



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ELÉCTRICA**

**“Sistema de iluminación mediante baldosas con generadores  
piezoeléctricos para reducir el consumo de energía eléctrica  
en la discoteca Tarima – Chiclayo”**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
Ingeniero Mecánico Electricista**

**AUTOR:**

Manayay Flores, Marck Antony (ORCID: 0000-0001-5576-4487)

**ASESOR:**

Mg. Dávila Hurtado, Fredy (ORCID: 0000-0001-8604-8811)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Generación, Transmisión y Distribución

**CHICLAYO - PERÚ**

**2020**

## **Dedicatoria**

A Dios por darme la oportunidad de vivir, por iluminar mi camino y ponerme aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante el periodo mis estudios.

A mis padres, por darme la vida y por todos aquellos ejemplos que me han enseñado porque gracias a ello hicieron posible mi educación con su constante comprensión y esfuerzo moral y material, para lograr con éxito el progreso de mis estudios universitarios.

***El autor***

## **Agradecimiento**

A Dios por su amor incondicional, por ayudarme a sobrepasar todas las pruebas encontradas a lo largo de este camino, y sobre todo permitirme terminar mi carrera.

A mis Padres por infundir en mí sus buenos valores y principios durante todo este tiempo.

A los Docentes y Asesores por sus sabios conocimientos y brindarme su tiempo, dedicación y consejos necesarios para la culminación de esta investigación.

***El autor***

## Índice de contenidos

Carátula.....	i
Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Índice de contenidos .....	iv
Índice de tablas .....	v
Índice de gráficos y figuras.....	vi
Resumen.....	viii
Abstract.....	ix
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>3</b>
<b>III. METODOLOGÍA .....</b>	<b>10</b>
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	10
3.2. variables y operacionalización.....	10
3.3. Población (criterios de selección), muestra muestreo, unidad de análisis ....	10
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	11
3.5. Procedimientos.....	12
3.6. Métodos de análisis de datos .....	13
3.7. Aspectos éticos .....	13
<b>IV. RESULTADOS .....</b>	<b>14</b>
<b>V. DISCUSIÓN.....</b>	<b>65</b>
<b>VI. CONCLUSIONES .....</b>	<b>69</b>
<b>VII. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>70</b>
REFERENCIAS.....	71
ANEXOS.....	78

## Índice de tablas

<b>Tabla 01.</b> <i>Sistema de iluminación de la discoteca Tarima</i> .....	18
<b>Tabla 02.</b> <i>Criterios para el registro de energía eléctrica</i> .....	19
<b>Tabla 03.</b> <i>Constantes del disco piezoeléctrico PZT-5A</i> .....	23
<b>Tabla 04.</b> <i>Características de las baldosas piezoeléctricas</i> .....	36
<b>Tabla 05.</b> <i>Parámetros eléctricos de las baldosas piezoeléctricas</i> .....	36
<b>Tabla 06.</b> <i>Parámetros del triplay fenólico</i> .....	42
<b>Tabla 07.</b> <i>Condiciones de funcionamiento para el análisis de esfuerzo</i> .....	43
<b>Tabla 08.</b> <i>Resultados del análisis de tensión de la base inferior de la baldosa</i> ...	44
<b>Tabla 09.</b> <i>Costo de materiales</i> .....	57
<b>Tabla 10.</b> <i>Costo de herramientas e instrumentos</i> .....	58
<b>Tabla 11.</b> <i>Costo de herramientas e instrumentos</i> .....	58
<b>Tabla 12.</b> <i>Costo ensamble e instalación</i> .....	59
<b>Tabla 13.</b> <i>Pliegos tarifarios de los últimos 6 años</i> .....	60
<b>Tabla 14.</b> <i>Proyección del pliego tarifario para los próximos 5 años</i> .....	61
<b>Tabla 15.</b> <i>Horas de funcionamiento de la discoteca</i> .....	61
<b>Tabla 16.</b> <i>Ingresos económicos del proyecto</i> .....	62
<b>Tabla 17.</b> <i>Mantenimiento en las principales fuentes de generación de energía eléctrica</i> .....	63
<b>Tabla 18.</b> <i>Proyección de los indicadores VAN y TIR</i> .....	64

## Índice de gráficos y figuras

<i>Figura 01.</i> Efecto piezoeléctrico directo. ....	5
<i>Figura 02.</i> Disco piezoeléctrico .....	5
<i>Figura 03.</i> Voltaje de salida bajo carga cuasi – estático.....	7
<i>Figura 04.</i> Voltaje de salida bajo carga dinámica .....	8
<i>Figura 05.</i> Área efectiva del disco piezoeléctrico .....	9
<i>Figura 06.</i> Tacho led lpc008 big dipper 54x1.5 W .....	14
<i>Figura 07.</i> Led mini cabeza móvil 16x3 W.....	15
<i>Figura 08.</i> Luz efecto flash de 10 W .....	15
<i>Figura 09.</i> Laser B10000rgb gráfico Multicolor 1000 mW .....	16
<i>Figura 10.</i> Tiras led 1 W .....	16
<i>Figura 11.</i> Máquina de humo 400 W .....	17
<i>Figura 12.</i> Panel led para letras 20 W .....	17
<i>Figura 13.</i> Panel led de luces 20 W.....	18
<i>Figura 14.</i> Energía eléctrica del sistema de iluminación de la discoteca Tarima .	20
<i>Figura 15.</i> Polaridad del disco piezoeléctrico sin presión y con presión mecánica .....	26
<i>Figura 16.</i> Circuito representativo de un disco piezoeléctrico conectado a un osciloscopio.....	27
<i>Figura 17.</i> Onda producida por el disco piezoeléctrico.....	27
<i>Figura 18.</i> Circuito de rectificación y filtrado de onda.....	28
<i>Figura 19.</i> Onda rectificada y filtrada.....	28
<i>Figura 20.</i> Voltaje rectificado CC.....	29
<i>Figura 21.</i> Dimensiones de la baldosa .....	32
<i>Figura 22.</i> Triplay fenólico .....	42
<i>Figura 23.</i> Dimensiones de la base inferior de la baldosa.....	43

<i>Figura 24.</i> Tensión de Von Mises en la base inferior de la baldosa .....	45
<i>Figura 25.</i> Dimensiones del disco piezoeléctrico.....	46
<i>Figura 26.</i> Guías trazadas en la base inferior de la baldosa .....	46
<i>Figura 27.</i> Adhesión de los discos piezoeléctricos .....	47
<i>Figura 28.</i> Adhesión de silicona líquida sobre cada disco piezoeléctrico .....	48
<i>Figura 29.</i> Dimensiones de la base superior de la baldosa.....	49
<i>Figura 30.</i> Dimensiones de los lados laterales de la baldosa.....	50
<i>Figura 31.</i> Perforación para interconectar el cableado de las baldosas .....	50
<i>Figura 32.</i> Material microporoso de goma de EVA.....	51
<i>Figura 33.</i> Dimensiones del tornillo Fix .....	52
<i>Figura 34.</i> Vista frontal en explosión de la baldosa piezoeléctrica .....	53
<i>Figura 35.</i> Ensamblaje de la baldosa piezoeléctrica .....	54
<i>Figura 36.</i> Distribución de las baldosas piezoeléctricas .....	55
<i>Figura 37.</i> Esquema de conexión del sistema piezoeléctrico .....	56

## Resumen

La investigación titulada “SISTEMA DE ILUMINACIÓN MEDIANTE BALDOSAS CON GENERADORES PIEZOELÉCTRICOS PARA REDUCIR EL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA DISCOTECA TARIMA – CHICLAYO”, se realizó teniendo como objetivo la reducción del consumo de energía eléctrica en el sistema de iluminación led de la discoteca TARIMA utilizando baldosas con generadores piezoeléctricos.

Para lograr ello se utilizó una rigurosa metodología de tipo aplicativo tecnológica, de diseño no experimental, la muestra se obtuvo mediante la técnica del muestreo no probabilístico asumido por el autor. La recolección de datos se realizó utilizando las técnicas de la observación y la entrevista con sus respectivos instrumentos de medición.

La investigación se inicia con el análisis del consumo eléctrico del sistema de iluminación de la pista de baile en la discoteca obteniendo un consumo de energía de 0.8 KWh.

Luego se determina los parámetros eléctricos de los generadores piezoeléctricos donde cada elemento produce una tensión de 11.26 V CC y 1 mA de corriente. Después de ello mediante el empleo de software de diseño CAD se selecciona y modela los componentes de las baldosas piezoeléctricas.

Finalmente se realiza la evaluación económica obteniendo un VAN de S/1,153.86 y una TIR de 17%, el cual resulta viable.

**Palabras claves:** Sistema de iluminación, baldosas, generadores piezoeléctricos.



## Abstract

The research entitled "LIGHTING SYSTEM THROUGH TILES WITH PIEZOELECTRIC GENERATORS TO REDUCE THE CONSUMPTION OF ELECTRIC ENERGY IN THE TARIMA DISCO - CHICLAYO", was carried out with the objective of reducing the consumption of electrical energy in the LED lighting system of the TARIMA disco. tiles with piezoelectric generators.

To achieve this, a rigorous methodology of a technological application type, of non-experimental design, was used, the sample was obtained using the non-probability sampling technique assumed by the author. Data collection was performed using observation techniques and the interview with their respective measurement instruments.

The investigation begins with the analysis of the electrical consumption of the lighting system of the dance floor in the disco, obtaining an energy consumption of 0.8 KWh.

Then the electrical parameters of the piezoelectric generators are determined where each element produces a voltage of 11.26 V DC and 1 mA of current. After that, by using CAD design software, the components of the piezoelectric tiles are selected and modeled.

Finally, the economic evaluation is carried out obtaining an VNA of S / 1,153.86 and an TIR of 17%, which is viable.

**Keywords:** Lighting system, tiles, piezoelectric generators.

## I. INTRODUCCIÓN

La discoteca TARIMA ubicado en el Km. 4 carretera Pimentel sector Garita Pimentel es uno de los centros de diversión que acoge mucha gente, es por ello la necesidad de tener equipos de iluminación muy sofisticados con la finalidad de satisfacer y hacer más acogedora la permanencia en su local. Durante los últimos años Tarima ha ido adquiriendo nuevos equipos de iluminación, esta creciente implementación ha traído consigo un mayor consumo de energía eléctrica, pasando de 0.6 KWh a 0.8 KWh en una hora.

Ante este consumo de energía eléctrica y con la finalidad de reducir costos de facturación es que se desarrolló esta investigación, en el cual se propuso un sistema de iluminación mediante baldosas con generadores piezoeléctricos aprovechando la energía mecánica producida por los asistentes al dar pisadas cuando están bailando, esta energía producida posteriormente se utilizó en los sistemas de iluminación del local.

Se tomó como escenario la discoteca TARIMA, por la concurrida asistencia de personas donde se pudo captar una gran cantidad de energía mecánica, además al ser un lugar de diversión nocturno los niveles de iluminación son menores a diferencia de cualquier otro local donde asisten muchas personas.

Es por ello que nació la necesidad de investigar de como las baldosas piezoeléctricas instalados en el piso generan energía, además de ello esta investigación impulsó el uso de una fuente de energía poco conocida y utilizada en nuestro país donde el ser humano pueda generar su propia energía para luego utilizarla.

A partir de lo investigado nació la interrogante ¿Cómo reducir el consumo de energía eléctrica a partir del sistema de iluminación mediante baldosas con generadores piezoeléctricos en la discoteca TARIMA? pregunta que durante el desarrollo de la investigación se fue obteniendo respuestas.

El presente trabajo de investigación se justifica porque nos benefició en los siguientes aspectos:

Académicamente permitió conocer una fuente de generación de energía de baja potencia, muy poco conocida y utilizada en nuestro país, así como entender el comportamiento de los discos piezoeléctricos utilizados en baldosas para suministrar sistemas de iluminación led decorativas de baja potencia.

De manera tecnológica se sustenta con la utilización de una nueva tecnología llamada piezoeléctrica, generando así conocimientos y aportes tecnológicos en la ingeniería eléctrica.

Económicamente ayudó a reducir una parte del consumo eléctrico y con ello aliviar gastos de facturación mensual con la utilización de las baldosas como un sistema de respaldo de energía.

Ambientalmente se fomentó el uso de esta tecnología como un tipo de energía alternativa que a su vez reduzca el consumo de energía eléctrica convencional, y con ello impulsar el uso de fuentes de generación de energías limpias y sustentables que ayuden a minimizar la contaminación ambiental.

Con ello se formuló la siguiente hipótesis, con el sistema de iluminación mediante baldosas con generadores piezoeléctricos podremos reducir el consumo de energía eléctrica en la discoteca TARIMA.

Esta investigación tuvo como objetivo general: Diseñar un sistema de iluminación mediante baldosas con generadores piezoeléctricos para reducir el consumo de energía eléctrica en la discoteca TARIMA, Esto se logró desarrollando los siguientes objetivos específicos: Analizar el consumo eléctrico del sistema de iluminación de la pista de baile en la discoteca TARIMA; determinar los parámetros eléctricos de los generadores piezoeléctricos; seleccionar los componentes de diseño de las baldosas piezoeléctricos mediante el empleo de software de diseño CAD y Realizar la evaluación económica mediante los indicadores VAN y TIR.

## II. MARCO TEÓRICO

Lograr un sistema de iluminación mediante baldosas con generadores piezoeléctricos implicó realizar una revisión documentaria amplia, de los cuales se ha podido obtener trabajos de investigación que abordan directamente en este tipo de generación de energía.

De los trabajos de investigación revisados tenemos la tesis titulado “Diseño de un prototipo de baldosas inteligentes de alto tráfico para implementación en el sistema de transporte público Transmilenio de la ciudad de Bogotá” donde se concluye lo siguiente:

En el presente trabajo se decidió utilizar el sensor PZT-5A, por sus características físicas siendo el más acorde para la generación de energía. Según las pruebas realizadas en el prototipo se concluye que el sistema funciona bajo rango cuasi-estático, donde se generó picos de voltajes positivos y negativos. Por ello se conectó los discos piezoeléctricos en paralelo junto con un puente de diodos rectificador. Otro factor que influenció en la capacidad de generación de energía fue el tamaño del disco piezoeléctrico pues en áreas pequeñas se presentan un mejor funcionamiento que uno de área grande, ya que estos generan mayores voltajes y menor capacitancia, de igual forma al ser más pequeños son más gruesos [...]. (Jaramillo, López y Muñoz, 2018, p. 76).

En la tesis titulado “Diseño en implementación de un generador piezoeléctrico baldosa, para alimentar un sistema de iluminación de baja potencia” se concluye lo siguiente:

La placa fibracel seleccionada tiene unas dimensiones de 30 x 30 cm por lado y un espesor de 4 mm. La baldosa contiene 52 discos piezoeléctricos conectados en paralelo, aplicando una fuerza de una persona de 68 Kg se obtiene un voltaje máximo de 11.62 voltios CC aplicando fuerza sobre 7 piezoeléctricos, para adherir los discos piezoeléctricos a la base de la baldosa se usó pegamento de cianoacrilato de metilo, y para la protección mecánica de los discos se hizo mediante pegamento termo fusible o silicona [...]. (Pérez y Velásquez, 2016, p. 77).

En la tesis “Baldosa piezoeléctrica para alimentar sistemas de iluminación de bajo consumo energético” se concluye lo siguiente:

Para el modelo elaborado, se decide utilizar una conexión en paralelo de los piezoeléctricos debido a que estos funcionan en rango cuasi-estático. Se utilizó piezoeléctricos que posean un área transversal reducida con el fin de que produzcan picos de voltaje mayores. En este caso se usaron piezoeléctricos de 10mm de diámetro obteniendo un voltaje pico de hasta 28.3 V AC, de manera experimental, también concluye que muchas personas normalmente piensan que si se implementan más piezoeléctricos el sistema generará mayor cantidad de energía. Esto no es siempre cierto porque va depender del accionamiento directo al disco y no de la cantidad de los mismos [...]. (Cifuentes, 2013, p. 92).

En la tesis “Propuesta de diseño de un piso generador de energía eléctrica” se concluye lo siguiente:

[...] La tensión eléctrica producida por los piezoeléctricos, depende de la calidad del material, el tipo de energía que se obtiene después de la rectificación a continua es ideal para encender pequeñas cargas como son lámparas de leds, por último, se concluye que la vida útil de los discos piezoeléctricos es incierta, pero tienen una gran ventaja de mantenimiento que consiste en cambiar la pieza deteriorada. (Cortes, Ensáztiga y Pineda, 2010, p. 76).

De igual modo se revisó investigaciones nacionales como la tesis titulado “Aprovechamiento de la tecnología piezoeléctrica para la generación de energía eléctrica en la pista de baile de la discoteca la Cayet – distrito de Soritor – departamento de San Martín”, donde se concluye lo siguiente:

El prototipo generador piezoeléctrico comprende un área aproximada de 0,0624 m<sup>2</sup> de tabla de melamine, genera en promedio una potencia de 205,56 mW CC, con 25 discos piezoeléctricos conectados en paralelo y accionados por un peso promedio de 65 Kg. Aplicando el prototipo generador piezoeléctrico en 15 m<sup>2</sup> de la pista de baile, donde aprovechará la energía mecánica de 75 personas que se encuentran bailando, la cual deberá cubrir una potencia instalada de 413 W, en 10 horas de funcionamiento del local por semana se estima una recuperación de la

inversión en un periodo de 9 años y 4 meses donde la tarifa de energía eléctrica es de 0.802 por KWh. (Núñez, 2018, p. 85).

Para el desarrollo de la presente investigación se investigó conceptos que involucran el sistema de baldosas piezoeléctricas las cuales se detallan a continuación:

**Piezoelectricidad:** “En 1880, Jacques y Pierre Curie descubrieron que al aplicar presión a un cristal de cuarzo se establecían cargas eléctricas en éste; a este fenómeno ellos llamaron el efecto piezoeléctrico” (Cúpich y Elizondo, 2000, p. 22).

**Efecto Piezoeléctrico Directo:** CENIDET (2002) señala: “El efecto piezoeléctrico directo, se presenta cuando una fuerza o vibración mecánica en el piezoeléctrico genera una diferencia potencial o tensión eléctrica entre sus terminales” (Sotelo y Nieto, 2018, p. 21).

