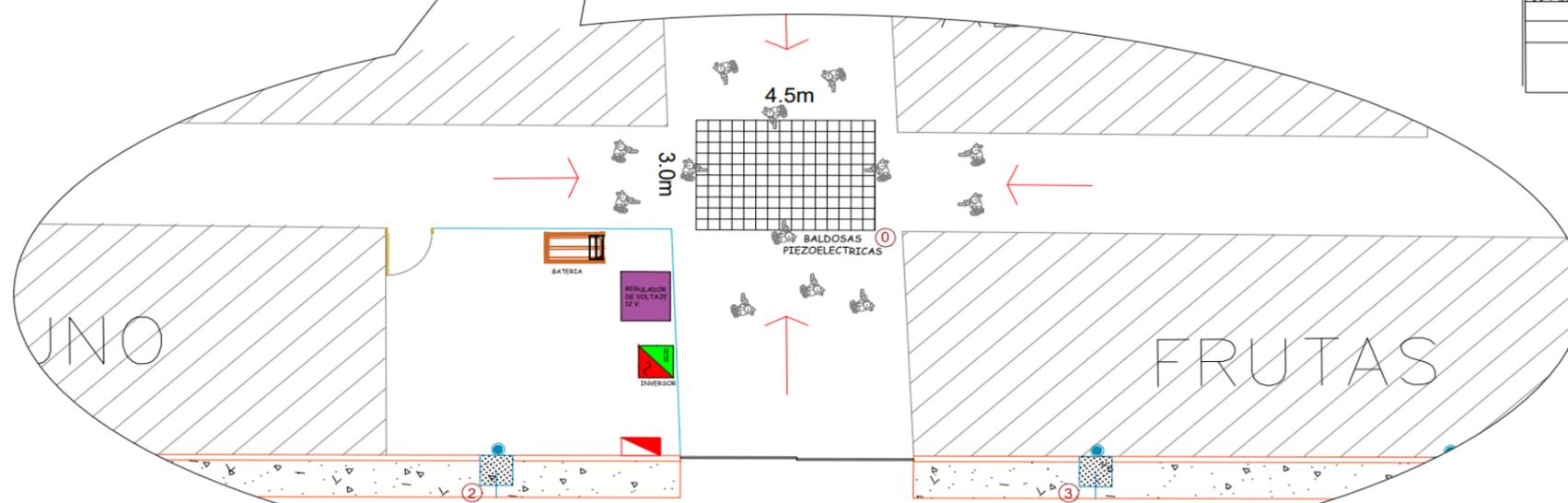
ESQUEMA DE LOCALIZACIÓN ESCALA 1 / 10,000



Seccion A1-A1 ESCALA : 1 / 200



Seccion A2-A2 ESCALA : 1 / 200



UBICACIÓN DE BALDOZAS PIEZOELECTRICAS ESCALA : 1 / 150

	TABLERO GENERAL DE DISTRIBUCION EMPOTRADO
	SALIDA PARA ALUMBRADO, TIPO: LDV FLOODLIGHT PFM 20W/830 WT(3000°K) - H=3.50m
	POSTE DE F* G* 4 m. - PROYECTADO
	148 BALDOSAS PIEZOELECTRICA DE 0.30x0.30m
	BATERIA
	CONTROLADOR DE CARGA
	INVERSOR MONOFASICO DE 24V D.C./220V A.C.
SIMBOLO DESCRIPCION	
L E Y E N D A	

 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA	UNIVERSIDAD: UNIVERSIDAD CATÓLICA DE TRUJILLO BENEDICTO XVI	
	PROYECTO: PROPUESTA DE DISEÑO DE BALDOSAS PIEZOELECTRICAS PARA ABASTECER EL SISTEMA DE ILUMINACIÓN DEL FRONTIS DEL MERCADO DE ABASTOS DE MIRAMAR - MOCHE	
	PLANO DE: UBICACION DE LAS BALDOZAS PIEZOELECTRICAS	LAMINA N°: I.I.EE - 03
	AUTOR(ES): BR. LUIS F. MENDOZA BALLADARES BR. ROYER PAIMA SABOYA	Diseño: L.F.M.B. / R.P.S. C.A.D.: L.F.M.B. / R.P.S.
	Distrito: MOCHE Provincia: TRUJILLO Departamento: LA LIBERTAD	Fecha: Setiembre 2022 Escala: INDICADA



Figura 39
Área de ubicación de baldosas piezoeléctricas





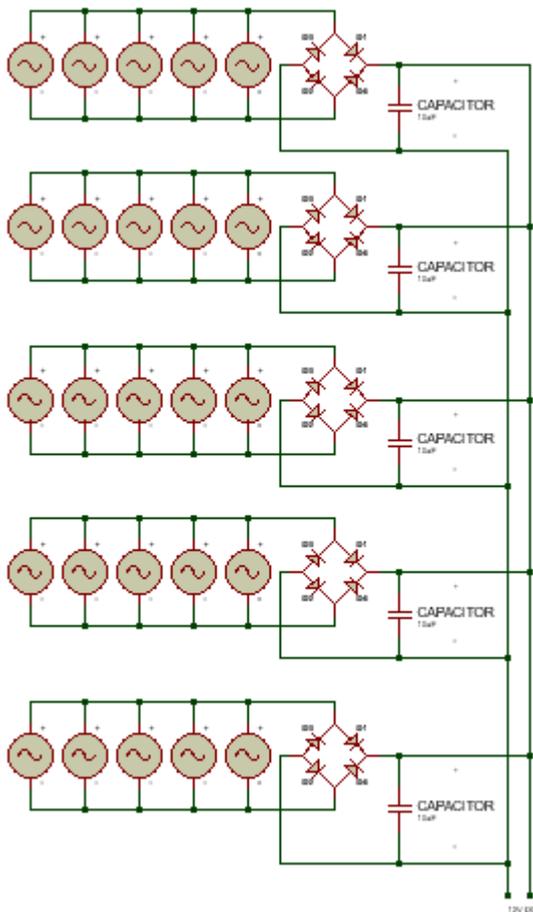
4.1.4. Analizar y evaluar la simulación del diseño de la baldosa piezoeléctrica mediante el software SolidWorks y Proteus.

Proteus

Se utilizó el Software Proteus para realizar una simulación del funcionamiento de los circuitos de las baldosas piezoeléctricas, de esta forma evitar que se generen errores al momento de realizar la instalación. El circuito de una de las baldosas piezoeléctricas se puede observar en la figura 40.

Figura 40

Circuito completo de una baldosa piezoeléctrica



SolidWorks

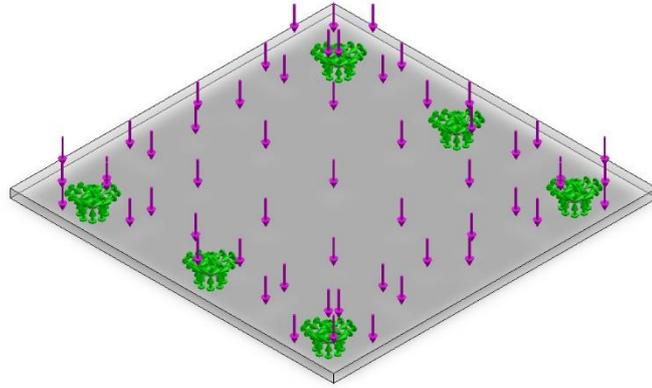
Con la tabla de propiedades del anexo 17, se realizó la simulación correspondiente para verificar que el acrílico de 8mm será capaz de soportar las cargas de las personas caminando sobre las baldosas.

Para lo que tenemos en la figura 41 se puede ver las cargas aplicadas sobre la cara superior del acrílico, el cual estará en contacto con las personas, en la parte inferior se



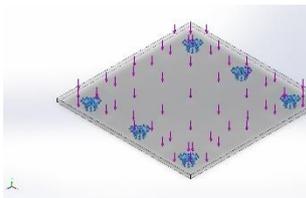
consideraron las fijaciones en los puntos en los que irá apoyado sobre los resortes, de esta forma se puede realizar la simulación de manera sencilla.

Figura 41.
Cargas y fijaciones



En la tabla 8, obtenida del informe que brinda la simulación en SolidWorks se puede ver las sujeciones realizadas, así como las fuerzas de reacción que generan.

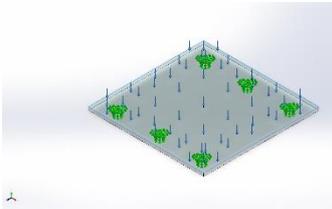
Tabla 8.
Sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción			
Fijo-1		Entidades: 6 cara(s) Tipo: Geometría fija			
Fuerzas resultantes		X	Y	Z	Resultante
Componentes					
Fuerza de reacción(N)		-0.00759816	558.999	0.00570965	558.999
Momento de reacción (N.m)		0	0	0	0

De igual forma, en la tabla 9 se puede observar la carga aplicada en la cara superior, así como el valor de la misma.



Tabla 9
Cargas aplicadas

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 559 N

Para obtener resultados confiables y cercanos a la realidad es necesario que el mallado se realice de forma adecuada. Se consideró una malla fina y a la vez se optó por utilizar un control de mallado en los bordes del acrílico, puesto que los elementos generados en esa zona era pocos. En la figura 42 se puede apreciar los parámetros del mallado realizado, se consideró como punto clave el porcentaje de elementos con cociente de aspecto < 3 , que es necesario que supere el 95% para mayor confiabilidad de los resultados.

Figura 42
Parámetros de malla

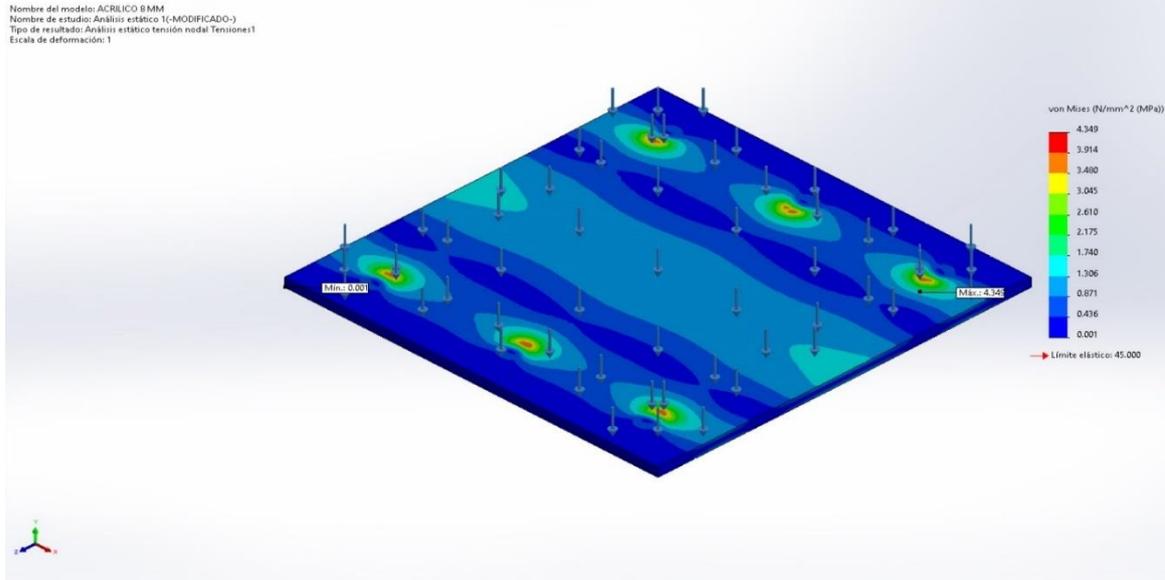
Nombre de estudio	Análisis estático 1 (-MODIFICADO-)
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado	Malla basada en curvatura de combinado
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	16 puntos
Control de malla	Definida
Tamaño máx. de elemento	5.82356 mm
Tamaño mín. de elemento	1.94117 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	82562
Número total de elementos	48027
Cociente máximo de aspecto	5.5573
Porcentaje de elementos con cociente de aspecto < 3	99.4
Porcentaje de elementos con cociente de aspecto > 10	0
Porcentaje de elementos distorsionados	0
Número de elementos distorsionados	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss)	00:00:08
Nombre de computadora	

Los resultados mostrados por la simulación tenemos que la tensión máxima obtenida es de 4,349 MPa. Esto se puede ver la tabla 10.



Tabla 10
Tensiones resultantes

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	0.001N/mm ² (MPa) Nodo: 2	4.349N/mm ² (MPa) Nodo: 6135

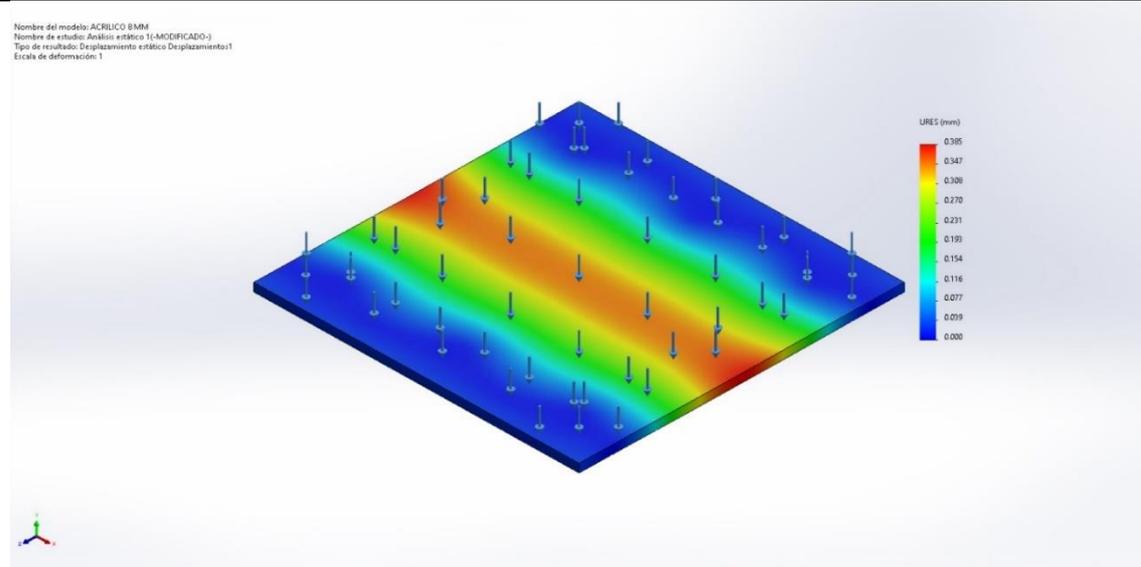


ACRILICO 8 MM-Análisis estático 1-Tensiones-Tensiones1

Del mismo modo en la tabla 11 se puede observar los desplazamientos, donde se puede ver que el valor máximo es 0,385mm.

Tabla 11.
Desplazamientos

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0.000mm Nodo: 21	0.385mm Nodo: 1261



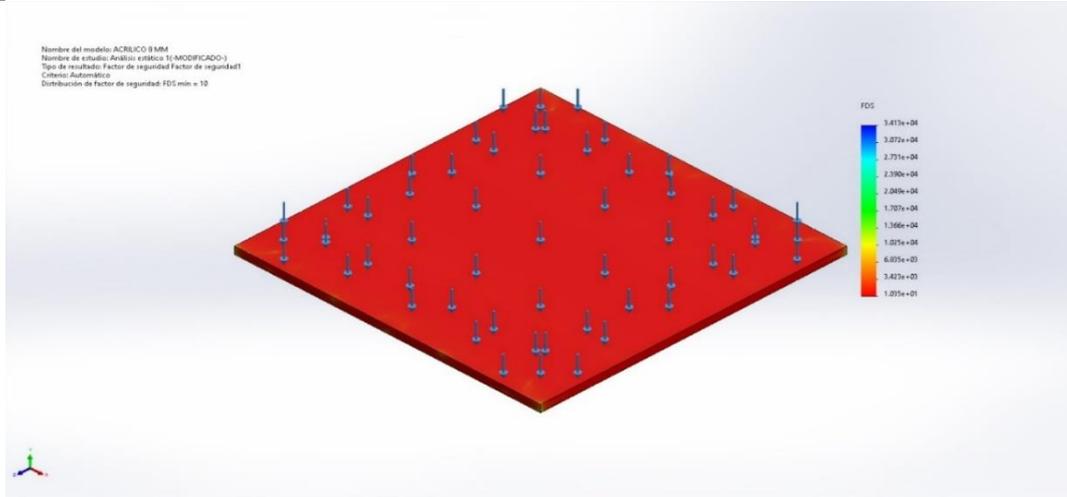
ACRILICO 8 MM-Análisis estático 1-Desplazamientos-Desplazamientos1



El factor de seguridad de las piezas o equipos diseñados es un punto importante, por ello, dentro de la simulación se determinó en la tabla 12, donde se muestra que el valor mínimo de 4 y un valor máximo de 13, lo que se traduce que la baldosa puede soportar 13 veces la carga aplicada en la simulación, siendo esta de 559N.

Tabla 12
Factor de seguridad

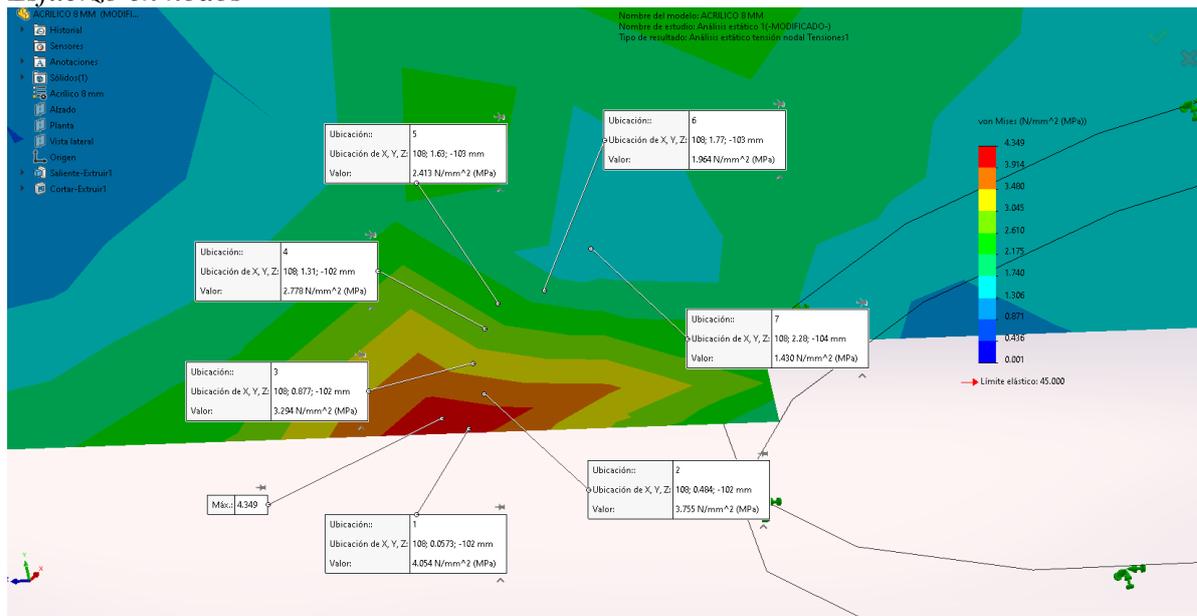
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	1.035e+01 Nodo: 6135	3.413e+04 Nodo: 2



ACRILICO 8 MM-Análisis estático 1-Factor de seguridad-Factor de seguridad1

Para tener una perspectiva de cómo van cambiando los esfuerzos a lo largo del acrílico, se tomaron valores de diferentes nodos. Esto se puede ver en la figura 43.

Figura 433
Esfuerzo en nodos





De la figura anterior se realizó un gráfico, para tener una referencia de la variación que sufre el acrílico al momento que se le aplica un esfuerzo sobre la superficie superior del mismo. Esto se puede ver en la figura 44.

Figura 444
Gráfico de nodos

Nombre de estudio: Análisis estático 1(-MODIFICADO-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones 1

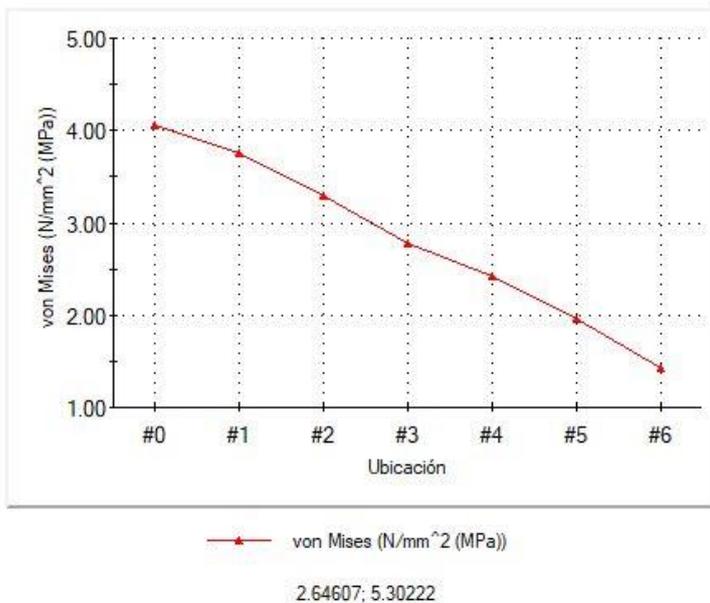


Diagrama de Esfuerzo de flexión del acrílico

Para el cálculo de esfuerzo de flexión se considera la siguiente fórmula, sabiendo que la baldosa está sometida a una fuerza de 559N, y como la pisada de una persona ocupa una considerable área de la baldosa. Por lo tanto, se toma como una fuerza distribuida (figura 45).

$$\sigma = \frac{M_{max} * C_y}{I_x}$$

Donde:

σ : esfuerzo debido a la flexión

M_{max} : máximo momento flector

C_y : centroide

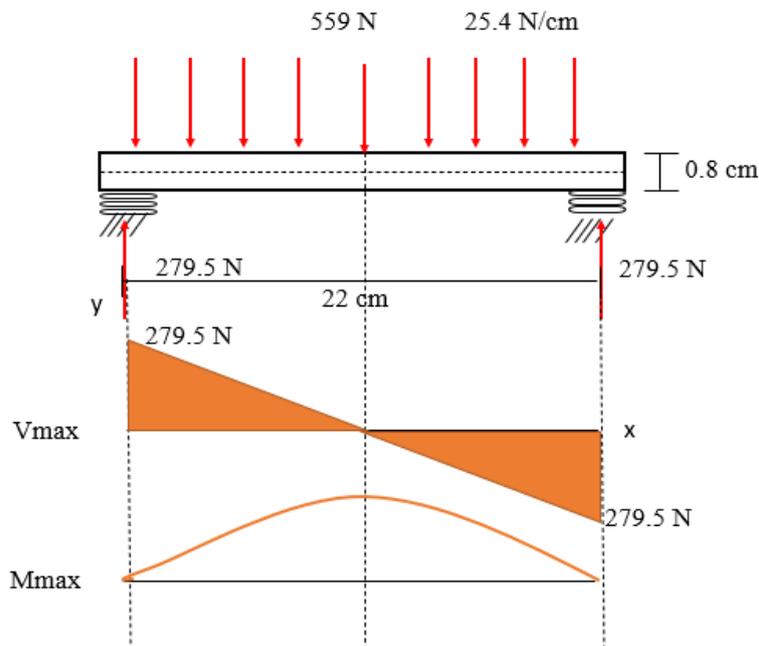
I_x : momento de inercia

Se encuentra la fuerza cortante y momento flector, se sabe que, por simetría la fuerza en los apoyos es la misma.



Figura 45

Gráfico de esfuerzo cortante y momento flector con carga distribuida



Cálculo del esfuerzo normal

Cálculo de máximo momento flector:

$$M_{max} = \frac{279.5 * 11}{2} = 1537.25 \text{ N.cm}$$

Cálculo de centroide:

$$C_y = \frac{h}{2} = \frac{0.8}{2} = 0.4 \text{ cm}$$

Cálculo de momento de inercia:

$$I_x = \frac{b * h^3}{12}$$
$$I_x = \frac{30 * 0.8^3}{12}$$
$$I_x = 1.28 \text{ cm}^4$$



Cálculo de esfuerzo en compresión:

$$\sigma_c = \frac{M_{max} * C_y}{I_x}$$

$$\sigma_c = \frac{1537.25 * 0.4}{1.28}$$

$$\sigma_c = 480 \frac{N}{cm^2} = 4.8 N/mm^2$$

Cálculo de esfuerzo en tensión:

$$\sigma_t = \frac{1537.25 * -0.4}{1.28}$$

$$\sigma_t = -480 N/cm^2$$

$$\sigma_{max} = 480 N/cm^2$$

Cálculo de esfuerzo tangencial

$$\tau = \frac{VQ}{I_x b}$$

Donde:

V : fuerza cortante en la zona de interés; 279.5 N

Q : primer momento de área

b : base de elemento rectangular; 30 cm

Calculamos primer momento de área Q :

$$Q = \frac{bh^2}{8} = \frac{30 * 0.8^2}{8}$$

$$Q = 2.4 cm^3$$

Reemplazamos:

$$\tau = \frac{279.5 * 2.4}{1.28 * 30} = 17.47 N/cm^2$$



Cálculo esfuerzo de tensión Von Mises

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\sigma_{max}^2 + 3\tau^2}$$

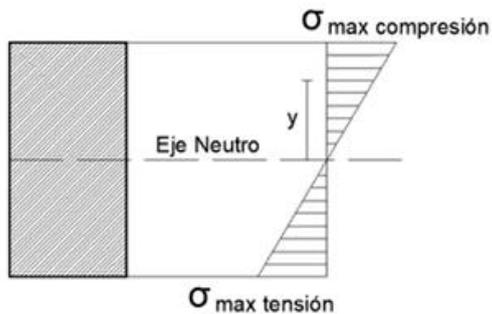
$$\sigma_{VM1} = \sqrt{480^2 + 3 * 0^2} = 480 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{VM2} = \sqrt{0^2 + 3 * 17.47^2} = 30.26 \text{ N/cm}^2$$

La fibra de la parte inferior de la baldosa se extiende y la fibra de la parte superior se comprime a un esfuerzo de 480 N/cm^2 . Siendo la fibra más crítica las externas,

Figura 466

Diagrama de esfuerzos por Von Mises



Cálculo del Factor de seguridad

Se sabe que nuestra baldosa piezoeléctrica va estar sometida a un esfuerzo de flexión de 480 N/cm^2 ,

$$F_s = \frac{\text{Esfuerzo último}}{\text{esfuerzo admisible}}$$

$$F_s = \frac{100 \text{ N/mm}^2}{4.8 \text{ N/mm}^2}$$

$$F_s = 20$$

Se comprueba si el acrílico tiende a romperse o a deformarse plásticamente:

$$z = \frac{\sigma_F}{F_s}$$

Donde:

σ_F : Esfuerzo de fluencia del acrílico



Reemplazando:

$$z = \frac{138}{20} = 6.9 \text{ N/mm}^2$$

$\therefore 6.9 \text{ N/mm}^2 > 4.8 \text{ N/mm}^2$ el acrílico no se deforma plásticamente y tampoco se rompe.