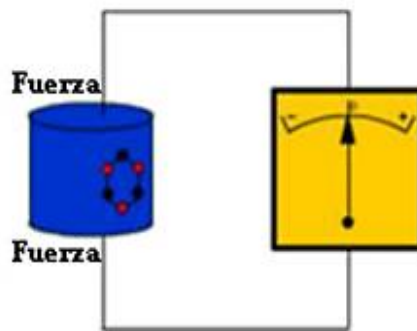


Figura 01. Efecto piezoeléctrico directo.

**Disco Piezoeléctrico:** “Son elementos que transforman una magnitud física en una señal eléctrica por efecto directo” (Bolaños, 2016, p. 1).

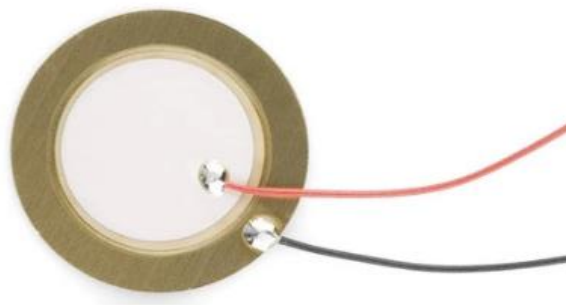


Figura 02. Disco piezoeléctrico.

## Parámetros eléctricos de los discos piezoeléctricos

**Tensión generada por una carga mecánica:** “Cuando se aplica presión a la superficie de un disco piezoeléctrico en la dirección de su espesor, el voltaje generado es” (Matthey, 2015, p. 1).

$$V = -g_{33} \times h \times \frac{F}{A} = - \left( g_{33} \times h \times \left( \frac{F}{d^2 \times \frac{\pi}{4}} \right) \right)$$

**Donde:**

**V:** Voltaje generado

**g<sub>33</sub>:** Constante piezoeléctrica

**h:** Longitud o grosor del piezoeléctrico (m)

**F:** Fuerza aplicada (N)

**D:** Diámetro efectivo del disco piezoeléctrico (mm)

**A:** Área efectiva del disco piezoeléctrico (m<sup>2</sup>)

**Intensidad de corriente:** Los discos piezoeléctricos tienen un comportamiento similar al de los condensadores electrolíticos y presentan una impedancia (Z), donde la corriente varía dependiendo de la cantidad de discos presentes y de la impedancia de los mismos. [...] Debido a su naturaleza, los discos piezoeléctricos son de alta impedancia aproximadamente 400Ω, esto quiere decir que presentan gran resistividad al flujo de energía eléctrica, por lo tanto, los valores de corriente son muy bajos, que van desde los **1mA** con fuerzas desde 588 N. (Zapata y Bustamante, 2012, p. 27,28).

**Comportamiento de los discos piezoeléctricos sometidos a cargas:** “El experimento realizado por Keawboonchuay y Engel consistió en someter el material piezoeléctrico a cargas cuasi estática y carga dinámica. En los dos experimentos utilizaron fuerzas de compresión muy similares (490 N y 500 N respectivamente).” (Cifuentes, 2013, p. 42).

El resultado del experimento realizado se detalla a continuación:

**Comportamiento del piezoeléctrico bajo carga cuasi – estático:** en la investigación titulado “Electrical Power Generation Characteristics of Piezoelectric Generator Under Quasi-Static and Dynamic Stress Conditions” se concluye lo siguiente:

Cuando la fuerza aplicada sobre el piezoeléctrico es de tiempo prolongado y el condensador no alcanza su constante de carga, se producen dos picos de voltaje, uno positivo en el momento en que se empieza a aplicar la fuerza, y uno negativo cuando se retira la fuerza. (Keawboonchuay y Engel, 2003, p. 1380).

Para este caso es necesario utilizar diodos rectificadores para corregir esos picos de voltajes negativos y solo obtener picos de voltajes positivos.

El resultado de su experimento se visualiza a continuación:

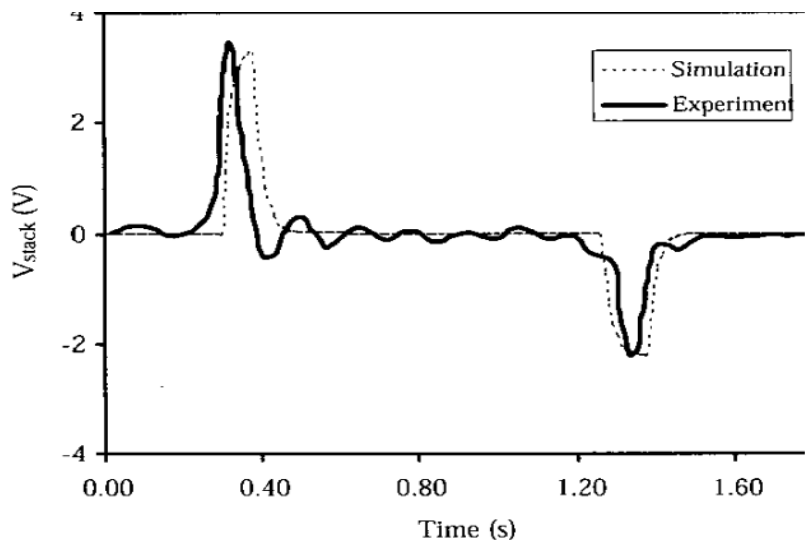


Figura 03. Voltaje de salida bajo carga cuasi – estático.

**Comportamiento del piezoeléctrico bajo carga dinámica:** Cuando la fuerza aplicada sobre el piezoeléctrico es de menor duración que la constante de carga del capacitor, se producen sólo picos de voltaje positivos, también debido a que el condensador no alcanza a cargarse por completo, se obtiene que el voltaje generado por el piezoeléctrico es unas 10 veces mayor al obtenido en el comportamiento cuasi – estático. (Keawboonchuay y Engel 2003, p. 1382).

A continuación, se muestra el resultado obtenido con carga dinámica:



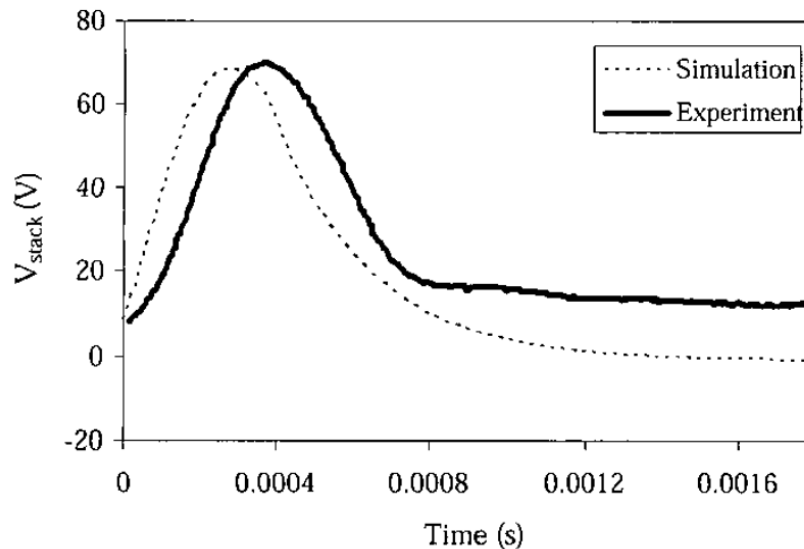


Figura 04. Voltaje de salida bajo carga dinámica.

En este caso, como se ve no es necesario rectificar el voltaje obtenido.

**Discos piezoeléctricos utilizados para la generación de energía:** “Según Wei la aplicación de los discos piezoeléctricos **PZT-5A (Zirconato Titanato de Plomo)**, se utilizan en Energy Harvesting (cosecha de energía) que es excitado por el impacto del movimiento humano” (Sepúlveda, 2014, p. 45).

Para estos tipos de proyectos de generación de energía se debe seleccionar discos con áreas menores.

“En áreas efectivas menores y de mayor grosor se obtiene una tensión más elevado” (Cifuentes, 2013, p. 91).

“Para ello se debe saber que el área efectiva de acción del disco piezoeléctrico, es aquella área en donde se concentra la participación del material cerámico” (Zapata y Bustamante, 2012, p. 27).

En la siguiente figura, el área efectiva es la parte blanca donde se concentra el material cerámico.

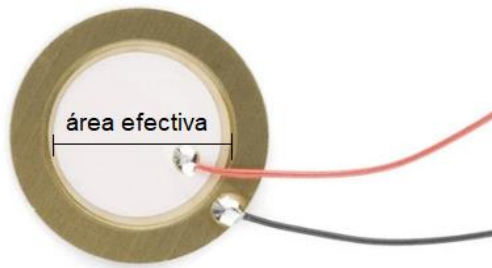


Figura 05. Área efectiva del disco piezoeléctrico.

**Geometría de las baldosas utilizados como generadores de energía:** “La distribución de la vibración en una superficie depende de su forma y el rango de frecuencia (Hz) que es capaz de generar” (Arvind, Agaram, Sampath y Thiyagarajan, 2011, p. 490).

Según indica en superficies **cuadradas y rectangulares** se puede obtener hasta 1 GHz de frecuencia a diferencia de los circulares que solo llega hasta 1 MHz.

**Mantenimiento y vida útil de los discos piezoeléctricos:**

“El mantenimiento consiste únicamente en reemplazar la pieza deteriorada y el gasto de instalación que se realiza es una sola vez” (Cortes, Pineda y Ensáztiga, 2010, p. 76).

Referente al costo de mantenimiento en la tesis titulado “Análisis técnico y económico del potencial de generación eléctrica a través de dispositivos piezoeléctricos” sostienen lo siguiente:

Las labores de mantenimiento se realizan de manera periódica necesarios para prevenir desgastes prematuros del sistema piezoeléctrico, buscando así optimizar su funcionamiento durante su ciclo de vida. De forma aproximada puede estimarse entre el 2% y el 3% (anual) del costo de la inversión de los equipos y el montaje [...]. (Sotelo y Nieto, 2018, p. 66).

Con respecto a vida útil de los discos piezoeléctricos PZT en la conferencia internacional denominada “Alternative and Renewable Energy Quest” se concluye lo siguiente:

“Una duración de 20 años en discos piezoeléctricos PZT cerámicos” (Mohamed y Yousef, 2017, p. 116).

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo y diseño de investigación

##### 3.1.1. Tipo de Investigación.

###### **Aplicativo tecnológico**

Aplicativo por qué se utilizó principios físicos matemáticos en la determinación de los parámetros eléctricos de los generadores piezoeléctricos y tecnológicos porque a las baldosas tradicionales se le implementó elementos piezoeléctricos con la capacidad de generar energía.

##### 3.1.2. Diseño de Investigación.

###### **No experimental**

Porque no se manipuló deliberadamente la variable independiente, sino que se observó situaciones ya existentes, no provocadas intencionalmente en investigaciones ya realizadas.

#### 3.2. Variables y operacionalización

##### **Variable independiente**

Generadores piezoeléctricos

##### **Variable dependiente**

Consumo de energía eléctrica.

(Ver cuadro de operacionalización de variables en el anexo 01)

#### 3.3. Población (criterios de selección), muestra, muestreo y unidad de análisis

##### **Población (N)**

Para el caso de la investigación la población son las concurridas discotecas de la ciudad de Chiclayo.

Los criterios para la selección fueron por la gran concurrencia de personas a estos locales.

## **Muestra**

Se tomó como muestra la discoteca Tarima.

## **Muestreo**

La técnica estadística para la obtención de la muestra se realizó usando el muestreo no probabilístico asumiendo el muestreo por juicio o a criterio del investigador por lo tanto no es una selección al azar.

### **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.4.1. Técnicas de recolección de datos.**

##### **Observación**

“La observación es el proceso de conocimiento de la realidad, mediante el contacto directo del sujeto y el objeto o fenómeno por conocer, a través de los sentidos, principalmente la vista, el oído, el tacto y el olfato” (Ñaupas, Mejía, Novoa y Villagomes, 2014, p. 201).

Usando la técnica de observación se caracterizaron los equipos del sistema de iluminación de la discoteca, también se usó para determinar las edades de los asistentes y con ello saber sus tallas y pesos correspondientes.

##### **Entrevista**

“La entrevista es una conversación formal entre el investigador y el investigado; que consiste en formular preguntas en forma verbal con el objetivo de obtener respuestas o informaciones y con el fin de comprobar las hipótesis de trabajo” (Ñaupas et al. 2014, p. 219).

Esta técnica se realizó con la finalidad de obtener datos sobre la concurrencia y los días de funcionamiento de la discoteca TARIMA.

#### **3.4.2. Instrumentos de recolección de datos.**

##### **Lista de cotejo**

Se utilizó este instrumento con la finalidad de garantizar la observación mediante el inventariado de los equipos del sistema de iluminación

caracterizándolos por nombre, cantidad y potencia eléctrica de placa. Adicionalmente se observó la pista de baile en presencia de los asistentes del cual se determinó la cantidad de personas bailando y la frecuencia con que lo hacen.

### **Guía de entrevista**

Se elaboró una guía de entrevista impresa donde contenía las preguntas a formular a la dueña del local, esta guía de entrevista siguió una secuencia determinada de 6 preguntas con el fin de obtener datos importantes para el desarrollo de la investigación.

#### **3.4.3. Validez.**

“La validez de manera general, se refiere al grado en que un instrumento mide realmente la variable que pretende medir” (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p. 200).

La presente investigación fue validada por el juicio de profesionales entendidos en el tema, dando su aprobación a las técnicas e instrumentos utilizados en la presente investigación.

#### **3.4.4. Confiabilidad.**

“La confiabilidad de un instrumento de medición se refiere al grado en que su aplicación repetida al mismo individuo u objeto produce resultados iguales y coherentes” (Hernández et al. 2014, p. 200).

La confiabilidad de las técnicas e instrumentos se logró mediante profesionales especialistas, quienes validaron la toma de datos durante el desarrollo de la investigación, también se logró mediante estudios y propuestas de otros autores que han realizado estudios relacionados al tema por lo que están siendo citados respectivamente.

### **3.5. Procedimientos**

Teniendo como escenario de estudio la pista de baile de la discoteca TARIMA, la presente investigación se inició haciendo una lista de cotejo, del cual se identificó los equipos del sistema de iluminación obteniendo una

energía eléctrica de 0.8 KWh, se tomó medidas del área de la discoteca, y se entrevistó a la dueña del local con fines de obtener información del total de asistentes a la discoteca.

El control de la variable en este caso los discos piezoeléctricos se realizaron mediante cálculos matemáticos hallando así el voltaje, corriente y con ello se halló la potencia eléctrica, obteniendo estos valores se procedió a seleccionar los componentes de diseño de las baldosas piezoeléctricas utilizando el software CAD. Por último, se realizó la evaluación económica mediante los indicadores VAN y TIR.

Cabe señalar que todas las coordinaciones para la obtención de información se realizaron con la dueña de la discoteca TARIMA, quien amablemente accedió a tal fin, mostrándose interesada en la investigación. Para tal efecto se firmó documentos que garanticen la cooperación entre la discoteca y la universidad.

### **3.6. Métodos de análisis de datos**

Para la simulación de la conversión de corriente alterna (AC) a corriente continua (CC) se utilizó el software de simulación electrónica PROTEUS PROFESSIONAL, luego para el modelamiento y selección de los componentes de la baldosa se utilizó el software AUTODESK INVENTOR y para realizar gráficos estadísticos y la evaluación económica de la investigación se utilizó el Excel donde se utilizó fórmulas del VAN y TIR.

### **3.7. Aspectos éticos**

La presente investigación se desarrolló manteniendo la veracidad de los valores obtenidos teóricamente.

Se respetó la propiedad intelectual de los autores, además de poner fuentes confiables de información debidamente citados.

## IV. RESULTADOS

### 1. ANALIZAR EL CONSUMO ELÉCTRICO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN DE LA PISTA DE BAILE EN LA DISCOTECA TARIMA.

Para el análisis del consumo eléctrico se inició instalando un medidor de energía eléctrica exclusivamente para el sistema de iluminación de la discoteca, el medidor instalado es de tipo de conexión monofásica de marca CLOU, con certificado de verificación inicial N° 2018052344 emitido por el INACAL – DM (Instituto Nacional de Calidad – Dirección de Metrología), (ver anexo 03). La elección de este medidor de energía eléctrica se realizó por ser el más comercial en el mercado.

El registro de energía eléctrica se realizó en un lapso de 4 horas, en cada hora se anotó la energía eléctrica consumida por el sistema de iluminación de la discoteca, el cual está conformado por los siguientes dispositivos.

#### **Tacho led lpc008 big dipper**

Es un dispositivo con iluminación única en RGB (red, green y blue) de un solo color dependiendo de sus 54 leds de 1.5 W, tiene la función audiorítmicas (alumbrar al ritmo de la música y en función al tono del sonido) su potencia total es de 81 W.



*Figura 06.* Tacho led lpc008 big dipper 54x1.5 W.

### **Led mini cabeza móvil**

Dispositivo que emite luz estroboscópica (luz en forma de destello y rápida sucesión en movimiento), y haz con láser con led de un solo color, tiene incorporado la función audiorítmicas con 48 W de potencia eléctrica.



*Figura 07.* Led mini cabeza móvil 16x3 W.

### **Luz efecto flash**

Dispositivo que emite luces de colores de forma automática, ideal para el efecto cámara lenta, incluye sistema audiorítmicas tiene una potencia eléctrica de 10 W.



*Figura 08.* Luz efecto flash de 10 W.



## Laser B10000rgb gráfico Multicolor

Dispositivo que emite luces multicolor en forma de gráficos automáticos programados en su memoria extraíble, uso recomendado 30 minutos de encendido y 15 minutos de apagado. Su potencia eléctrica de funcionamiento es de 1000 mW.



Figura 09. Laser B10000rgb gráfico Multicolor 1000 Mw.

## Tiras led

Emiten un tipo de luz suave y uniforme dando una buena iluminación para ello utilizan colores RGB (red, green y blue). Necesitan una fuente para su funcionamiento ya que su nivel de tensión es 12 V y 1 W de potencia eléctrica.



Figura 10. Tiras led 1 W.

### **Máquina de humo**

Realiza el efecto niebla, ya que almacena hasta un litro de humo líquido. Su potencia eléctrica de funcionamiento es de 400 W.



*Figura 11. Máquina de humo 400 W.*

### **Panel led para letras**

Panel programable para emitir palabras, tiene el efecto de palabras corredizas en forma vertical y horizontal. Su potencia eléctrica es de 20 W.



*Figura 12. Panel led para letras 20 W.*

## Panel led de luces

Panel que emite luces rítmicas, tiene el efecto de led corredizas en forma vertical y horizontal. Su potencia eléctrica es de 20 W.

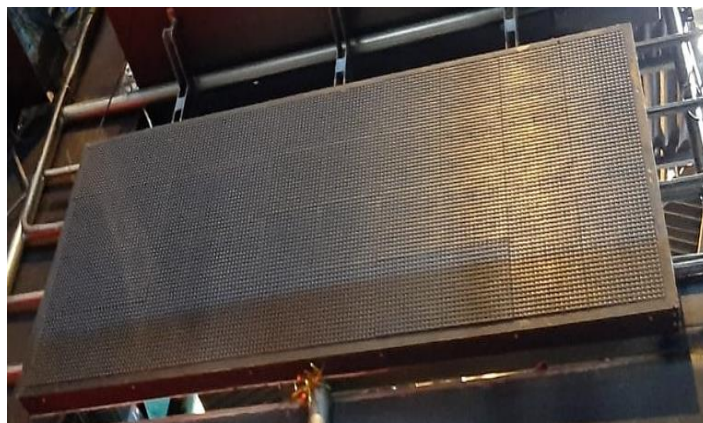


Figura 13. Panel led de luces 20 W.

A continuación, se presenta un cuadro resumen de los equipos que conforman el sistema de iluminación de la discoteca.

**Tabla 01.** Sistema de iluminación de la discoteca Tarima

Item	Tipo de luminaria	Cantidad	Audiorítmicas	Potencia (W)
1	Tacho led lpc008 big dipper	6	Si	81
2	Led mini cabeza móvil	2	Si	48
3	Luz efecto flash	1	Si	10
4	Laser Grafico Multicolor	1	No	1
5	Tiras led	18	No	1
6	Panel led de luces	1	No	20
7	Panel led para letras	1	No	20
8	Máquina de humo	1	No	400

Fuente: elaboración propia.

Los dispositivos de la tabla 1 se obtuvieron al realizar un inventario y la potencia eléctrica (W) se obtuvo de la placa de características.

Todos estos equipos de iluminación están distribuidos de manera estratégica pues iluminan un área de 88.245 m<sup>2</sup> del total de la discoteca, esta área se obtuvo al realizar mediciones con un flexómetro. (Ver anexo 04).

Adicionalmente se verificó las características de su cableado desde el tablero de distribución hasta cada luminaria, los resultados obtenidos fueron: conductor tipo THW (resistente al calor y a la humedad) N°14 con 5 años de antigüedad empotrados por tubería.

También se observó que los niveles de iluminación que emiten estos dispositivos son muy bajos ya que pertenecen a un tipo de iluminación llamado balizamiento, el cual no tiene como objeto iluminar si no la de generar una iluminación de cortesía para cumplir con la función decorativa y de guiado por lo que siempre permanecen prendidos durante las horas de funcionamiento.

Por ello no fue necesario medir niveles de iluminación en lux, ya que la según la NORMA EM.010 de INSTALACIONES ELÉCTRICAS INTERIORES en el artículo 3° de CÁLCULOS DE ILUMINACIÓN establece niveles de iluminancia de 150 a 200 lux solo para las salas de atención al público en cines y conciertos.

Una vez que se describió el sistema de iluminación se realizó la toma de lectura del medidor de energía eléctrica bajo los siguientes criterios de funcionamiento:

**Tabla 02.** *Criterios para el registro de energía eléctrica*

Criterios de funcionamiento				
Horas	Programación de las luces	Tipo de música	Asistentes	Lux
8:00	El sistema de iluminación funcionó con la programación establecida por el fabricante.			
9:00	El sistema de iluminación funcionó con programación automática (audiorítmicas) y controlado de una consola.	Tonos altos con efectos DJ	Sin asistentes	No establecido por Norma.
10:00				
11:00				

Fuente: elaboración propia.

Como se puede ver en la tabla 2, en la hora 1 las luces funcionaron con las configuraciones establecidas por el fabricante, en el resto de horas el sistema de iluminación trabajó de manera automática donde algunos dispositivos trabajaron con la función audiorítmicas, y el restante se controló desde una consola. El resto de criterios fue igual para todas las horas.

La energía eléctrica obtenida se muestra a continuación:

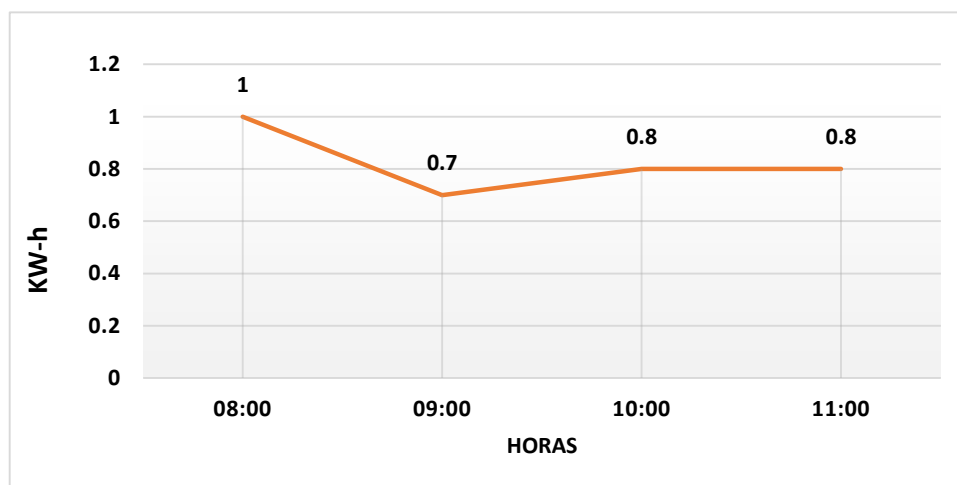


Figura 14. Energía eléctrica del sistema de iluminación de la discoteca Tarima.

Como podemos apreciar el gráfico 1, muestra los datos obtenidos en un periodo de 4 horas, donde se anotó la energía eléctrica del medidor instalado. (Las lecturas registradas se muestran en el anexo 05).

Realizando un análisis del consumo de energía eléctrica se obtiene valores entre 0.7 y 1 KWh, esta variación dependió de la configuración de las luces, en la hora 1 al trabajar con configuraciones establecidas por el fabricante se obtuvo el mayor registro de energía eléctrica, al contrario en las horas 2,3 y 4, se obtuvo el menor registro de energía siendo esta energía muy homogénea entre 0.7 y 0.8 KWh, pues los dispositivos activaron su función audiorítmicas haciendo que la simultaneidad de prendido de las luces y efectos sea controlada por la música,

Para ello la música que se empleó para realizar el registro de energía contenía efectos DJ y tonos altos, con ello se logró activar la función audiorítmicas de los equipos, mientras que los otros dispositivos se controlaron desde una consola.

Con respecto a los otros criterios, la cantidad de asistentes es indiferente pues el registro de energía eléctrica se realizó sin la presencia de asistentes en el local,

para el caso contrario donde se necesitó la presencia de asistentes para realizar las mediciones, mediante una entrevista realizada a la representante del local se determinó que un promedio de 110 personas interactúan en la discoteca, la energía consumida por el sistema de iluminación fue el mismo ya que los equipos de iluminación permanecen prendidos sin importar la presencia de asistentes ni del horario de funcionamiento pues incluso siendo mañana y tarde el ambiente de la discoteca presenta niveles de iluminación natural casi nula.

Finalmente, bajo los criterios que habitualmente funciona la discoteca como gran asistencia de personas, música con tonos altos y efectos DJ, simultaneidad de luces controlados por la función audiorítmicas y control manual desde una consola, se obtiene un consumo máximo de energía de 0.8 KWh.

De donde se obtiene una potencia eléctrica de:

$$P = \frac{1000 \times E_e}{t}$$

**Donde:**

**P:** Potencia eléctrica (W)

**E<sub>e</sub>:** Energía eléctrica (0.8 KWh)

**t:** Tiempo (1h)

$$P = \frac{1000 \times 0.8 \text{ KWh}}{1h} = \mathbf{800 \text{ W}}$$

Y una corriente eléctrica de:

$$I = \frac{P}{V}$$

**Donde:**

**I:** Corriente eléctrica

**P:** Potencia eléctrica (800 W)

**V:** Voltaje (220 V)

$$\mathbf{I = \frac{800\text{ W}}{220\text{ V}} = 3.64\text{ A}}$$

## 2. DETERMINAR LOS PARÁMETROS ELÉCTRICOS DE LOS GENERADORES PIEZOELÉCTRICOS

### 2.1 Elección del tipo de disco piezoeléctrico

El tipo de disco piezoeléctrico que se utilizó es el **PZT-5A**, por su propiedad de generar energía por efecto directo, al aplicarle presión.

**Tabla 03.** Constantes del disco piezoeléctrico PZT-5A

Material	PZT-5A
Constante piezoeléctrica ( $g_{33}$ )	$25 \times 10^{-3}$ Vm/N
Diámetro efectivo (D)	17 mm
	23 mm
Grosor del piezoeléctrico (h)	0.14 mm
	0.33 mm
Densidad	7650 kg/m <sup>3</sup>
Temperatura de Curie	360 °C
Factor de calidad mecánico	75 Q <sub>m</sub>
Factor de disipación tan $\delta$	0.020
Coeficiente de acoplamiento $K_{33}$	70 %
Diámetro total	27mm, 35mm y 50mm

Fuente: Cerámicas piezoeléctricas: funcionamiento y propiedades, 2010.

La tabla 3 muestra las principales constantes del material PZT-5A, algunos de ellos nos sirven para los posteriores cálculos matemáticos que se realizaron.

### 2.2 Selección del disco piezoeléctrico por área efectiva

Como ya se sabe que en áreas efectivas menores y de mayor grosor se obtiene una tensión elevada, por ello se optó por comprobar con los dos diámetros dados en la tabla 2, tomando el de mayor grosor de 0.33 mm.

Con dicha fórmula se halló las áreas correspondientes.

$$A = D^2 \times \frac{\pi}{4}$$

**Donde:**

**A:** Área efectiva (m<sup>2</sup>)

**D:** Diámetro efectivo (m)



**Área efectiva del disco piezoeléctrico con diámetro 17 mm.**

$$A_1 = 0.017^2 \text{ m} \times \frac{\pi}{4} = 0.000227 \text{ m}^2$$

**Área efectiva del disco piezoeléctrico con diámetro 23 mm.**

$$A_2 = 0.023^2 \text{ m} \times \frac{\pi}{4} = 0.000415 \text{ m}^2$$

### **2.3 Tensión producida de los discos piezoeléctricos**

Como se vio anteriormente en las figuras 3 y 4, el tipo de tensión que se obtiene de los discos piezoeléctricos depende del comportamiento de las cargas aplicadas, lo ideal es una carga dinámica donde los picos de voltaje producen sólo ondas positivas, esto se obtiene al accionar al mismo tiempo todos los discos piezoeléctricos distribuidos cuando se le aplica presión sobre la baldosa. Al contrario, al recibir cargas cuasi – estáticas se obtienen picos de voltajes positivos y negativos, este tipo de carga es el más común para desarrollar esta investigación, porque no se puede garantizar la presión de todos los discos piezoeléctricos al mismo tiempo. Por ello el sistema de baldosas piezoeléctricas se desarrolló bajo el comportamiento **cuasi – estático**.

La siguiente ecuación define la tensión generada por una carga mecánica aplicada sobre el disco piezoeléctrico.

$$V = \left( g_{33} \times h \times \left( \frac{F}{A} \right) \right)$$

**Donde:**

**g<sub>33</sub>**: Constante piezoeléctrica

**h**: Longitud o grosor del piezoeléctrico

**F**: Fuerza aplicada

**A**: Área efectiva del disco piezoeléctrico

Como se ve se necesita saber la fuerza que se aplica sobre los discos piezoeléctricos para ello debemos saber el peso de las personas que interactúan sobre la pista de baile.

### 2.3.1 Peso promedio de una persona

De forma In Situ se pudo presenciar que los asistentes a la discoteca son jóvenes y adultos de entre 18 años a 30 años. Para ello:

“Elmer Huerta, señala que, en Perú, somos 10 centímetros menos altos que los estadounidenses y 15 centímetros menos que los holandeses, los más altos del mundo. Se sabe que la estatura promedio en el Perú es de 1.65 cm” (RPP, 2018,).

Siendo la altura promedio de 1.65 cm se sabe que el peso está en relación a la talla por lo tanto para la siguiente investigación se tomó el peso promedio de **65 Kg**.

### 2.3.2 Fuerza aplicada sobre los piezoeléctricos

$$F = m \times g$$

**Donde:**

**F:** Fuerza en newton (N)

**m:** Masa (65 Kg)

**g:** Aceleración de la gravedad (9.8 m/s<sup>2</sup>)

$$F = 65 \text{ kg} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 637 \text{ N}$$

Con los datos obtenidos hallamos el voltaje:

$$V = \left( g_{33} \times h \times \left( \frac{F}{A} \right) \right)$$

**g<sub>33</sub>**= Constante piezoeléctrica (0.025  $\frac{Vm}{N}$ )

**h**= Longitud o grosor del piezoeléctrico (0.33 mm ó 0.00033 m)

**F**= Fuerza aplicada (637 N)

**A<sub>1</sub>**= Área efectiva del disco piezoeléctrico (0.000227m<sup>2</sup>)

**A<sub>2</sub>**= Área efectiva del disco piezoeléctrico (0.000415m<sup>2</sup>)

Se procedió a hallar la tensión de salida con las dos áreas afectivas halladas anteriormente.

$$V_1 = \left( 0.025 \frac{V_m}{N} \times 0.00033 \text{ m} \times \left( \frac{637 \text{ N}}{0.000227 \text{ m}^2} \right) \right) = \mathbf{23.15 \text{ V AC}}$$

$$V_2 = \left( 0.025 \frac{V_m}{N} \times 0.00033 \text{ m} \times \left( \frac{637 \text{ N}}{0.000415 \text{ m}^2} \right) \right) = \mathbf{12.66 \text{ V AC}}$$

Las tensiones obtenidas corresponden a un comportamiento cuasi – estático, donde la tensión generada es de corriente alterna (AC), dicho voltaje se rectifica con un puente de diodos y se obtiene corriente continua (CC), para luego ser almacenado en baterías.

Para la presente investigación se consideró la tensión de 12.66 V AC, correspondiente al disco piezoeléctrico con área efectiva de 0.000415 m<sup>2</sup> ó 23 mm de diámetro efectivo.

### 2.3.3 Rectificación de onda completa mediante puente de diodos

Debido a que los discos piezoeléctricos al ser sometido a una presión mecánica polarizan sus cargas en un determinado sentido, y al retirar dicha presión mecánica invierte el sentido de polaridad, del cual se obtienen picos de voltajes positivos y negativos, por ello se debe instalar un puente de diodo rectificador de onda completa en cada baldosa.

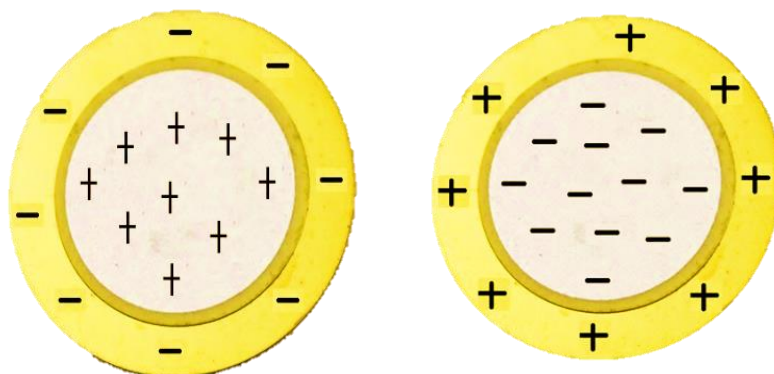


Figura 15. Polaridad del disco piezoeléctrico sin presión y con presión mecánica.

Para lograr dicho objetivo se utilizó el software de simulación electrónica PROTEUS PROFESSIONAL, se inició realizando el siguiente circuito para verificar la onda producida por el disco piezoeléctrico, en este caso se usó un generador de corriente alterna que simuló la onda producida por el disco piezoeléctrico.

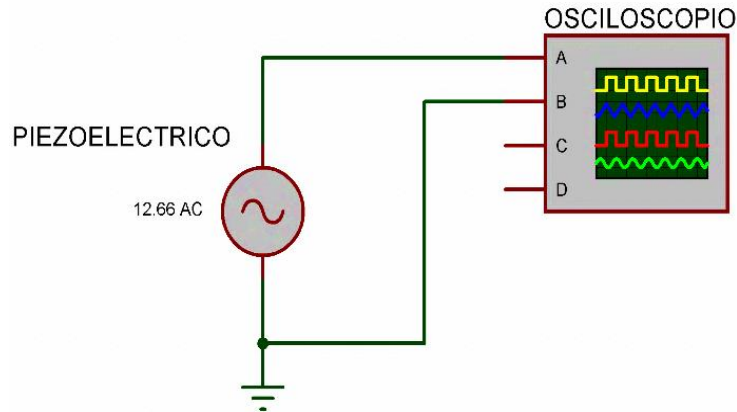


Figura 16. Circuito representativo de un disco piezoeléctrico conectado a un osciloscopio.