Estos resultados nos sirven para a constatar la cuarta hipótesis específica, que el diseño de la baldosa piezoeléctrica, se puede analizar y evaluar mediante los softwares SolidWorks y Proteus.



4.1.5. Determinar el presupuesto que involucra la implementación de baldosas piezoeléctricas para abastecer el frontis del mercado de abastos Miramar – Moche

Tabla 13

Presupuesto del sistema de iluminación y baldosas piezoeléctricas

ITEM	DESCRIPCIÓN	METRADO			
		UNIDAD	CANT.	COSTO UNIT.	COSTO TOTAL
1.00	SUMINISTRO DE MATERIALES				
1.10	BALDOSA PIEZLECTRICA				
1.1.1	Triplay 30x30cm / 18mm de espesor	Pza.	1.00	S/ 4.80	S/ 4.80
1.1.2	Acrílico 30x30cm / 8mm de espesor	Pza.	1.00	S/ 30.00	S/ 30.00
1.1.3	Resorte de compresión helicoidal Ø 17mm x 30 mm	U.	6.00	S/ 3.00	S/ 18.00
1.1.4	Sensor PTZ 5H - Ø35mm	U.	25.00	S/ 3.00	S/ 75.00
1.1.5	Diodo 1n4007	U.	20.00	S/ 0.20	S/ 4.00
1.1.6	Condensador 10 uf	U.	4.00	S/ 0.20	S/ 0.80
1.1.7	Barra de silicona Ø11mm	U.	1.00	S/ 0.80	S/ 0.80
1.1.8	Estaño	m.	1.50	S/ 1.50	S/ 2.25
1.1.9	Cable THW 24AWG	m.	3.00	S/ 1.00	S/ 3.00
	COSTO POR BALDOSA (UNITARIA)				S/ 138.65
1.1.10	Cinta aislante tecnofan 810 (Total de 148 Baldosas)	U.	15.00	S/ 2.00	S/ 30.00
1.1.11	Adhesivo soldimix soldadura en frío (Total de 148 Baldosas)	U.	50.00	S/ 9.00	S/ 450.00
	COSTO TOTAL DE LAS 148 BALDOSAS				S/ 21 000.20



1.20 SISTEMA DE ILUMINACIÓN							
1.2.1	Reflector tipo: LDV floodlight 20w	U	4.00	S/	50.00	S/	200.00
1.2.2	Tubo de F° G° Ø2" x 1m	U.	4.00	S/	30.00	S/	120.00
1.2.3	Caja de paso F° G° 150x150x100mm	U.	4.00	S/	15.90	S/	63.60
1.2.4	Cable LSOH-80 450/750V 3-1x2.5 mm2	U.	60.00	S/	2.19	S/	131.40
1.2.5	Abrazadera de Ø4"	U.	4.00	S/	15.00	S/	60.00
1.2.6	Materiales Varios (Soldadura,Pernos, Pintura,etc)	Glb.	1.00	S/	150.00	S/	150.00
1.2.7	Tablero de 4 Polos	U.	1.00	S/	23.90	S/	23.90
COSTO TOTAL SISTEMA DE ILUMINACIÓN						S/	748.90

2.00 SUMINISTRO DE HERRAMIENTAS Y / O INSTRUMENTOS

2.10 HERRAMIENTAS							
2.1.1	Alicate universal	U.	1.00	S/	25.00	S/	25.00
2.1.2	Alicate punta	U.	1.00	S/	29.90	S/	29.90
2.1.3	Alicate corte	U.	1.00	S/	18.90	S/	18.90
2.1.4	Destornillador estrella y plano	U.	1.00	S/	29.90	S/	29.90
2.1.5	Probador de corriente Alterna	U.	1.00	S/	4.90	S/	4.90
2.1.6	Cuchilla cutter	U.	1.00	S/	4.90	S/	4.90
2.1.7	Pistola de Soldar	U.	1.00	S/	29.90	S/	29.90
2.20 INSTRUMENTOS							
2.2.8	Multímetro Digital	U.	1.00	S/	140.00	S/	140.00
2.2.9	Pinza amperimétrica	U.	1.00	S/	180.00	S/	180.00
COSTO TOTAL DE LAS HERRAMIENTAS Y/O INSTRUMENTOS						S/	463.40



3.00 SUMINISTRO DE EQUIPOS							
3.10	EQUIPOS						
3.1.1	Regulador PWM Modelo PC 1500B 10A/12VDC	U.	1.00	S/	94.24	S/	4.80
3.1.2	Batería monoblock tensite AGM 12V 100Ah	U.	1.00	S/	633.64	S/	30.00
3.1.3	Inversor SUVPR de 12V-DC a 220V-AC / 150W	U.	1.00	S/	90.00	S/	18.00
COSTO DE SUMINISTRO DE EQUIPOS						S/	817.88
4.00 OTROS: GASTOS GENERALES							
4.10	GASTOS GENERALES						
4.1.1	Costo de instalación de las baldosas piezoeléctricas (tecnico, Oficial, Ayudante)	Glb.	1.00	S/	600.00	S/	600.00
4.1.2	Costo de instalación de sistema eléctrico (tecnico, Oficial, Ayudante)	Glb.	1.00	S/	600.00	S/	600.00
4.1.3	Gastos generales	Glb.	1.00	S/	50.00	S/	50.00
4.1.4	Pruebas Eléctricas	Glb.	1.00	S/	100.00	S/	100.00
COSTO DE GASTOS GENERALES (OTROS)						S/	1,350.00



En la tabla 13 se señalan los materiales que se utilizarán para la construcción de las 148 baldosas piezoeléctricas que serán necesarias para brindar energía al frontis del mercado, logrando abastecer la demanda señalada.

Por lo que se tiene la tabla 14, donde se señala el costo total de la implementación del sistema de iluminación y de baldosas piezoeléctricas. Considerando los accesorios necesarios para la instalación, así como el costo de fabricación de cada una de las baldosas piezoeléctricas.

Tabla 14

Costo de sistema del sistema de iluminación y baldosas piezoeléctricas

	Unidades	Costo U.	Subtotal
Suministro de materiales (sistema de iluminación y baldosas)	Glb	S/. 21 749.10	S/. 21 749.10
Suministro de herramientas y/o instrumentos	Glb	S/. 463.40	S/. 463.40
Suministro de equipos	Glb	S/. 817.88	S/. 817.88
Otros: Gastos Generales	Glb	S/. 1 350.00	S/. 1 350.00
TOTAL			S/. 24 380.38

Estos resultados nos sirven para constatar la quinta hipótesis específica, que realizando un presupuesto podemos conseguir un panorama financiero para abastecer la iluminación del frontis del mercado de abastos Miramar – moche mediante la implementación de baldosas piezoeléctricas.



4.2 Discusión de resultados

Dentro del consumo energético se seleccionaron las iluminarias por utilizar, considerando un consumo de cada una de 20W y un total de 4 lámparas, por lo que la demanda total sería de 80W, este sería el valor de potencia mínimo a abastecer, de mismo modo, Fischer y Duarte (2018), encontraron una potencia de 800W que puede ser producida a través de las baldosas piezoeléctricas. Por otro lado, Arévalo y Lamprea (2019), consideraron que la potencia que se produce por cada pisada en las baldosas piezoeléctricas que diseñaron, es de 0,0072W. Del mismo modo, Burbano (2021), tiene el mismo fin, de utilizar la energía producida por las baldosas piezoeléctricas para iluminar 4 lámparas de 250W cada una. Manayay (2020), por otro lado, logró generar una potencia de 41,58W con la utilización de su diseño e implementación de baldosas dieléctricas.

Los parámetros eléctricos obtenidos fueron considerados a través de la Norma Técnica DGE, dentro de la sección de “Alumbrado de Vías Públicas en Zonas de Concesión de Distribución”, dentro de software DiaLux se halló que la iluminación mínima es de 6,17 lux, la máxima es de 70 lux y cuenta con un promedio de 34 lux, el conductor seleccionado es el 2,5mm², puesto que al realizar el cálculo se halló una sección mucho menor de la mínima establecida por el Código Nacional de Electricidad; Ojeda (2019), consideró un conductor de 1mm², puesto que la normativa europea permite la selección de dicho conductor, se puede hallar con el nombre de tipo 3 x 1,0mm² 500V.

Dentro de los parámetros mecánicos, se realizó un muestreo de la cantidad de personas que ingresan por la puerta principal, teniendo un promedio de 398,75 para el día lunes, 406,25 para el día martes, 403,75 para el día miércoles, 502,5 para el día jueves, 644,75 para el día viernes, 810,25 para el día sábado y 869 para el día domingo; en comparación Arévalo y Lamprea (2019), que el muestro que tomaron fue de la cantidad de pisadas por día, teniendo como resultado 408 pisadas para el día lunes, 277 para el día martes, 537 para el día miércoles, 394 para el día jueves y 266 para el día viernes. Asimismo, el material seleccionado para soportar el paso de las personas es un acrílico con un espesor de 8mm, a diferencia de Manayay (2020), que optó por utilizar triplay fenólico, contando un espeso de 12mm, cuyas dimensiones son de 376mm X 276mm., soportando cargas de hasta 1,28MPa, a diferencia que en la presente investigación, considerando las fuerzas aplicadas, se llegó a un esfuerzo máximo de 4,35MPa.



Se estableció que se utilizarán 148 baldosas piezoeléctricas para producir una potencia total de 80W, a diferencia de Concha y Zamalloa (2017), que en su proyecto consideró la utilización únicamente de 60 baldosas piezoeléctricas, la diferencia es que estas baldosas cuentan con un número mayor de sensores que producen la energía necesaria. Por otro lado Manayay (2020), optó por utilizar un total de 198 baldosas para abastecer un consumo energético de 0,8kWh.

El presupuesto establecido para realizar el diseño e implementación tiene un total aproximado de S/. 24 380,38, este es un costo menor a lo establecido por Ojeda (2019), cuyo proyecto tiene un costo total de \$ 30 245,29 puesto que la demanda a abastecer es mayor y el número de baldosas es menor, esto se traduce a que es necesario una mayor eficiencia de las mismas. Por otro lado, Núñez (2018), señala una inversión de S/.10 209,03; para una potencia instalada a través de las baldosas piezoeléctricas de 1050W. Del mismo modo, Manayay (2020) realizó un análisis económico, teniendo como resultado un TIR del 17% y un VAN positivo de 1 153,86, indicando que es recuperable la inversión en un periodo de 5 años.



CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

5.1 Conclusiones

- Se determinó el consumo energético del sistema de iluminación del frontis, considerando la instalación de 4 luminarias con una potencia de 20W, a realizar el respectivo cálculo, se halló que la potencia total o la demanda máxima del frontis será de 80W, puesto que, las luminarias se encenderán por completo y no habrá una ampliación de las mismas.
- Se determinaron los parámetros eléctricos necesarios para el diseño del sistema de iluminación, considerando una iluminación mínima de 6,17lux a un máximo de 70lux, a la vez que el conductor seleccionado para el alimentar y para el alumbrado es de 2,5 mm² y de tipo LSOH-80, seleccionado por sus características de seguridad.
- Se determinaron los parámetros eléctricos y mecánicos, dentro de los eléctricos se tiene que se utilizaron diodos tipos 1n4007, condensadores electrolíticos 10μF, a la vez se tiene que el promedio de voltaje generado por una baldosa es de 13,93, así mismo, se tiene que produce 39,1 mA y una potencia de 544,272 mW, por lo que se necesitan 148 baldosas para producir la potencia requerida de 80W. Dentro de los parámetros mecánicos se tiene que los discos piezoeléctricos tiene una resistencia de 4267,52 MPa, con una dureza de 22HB, se consideraron unas medidas estándar de 30x30cm para las baldosas, por lo que se necesita un área total de 13,3m² para poder instalar las 148 baldosas necesarias para abastecer la máxima demanda.
- Se analizó y realizó una evaluación de la simulación del diseño de la baldosa piezoeléctrica, se utilizó el software Proteus para verificar que las conexiones realizadas son las adecuadas y funcionan de manera correcta. Por otro lado, se realizó una simulación estático estructural del acrílico de 8mm, puesto que este estará soportando todos los esfuerzos constantemente, donde se tiene como resultado que el esfuerzo máximo soportado es de 4,349MPa con un factor de seguridad de 13, considerando una carga aplicada de 559N, puesto que es el peso promedio de las personas que transitan el área.



- Se determinó el presupuesto de la implementación de baldosas piezoeléctricas para abastecer el sistema de iluminación del frontis, teniendo un costo de S/. 21 000,20 para la implementación de baldosas y un costo de S/. 748.90 para el sistema de iluminación, teniendo en cuenta los gastos externos como instrumentos, equipos, gastos generales, entre otros, se obtuvo un costo total de S/. 24 380,38.

5.2 Sugerencias

- Realizar una evaluación de la degradación de los materiales utilizados, de esta forma diagnosticar la vida útil de las baldosas piezoeléctricas.
- Determinar cuál será el mantenimiento necesario de las baldosas piezoeléctricas para que se mantengan en un estado óptimo de funcionamiento, prolongando su vida útil.
- Realizar una comparación de los materiales empleados, para seleccionar el adecuado, considerando costos y beneficios que estos traen, como la resistencia, la liviandad, firmeza, entre otras propiedades.
- Hacer un uso racional y eficiente de la energía.