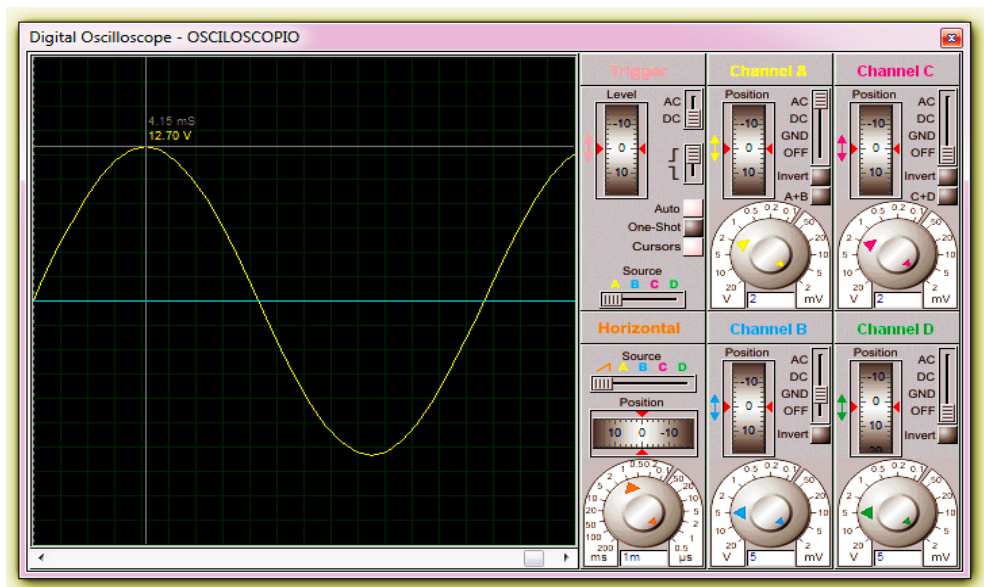


Figura 17. Onda producida por el disco piezoeléctrico.

De la figura 17 se observa una onda senoidal con picos positivos y negativos hasta  $\mp 12.70$  V AC, la línea horizontal de color celeste, es la línea referencial del periodo (T).

Para revertir este comportamiento, a voltaje continuo se realizó el siguiente circuito, el cual contiene un puente rectificador de 4 diodos, un condensador de  $3300 \mu\text{f}$ , y una resistencia de  $10 \text{ K}\Omega$ .

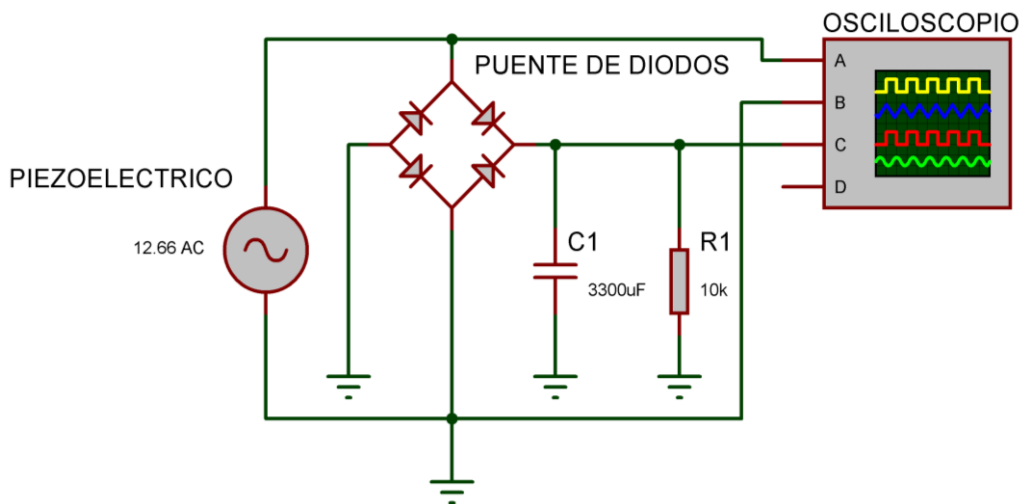


Figura 18. Circuito de rectificación y filtrado de onda.

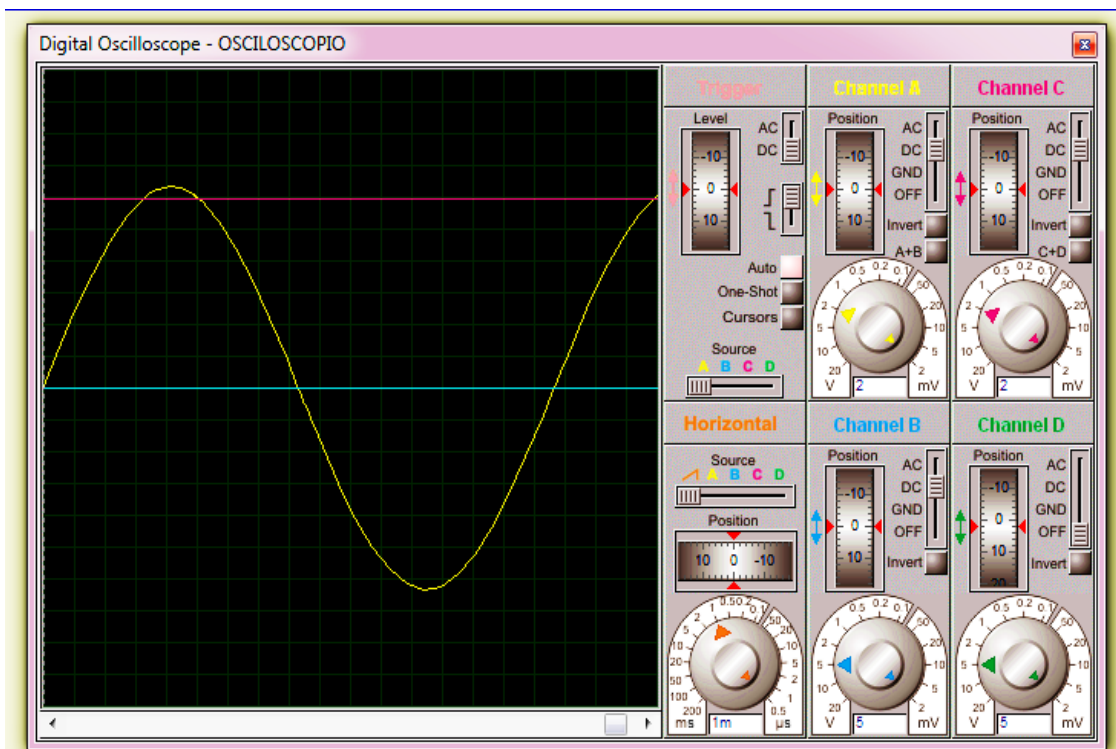


Figura 19. Onda rectificada y filtrada.

En la figura 19 la línea horizontal de color rosado representa el voltaje rectificado, se obtiene una línea recta debido a que el puente de diodos estabiliza la carga volviéndolo siempre positivo este proceso se denomina rectificación, luego el condensador realiza la etapa de filtrado donde finalmente los picos positivos terminan siendo una línea horizontal que representa la corriente continua.

### 2.3.4 Voltaje final rectificado y filtrado

Como sabemos 12.66 V AC es el voltaje promedio que genera el disco piezoeléctrico con área efectiva de 0.000415 m<sup>2</sup>, después de la rectificación de onda completa el osciloscopio del software nos arroja un voltaje de 11.90 V CC, tal como se ve en la siguiente figura.

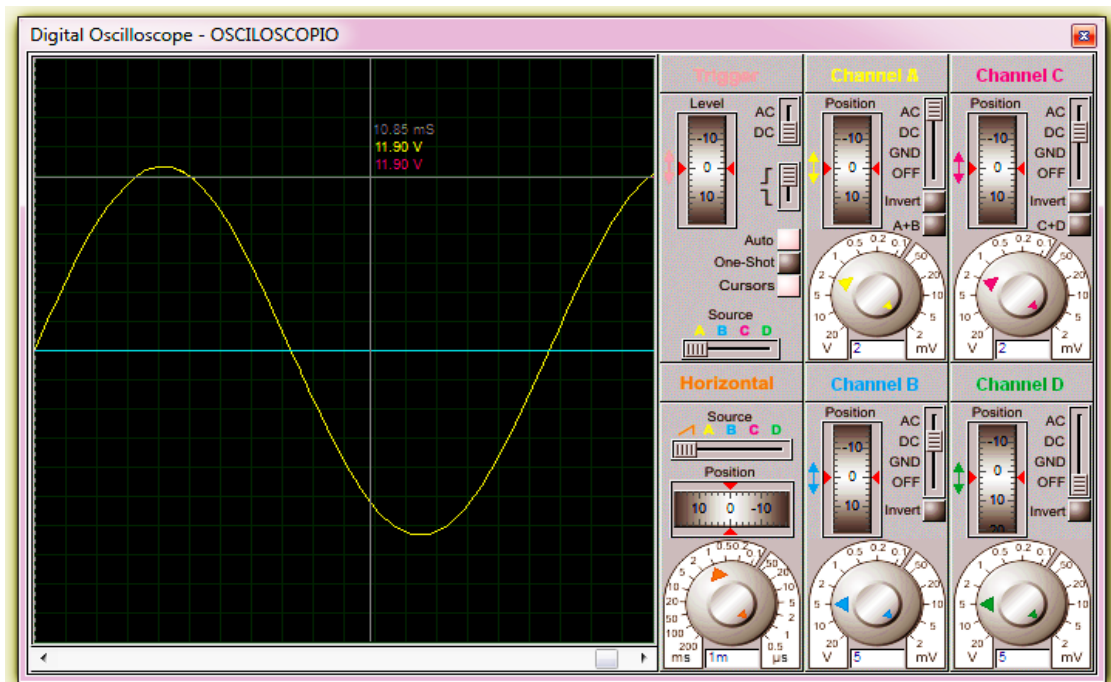


Figura 20. Voltaje rectificado CC.

Se aprecia una ligera de caída de tensión esto debido a que:

“Cuando el diodo se conecta respetando sus polaridades para comenzar a conducir en directa, necesita alcanzar la tensión de umbral, siendo este valor de 0.7 voltios” (Tena, 2011, p. 110).

En el circuito de la figura 18 se observa que dos diodos están conduciendo en forma inversa y dos en directa para este último los diodos necesitan de 0.7 voltios cada uno para comenzar a conducir la corriente eléctrica, estos 1.4 voltios se pierden en este proceso de rectificación y es por ello la caída de tensión.

Finalmente se obtuvo la tensión rectificadora realizando el siguiente cálculo.

$$V_r = V_e - V_u$$

**Donde:**

**V<sub>r</sub>:** Tensión rectificada (V CC)

**V<sub>e</sub>:** Tensión de entrada (12.66 V AC)

**V<sub>u</sub>:** Tensión de umbral (1.4 V AC)

$$V_r = 12.66 \text{ V} - 1.4 \text{ V} = \mathbf{11.26 \text{ V CC}}$$

11.26 V CC es la tensión que se obtiene después de la rectificación, con dicha tensión se realizaron los posteriores cálculos.

## **2.4 Potencia eléctrica producida por las baldosas**

Para hallar la potencia eléctrica del sistema de baldosas con generadores piezoeléctricos fue necesario determinar y hallar los siguientes parámetros.

### **2.4.1 Área que ocupa una persona**

Según el **CENEPRED** (Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres) en el anexo 06 de "Cálculos de Aforo" establece que para discotecas y sala de baile se estima un área de 1.0 m<sup>2</sup> por persona sentadas y de **0.24 m<sup>2</sup>** por personas de pie.

### **2.4.2 Número de personas en la pista de baile**

De la entrevista realizada a la dueña del local se obtuvo que un promedio de 110 personas asisten a la discoteca. Del total de asistentes solo el 90% de los asistentes bailan e interactúan sobre la pista de baile.

A continuación, se halla el número de personas bailando sobre la pista de baile.

$$\mathbf{N^\circ \text{ de personas bailando} = \text{Total de asistentes} \times 90\%}$$

$$\mathbf{N^\circ \text{ de personas bailando} = 110 \times 90\% = 99 \text{ personas bailando}}$$

99 personas bailan, un número ideal para esta investigación, donde se requiere la mayor cantidad de energía mecánica para generar energía eléctrica de las baldosas.

### 2.4.3 Área de la pista de baile a cubrir con las baldosas piezoeléctricas

Las medidas realizadas en el local de la discoteca arrojan un área total de 160.59 m<sup>2</sup> entre la zona del DJ, zona del bar, pista de baile y de servicios higiénicos.

Conociendo el área que ocupa una persona al bailar y el número de personas que interactúan sobre las mismas se va calcular el área a cubrir con las baldosas piezoeléctricas.

$$A_{pb} = N_{per} \times A_{per}$$

**Donde:**

**A<sub>pb</sub>:** Área de la pista de baile (m<sup>2</sup>)

**N<sub>per</sub>:** Número de personas (99 personas)

**A<sub>per</sub>:** Área que ocupa una persona (0.24 m<sup>2</sup>)

$$A_{pb} = 99 \times 0.24 \text{ m}^2 = 23.76 \text{ m}^2$$

El área a cubrir es de 23.76 m<sup>2</sup>, ahora necesitamos saber la forma y dimensiones de la baldosa.

### 2.4.4 Forma geométrica de la baldosa

Como ya se vio anteriormente en bases con áreas rectangulares se obtiene una mejor distribución de la fuerza aplicada, esto nos garantiza que la fuerza aplicada por una persona al bailar sea distribuida sobre todos los discos piezoeléctricos que conforman la baldosa.

Por lo que se seleccionó una superficie de forma **rectangular**.

### 2.4.5 Dimensiones de la baldosa

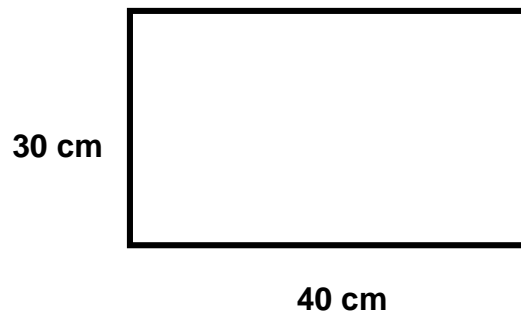
Las dimensiones de la baldosa se han considerado teniendo en cuenta el área que ocupa una persona de pie en una discoteca ósea 0.24 m<sup>2</sup>, es por ello que la baldosa es amplia donde se asegura que las personas pisen adecuadamente y puedan posicionar sus dos pies cómodamente según las dimensiones antropométricas del pie.



Siendo el área de 0.24 m<sup>2</sup> lo que ocupa una persona de pie, se deduce que es **40 x 60 cm.**

En realidad, si hablamos de dimensiones de 40 x 60 cm, nos resulta una baldosa muy grande donde la fuerza ejercida por una persona al momento de bailar se pierde sin llegar a todos los piezoeléctricos distribuidos previamente.

Es por ello que se decidió tomar la mitad de los 60 cm de un lado, obteniendo, así como resultado una baldosa de **40 x 30 cm.**



*Figura 21. Dimensiones de la baldosa.*

#### **2.4.6 Área de la baldosa**

Con las dimensiones obtenidas anteriormente hallamos el área de la baldosa

$$A_b = B \times H$$

**Donde:**

**A<sub>b</sub>:** Área de la baldosa (m<sup>2</sup>)

**B:** Base: 40cm ó 0.4m

**H:** Altura: 30cm ó 0.3m

$$A_b = (0.3\text{m} \times 0.4\text{m}) = \mathbf{0.12\text{ m}^2}$$

#### **2.4.7 Cantidad de baldosas necesarias para cubrir la pista de baile**

La pista de baile tiene un área de 23.76 m<sup>2</sup>, y la baldosa un área de 0.12 m<sup>2</sup>, con ello hallamos la cantidad de baldosas necesarias.

$$C_b = \frac{A_{\text{cubrir}}}{A_b}$$

**Donde:**

**C<sub>b</sub>:** Cantidad de baldosas necesarios (unidades)

**A<sub>cubrir</sub>:** Área total a cubrir (23.76 m<sup>2</sup>)

**A<sub>b</sub>:** Área de la baldosa (0.12 m<sup>2</sup>)

$$C_b: \frac{23.76 \text{ m}^2}{0.12 \text{ m}^2} = \mathbf{198 \text{ unidades}}$$

Se empleó 198 baldosas para cubrir un área de 23.76 m<sup>2</sup> correspondiente a la pista de baile.

#### **2.4.8 Corriente eléctrica generada por la baldosa**

Como se vio anteriormente los discos piezoeléctricos presentan alta impedancia, es decir gran resistividad al flujo de energía eléctrica, donde los valores de corriente eléctrica van desde los 1mA a más. Para fines de esta investigación se consideró la corriente mínima.

$$I_p = 1 \text{ mA}$$

**Donde:**

**I<sub>p</sub>:** Corriente eléctrica piezoeléctrica (1 mA)

Se sabe que la corriente eléctrica del sistema de iluminación es de 3.64 A, esta corriente eléctrica se debe obtener de las 198 baldosas instaladas en la pista de baile.

Con la siguiente fórmula hallamos la cantidad de corriente eléctrica que debe generar cada baldosa.

$$I_b = \frac{I}{C_b}$$

**Donde:**

**I<sub>b</sub>:** Corriente eléctrica de la baldosa

**I:** Corriente eléctrica del sistema (3.64 A)

**C<sub>b</sub>:** Cantidad de baldosas (198 unidades)

$$I_b = \frac{3.64 \text{ A}}{198} = 0.019 \text{ A } \text{ó} \text{ 19 mA CC}$$

Cada baldosa genera una corriente eléctrica de 19 mA CC.

#### **2.4.9 Cantidad de discos piezoeléctricos y tipo de conexión.**

Necesitamos obtener 19 mA por cada baldosa para ello se optó por un tipo de conexión que permita obtener la mayor cantidad de corriente eléctrica, para ello la conexión paralelo es la ideal donde la tensión es la misma en todos los puntos y la corriente eléctrica en el circuito se suman, por ello se utilizó 19 discos piezoeléctricos por baldosa donde la suma de corriente eléctrica de cada disco piezoeléctrico hace un total de 19 mA.

**Tipo de conexión:** conexión paralelo

**Cantidad de discos piezoeléctricos por baldosa:** 19 unidades

También se determina la cantidad total de discos piezoeléctricos en la pista de baile.

$$C_{dp} = C_b \times N_{dp}$$

**Donde:**

**C<sub>dp</sub>:** Cantidad total de discos piezoeléctricos

**C<sub>b</sub>:** Cantidad de baldosas (198 baldosas)

**N<sub>dp</sub>:** Número de discos piezoeléctricos (19 unidades)

$$C_{dp} = 198 \times 19 = \mathbf{3762 \text{ discos piezoeléctricos}}$$

Se necesitan 19 discos piezoeléctricos por baldosa y un total de 3762 para cubrir un área de 23.76 m<sup>2</sup> con 198 baldosas instaladas.