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Álvarez, L., Medina, J., & Morales, L. (2017). Aplicaciones de la piezoelectricidad en Ingeniería Civil. *Revista de Ingeniería Civil*, 1(2), 15–26. <https://bit.ly/3Gq24u7>
- Arévalo, L., & Lamprea, D. (2019). *Diagnóstico para la implementación de baldosas piezoeléctricas como alternativa de energía renovable en la Universidad Santo Tomás Villavicencio campus Aguas Claras* [Universidad Santo Tomás]. <https://bit.ly/3Fmp3oH>
- Baena Paz, G. (2017). *Metodología de la investigación*. <https://bit.ly/3GDnd4p>
- Benavente, L. (2020). *Reducción de costos energéticos simulando un sistema piezoeléctrico, para la UTP – Sede Arequipa* [Universidad Tecnológica del Perú]. <https://bit.ly/3K01qWB>
- Burbano, J. (2021). *Implementación de un prototipo funcional generador de energía eléctrica a través de una baldosa con elementos piezoeléctricos* [Universidad Católica de Colombia]. <https://bit.ly/336Ae84>
- Carrillo, S., & Velandia, R. (2017). *Propuesta para la implementación de una alternativa que permita mejorar la eficiencia energética en el edificio Rafael Arboleda de la Pontificia Universidad Javeriana*. Bogotá: Universidad Javeriana. <https://bit.ly/3fiJdFv>
- Chuquimarca, L., Suárez, P., & López, F. (2021). Simulación electrónica del microprocesador GAL22V10 mediante el software Proteus basado en VHDL para virtualizar circuitos integrados. *Revista Científica Y Tecnológica UPSE*, 8(1), 107-115. <https://bit.ly/31VsRzC>
- Concha, P., & Zamalloa, R. (2017). *Proyecto de viabilidad para implementar un sistema de generación de energía renovable en las estaciones de la línea 1 del tren eléctrico de Lima* [Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. <https://bit.ly/33enQmj>
- De Sousa, C., & Manganiello, L. (2018). Estado del Arte: Aplicaciones de los sensores piezoeléctricos en la detección de elementos contaminantes en alimentos. *INGENIERÍA UC*, 25(3). <https://bit.ly/33xbQw9>
- Estabilizadores Work. (2017). Inversores de corriente para sistemas fotovoltaicos. *Ingeniería Eléctrica*.
- Fischer, E., & Duarte, G. (2018). *Generación de energía con materiales piezoeléctricos* [Universidad Nacional de Mar de Plata]. <https://bit.ly/3GsNC4D>
- Gómez, A. (2018). *Diseño de un Sistema de energy harvesting basado en piezoeléctricos*. Alcalá: Universidad de Alcalá. <https://bit.ly/3tmhz2t>



- Gonzales, S. (2019). *Plan de negocios de baldosas piezoeléctricas como fuente de energía alternativa en la ciudad de Villavicencio para la empresa Step Energy*. Villavicencio: Universidad Santo Tomás. <https://bit.ly/34zDatZ>
- Grudilec. (2018). *El mundo de la iluminación*. <https://bit.ly/3GnLhII>
- iluminica. (2020). PROYECTOS DE ILUMINACIÓN. *Proyectos y Productos Para Soluciones Profesionales de Iluminación*. <https://bit.ly/3rarfuh>
- Lesmes, C., Pérez, J., & Juez, D. (2020). *Generadores piezoeléctricos como alternativa energética: evaluación de factibilidad en la implementación en vías en ciudades intermedias*. <https://bit.ly/3zQLP6S>
- López, M., & Prudencio, D. (2020). *Energía renovable obtenida a partir del diseño e implementación de un prototipo piezoeléctrico adaptado a un somier aprovechando el movimiento corporal, Lima 2020* [Universidad César Vallejo]. <https://bit.ly/3nnqbCd>
- Luna Paipa, E. A., Laguado Serrano, M. Á., & Sepúlveda Mora, S. B. (2018). Controlador de carga PWM eficiente y de bajo costo para sistemas fotovoltaicos autónomos. *Respuestas*, 23(S1), 6–13. <https://bit.ly/3FqtTBc>
- Maldonado, T. (2016). Artículo: Investigaciones descriptivas o no experimentales. *Universidad Yacambu*. <https://bit.ly/3tmUi0o>
- Manayay, M. (2020). *Sistema de iluminación mediante baldosas con generadores piezoeléctricos para reducir el consumo de energía eléctrica en la discoteca Tarima – Chiclayo* [Universidad César Vallejo]. <https://bit.ly/3FmCfdf>
- MINEM. (2017). *Lamparas*. <https://bit.ly/33f8yOf>
- Ministerio de Energía y Minas. (2019). *Anuario estadístico de electricidad 2018*. <https://bit.ly/3nlllyss>
- Ministerio de Energía de Chile. (2019). Programa de capacitación en energía solar fotovoltaica para liceos de educación media técnica. *Tomo III. Guía de Apoyo Para Estudiantes: Programa En Energía Solar Fotovoltaica Para Liceos EMTP*. <https://bit.ly/3FotU8G>
- Ministerio de Energía y Minas. (2019). *Anuario estadístico de electricidad 2018*. <https://bit.ly/3GptCzY>



- Molina, M. (2020). *Modelamiento de un sistema de nanogeneradores eléctricos basados en los efectos tribo y piezoeléctrico*. Ibarra: Universidad técnica del Norte.
<https://bit.ly/3GpL7Qu>
- Morocho, B., & Ordoñez, B. (2020). Ingeniería básica de una baldosa piezoeléctrica para el harvesting de energía ambiental. *Departamento Electrónica y Energía, Universidad Técnica Particular de Loja*. <https://bit.ly/34BkLgo>
- Nicomedes, E. (2018). Tipos de investigación. *Universidad Santo Domingo de Guzmán*.
<https://bit.ly/3nl8xzf>
- Noguera, L. (2019). *Potencial de Generación de energía eléctrica con la tecnología piezoeléctrica aplicada al tránsito de bicicletas de la ciudad de Bogotá D.C*. Bogotá D.C.: Universidad Libre. <https://bit.ly/3HU9wOu>
- Núñez, M. (2018). *Aprovechamiento de la tecnología piezoeléctrica para la generación de energía eléctrica en la pista de baile de la discoteca Cayet - distrito de Soritor - departamento de San Martín* [Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo].
<https://bit.ly/3IgjFWb>
- Ojeda, E. (2019). *Diseño de instalación de baldosas piezoeléctricas para iluminar multicancha en la sede Viña del Mar* [Universidad Técnica Federico Santa María Sede Viña del Mar]. <https://bit.ly/3K9UTZA>
- ONU. (2020). *Crece la generación de electricidad con fuentes renovables en 2019*.
<https://bit.ly/3K8v0ZM>
- Ortega Carbajal, M., Hernández Mosqueda, J., & Tobón Tobón, S. (2015). Análisis documental de la gestión del conocimiento mediante la cartografía conceptual. *Ra Ximhai*, 11(4), 141–160. <https://bit.ly/33cATVm>
- Osinerming. (2014). *La revista del gas natural*. 5(5). <https://bit.ly/3nkWIZR>
- Opcc. (2020). *Lámpara y luminarias*. <https://bit.ly/3fpLWZ>
- Pérez, L., Hernández, C., Alvarado, Á., & López, J. (2018). Generador de energía eléctrica a través de energía limpia Generator of electric power through clean energy. *Revista de Ingeniería Eléctrica*, 2(7), 36–41. <https://bit.ly/338IIeS>
- Quispe, A., & Tonato, M. (2021). *Consumo eléctrico residencial por iluminación y análisis de eficiencia energética por la utilización de tecnología LED*.
<https://bit.ly/3I13yLI>



- Ríos, A., Guamán, J., & Vargas, C. (2018). Análisis de la Implementación de una Estrategia de Reducción del Consumo Energético en el Sector Residencial del Ecuador: Evaluación del Impacto en la Matriz Energética. *Revista Técnica "Energía"*, 15(1), 98-109. <https://bit.ly/3K8bv3O>
- Risco, A. A. (2020). Justificación de la Investigación. *Universidad de Lima*. <https://bit.ly/3A6DUQR>
- Rodríguez, A., & Pérez, A. (2017). Métodos científicos de indagación y de construcción del conocimiento. *Revista Escuela de Administración de Negocios*, 82, 1–26. <https://bit.ly/3KhctLc>
- Skarżyński, K., Żagan, W., & Krajewski, K. (2021). Led luminaires: Many chips—many photometric and lighting simulation issues to solve. *Energies*, 14(15). <https://bit.ly/3FkQwa7>
- Soria, W. (2019). *Investigación del aporte energético en la utilización de la baldosa piezoeléctrica como una fuente de energía renovable para alimentar sistemas eléctricos de iluminación de bajo consumo* [Universidad de San Carlos de Guatemala]. <https://bit.ly/3HWMPcA>
- Tena, K. (2017). *Implementación de sensores piezoeléctricos para la generación eléctrica bajo calzada: aplicaciones en el Aeropuerto de Barcelona*. Universitat politècnica de Catalunya. <https://bit.ly/3nl99ox>
- Valencia, A. (2019). *Diseño sostenible para la eficiencia energética de iluminación utilizando efecto piezoeléctrico en los bloques FIIC de la ULVR*. Guayaquil: Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil. <https://bit.ly/3nl9ac5>
- Vega, J. (2020). *Generación de energía piezoeléctrica en la plaza de armas de Jaén - Perú para iluminación y servicios WIFI público*. Jaén: Universidad nacional de Jaén. <https://bit.ly/33eLcrR>
- Villa, F. (2017). *Tube fluorescente*. Scribd. <https://bit.ly/3zQzlw6>
- Waluyo, B., Bitang, S., & Januariyansah, S. (2021). THE EFFECT OF USING PROTEUS SOFTWARE AS A VIRTUAL LABORATORY ON STUDENT LEARNING OUTCOMES. *Jurnal Kajian, Penelitian dan Pengembangan Kependidikan*, 12(1), 140-145. <https://bit.ly/3raIAmZ>



ANEXOS

Anexo 1: Instrumentos de medición

Tabla 15

Instrumentos de medición

Sistema de iluminación del Mercado de abastos Miramar				
N°	Luminaria	Tipo	Cantidad	Potencia (w)



Anexo 2: Ficha técnica

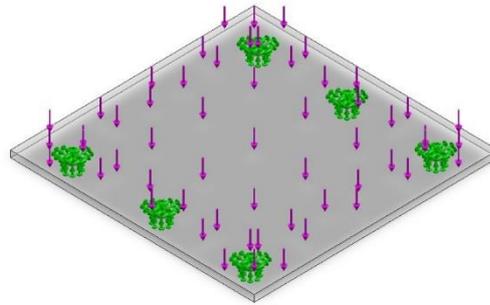
Característica		Unidades
Módulo de elasticidad del acrílico	45	MPa
Medida de las baldosas	30x30	cm
Factor de seguridad	10	
Potencia	0.54	W
Amperaje	39.1	mA
Voltaje	13.92	V

Anexo 3: Validez y fiabilidad de instrumentos

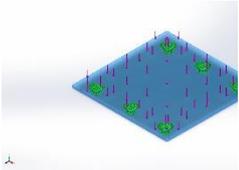


Anexo 4: Informe de simulación en SolidWorks

INFORMACIÓN DE MODELO



Nombre del modelo: ACRILICO 8 MM
Configuración actual: MODIFICADO

Sólidos	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Nombre de documento y referencia Cortar-Extruir1 	Sólido	Masa:0.862366 kg Volumen:0.000718638 m ³ Densidad:1,200 kg/m ³ Peso:8.45118 N	D:\TESIS\SW\PIEZ OELÉCTRICO\AC RILICO 8 MM.SLDPRT Jul 21 19:58:07 2022



PROPIEDADES DE ESTUDIO

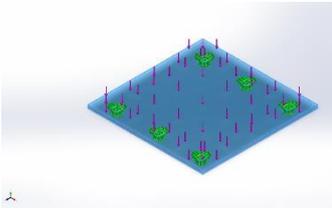
Nombre de estudio	Análisis estático 1
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	Automático
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (D:\TESIS\SW\PIEZOELÉCTRICO)

UNIDADES

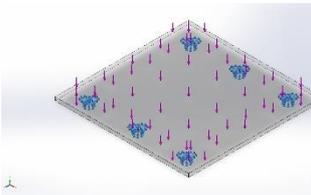
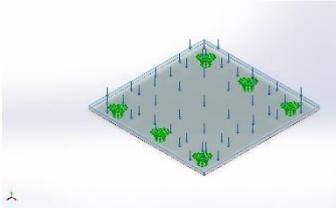
Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²



PROPIEDADES DE MATERIAL

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: Acrílico 8 mm</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Desconocido</p> <p>Límite elástico: 4.5e+07 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 7.3e+07 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 3.24e+09 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0.35</p> <p>Densidad: 1,200 kg/m³</p> <p>Módulo cortante: 8.9e+08 N/m²</p> <p>Coefficiente de dilatación térmica: 5.2e-05 /Kelvin</p>	<p>Sólido 1(Cortar-Extruir1)(ACRILICO 8 MM)</p>
<p>Datos de curva:N/A</p>		

CARGAS Y SUJECIONES

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción																		
Fijo-1		<p>Entidades: 6 cara(s)</p> <p>Tipo: Geometría fija</p>																		
<p>Fuerzas resultantes</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 20%;">Componentes</th> <th style="width: 15%;">X</th> <th style="width: 15%;">Y</th> <th style="width: 15%;">Z</th> <th style="width: 35%;">Resultante</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Fuerza de reacción(N)</td> <td style="text-align: center;">-0.00759816</td> <td style="text-align: center;">558.999</td> <td style="text-align: center;">0.00570965</td> <td style="text-align: center;">558.999</td> </tr> <tr> <td>Momento de reacción (N.m)</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">0</td> </tr> </tbody> </table>						Componentes	X	Y	Z	Resultante	Fuerza de reacción(N)	-0.00759816	558.999	0.00570965	558.999	Momento de reacción (N.m)	0	0	0	0
Componentes	X	Y	Z	Resultante																
Fuerza de reacción(N)	-0.00759816	558.999	0.00570965	558.999																
Momento de reacción (N.m)	0	0	0	0																
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga																		
Fuerza-1		<p>Entidades: 1 cara(s)</p> <p>Tipo: Aplicar fuerza normal</p> <p>Valor: 559 N</p>																		



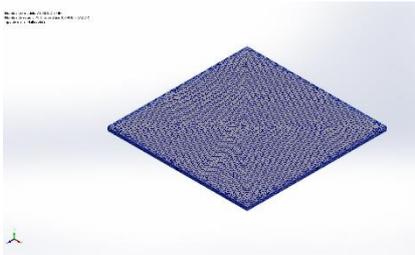
INFORMACIÓN DE MALLA

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura de combinado
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	16 Puntos
Tamaño máximo de elemento	5.82356 mm
Tamaño mínimo del elemento	1.94117 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	82562
Número total de elementos	48027
Cociente máximo de aspecto	5.5573
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99.4
El porcentaje de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
Porcentaje de elementos distorsionados	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:08
Nombre de computadora:	

Información sobre el control de malla:

Nombre del control de malla	Imagen del control de malla	Detalles del control de malla
Control-1		Entidades: 4 cara(s) Unidades: mm Tamaño: 2.72139 Cociente: 2.72139



FUERZAS RESULTANTES

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-0.00759816	558.999	0.00570965	558.999

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0

Fuerzas de cuerpo libre

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	0.00822665	-0.00871002	0.0230493	0.0259772

Momentos de cuerpo libre

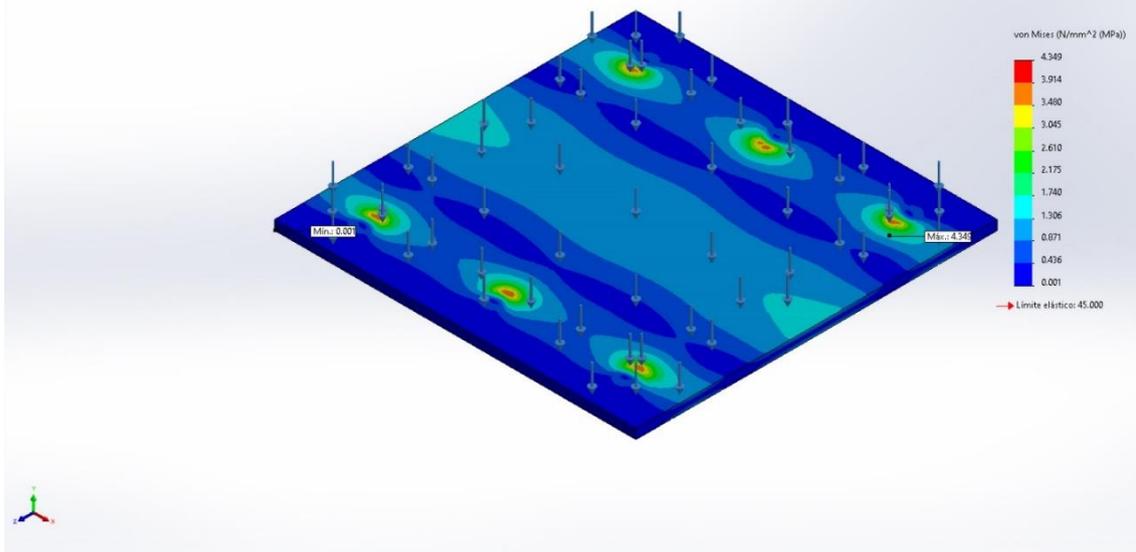
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	1e-33



RESULTADOS DEL ESTUDIO

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	0.001N/mm ² (MPa) Nodo: 2	4.349N/mm ² (MPa) Nodo: 6135

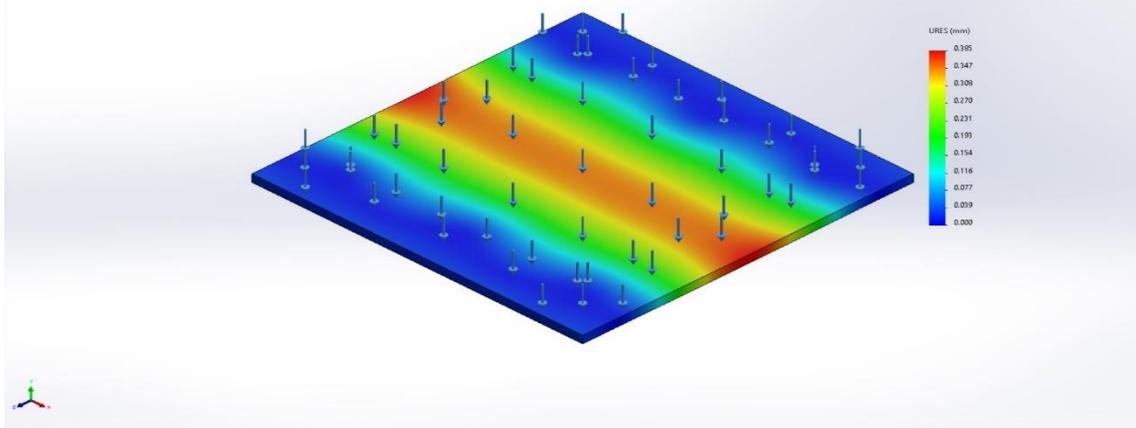
Nombre del modelo: ACRILICO 8MM
 Nombre de estudio: Análisis estático 1(-MODIFICADO-)
 Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
 Escala de deformación: 1



ACRILICO 8 MM-Análisis estático 1-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0.000mm Nodo: 21	0.385mm Nodo: 1261

Nombre del modelo: ACRILICO 8MM
 Nombre de estudio: Análisis estático 1(-MODIFICADO-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 1

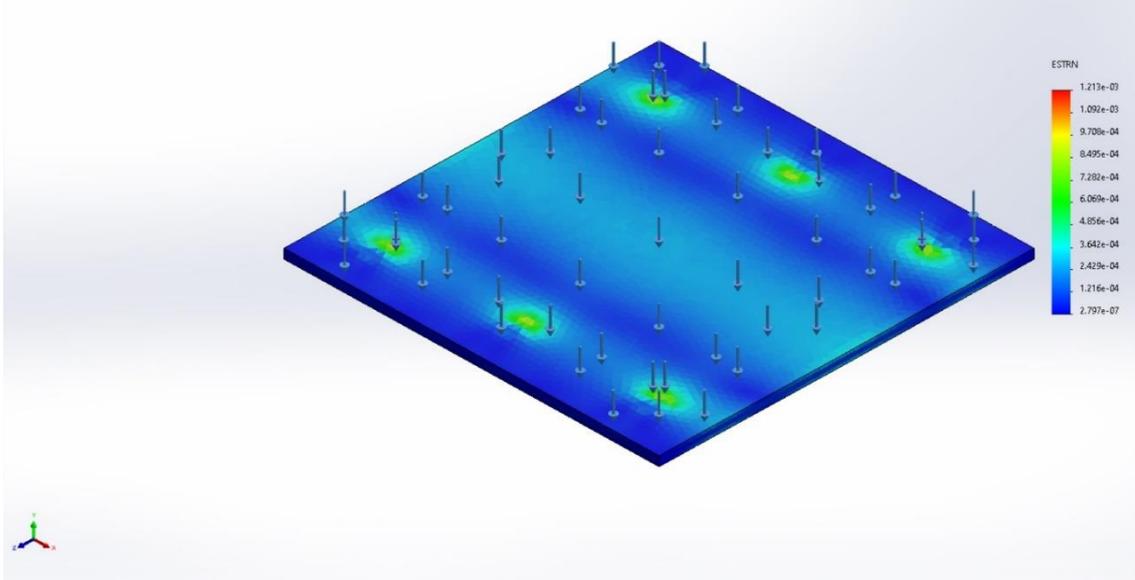


ACRILICO 8 MM-Análisis estático 1-Desplazamientos-Desplazamientos1



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	2.797e-07 Elemento: 38869	1.213e-03 Elemento: 34126

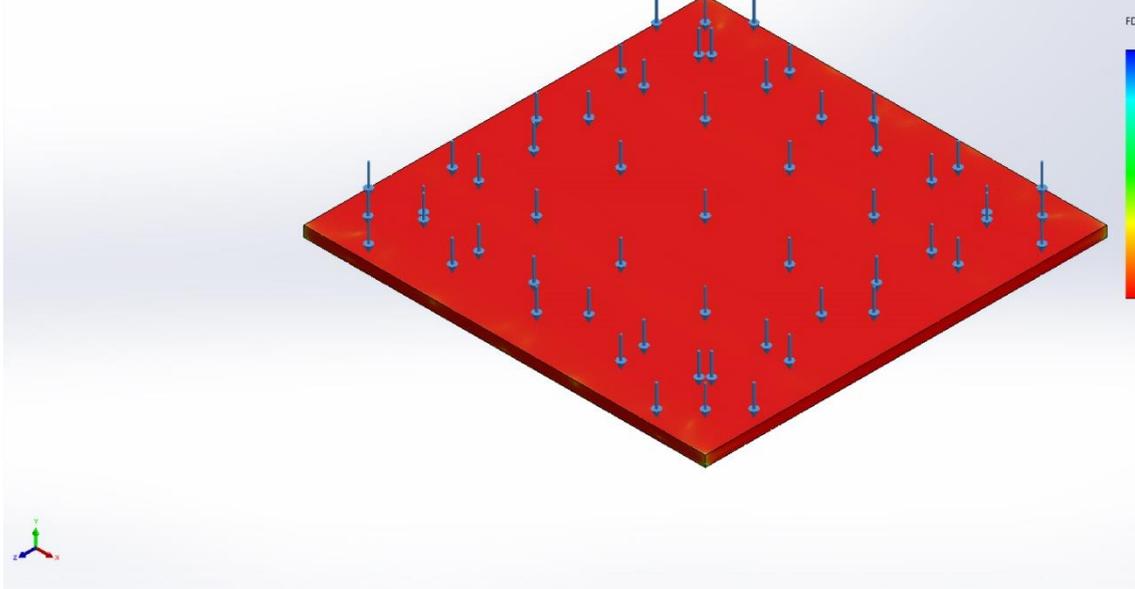
Nombre del modelo: ACRILICO 8MM
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-MODIFICADO-)
Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
Escala de deformación: 1



ACRILICO 8 MM-Análisis estático 1-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	1.035e+01 Nodo: 6135	3.413e+04 Nodo: 2

Nombre del modelo: ACRILICO 8MM
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-MODIFICADO-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Automático
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 10



ACRILICO 8 MM-Análisis estático 1-Factor de seguridad-Factor de seguridad1



Anexo 5: Matriz de consistencia

Tabla 16

Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicadores	Metodología
General	General	Principal		Voltaje	Tipo: Aplicada
¿Cómo se puede aprovechar la energía mecánica de las personas para abastecer el sistema de iluminación del frontis del mercado de abastos de Miramar?	Elaborar la propuesta de diseño de baldosas piezoeléctricas para abastecer el sistema de iluminación del frontis del mercado de abastos de Miramar – Moche.	Elaborando una propuesta de diseño de baldosas piezoeléctricas se puede aprovechar la energía mecánica de las personas para abastecer el sistema de iluminación del frontis del mercado de abasto de Miramar- Moche.		Corriente	Métodos: hipotético deductivo
Específicas	Específicas	Específicas	Variable independiente: Baldosa piezoeléctrica	Potencia	Diseño: no experimental
¿Cuánto es el consumo eléctrico que demanda el sistema de iluminación del frontis del mercado de abastos Miramar – Moche?	Determinar el consumo eléctrico del sistema de iluminación del frontis del mercado de abastos Miramar -Moche.	El sistema de iluminación del frontis del mercado de abastos Miramar – Moche tiene un consumo eléctrico significativo.		Peso de las personas	Población y muestra: La población serán los mercados de Moche y la muestra será el mercado de abastos Miramar
¿Cómo afecta los parámetros eléctricos en el diseño del sistema de iluminación?	Determinar cómo afecta los parámetros eléctricos en el diseño del sistema de iluminación del frontis del mercado de abastos Miramar -Moche.	Los parámetros eléctricos influyen de manera significativa en la iluminación del frontis del mercado de abastos de Miramar-moche.		Dimensiones de la baldosa	
¿Cómo afecta los parámetros eléctricos y mecánicos en el diseño de la baldosa piezoeléctrica?	Determinar cómo afecta los parámetros eléctricos y mecánicos en el diseño de la baldosa piezoeléctrica.	Los parámetros eléctricos y mecánicos influyen de manera significativa en la generación de la baldosa piezoeléctrica.		Energía eléctrica	Técnicas e instrumentos de recolección de datos:
¿De qué manera se puede analizar y evaluar la simulación del diseño de la baldosa piezoeléctrica?	Analizar y evaluar la simulación del diseño de la baldosa piezoeléctrica mediante el software SolidWorks y Proteus.	El diseño de la baldosa piezoeléctrica, se puede analizar y evaluar mediante los software's SolidWorks y Proteus	Variable dependiente: Sistema de iluminación	+Costo mensual del consumo de energía eléctrica del frontis del mercado	Técnicas: observación y análisis documental instrumentos: guía de observaciones y guía de análisis documental
¿Cómo conseguir un panorama financiero acerca de la implementación de baldosas piezoeléctricas para abastecer el frontis del mercado d abastos Miramar-moche?	Determinar el presupuesto que involucra la implementación de baldosas piezoeléctricas para abastecer el frontis del mercado de abastos Miramar-moche	Realizando un presupuesto podemos conseguir un panorama financiero acerca de la implementación de baldosas piezoeléctricas para abastecer el frontis del mercado d abastos Miramar-moche			Métodos de análisis de investigación: análisis descriptivo



Anexo A6

Tabla 17

Tipos de alumbrado según la clasificación vial.