#### **2.4.10 Potencia eléctrica de la baldosa**

Ahora que tenemos los datos de tensión y corriente eléctrica hallamos la potencia eléctrica generada por una baldosa.

$$P_b = V_b \times I_b$$

**Donde:**

**P<sub>b</sub>:** Potencia eléctrica de la baldosa (w)

**V<sub>b</sub>:** Voltaje de la baldosa (11.26 V CC)

**I<sub>b</sub>:** Corriente eléctrica de la baldosa (0.019 A CC)

$$P_b = 11.26 \text{ V} \times 0.019 \text{ A} = \mathbf{0.21 \text{ W CC}}$$

#### **2.4.11 Potencia y corriente eléctrica total producida por el sistema de generación de baldosas con discos piezoeléctricos.**

La potencia eléctrica de cada baldosa es de 0.21 W, se sabe que son 198 baldosas con ello hallamos la potencia eléctrica total de las baldosas.

$$P_{tb} = P_b \times C_b$$

**Donde:**

**P<sub>tb</sub>:** Potencia eléctrica total de las baldosas (w)

**P<sub>b</sub>:** Potencia eléctrica de la baldosa (w)

**C<sub>b</sub>:** Cantidad de baldosas (198 baldosas)

$$P_{tb} = 0.21 \text{ W} \times 198 = \mathbf{41.58 \text{ W CC}}$$

Esta potencia eléctrica de 41.58 W CC, se espera elevar a 800 W AC, mediante un inversor (12 V CC – 220 V AC) DC/AC, siendo este la potencia eléctrica promedio del sistema de iluminación de la discoteca.

La corriente eléctrica de cada baldosa es de 0.019 A, se sabe que son 198 baldosas con ello hallamos la corriente eléctrica total de las baldosas.

$$I_{tb} = I_b \times C_b$$

**Donde:**

**I<sub>tb</sub>:** Corriente eléctrica total de las baldosas (w)

**I<sub>b</sub>**: Corriente eléctrica de la baldosa (0.019 A CC)

**C<sub>b</sub>**: Cantidad de baldosas (198 baldosas)

$$I_{tb} = 0.019 \text{ A} \times 198 = \mathbf{3.762 \text{ A}}$$

Se obtiene una corriente de 3.762 A, generados por las baldosas piezoeléctricas.

A continuación, un cuadro resumen con las principales características de las baldosas piezoeléctricas:

**Tabla 04.** *Características de las baldosas piezoeléctricas*

Características	Valor	Unidad
Cantidad de baldosas	198	Unidades
Cantidad de piezoeléctricos	19	Unidades
Cantidad total de piezoeléctricos	3762	Unidades
Dimensiones de la baldosa	40 x 30	cm
Área	0.12	m <sup>2</sup>
Tipo de conexión	Paralelo	

Fuente: elaboración propia.

También, se presenta un cuadro resumen con los principales parámetros eléctricos de las baldosas piezoeléctricas:

**Tabla 05.** *Parámetros eléctricos de las baldosas piezoeléctricas*

Parámetros eléctricos	1 Baldosa	198 Baldosas
Tensión (V CC)	11.26 V	
Corriente eléctrica (A CC)	0.019 A	3.762 A
Potencia (W CC)	0.21 W	41.58 W

Fuente: elaboración propia.

Los parámetros eléctricos obtenidos son de corriente continua (CC), para la siguiente investigación se necesita corriente alterna (AC), el siguiente numeral trata de revertir estos valores.

## 2.5 Conexión del sistema de generación mediante baldosas piezoeléctricas a la red de iluminación de la discoteca

La energía obtenida después de la rectificación mediante diodos tuvo que ser regulada, almacenada y convertida a corriente alterna (AC) para su posterior uso en el sistema de iluminación de la discoteca.

### 2.5.1 Cálculo del regulador

La energía obtenida se debe almacenar, para ello es necesario contar con un regulador de carga que controle el estado de carga de las baterías.

Como ya sabemos la corriente eléctrica que genera el sistema de baldosas piezoeléctricas, se selecciona un regulador con corriente eléctrica mayor a 3.762 A CC.

Se seleccionó un regulador **PWM LCD de 10A 12V MUST SOLAR**, (ver especificaciones técnicas en anexo 06).

### 2.5.2 Cálculos de baterías

Para determinar la capacidad de las baterías es necesario conocer los siguientes parámetros.

$$C_{\text{bat}} = \frac{E_b \times D_a}{V_b \times P_d}$$

**Donde:**

**E<sub>b</sub>:** Energía del sistema de baldosas (Wh)

Como ya vimos se necesita saber la energía que producen las baldosas piezoeléctricas.

$$E_b = P \times t$$

**Donde:**

**E<sub>b</sub>:** Energía eléctrica (J)

**P:** Potencia eléctrica (41.58 W CC)

**t:** Tiempo (3600 s = 1h)

$$E_e = 41.58 \text{ W} \times 3600 \text{ s} = \mathbf{149688 \text{ J}}$$

Se necesita tener la energía en KWh para ello se sabe que:

$$1\text{KWh} = 3.6 \times 10^6 \text{ Joule.}$$

Entonces obtenemos:

$$E_e = \frac{149688 \text{ J}}{3.6 \times 10^6 \text{ J}} = \mathbf{0.04158 \text{ KWh} \text{ Ó } 41.58 \text{ Wh}}$$

Al cabo de una hora se tiene una energía de 41.58 Wh.

Reemplazando en la siguiente fórmula se obtiene la corriente eléctrica para seleccionar la batería.

$$C_{\text{bat}} = \frac{E_b \times D_a}{V_b \times P_d}$$

**Donde:**

**C<sub>bat</sub>:** Capacidad de baterías (Ah)

**E<sub>b</sub>:** Energía del sistema de baldosas (41.58 Wh)

**D<sub>a</sub>: Días de autonomía** (Es el consumo de energía eléctrica que se va tener respecto a lo que las baterías pueden almacenar cuando las personas pisen las baldosas), para este caso la energía producida por las baldosas en un día, abastece para un día de consumo eléctrico. Por lo que concluimos que el día de autonomía para la siguiente investigación es de un día **(1 día)**.

**V<sub>b</sub>:** Voltaje de la baldosa (11.26 V CC)

**P<sub>d</sub>:** Profundidad de descarga (No debe exceder el 80% de su capacidad nominal, para no afectar la vida útil de las baterías), entonces la profundidad de descarga es (0.7).

$$C_{\text{bat}} = \frac{41.58 \text{ Wh} \times 1}{11.26 \text{ V} \times 0.7} = \mathbf{5.28 \text{ Ah}}$$

Se seleccionó una batería **sbb AGM de 7Ah / 12 V CC**, (ver especificaciones técnicas en anexo 07).

### **Cálculo del tiempo de carga de la batería**

$$T_c = \frac{C_{bat} \times V_b}{P_b}$$

**Donde:**

**T<sub>c</sub>:** Tiempo de carga (horas)

**C<sub>bat</sub>:** Capacidad de la batería (5.28 Ah)

**V<sub>b</sub>:** Tensión (11.26 V CC)

**P<sub>b</sub>:** Potencia eléctrica de la baldosa (41.58 W CC)

$$T_c = \frac{5.28 \text{ Ah} \times 11.26 \text{ V}}{41.58 \text{ W}} = 1.43 \text{ h}$$

### **Cálculo del tiempo de descarga de la batería**

$$T_d = \frac{C_{bat}}{I}$$

**Donde:**

**T<sub>d</sub>:** Tiempo de descarga (horas)

**C<sub>bat</sub>:** Capacidad de la batería (5.28 Ah)

**I:** Corriente eléctrica del sistema de iluminación (3.64 A)

$$T_d = \frac{5.28 \text{ Ah}}{3.64 \text{ A}} = 1.45 \text{ h}$$

### **2.5.3 Cálculo del inversor**

Del sistema de baldosas piezoeléctricas se obtuvo un voltaje de 11.26 V CC., ahora necesitamos convertirlo a 220 V AC para poder hacer funcionar el sistema de iluminación actual. Este proceso se logra mediante un inversor y para la elección del mismo se tiene en cuenta la potencia eléctrica del sistema de iluminación de la



discoteca siendo este 800 W, se debe considerar también los picos de corriente eléctrica del sistema. Por ello se debe seleccionar uno de mayor potencia eléctrica.

Se seleccionó un inversor de **(12V CC a 220V AC – 1000 W) la marca UKC**, (ver especificaciones técnicas en anexo 08).

Ahora que ya tenemos la tensión de 220 V AC y corriente eléctrica de 3.762 A AC podemos determinar la potencia eléctrica del sistema de generación de baldosas después de la conversión a corriente alterna.

$$P_c = V_c \times I_c$$

**Donde:**

**P<sub>c</sub>:** Potencia eléctrica después de la conversión (W AC)

**V<sub>c</sub>:** Voltaje después de la conversión (220 V AC)

**I<sub>c</sub>:** Corriente eléctrica después de la conversión (3.762 AC)

$$P_c = 220 \text{ V} \times 3.762 \text{ A} = 827.64 \text{ W AC}$$

Comparando la potencia eléctrica generada por las baldosas con la potencia eléctrica del sistema de iluminación actual se observa que es una potencia eléctrica ideal para poder reemplazar y utilizarlo como un tipo de energía alternativa para reducir costos.

**Potencia producida por las baldosas  $\geq$  Potencia del sistema actual**

$$827.64 \text{ W} \geq 800 \text{ W}$$

#### **2.5.4 Selección del interruptor conmutador**

El sistema de generación de energía mediante baldosas piezoeléctricas, necesita ser conectado a la red de iluminación eléctrica convencional, para ello se optó por usar un sistema conmutador el cual desconecta la red eléctrica convencional para que sea suministrado por la energía de las baldosas, este sistema de conmutador permitirá también realizar la operación de manera inversa desconectando la energía piezoeléctrica para ser suministrado por la red eléctrica convencional, esto con el fin de garantizar que las baterías no se agoten al 100% y prolongar su vida útil de las mismas.

La elección se realizó dependiendo de la corriente eléctrica del sistema, como ya sabemos el sistema de baldosas piezoeléctricas genera una corriente eléctrica de 3.762 A, es por ello que se seleccionó un interruptor conmutador de leva de tres posiciones, en la posición (1) conecta la energía producida por las baldosas y a su vez desconecta la energía eléctrica convencional, en la posición (2) realiza la operación de manera inversa y en la posición (0) apaga todo el sistema en caso de emergencia.

Para ello se seleccionó un conmutador manual de la marca **YAMING ELECTRIC HZRB DE 10 A** (valor mínimo en el mercado), (ver especificaciones técnicas en anexo 09).

La transferencia de energía se realiza de forma manual cuando el indicador del regulador de voltaje indique la carga máxima de la batería, se seleccionó un conmutador manual debido a que los interruptores conmutadores automáticos que existen cambian de fuente de energía solo cuando la red principal falla, el cual no es el caso en esta investigación.

### 3. SELECCIONAR LOS COMPONENTES DE DISEÑO DE LAS BALDOSAS PIEZOELÉCTRICOS, MEDIANTE EL EMPLEO DE SOFTWARE DE DISEÑO CAD.

La selección de los componentes y diseño de la baldosa piezoeléctrica se realizó en el software Autodesk Inventor Profesional.

La selección de materiales comenzó con la base inferior y la base superior de la baldosa piezoeléctrica.

#### 3.1 Base inferior de la baldosa

El tipo de material que se seleccionó fue el triplay fenólico, por su gran estabilidad dimensional y alta resistencia mecánica a la flexión, tracción y compresión, propiedad eléctrica aislante y resistencia a la humedad hasta un 8%.



Figura 22. Triplay fenólico.

Mediante el software se obtuvo los parámetros del material seleccionado.

**Tabla 06.** *Parámetros del triplay fenólico*

Material	Triplay fenólico
Densidad	0.55 g/cm <sup>3</sup>
Masa	0.5852 kg
Área	226000 mm <sup>2</sup>
Volumen	1064000 mm <sup>3</sup>

Fuente: software inventor profesional.

Luego que se obtuvo el material se diseñó la base inferior de la baldosa con dimensiones de 376 mm x 276 mm y 12 mm de espesor, se definió estas dimensiones para que al momento de ensamblar con sus cuatro lados laterales se cumpla con las dimensiones definidas en el numeral 2.4.5, los lados laterales se consideraron del mismo material los cuales se detallan más adelante. En cuanto al espesor de 12 mm se consideró de acuerdo al catálogo del producto. (Ver anexo 10).

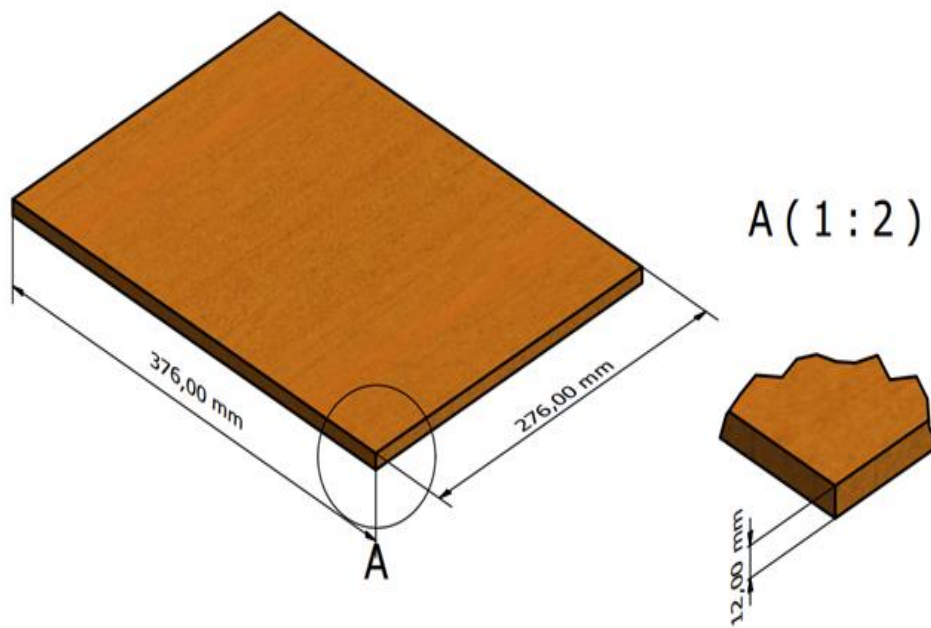


Figura 23. Dimensiones de la base inferior de la baldosa.

Posteriormente se realizó el análisis de tensión bajo la magnitud fuerza (F), ya que es la única magnitud que interviene en la baldosa para la generación de energía eléctrica.

**Tabla 07.** Condiciones de funcionamiento para el análisis de esfuerzo

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	637.000 N
Vector x	0.000 N
Vector y	-637.000 N
Vector z	0.000 N

Fuente: software inventor profesional.

Como se puede ver 637 N, es la fuerza que se aplicó a la base de la baldosa, dicha fuerza se halló antes en el numeral 2.3.2.

A continuación, se muestra los resultados que analiza el software Inventor:

**Tabla 08.** Resultados del análisis de tensión de la base inferior de la baldosa

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	1064000 mm <sup>3</sup>	
Masa	1.46832 kg	
<b>Tensión de Von Mises</b>	<b>0.0108343 MPa</b>	<b>1.28867 MPa</b>
Primera tensión principal	-1.06651 MPa	1.84058 MPa
Tercera tensión principal	-2.18705 MPa	0.889322 MPa
Desplazamiento	0 mm	0.110168 mm
Coeficiente de seguridad	15 su	15 su
Tensión XX	-2.13052 MPa	1.80422 MPa
Tensión XY	-0.288024 MPa	0.257822 MPa
Tensión XZ	-0.265107 MPa	0.274233 MPa
Tensión YY	-1.09754 MPa	0.92673 MPa
Tensión YZ	-0.191525 MPa	0.247422 MPa
Tensión ZZ	-1.68285 MPa	1.34189 MPa
Desplazamiento X	-0.00601728 mm	0.0059845 mm
Desplazamiento Y	-0.110167 mm	0 mm
Desplazamiento Z	-0.00465383 mm	0.00470558 mm
Deformación equivalente	0.0000016805 su	0.000173243 su
Primera deformación principal	0.000000601795 su	0.000188309 su
Tercera deformación principal	-0.000211893 su	-0.000000197895 su
Deformación XX	-0.000200899 su	0.000187586 su
Deformación XY	-0.0000560163 su	0.0000501424 su
Deformación XZ	-0.0000515593 su	0.0000533341 su
Deformación YY	-0.0000773637 su	0.0000983696 su
Deformación YZ	-0.0000372486 su	0.0000481197 su
Deformación ZZ	-0.00016073 su	0.000141761 su

Fuente: software inventor profesional.

Como se puede ver en la tabla 8 al realizar el análisis de tensión, se obtiene varios resultados para ello Autodesk inventor profesional, en su portal web de soporte técnico “Autodesk Help” indica que la mejor forma de interpretar y resumir los resultados es a través de la tensión **Von – Mises**, este resultado resume las tensiones y deformaciones tridimensionales que se desarrollan en varias direcciones.

“Donde la combinación de todos los componentes de tensión en una única tensión equivalente se relaciona con el sistema de tensiones reales” (Inventor, 2018).

Por lo que a continuación se muestra la Tensión de Von Mises aplicada a la base inferior de la baldosa.

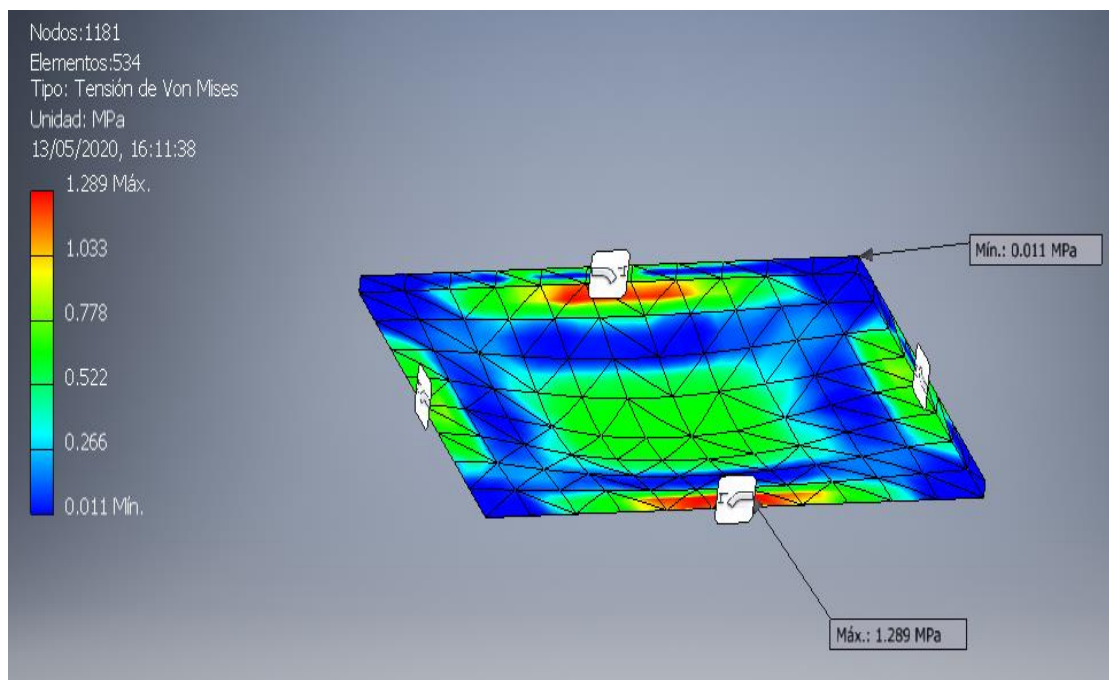


Figura 24. Tensión de Von Mises en la base inferior de la baldosa.

Como se puede apreciar en la figura 24, la escala de colores muestra las tensiones multidireccionales (tensiones y deformaciones), donde el color azul son las tensiones mínimas y el color rojo muestra las tensiones máximas en unidades de Mega Pascal (MPa), para este caso se obtiene una tensión multidireccional mínima de 0.011 MPa, y una máxima de 1.289 MPa donde el indicador de color rojo es

mínimo, por lo tanto se concluye que es un material ideal para el desarrollo de esta investigación donde se aplica una fuerza promedio de 637 N.

Una vez obtenido el material ideal para la base inferior se procedió a modelar el disco piezoeléctrico **PZT-5A** con las dimensiones dadas en la tabla 3.

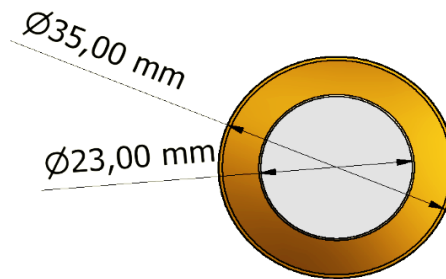


Figura 25. Dimensiones del disco piezoeléctrico.

Luego se trazan guías en la base inferior donde se distribuirán los 19 discos piezoeléctricos, el trazado de guías se realizó de forma circular siguiendo el diámetro mayor del material piezoeléctrico (35 mm) tal como se ve en la figura:

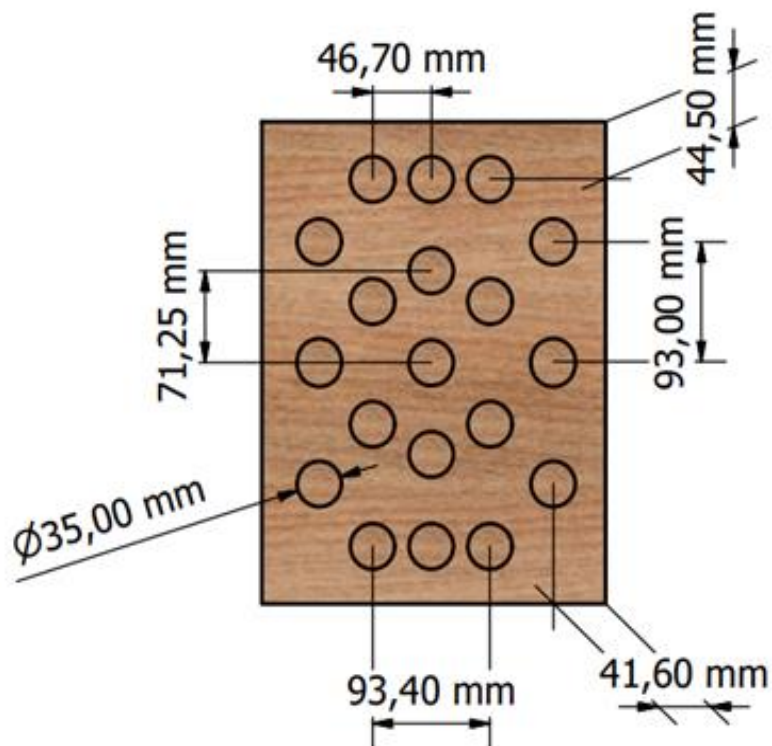


Figura 26. Guías trazadas en la base inferior de la baldosa.

Las guías trazadas se realizaron teniendo en cuenta separaciones tal como se ve en la figura 26, esto para poder realizar las conexiones eléctricas de los discos piezoeléctricos y la rectificación del voltaje generado por el sistema.

Luego se distribuyó los 19 discos piezoeléctricos sobre las guías trazadas y se realizó la conexión en paralelo con cable THW N° 22 respetando sus polaridades definidas en la figura 15, la conexión y la etapa de rectificación se realizó a través de soldadura de estaño, para el caso de la rectificación se realizó siguiendo el diagrama de conexión de la figura 18.

Para la adhesión de los discos piezoeléctricos con la base inferior del triplay fenólico se realizó mediante silicona líquida, también se colocó una sobre capa de silicona sobre cada disco piezoeléctricos y sobre el circuito de rectificación con la finalidad de proteger la soldadura, los impactos de las pisadas hacia el material piezoeléctrico y a su vez lograr la captación de la fuerza aplicada.

La elección de la silicona líquida se realizó por su propiedad mecánica de tracción de 70 Kg/cm<sup>2</sup>, por su propiedad eléctrica que funcionan muy bien como aislante, y por su propiedad de adherirse a cualquier material sin corroer.

El resultado de la distribución y adhesión de los discos piezoeléctricos se aprecia a continuación:

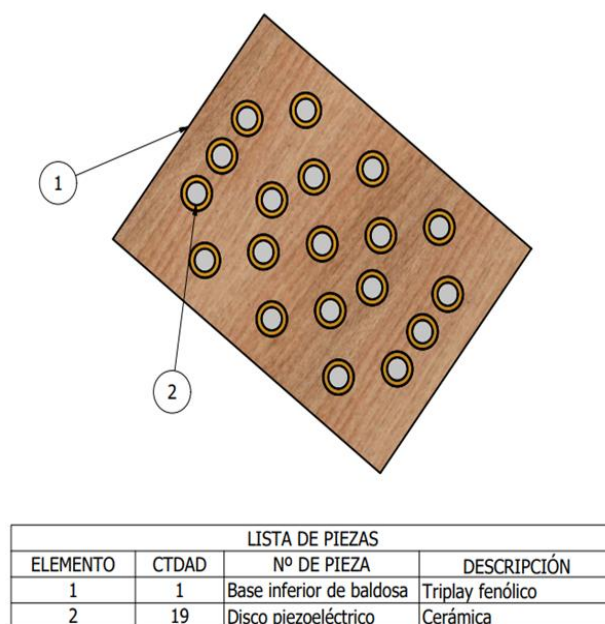
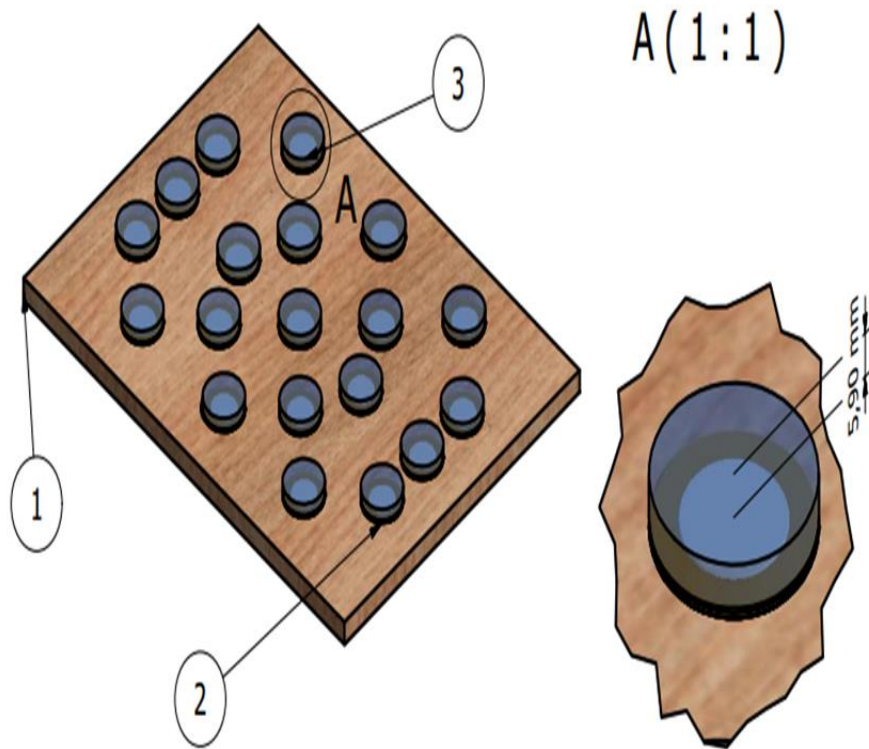


Figura 27. Adhesión de los discos piezoeléctricos.



También se muestra la capa de silicona que se colocó sobre cada disco piezoeléctrico.



LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	Base inferior de baldosa	Triplay fenólico
2	19	Disco piezoeléctrico	Cerámica
3	19	Silicona líquida	Silicona

Figura 28. Adhesión de silicona líquida sobre cada disco piezoeléctrico.

### 3.2 Base superior de la baldosa

Las dimensiones de la base superior de la baldosa se realizaron siguiendo los mismos criterios establecidos en la base inferior de la baldosa, para que al final se pueda realizar el ensamble con las piezas de los lados laterales.

El diseño y dimensionamiento se muestra a continuación:

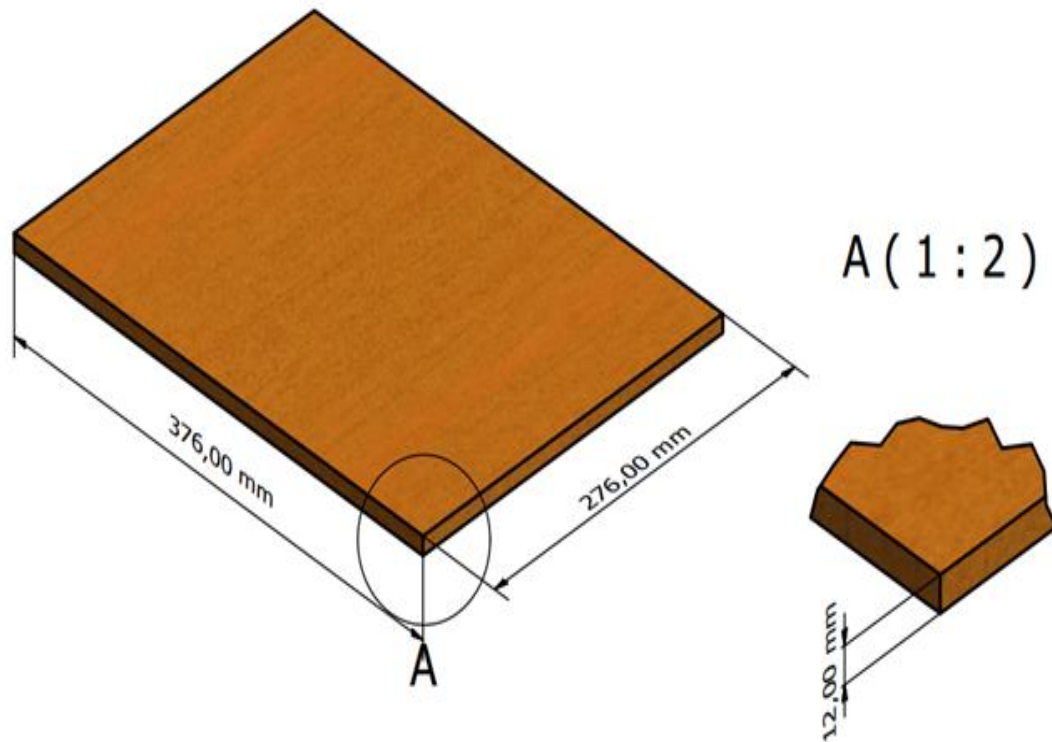


Figura 29. Dimensiones de la base superior de la baldosa.

Realizando el análisis de tensión a la base inferior de la baldosa, se obtiene resultados ideales, es por ello que se seleccionó el mismo material para la base superior de la baldosa, bajo los mismos parámetros del triplay fenólico (Tabla 6) y con las mismas condiciones de funcionamiento (Tabla 7), por lo que no fue necesario realizar el análisis de tensión a la base superior de la baldosa.

### 3.3 Lados laterales de la baldosa

Los lados laterales de la baldosa permitieron asegurar las dos superficies de la baldosa formando así una baldosa compacta, de igual modo se seleccionó el triplay fenólico por las propiedades antes mencionadas.

Las dimensiones que se visualizan en la siguiente figura se consideraron para que puedan encajar con las dos superficies: inferior y superior.

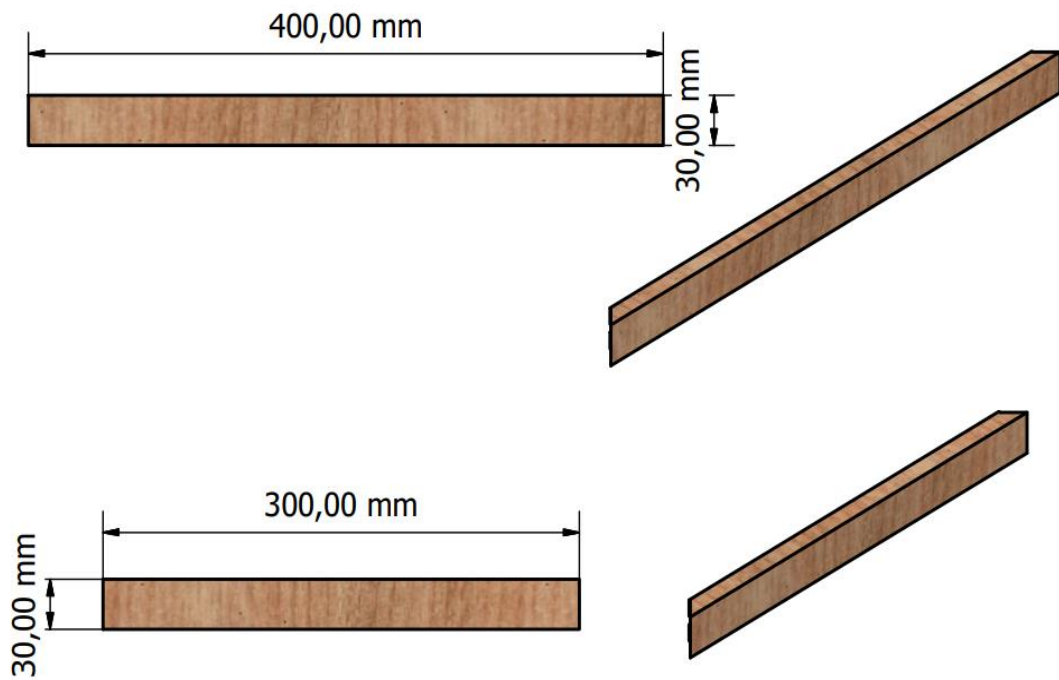


Figura 30. Dimensiones de los lados laterales de la baldosa.

En los lados laterales de dimensión 300mm x 30mm se realizó una pequeña perforación en el centro, para poder interconectar el cableado eléctrico de las 198 baldosas, la dimensión del agujero se consideró dos veces el diámetro del cable usado en el circuito eléctrico, para el cable N° 22 su diámetro del conductor es de 0.64 mm según Tablas de calibres de alambres y cables.

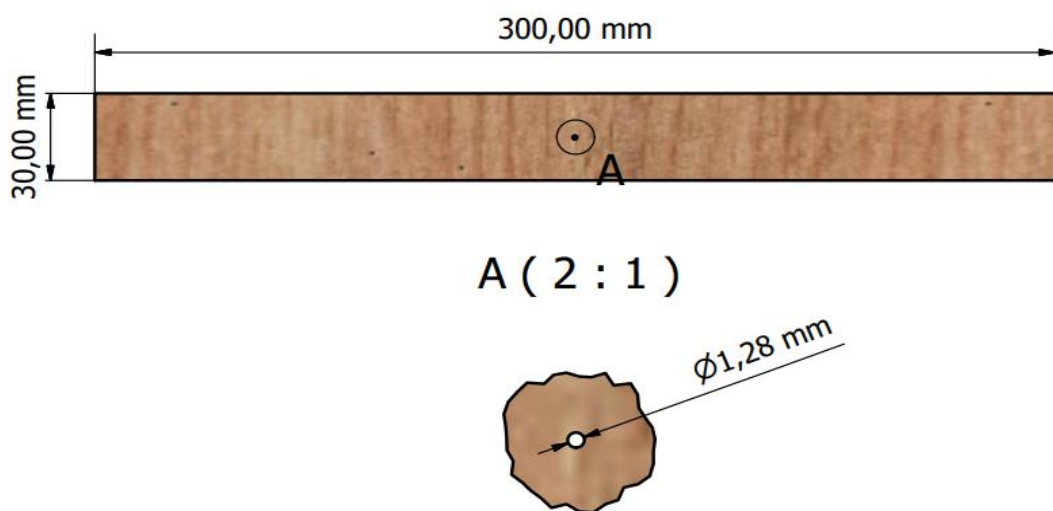


Figura 31. Perforación para interconectar el cableado de las baldosas.