Tipo de vía	Tipo de alumbrado	Función	Características del tránsito y la vía
Expresa	I	-Une zonas de alta generación de tránsito con alta fluidez -Accesibilidad a las áreas urbanas adyacentes mediante infraestructura especial (rampas)	-Flujo vehicular ininterrumpido. - Cruces a desnivel. -No se permite estacionamiento. -Alta velocidad de circulación, mayor a 60 km/h. -No se permite paraderos urbanos sobre la calzada principal. -No se permite vehículos de transporte urbano, salvo los casos que tengan vía especial.
Arterial	II	-Une zonas de alta generación de tránsito con media o alta fluidez - Acceso a las zonas adyacentes mediante vías auxiliares.	-No se permite estacionamiento. -Alta y media velocidad de circulación, entre 60 y 30 km/h. -No se permiten paraderos urbanos sobre la calzada principal. -Volumen importante de vehículos de transporte público.
Colectora 1	II	Permite acceso a vías locales	-Vías que están ubicadas y/o atraviesan varios distritos. Se considera en esta categoría las vías principales de un distrito o zona céntrica. -Generalmente tienen calzadas principales y auxiliares. -Circulan vehículos de transporte público.
Colectora 2	III	Permite acceso a vías locales	-Vías que están ubicadas entre 1 o 2 distritos. -Tienen 1 o 2 calzadas principales pero no tienen calzadas auxiliares. -Circulan vehículos de transporte público.
Local Comercial	III	Permite el acceso al comercio local	-Los vehículos circulan a una velocidad máxima de 30 km/h. -Se permite estacionamiento. -No se permite vehículos de transporte público. - Flujo peatonal importante.
Local Residencial 1	IV	Permite acceso a las viviendas	-Vías con calzadas asfaltadas, veredas continuas y con flujo motorizado reducido. -Vías con calzadas asfaltadas pero sin veredas continuas y con flujo motorizado muy reducido o nulo.
Local Residencial 2	V	Permite acceso a las viviendas	-Vías con calzadas sin asfaltar. -Vías con calzadas asfaltadas, veredas continuas y con flujo motorizado muy reducido o nulo.
Vías peatonales	V	Permite el acceso a las viviendas y propiedades mediante el tráfico peatonal	- Tráfico exclusivamente peatonal.

Anexo A7

Tabla 188

Tipos de calzada

Tipo de superficie	Tipo de calzada
Revestimiento de concreto	Clara
Revestimiento de asfalto	Oscura
Superficies de tierra	Clara

Nota. Extraído de *Ministerio de Energía y Minas (2002)*



Anexo A8

Tabla 19

Niveles de luminancia, iluminancia e índice de control de deslumbramiento.

Tipo de alumbrado	Luminancia media revestimiento seco (cd/m ²)	Iluminancia media (lux)		Índice de control de deslumbramiento (G)
		Calzada clara	Calzada oscura	
I	1,5 – 2,0	15 – 20	30 – 40	≥ 6
II	1,0 – 2,0	10 – 20	20 – 40	5 - 6
III	0,5 – 1,0	5 – 10	10 – 20	5 - 6
IV		2 – 5	5 – 10	4 - 5
V		1 – 3	2 – 6	4 - 5

Anexo A9

Tabla 20

Uniformidad media de iluminancia.

Tipo de Alumbrado	Uniformidad media
III	0,25 - 0,35
IV , V	≥ 0,15

Anexo 10

Tabla 21

Características de Ledvance Floodlight Performance 20W.

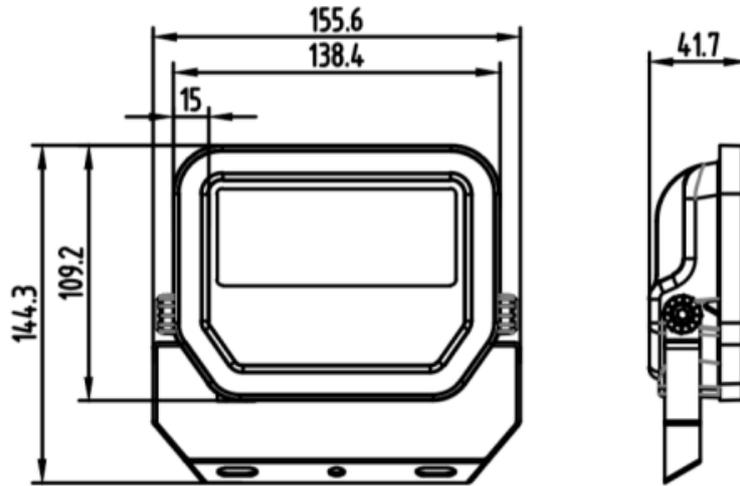
Potencia Nominal	10W	20W	30W	50W
Flujo Luminoso 3000 K	1 100 lm	2 200 lm	3 300 lm	5 500 lm
Flujo Luminoso 5000 K	1 200 lm	2 400 lm	3 600 lm	6 000 lm
Equivalencias	100W Hal	200W Hal	300W Hal	500W Hal
Tensión Nominal	100 - 277 V~			
Frecuencia	50/60 Hz			
Eficiencia	120 lm/W			
Temperatura de Color	110 lm/W (3 000 K)		120 lm/W (5 000 K)	
Índice de Reproducción de Color (IRC)	>80			
Factor de Potencia	>0.9			
Ángulo de Apertura	100°			
Vida Útil	50 000 h (L80)			
Atenuable	No			
Índice de Protección	IP65			
Protección contra Impactos Mecánicos	IK07			
Garantía	5 años			
Mínima y Máxima Temperatura de Operación	-30~... +50°C			
Mínima y Máxima Temperatura de Almacenaje	-40~... +70°C			
Distorsión de Armónicas (THD)	<20%			
Material de la luminaria	Aluminio			
Lente	Cristal Templado			



Anexo 11

Figura 47

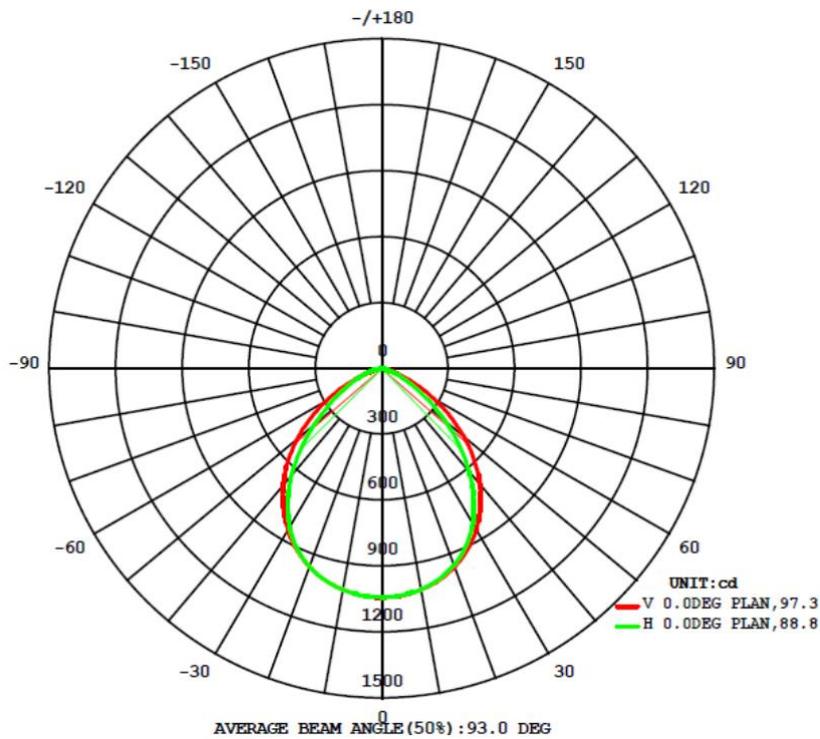
Dimensiones de Ledvance Floodlight Performance 20W.



Anexo 12

Figura 48

Diagrama Fotométrico de Ledvance Floodlight Performance 20W.





Anexo 13

Tabla 22

Datos Técnicos de LSOH-80.

Sección Nominal mm ²	Número mínimo de alambres	Espesor Aislante mm	Diámetro Exterior mm		Peso Nominal kg / km	Amperaje (*)	
			Mínimo	Máximo		Aire A	Ducto A
1,5	7	0,7	2,7	3,3	26	18	14
2,5	7	0,8	3,3	4,0	36	30	24
4	7	0,8	3,8	4,6	50	35	31
6	7	0,8	4,3	5,2	70	50	39
10	7	1,0	5,6	6,7	130	74	51
16	7	1,0	6,4	7,8	200	99	68
25	7	1,2	8,1	9,7	290	132	88
35	7	1,2	9,0	10,9	390	165	110
50	19	1,4	10,6	12,8	520	204	138
70	19	1,4	12,1	14,6	730	253	165
95	19	1,6	14,1	17,1	980	303	198
120	37	1,6	15,6	18,8	1 250	352	231
150	37	1,8	17,3	20,9	1 530	413	264
185	37	2,0	19,3	23,3	1 890	473	303
240	37	2,2	22,0	26,6	2 430	528	351
300	61	2,4	24,5	29,6	3 070	633	391

Anexo 14

Tabla 23

Especificaciones del sensor piezoeléctrico PZT 5H 35mm

	VALOR
Color	Dorado
Dimensión A Ø	35 mm
Dimensión B Ø	23 mm
espesor	0.5 mm
Tensión	5 V
Material	Latón y cerámico PZT (Ziconato titanato de plomo)
Densidad	7650 kg/m ³
Impedancia resonante	máx. 300 Ω
Capacitancia estática	50000pF± 30%
Frecuencia resonante	1,8 ± 0,3 kHz
Constante de voltaje piezoeléctrico (g33)	21 x 10 ⁻³ m ² /C
Temperatura curie (t)	320 °C
Módulo de elasticidad (Y3)	5,1x10 ¹⁰ N/m ²
Constante de carga piezoeléctrica (d33)	630x10 ⁻¹² m/V

Nota. Extraído de Quartz components (2022)



Anexo 15

Tabla 24

Especificaciones del Diodo 1N4007

DIODO 1N4007	VALOR
Material	Silicio (si)
Tensión inversa máximo	1000V
Tensión eficaz máximo	700V
Tensión umbral	0.7V
Corriente rectificadora media con polarización directa	1A
Caída de voltaje directa	1,1A
Rango de temperatura de unión operativa	-50 a 175 °C
Capacitancia total	15 pF

Nota. Extraído de Alldatasheet (2005)

Anexo 16

Tabla 25

Propiedades de Resistencia y Densidad (contrachapado pino radiata)

Espesor [mm] Capas	Densidad [Kg/m ³]	Propiedades de Resistencia [N/mm ²]							
		Flexión		Compresión		Tensión		Cortante Plano	
		Fm,0	Fm,90	Fc,0	Fc,90	Ft,0	Ft,90	Fr,0	Fr,90
9 (3)	613	-	-	23	28.6	16.3	22.1	-	-
12 (5)	552	37.9	18	25.5	20.6	21.4	12.5	3.2	2.9
15 (7)	554	37.2	23	27.6	23	22.3	15	3	2.6
18 (9)	587	33.1	27	26.6	25.8	19.5	17.3	2.8	2.2
21 (9)	541	29.6	26.9	25.5	23.3	20.3	16.2	2.8	2.4
24 (9)	583	37.6	34.9	-	-	18.8	22.8	-	-
30 (11)	596	35.8	34	-	-	18.3	21.4	-	-



Nota. Valores característicos de las propiedades mecánicas de madera contrachapada de pino radiata.

Donde:

$F_{m,0}$: resistencia a la flexión paralela a la fibra

$F_{m,90}$: resistencia a la flexión perpendicular a la fibra
resistencia a la compresión perpendicular a la fibra

$F_{c,0}$: resistencia a la compresión paralela a la fibra

$F_{c,90}$: resistencia a la compresión perpendicular a la fibra

$F_{t,0}$: resistencia a la tensión paralela a la fibra

$F_{t,90}$: resistencia a la tensión perpendicular a la fibra

$F_{r,0}$: esfuerzo cortante plano paralelo a la fibra
esfuerzo cortante a la fibra

$F_{r,90}$: esfuerzo cortante perpendicular a la fibra

Tabla 26

Propiedades de Resistencia y Densidad (contrachapado pino radiata)

Espesor [mm]	Módulo de elasticidad [N/mm ²]							
	Flexión		Compresión		Tensión		Cortante Plano	
	Em,0	Em,90	Ec,0	Ec,90	Et,0	Et,90	Gr,0	Gr,90
9	-	-	-	-	6045	7049	-	-
(3)								
12	7881	2316	6619	4610	8144	5350	221	172
(5)								
15	7287	3609	6638	5500	7441	5843	225	155
(7)								
18	7039	4326	6278	5833	6694	6188	180	150
(9)								
21	6110	4414	6124	5236	6372	5617	179	162
(9)								
24	9565	8260	-	-	5335	6954	-	-
(9)								



30	8474	7288	-	-	6220	6737	-	-
(11)								

Nota. Valores característicos de las propiedades mecánicas de madera contrachapada de pino radiata.

Dónde:

$E_{m,0}$: módulo de elasticidad en flexión paralela a la fibra

$E_{m,90}$: módulo de elasticidad en flexión perpendicular a la fibra

$E_{c,0}$: módulo de elasticidad en compresión paralelo a la fibra

$E_{c,90}$: módulo de elasticidad en compresión perpendicular a la fibra

$E_{t,0}$: módulo de elasticidad en tensión paralelo a la fibra

$E_{t,90}$: módulo de elasticidad en tensión perpendicular a la fibra

$G_{r,0}$: módulo de elasticidad para cortante plano paralelo a la fibra

$G_{r,90}$: módulo de elasticidad para cortante plano perpendicular a la fibra

Anexo 17

Tabla 27

Propiedades de lámina de acrílico de 8mm

PROPIEDADES	VALOR
Resistencia a la flexión	100 N/mm ²
Resistencia a la compresión	100 N/mm ²
Resistencia a la tracción	70 N/mm ²
Elongación a la ruptura	2%
Esfuerzo de fluencia	138 Mpa
Densidad	1.2 g/cm ³
Dureza ROCKWELL	0-92 Rockwell

Nota. Valores característicos de las propiedades *de lámina de acrílico*



Anexo 18

Tabla 28

Propiedades mecánicas de algunos alambres para resortes

Material	Límite elástico, porcentaje de Sut, tensión, torsión	Diámetro d, pulg	E		G	
			Mpsi	Gpa	Mpsi	Gpa
Templado en aceite A239	85-90	45-50	28.5	196.5	11.2	77.2
Resorte de válvula A230	85-90	50-60	29.5	203.4	11.2	77.2
Cromo-vanadio A231	88-93	65-75	29.5	203.4	11.2	77.2
A232	88-93	29.5	203.4	11.2	77.2	
Cromo-silicio A401	85-93	65-75	29.5	203.4	11.2	77.2
Acero inoxidable						
A313	65-75	45-55	28	193	10	69
17-7PH	75-80	55-60	29.5	208.4	11	75.8
414	65-70	42-55	29	200	11.2	77.2
420	65-75	45-55	29	200	11.2	77.2
431	72-76	50-55	30	206	11.5	79.3
Bronce fosforado B159	75-80	45-50	15	103.4	6	41.4
Cobre al berilio B197	70	50	17	117.2	6.5	44.8
	75	50-55	19	131	7.3	50.3
Aleación inconel X- 750	65-70	40-45	31	213.7	11.2	77.2

Nota. Extraído de Budynas y Nisbett (2012)



Anexo 19

Tabla 29

Fórmulas para calcular las dimensiones de resortes de compresión

TÉRMINO	PLANO	PLANO Y ESMERILADO	A ESCUADRA O CERRADO	A ESCUADRA Y ESMERILADO
Espiras de extremo, Ne	0	1	2	2
Espiras totales, Nt	Na	Na + 1	Na + 2	Na + 2
Longitud libre, Lo	pNa + d	p(Na + 1)	pNa + 3d	pNa + 2d
Longitud sólida, Ls	d(Nt + 1)	dNt	d(Nt + 1)	dNt
Paso, p	(Lo-d)Na	Lo(Na + 1)	(Lo - 2d)Na	(Lo - 2d)Na

Nota. Extraído de Budynas y Nisbett (2012)

Anexo 20

Constantes de las condiciones de los resortes helicoidales de compresión

CONDICIÓN DE EXTREMO	CONSTANTE α
Resorte apoyado entre superficies planas paralelas (extremos fijos)	0.5
Un extremo apoyado por una superficie plana perpendicular al eje del resorte (fijo); el otro extremo con pivote (articulado)	0.707
Ambos extremos con pivote (articulados)	1
Un extremo sujeto; el otro libre	2

Nota. Extraído de Budynas y Nisbett (2012)

Cable

Contacto pulsador

Se escoge un material, para que esté adherido a la capa pulsadora junto con los resortes, esta será la encargada de realizar el contacto a los discos piezoeléctricos al momento de aplicar presión a la capa pulsadora. Así mismo el material debe de ser suave al tacto, liviano y tener gran resistencia a la compresión para impedir que los discos sean dañados.

Se optó por usar como contacto pulsador la barra de silicona cilíndrica de material polímero, por las propiedades que esta presenta. respecto al diámetro y altura, se consideró la barra



cilíndrica de 11 mm, debido que, al momento de la presión, la silicona no debe causar daño a la soldadura del disco, y para la altura se considera 16mm.

Anexo 21

Proceso de prueba, medición y ensamblado

Se realizaron pruebas de medición de la tensión y corriente de una muestra de 15 discos piezoeléctricos, con los resultados obtenidos se calculó la potencia, de esta manera se llegó a tener valores promedio de cada variable eléctrica como se observa en la **tabla 29**.

Tabla 30

Promedio de medición de las variables eléctricas de un disco piezoeléctrico

DISCO	TENSION [v]	CORRIENTE [mA]	POTENCIA [mW]
1	13.25	18	238.5
2	14.15	21	297.15
3	12.82	17	217.94
4	14.64	20	292.8
5	14.52	19	275.88
6	11.96	14	167.44
7	12.05	15	180.75
8	12.55	16	200.8
9	11.82	14	165.48
10	14.13	20	282.6
11	11.98	14	167.72
12	12.92	18	232.56
13	13.64	19	259.16
14	12.08	14	169.12
15	13.35	18	240.3
Promedio	13.1	17.1	225.9

una vez realizado la prueba de medición individual, se realiza la prueba de medición de un grupo conformado por 5 discos; se decidió por esta cantidad, debido a la dimensión de la baldosa y el espacio que se considera entre ellos. se realiza la conexión en circuito paralelo del grupo de discos piezoeléctricos (ver figura 49), se optó por esta conexión ya que al momento de realizar la prueba tanto en circuito serie como en paralelo, el valor de la tensión que generaba se asemejaban, y como una de las características del circuito en paralelo es, que el valor de la corriente y potencia aumenta, se decidió por esta conexión.



Figura 49
Circuito paralelo de 5 discos piezoeléctricos.

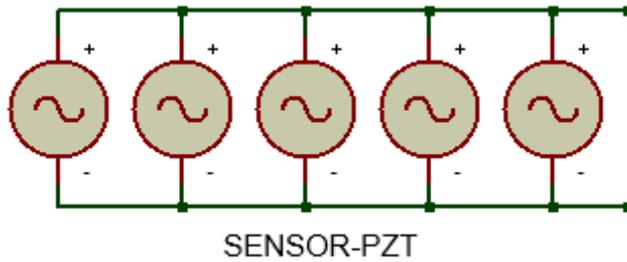


Figura 50
Conexión y medición en circuito paralelo de los discos piezoeléctricos.



Se realiza la medición, donde se obtiene un valor de 14,48 V/AC de un grupo de discos (ver figura 50). para rectificar la tensión alterna a continua, conectamos el puente rectificador (ver figura 51 y 52)

Figura 51
Circuito de rectificación.

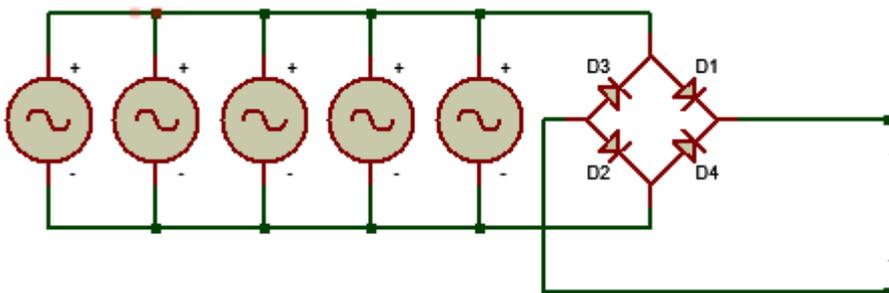
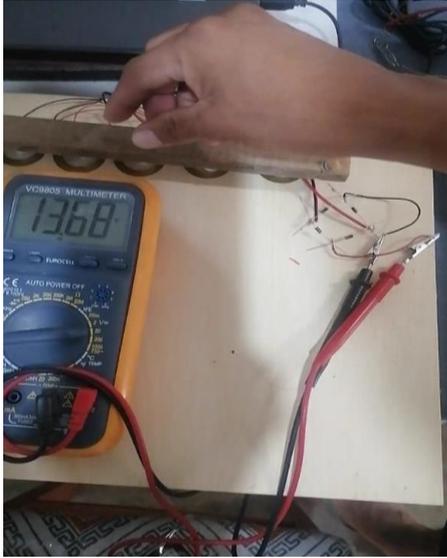




Figura 52
Medición del circuito con el puente rectificador.



Para obtener la tensión continua deseada, se conecta el puente rectificador con su filtro capacitivo (ver figura 53)

Figura 53
Circuito de rectificación con filtro capacitivo.

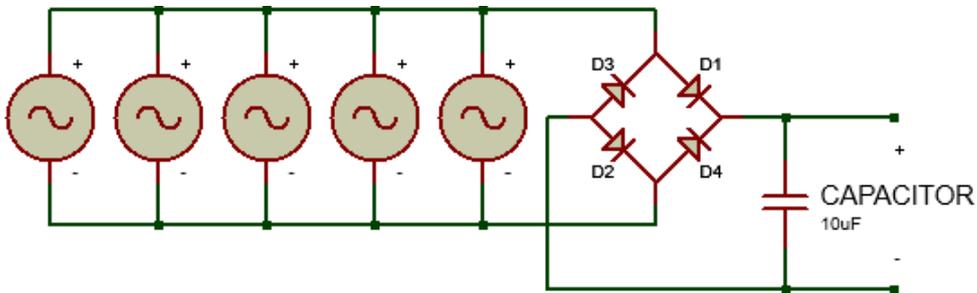
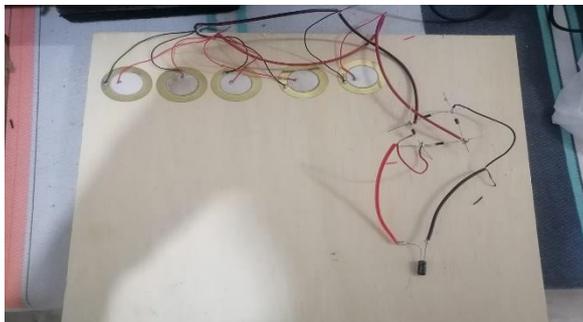


Figura 54
Conexión del puente diodo con su filtro capacitivo.

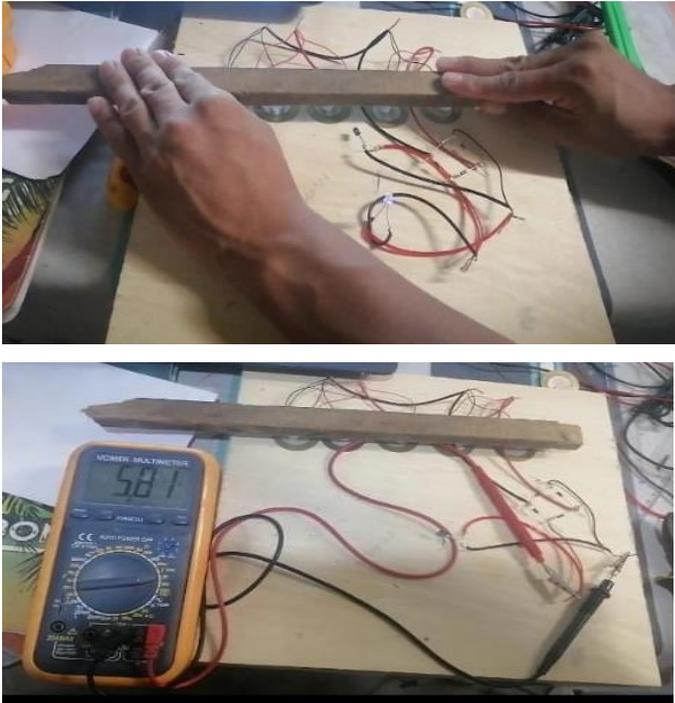


Una vez realizada la conexión del grupo de discos con su puente rectificador y filtro capacitivo, se realiza la prueba de medición (ver figura 54).



Figura 55

Medición de tensión rectificad y filtrado de los discos piezoeléctricos.