### **3.4 Protección contra líquidos**

Antes de ensamblar la baldosa, también fue necesario proteger los discos piezoeléctricos y las conexiones eléctricas de posibles sustancias líquidas es por ello que se optó por utilizar goma de EVA (Etileno Vinil Acetato), específicamente se seleccionó un material llamado microporoso que por propiedad de impermeabilidad se hizo acreedor de esta elección.

Esta capa de microporoso de 2 mm de espesor se colocó sobre la base de silicona líquida después de haber secado.

El material microporoso se muestra a continuación:



*Figura 32.* Material microporoso de goma de EVA.

### **3.5 Montaje de las superficies y lados laterales de la baldosa**

Para el montaje de las superficies se seleccionó tornillos Fix, empleados en carpintería, tiene la cabeza en punta aguja y el cuerpo acanalado que permite eliminar partículas al momento de atornillar sobre la madera blanda o aglomerada.

Se seleccionó tornillos fix de acero al carbono con dimensiones de 30mm de largo y 3mm de diámetro de rosca según tabla del anexo 11.

El diseño del tornillo fix se muestra a continuación, donde la elección de estas dimensiones se realizó para lograr una mejor compactación de las superficies.

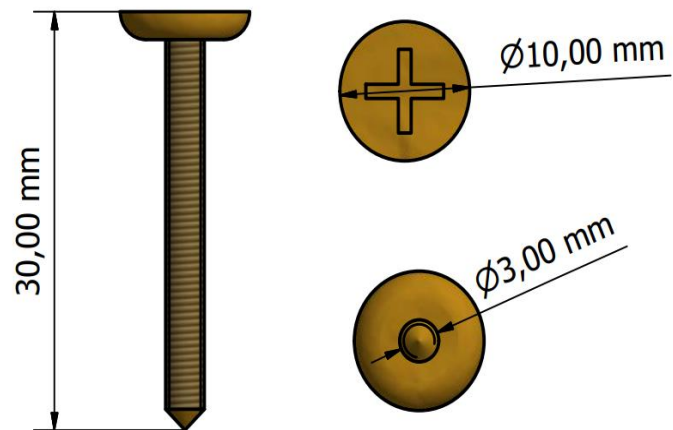
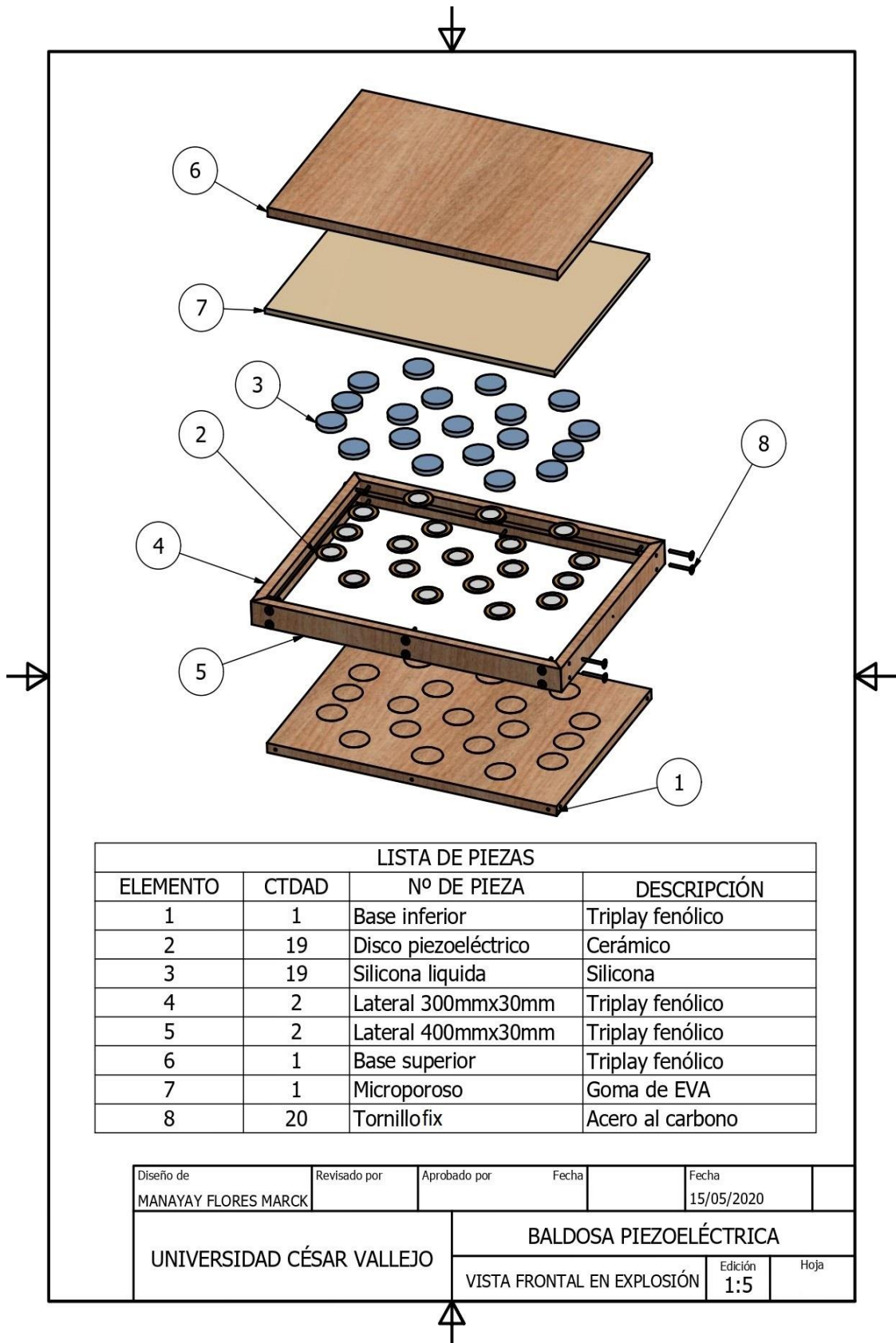


Figura 33. Dimensiones del tornillo Fix.

### 3.6 Ensamblaje de la baldosa

Una vez seleccionado y diseñado los componentes se procedieron a ensamblar la baldosa, luego se diseñó la distribución de las baldosas sobre la pista de baile y por último se realizó el esquema de conexión del sistema de baldosas piezoeléctricas.

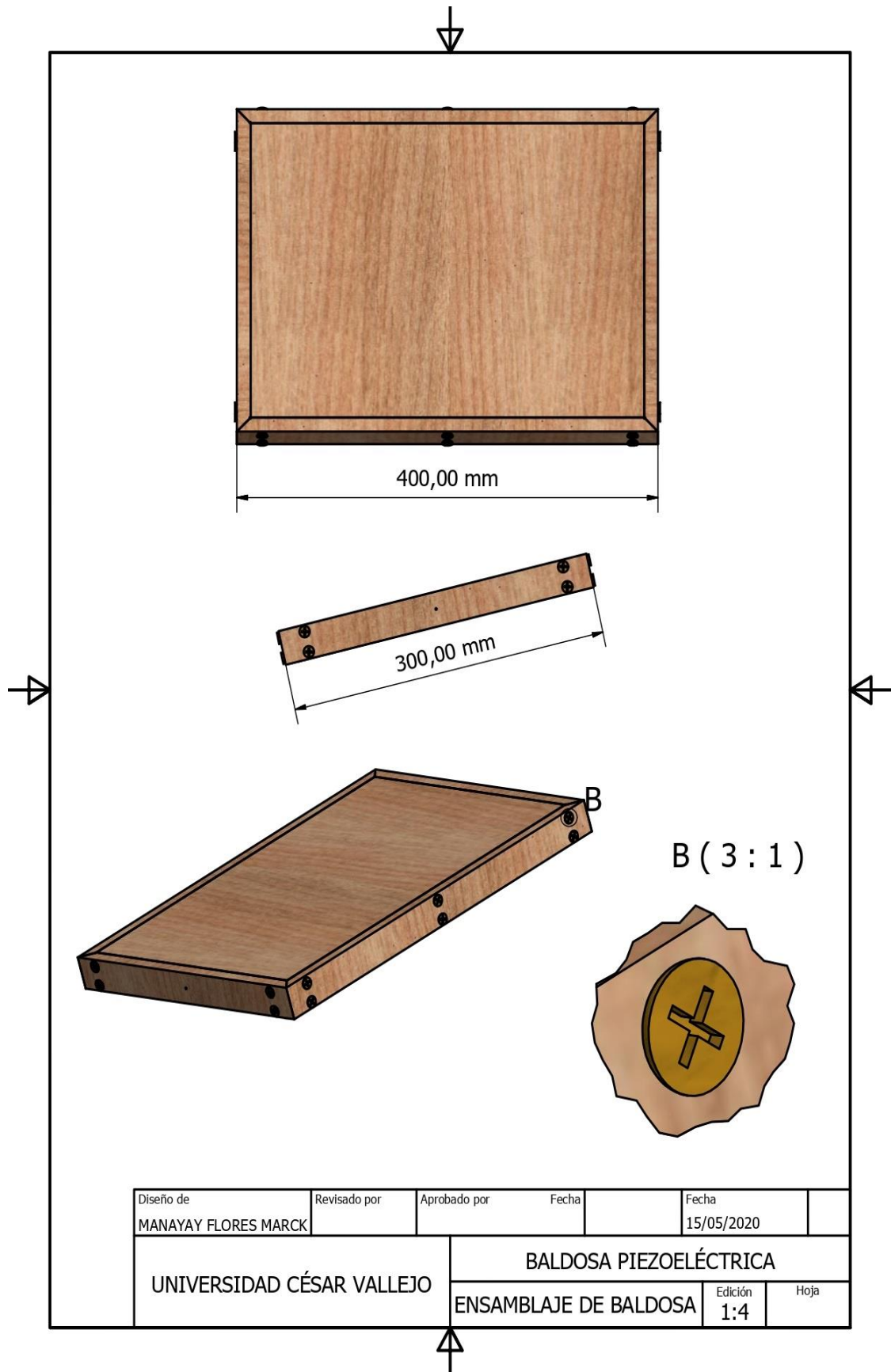
El resultado final se muestra en las siguientes figuras:



LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	Base inferior	Triplay fenólico
2	19	Disco piezoeléctrico	Cerámico
3	19	Silicona liquida	Silicona
4	2	Lateral 300mmx30mm	Triplay fenólico
5	2	Lateral 400mmx30mm	Triplay fenólico
6	1	Base superior	Triplay fenólico
7	1	Microporoso	Goma de EVA
8	20	Tornillofix	Acero al carbono

Diseño de MANAYAY FLORES MARCK	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 15/05/2020
UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO		BALDOSA PIEZOELÉCTRICA		
		VISTA FRONTAL EN EXPLOSIÓN	Edición 1:5	Hoja

Figura 34. Vista frontal en explosión de la baldosa piezoeléctrica.



Diseño de MANAYAY FLORES MARCK	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 15/05/2020	
UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO			BALDOSA PIEZOELÉCTRICA		
			Edición 1:4	Hoja	
ENSAMBLAJE DE BALDOSA					

Figura 35. Ensamblaje de la baldosa piezoeléctrica.

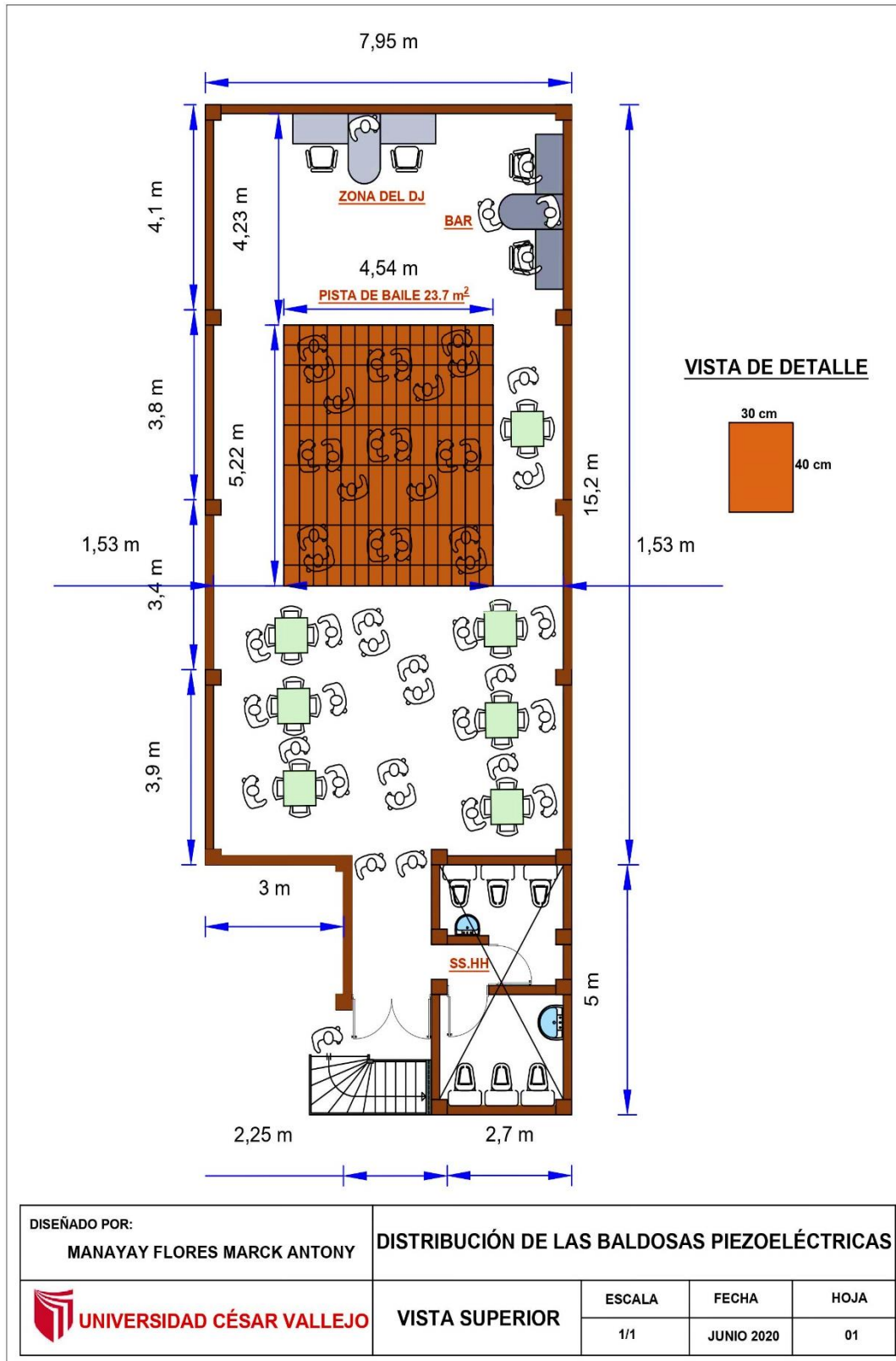


Figura 36. Distribución de las baldosas piezoeléctricas.



La distribución de las baldosas se realizó cubriendo un área total de 23.76 m<sup>2</sup>, tal como se definió en el numeral 2.4.3, la ubicación se realizó justo al frente de la zona de DJ y la zona del bar a 4.23 m desde la pared del fondo y a 1.53 m a cada lado de las paredes, se definió este lugar ya que es donde se concentran la mayor cantidad de asistentes y donde las luces tienen la mayor concentración de luminosidad. (La distribución del sistema de iluminación de la discoteca se muestra en el anexo 04).

Finalmente se muestra el esquema de conexión del sistema piezoeléctrico.

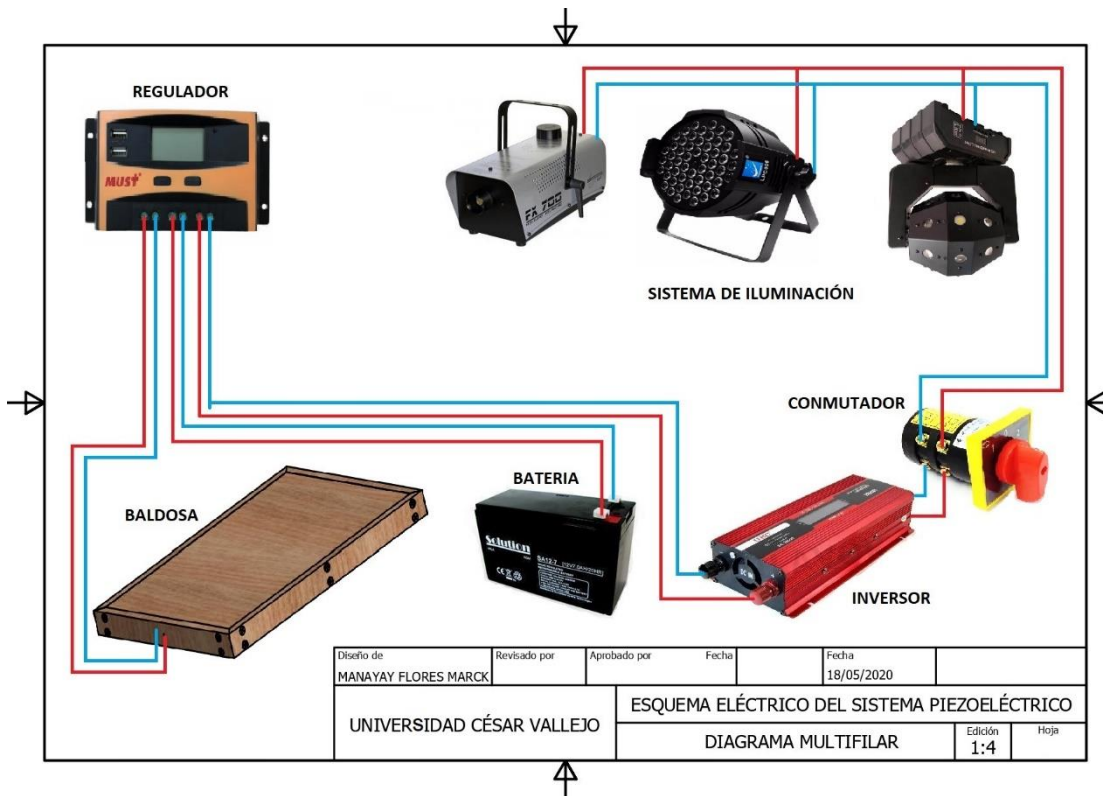


Figura 37. Esquema de conexión del sistema piezoeléctrico.