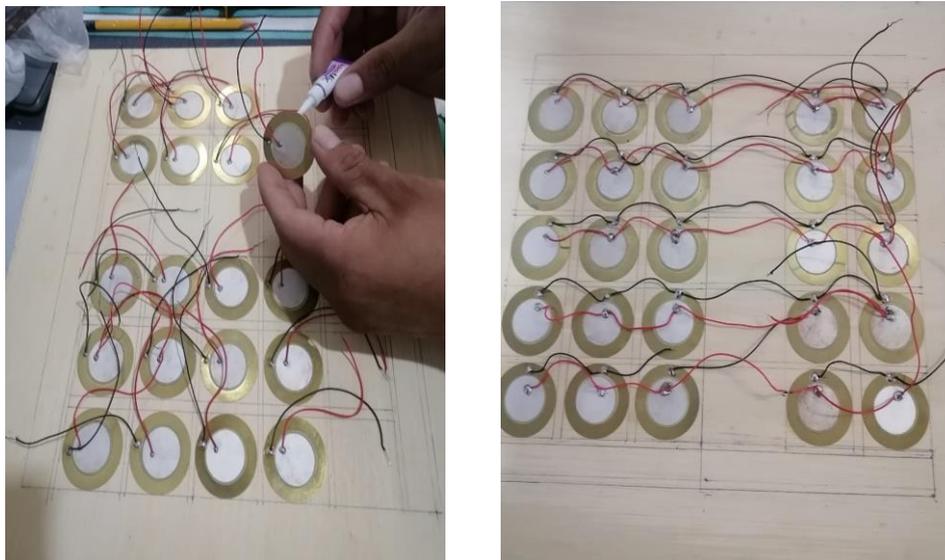


Ejerciendo una sola presión hacia el grupo de discos piezoeléctricos, podemos obtener una tensión continúa deseada de 581V.

Después de haber realizado la prueba de los discos piezoeléctricos se pasa a colocar los grupos de discos sobre la capa base, de una manera ordenada para evitar que se maltraten entre ellos (ver figura 56)

Figura 56

Colocación y conexión en paralelo de los piezoeléctricos sobre la capa base.

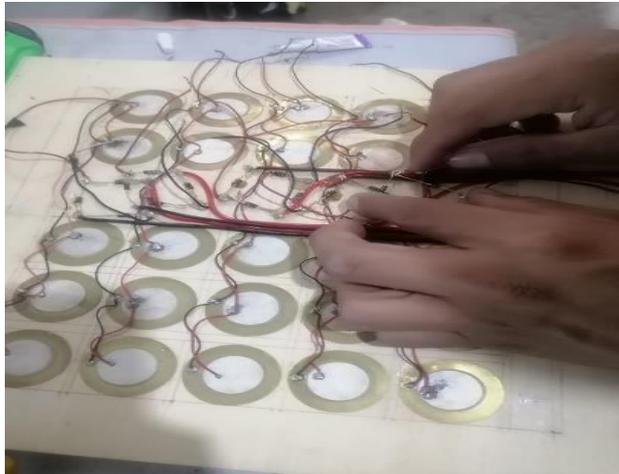




Una vez posicionada los discos piezoeléctricos sobre la capa base, se realiza la conexión del puente rectificador y filtro capacitivo para cada grupo de discos piezoeléctricos.

Figura 57

Colocación y conexión puente rectificador y filtro capacitivo.



Una vez terminada de realizar las conexiones, ahora se pasa a colocar los resortes de compresión y las chupas de silicona en la capa pulsadora, para ser adheridas a está con un adhesivo ultra fuerte llamado soldimix.

Figura 58

Colocación de resorte y capa pulsadora sobre el acrílico.





Anexo 22

Características de regulador de tensión

REGULADOR PWM	VALOR
Modelo	1500B
Corriente nominal	10A
Tensión del sistema	12V
Corriente de autoconsumo	13mA
Caída de tensión circuito de carga	0.24V
Caída de tensión circuito de descarga	0.10V
T° de trabajo	-20°C -55°C
Tamaño L * A * H	188 * 95 * 46.5mm
Peso	355g

Nota: Extraído de (AutoSolar)

Anexo 21

Especificaciones de controlador

Solar System

PWM Solar Charge Controller



Modelo: PC1500B-60DU

PC1500B Series PWM - Regulador carga solar

Características:

- En intensidades 10A 20A 30A 40A 50A 60A.
- Pantalla LCD de fácil lectura.
- Operación sencilla por botones.
- Detección automática de voltaje del sistema.
- Algoritmo carga inteligente PWM.
- Protección ajustable carga-descarga.
- Compensación automática por temperatura.
- Selección de tecnología de batería.
- Protección de corriente inversa de batería.
- Desconexión de batería por bajo voltaje (LVD).
- Protección polaridad invertida en batería.
- Protección por sobre-voltaje.
- Puertos para carga USB en modelos hasta 40A.

Introducción:

Este regulador solar de carga y descarga inteligente tiene una interfaz sencilla y visual gracias a su pantalla LCD de grandes dimensiones. Muchos parámetros de control se pueden ajustar con gran flexibilidad en función de nuestros requisitos.

LCD Información Display



- 1 Terminal positivo fotovoltaico
- 2 Terminal negativo fotovoltaico
- 3 Terminal positivo batería
- 4 Terminal negativo batería
- 5 Terminal carga CC positivo
- 6 Terminal carga CC negativo
- 7 Pantalla LCD

Nº	Pulsación	Función
5	Corta	Siguiente visualización; Incremento mientras está en ajustes
4	Larga (≥3 s)	Incremento continuo mientras está en ajustes
6	Corta	Visualización previa; Decremento mientras está en ajustes
4	Larga (≥3 s)	Decremento continuo mientras está en ajustes
7	Corta	Interruptor consumos CC; Entrar configuración / guardar
4	Larga (≥3 s)	Entrar/salir menú secundario

Detalles internos



Estabilidad, gran eficiencia, integración



Diseño de circuitería optimizado

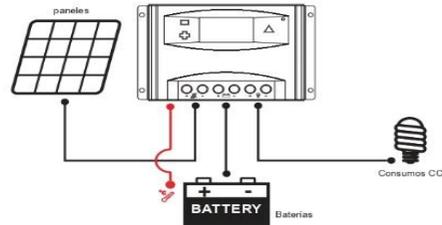


SCM Diseño robusto y fiable



Materiales de gran calidad

Conexión al sistema solar:



Funciones:

- pantalla LCD
- 12V/24V Autodetección
- PWM
- Configurable
- Protecciones
- Carga USB

PC1500B SERIES Controladores



Modelos: PC1500B-10 y 20A



Voltaje trabajo: 12-24V Auto-detección
Corriente carga: 10A y 20A
Puertos USB: 5V, 1A x 2
Tamaño LCD: 2.2"



Modelos: PC1500B-30 y 40A



Voltaje trabajo: 12-24V Auto-detección
Corriente carga: 30A y 40A
Puertos USB: 5V, 1A x 2
Tamaño LCD: 2.2"



Modelos: PC1500B-50D / 5048D

Voltaje: 12-24V Auto-detección y modelo 48V
Corriente carga: 50A
Tamaño LCD: 2.6"



Modelos: PC1500B-60D / 6048D

Voltaje: 12-24V Auto-detección y modelo 48V
Corriente carga: 60A
Tamaño LCD: 2.6"

Aplicación



Sistemas portátiles, embarcaciones & recreo



Aislada sistema solar casero



Granja solar de generación

	Modelo	PC1500B-10-20	PC1500B-30-40	PC1500B-50-60	PC1500B-6048D				
Entrada	Voltaje FV	≤50V							
	Intensidad nominal	10A	20A	30A	40A	50A	60A	50A	60A
	Voltaje sistema	12/24V Auto				48V			
	Desconexión por alto voltaje	16.00V x 1/x 2/x 3/x 4 (0.5V)							
	Intensidad descarga nominal	10A	20A	30A	40A	50A	60A	50A	60A
	Autoconsumo	≤13mA				≤25mA			
	Caída de tensión circuito carga	≤0.24V				≤0.25V			
	Caída de tensión circuito descarga	≤0.10V				≤0.10V			
	Modo de carga	PWM 4-etapas carga, absorción, flotación, equalización							
	Voltaje Carga Flotación	13.8V (13V-15V) x 1/x 2/x 3/x 4							
Salida	Voltaje Carga Absorción	14.4V (13V-15V) x 1/x 2/x 3/x 4							
	Voltaje Carga Equalización	14.6V (13V-15.5V) x 1/x 2/x 3/x 4							
	Protección Bajo Voltaje	10.7V (10V-14V) x 1/x 2/x 3/x 4							
	Reconexión Bajo Voltaje	12.6V (10V-14V) x 1/x 2/x 3/x 4							
	Salida USB	5V, 1A x2		No tiene					
	Sección cableado	≤6mm ²	≤16mm ²	≤16mm ²	≤16mm ²				
	Temperatura trabajo	-20°C-55°C							
	Tamaño (L x W x H)	188 x 96 x 46.5mm		196 x 111 x 64mm					
	Peso neto	355g		407g					



Anexo 22

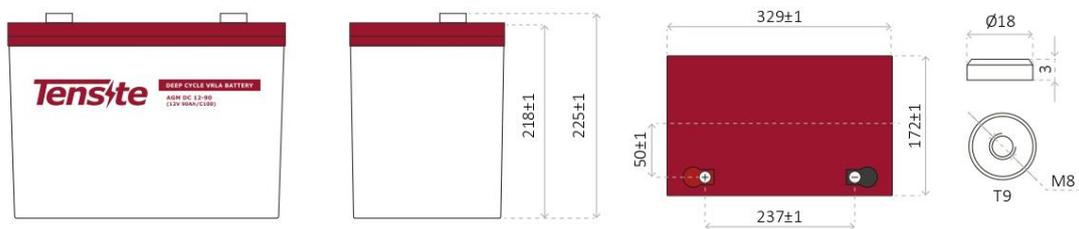
Especificaciones de las baterías



CHARACTERISTICS

-  Compact size ideal for any type of use.
-  Great performance due to its Deep Cycle technology.
-  Perfect to use as accumulator in photovoltaic installations.

DIMENSIONS



Tensite
info@tensitebatteries.com
www.tensitebatteries.com



Tensite

AGM DC 12-100

AGM DEEP CYCLE BATTERY 12V 100 AH

DEEP CYCLE SERIES BATTERY

DC series VRLA batteries are superior Deep Cycle design with thick plates, high-density active materials and slightly stronger electrolyte, which can withstand repeated deep cyclic applications.

Deep Cycle series batteries are the special design batteries with 10 years floating design life at 25°C. Meet with IEC, BS, JIS and Eurobat standard, UL(MH62092), CE approved.



APPLICATION

- Emergency Power System
- Communication equipment
- Telecommunication systems
- Uninterruptible power supplies
- Power tools
- Marine equipment
- Medical equipment
- Solar and wind power system

GENERAL FEATURES

- Safety Sealing
- Non-spillable construction
- High power density
- Excellent recovery from Deep discharge
- Thick plates and high active materials
- Longer life and low self-discharge design

TECHNICAL SPECIFICATIONS

BATTERY MODEL	Nominal voltage		12V				
	Rated capacity (100 hour rate)		100Ah				
DIMENSION	Cells Per battery		6				
	Length	Width	Height	Total Height			
APPROX. WEIGHT	329 mm	172 mm	218 mm	225 mm			
CAPACITY @ 25°C	27 kg ± 3%						
	10 hour rate (9A, 10.8V)	5 hour rate (14.4A, 10.5V)	3 hour rate (22.5A, 10.2V)	1 hour rate (54A, 9.6V)			
MAX. DISCHARGE CURRENT	90 Ah	72 Ah	67.5 Ah	54 Ah			
INTERNAL RESISTANCE	900 A (5 sec.)						
CAPACITY AFFECTED BY TEMP. (10 HR)	Full charged Vat 25°C: Approx. 4.3mΩ						
SELF DISCHARGE @25°C	40°C	25°C	0°C	-15°C			
	102%	100%	85%	65%			
CHARGE METHOD @25°C	After 3 months storage		After 6 months storage				
	91%		82%				
CONSTRUCTION	Cycle Use		Float Use				
	14.1-14.4V (Initial charging current less than 27A)		13.50-13.80V				
CONSTRUCTION	Container	Electrolyte	Separator	Positive	Negative	Safety valve	Terminal
	BS (UL94-HB) / Flame retardant ABS (UL94-V0)	Sulfuric acid	Fiber glass	Lead dioxide	Lead	EPDR	Copper

BATTERY DISCHARGE TABLE

CONSTANT CURRENT (AMP) AND CONSTANT POWER (WATT) DISCHARGE TABLE AT 25 °C												
F.V / TIME	5 min	10 min	15 min	30 min	1 hr	2 hr	3 hr	4 hr	5 hr	8 hr	10 hr	20 hr
9.60	A	288.00	190.00	153.00	103.00	54.00	32.00	23.10	18.00	14.90	10.50	5.10
	W	2975.00	2028.00	1641.00	1103.00	583.00	346.00	257.40	202.50	168.80	120.70	59.30
10.20	A	279.00	171.00	144.00	98.00	51.00	30.00	22.50	17.60	14.60	10.30	5.00
	W	2982.00	1913.00	1613.00	1101.00	574.00	346.00	260.60	204.10	170.00	120.00	58.10
10.50	A	270.00	153.00	126.00	92.00	49.00	29.00	22.00	17.30	14.40	10.20	5.00
	W	2949.00	1744.00	1439.00	1056.00	569.00	340.00	255.90	202.20	168.80	119.60	58.50
10.80	A	260.00	144.00	117.00	85.00	48.00	29.00	21.40	17.00	14.00	9.90	4.90
	W	2920.00	1666.00	1350.00	980.00	553.00	335.00	252.50	200.90	166.00	117.30	57.90
11.10	A	252.00	135.00	108.00	76.00	46.00	28.00	20.70	16.60	13.70	9.60	4.60
	W	2853.00	1567.00	1259.00	885.00	540.00	330.00	245.90	197.20	163.30	115.30	55.60

Tensite
info@tensitebatteries.com
www.tensitebatteries.com