#### 4. REALIZAR LA EVALUACIÓN ECONÓMICA MEDIANTE LOS INDICADORES VAN Y TIR.

La evaluación económica del sistema de iluminación mediante baldosas con generadores piezoeléctricos se calculó de la siguiente manera:

##### 4.1 Costos de materiales

Los costos de materiales para la elaboración de la baldosa se encuentran dentro de los costos variables.

A continuación, se detalla los costos variables de los materiales necesarios para la fabricación de las 198 baldosas piezoeléctricas de acuerdo a los precios actuales del mercado.

**Tabla 09.** Costo de materiales

<b>Materiales</b>	<b>Cant.</b>	<b>Und.</b>	<b>P. unitario</b>	<b>P. parcial</b>
Triplay fenólico	0.24	m <sup>2</sup>	S/28.50	S/6.84
Silicona líquida	1	und	S/5.00	S/5.00
Disco piezoeléctrico	19	und	S/0.80	S/15.20
Pasta de soldar	1	und	S/2.00	S/2.00
Estaño	2	m	S/1.00	S/2.00
Cable THW N° 22	2	m	S/1.00	S/2.00
Diodo rectificador FR207 LD	4	und	S/0.20	S/0.80
Condensador 3300 uF	1	und	S/0.20	S/0.20
Resistencia de 10 Kohm	1	und	S/0.20	S/0.20
Cinta aislante 810	1	und	S/1.00	S/1.00
Microporoso	0.12	m <sup>2</sup>	S/7.60	S/0.91
Tornillos Fix	20	und	S/0.20	S/4.00
Sub total (1 baldosa)				S/40.15
<b>Total (198 baldosas)</b>				<b>S/7,950.10</b>

Fuente: elaboración propia.

## 4.2 Costos de herramientas e instrumentos

Para la elaboración de las baldosas se utilizó las siguientes herramientas e instrumentos.

**Tabla 10.** Costo de herramientas e instrumentos

<b>Instrumentos / herramientas</b>	<b>Cant.</b>	<b>Und.</b>	<b>P. unitario</b>	<b>P. parcial</b>
Multitester	1	und	S/20.00	S/20.00
Pistola de soldar	2	und	S/8.00	S/16.00
Alicate universal	2	und	S/10.00	S/20.00
Cuchilla cúter	2	und	S/1.00	S/2.00
Destornillador estrella	1	und	S/4.00	S/4.00
Destornillador plano	1	und	S/4.00	S/4.00
<b>Total</b>				<b>S/66.00</b>

Fuente: elaboración propia.

## 4.3 Costos de equipos

Los equipos necesarios para regular, almacenar y alcanzar la máxima demanda de energía eléctrica del sistema de iluminación se detallan a continuación.

**Tabla 11.** Costo de herramientas e instrumentos

<b>Equipos</b>	<b>Cant.</b>	<b>Und.</b>	<b>Precio</b>
Regulador MU ST SOLAR	1	und	S/131.48
Batería ssb AGM	1	und	S/51.60
Inversor UKC	1	und	S/299.00
Conmutador YAMING ELECTRIC	1	und	S/14.25
<b>Total</b>			<b>S/496.33</b>

Fuente: elaboración propia.

#### 4.4 Costos de ensamblaje e instalación del sistema piezoeléctrico

Para la elaboración e instalación de las 198 baldosas se consideró el siguiente personal.

**Técnico electricista:** Encargado de realizar la conexión de los equipos, revisar planos de instalación eléctrica y realizar las pruebas de funcionamiento.

**Oficial electricista:** Encargados de realizar el ensamblaje, conexión eléctrica e instalación de las baldosas.

**Ayudante:** Destinados a apoyar en la preparación de materiales, ensamblaje y en la instalación de las baldosas.

El ensamblaje de las 198 baldosas se proyectó para 3 días con una producción diaria total de 66 baldosas, contando con 2 personas para este cargo (oficial electricista) quienes elaboran 33 baldosas con el apoyo del ayudante.

El montaje, instalación de baldosas, equipos y las pruebas de funcionamiento se proyectó en 2 días contando con todo el personal que suman un total de 5 personas. También se consideró los gastos generales que incluyen pasajes, impresiones, etc. El detalle de los costos se detalla a continuación:

**Tabla 12.** Costo ensamblaje e instalación

Cargo	Cant.	Und.	Honorario por día	Tiempo (días)	Total
Técnico electricista	1	Und	S/50.00	5	S/250.00
Oficial electricista	2	und	S/40.00	5	S/400.00
Ayudante	2	und	S/30.00	5	S/300.00
Gastos generales		gbl			S/50.00
<b>Total</b>					<b>S/1,000.00</b>

Fuente: elaboración propia.

Realizando la suma correspondiente de todos los costos se obtiene un total de **9,512.43** Nuevos Soles.

**INVERSIÓN TOTAL DEL PROYECTO: S/ 9,512.43**

#### 4.5 Ingresos económicos de la investigación

Los ingresos económicos se determinaron en función al ahorro de energía eléctrica por año.

Para ello fue necesario conocer el costo del KWh que establece la empresa concesionaria de energía eléctrica en este caso Electronorte S.A (ENSA), para mayor detalle se revisó el pliego tarifario del servicio público de electricidad de los últimos 5 años.

**Tabla 13.** *Pliegos tarifarios de los últimos 5 años*

<b>Año</b>	<b>Costo promedio del kW-h (Sin IGV)</b>
2015	S/0.7772
2016	S/0.8319
2017	S/0.8315
2018	S/0.8744
2019	S/0.8552

Fuente: OSINERGMIN, pliegos tarifarios aplicables al cliente final

Los pliegos tarifarios mostrados en la tabla 13 corresponden al pliego SER-Chiclayo con tarifa BT5B-Residencial aplicable para usuarios con consumo mayores a 100 KWh por mes, como es el caso de la discoteca TARIMA.

(El pliego tarifario detallado por mes se muestra en el anexo 12).

Analizando la tendencia de variación del costo del KWh en los últimos 5 años, se procedió a realizar la proyección de dicho valor para los próximos 5 años, y de esa manera determinar el incremento o disminución del precio del KWh. Dicha proyección se determinó en el software Excel el cual se detalla a continuación.

**Tabla 14.** *Proyección del pliego tarifario para los próximos 5 años*

<b>Año</b>	<b>Precio promedio del kW-h (Sin IGV)</b>
2021	S/0.9134
2022	S/0.9333
2023	S/0.9531
2024	S/0.9730
2025	S/0.9928

Fuente: elaboración propia.

La proyección realizada en la tabla 14 muestra una tendencia ascendente que se mantiene durante los próximos 5 años, aun cuando del año 2018 al 2019 tenía un comportamiento descendente tal como se ve en la tabla 13.

Conociendo ya el costo del KWh para los próximos años, también fue necesario conocer las horas de funcionamiento de la discoteca, información que se obtuvo mediante la encuesta realizada a la dueña del local, el cual se detalla a continuación:

**Tabla 15.** *Horas de funcionamiento de la discoteca*

<b>Días</b>	<b>Inicio</b>	<b>Fin</b>	<b>Horas por día</b>
Lunes	12: 00 P.m.	2:00 a. m.	14
Martes	12: 00 P.m.	2:00 a. m.	14
Miércoles	12: 00 P.m.	2:00 a. m.	14
Jueves	12: 00 P.m.	2:00 a. m.	14
Viernes	12: 00 P.m.	2:00 a. m.	14
Sábado	12: 00 P.m.	5:00 a.m.	17
Domingo	No atienden		0
<b>Total, horas por semana</b>			<b>87 h</b>
<b>Total, de horas al mes</b>			<b>348 h</b>

Fuente: elaboración propia.

Con los datos obtenidos de la tabla 14 y 15 se estima los ingresos económicos del proyecto, Como se sabe el sistema de baldosas piezoeléctricas produce energía eléctrica suficiente para suministrar a los 0.8 KWh que consume el sistema de iluminación de la discoteca.

Los ingresos económicos del proyecto están dados por el ahorro anual los cuales se muestran a continuación.

**Tabla 16.** *Ingresos económicos del proyecto*

Fórmula		Ahorro = (348 h x 0.8 kWh x 12 meses x s/ kWh)
Año	kW-h (S/.)	Ahorro anual
2021	S/0.9134	S/3,051.64
2022	S/0.9333	S/3,117.95
2023	S/0.9531	S/3,184.26
2024	S/0.9730	S/3,250.56
2025	S/0.9928	S/3,316.87

Fuente: elaboración propia.

#### 4.6 Egresos económicos de la investigación

En los egresos de la investigación se consideraron los **costos de mantenimiento preventivo** por año, en diversas investigaciones realizadas sobre el disco piezoeléctrico PZT, los autores concluyen que el mantenimiento que se requiere es mínimo debido a que presentan una vida útil de 20 años aproximadamente. (Para mayor detalle ver anexo 13).

A continuación, se muestra un cuadro con las principales fuentes de generación de energía eléctrica donde se comparan los costos de mantenimiento y el tiempo de la posible recuperación de la inversión.

**Tabla 17.** *Mantenimiento en las principales fuentes de generación de energía eléctrica*

Factores	Energía eólica	Energía solar	Energía hidráulica	Energía piezoeléctrica
Recuperación de la inversión en años	12 a 30	20 a 30	12 a 15	6 a 12*
<b>Bajo mantenimiento</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>✓</b>

Fuente: Generación de energía con materiales piezoeléctricos (2018).

\*Dependiendo del volumen del tráfico vehicular o peatonal.

Referente al costo de mantenimiento preventivo de la siguiente investigación se consideró el 2% del costo total del sistema piezoeléctrico que incluye materiales, fabricación e instalación. Se consideró este porcentaje tomando como referencia el análisis técnico y económico realizado por Sotelo y Nieto (2018) citados en el marco teórico, en el cual su estudio sobre baldosas piezoeléctricas fue realizado en ambientes internos en una universidad de la ciudad de Bogotá de donde solo captaron energía del tránsito peatonal. De igual modo lo es en esta investigación. Conociendo la inversión total y el porcentaje para el mantenimiento preventivo se estima los egresos del proyecto.

$$\text{EGRESOS DEL PROYECTO} = 9512.43 \text{ soles} \times 2\% = \mathbf{190.25 \text{ soles}}$$

#### 4.7 Proyección de los indicadores VAN y TIR

El Valor Actual Neto (VAN) , es uno de los indicadores financieros que permite determinar, si es factible la realización de una investigación o por el contrario si no es factible. Para que sea factible la investigación el VAN tiene que tener un valor mayor a cero.



Dicho valor es vital para para la investigación y se complementa con otro indicador que es la Tasa Interna de Retorno (TIR) , El cual debe ser mayor a la tasa de interés anual, cuyo valor según su portal web de la Superintendencia de Banca , Seguros y AFP (SBS) es de 12.27%.

Para obtener ambos indicadores es necesario conocer el Flujo Neto Efectivo Proyectado, que es la diferencia entre los ingresos y los egresos de la investigación.

Estos indicadores financieros se determinaron el en software Excel los cuales se detallan a continuación:

**Tabla 18.** *Proyección de los indicadores VAN y TIR*

<b>Periodo (años)</b>	<b>Inversión</b>	<b>Ingresos</b>	<b>Egresos</b>	<b>Flujo neto efectivo</b>
<b>0</b>	S/9,512.43			-S/9,512.43
<b>1</b>		S/3,051.64	S/190.25	S/2861.39
<b>2</b>		S/3,117.95	S/190.25	S/ 2927.70
<b>3</b>		S/3,184.26	S/190.25	S/ 2994.01
<b>4</b>		S/3,250.56	S/190.25	S/ 3060.31
<b>5</b>		S/3,316.87	S/190.25	S/ 3126.62
<b>Tasa de interés anual</b>				12.27%
<b>VAN</b>				<b>S/ 1,153.86</b>
<b>TIR</b>				<b>17%</b>

Fuente: elaboración propia.

Como se puede ver en la tabla 18 los indicadores de VAN y TIR cumplen con los requisitos para considerar viable un proyecto, obteniendo un VAN de S/ 1,153.86 y una TIR DE 17%, con ello se estima que la presente investigación es viable en un periodo de 5 años.

## V. DISCUSIÓN

A pesar de vivir actualmente en una situación de aislamiento social en donde diversos locales de diversión por orden de la autoridad debían permanecer cerrados y no atender al público, se logró formar un equipo que manteniendo por supuesto las condiciones de seguridad en salud, dispuestos por las autoridades, para realizar las actividades programadas para la recolección de datos y análisis del consumo eléctrico del sistema de iluminación de la discoteca TARIMA, obteniendo así mediante una lista de cotejo los equipos que conforman el sistema de iluminación.

También mediante la instalación de un medidor de energía eléctrica se determinó que la energía consumida por el sistema de iluminación es de 0.8 KWh y esta se incrementa cuando los equipos no utilizan la función audiorítmicas que consiste en alumbrar al ritmo de la música y en función al tono del sonido por otro lado mediante la entrevista realizada a la dueña del local se obtuvo que un total de 110 personas entre adolescentes y adultos asisten a la discoteca de las cuales 99 interactúan en la pista de baile.

Dichas actividades fueron muy importantes en el inicio de la investigación ya que, en base al consumo de energía eléctrica registrado por el medidor de energía y al número de personas que interactúan en la pista de baile, es que se seleccionó el disco piezoeléctrico buscando así la forma de cubrir los 0.8 KWh del sistema de iluminación.

Para ello se recurrió a diferentes fuentes como la de Sepúlveda (2014) quien afirma que los discos piezoeléctricos ideales para Energy Harvesting (cosecha de energía) son los de tipo PZT-5A. Es por ello que se selecciona este tipo de piezoeléctricos, dicha elección también se justifica con lo que sostienen Jaramillo, López y Muñoz (2018), quienes en su investigación utilizan discos piezoeléctricos PZT-5A, por sus características físicas de generación de energía, llegando a la conclusión que su prototipo funcionó bajo carga cuasi – estático donde se generó picos de voltajes positivos y negativos formando ondas sinusoidales por lo que fue necesario rectificar dicha tensión con un puente de diodos. Ello es acorde con lo que en esta investigación se desarrolla.

Luego nos encontramos con los inconvenientes para adquirir los elementos piezoeléctricos, debido al confinamiento y cierre de fronteras no se pueden comprar los discos piezoeléctricos de tiendas nacionales mucho menos de tiendas virtuales internacionales, y con ello se nos imposibilitó realizar pruebas experimentales para la obtención de los parámetros eléctricos de los generadores piezoeléctricos, pero ante esta situación con autorización de la escuela profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica se decidió continuar con la obtención de los parámetros eléctricos de manera teórica pero con la rigurosidad que implica la investigación.

Para la obtención de los parámetros eléctricos de manera teórica nos agenciamos de fórmulas definidas por Matthey (2015) quien afirma que cuando se aplica presión a la superficie de un disco piezoeléctrico en la dirección de su espesor se genera un voltaje. Dicha afirmación se apoya con los resultados de autores como Cortés, Ensástiga y Pineda (2010) y Jaramillo, López y Muñoz (2018), quienes sostienen que la capacidad de generación de energía depende básicamente de la calidad del material y del tamaño del disco piezoeléctrico pues áreas pequeñas y de mayor grosor se generan mayores voltajes.

De igual manera Cifuentes (2013) de manera experimental realiza ensayos con discos piezoeléctricos de 10 mm de diámetro efectivo y obtiene picos de voltajes hasta 28.3 voltios en corriente alterna.

En esta investigación tomando como referencia a los autores antes mencionados, se realiza cálculos matemáticos para elementos piezoeléctricos de donde se obtiene 12.66 voltios AC con discos piezoeléctricos de 23 mm de diámetro efectivo y de 0.33 mm de espesor. Con ello se demuestra dicha teoría donde efectivamente en áreas menores y de mayor grosor se obtiene el mayor registro de voltaje.

Por otro lado, Pérez y Velásquez (2016), Cifuentes (2013), Nuñez (2018) y Jaramillo, López y Muñoz (2018), en sus respectivos prototipos utilizan la conexión eléctrica en paralelo, conexión que permite mantener la misma tensión y aumentar la capacidad de la corriente eléctrica, ya que los niveles de corriente eléctrica de los elementos piezoeléctricos son demasiado bajos, por ello en esta investigación se emplea dicha conexión obteniendo así la suma de 19 mA de cada baldosa.

Una vez obtenido los parámetros eléctricos de los discos piezoeléctricos se selecciona el material para la baldosa, el material seleccionado fue el triplay fenólico por su propiedad de resistencia a la flexión, tracción y compresión, propiedad aislante, resistencia a la humedad y sobre todo económico.

A partir de ello en la presente investigación se desarrolla un modelo teórico con dicho material cuyas dimensiones son de 30 x 40 cm y 12 mm de espesor, en su interior contiene 19 discos piezoeléctricos conectados en paralelo, obteniendo una tensión de 11.26 voltios de corriente continua luego de la rectificación accionado por un peso de 65 Kg.

Estos hallazgos guardan relación con lo realizado por Pérez y Velásquez (2016), en su prototipo hecho de material fibracel de 30 x 30 cm de dimensiones y 4mm de espesor donde contiene 52 discos piezoeléctricos conectados en paralelo obtiene una tensión de 11.62 voltios en corriente continua después de la rectificación de voltaje, accionado por una persona de 68 Kg donde solo pisa 7 discos piezoeléctricos.

Como se puede notar el voltaje obtenido de manera teórica (11.26 V CC) en esta investigación es cercano al voltaje obtenido (11.62 V CC) del prototipo de Pérez y Velásquez, en cuanto a la cantidad de discos piezoeléctricos utilizados varía considerablemente tal vez se deba a que su prototipo genera una mayor cantidad de corriente eléctrica el cual no es mencionado en su investigación.

Los resultados obtenidos también concuerdan con Núñez (2018), su prototipo generador que comprende un área de 0.0624 m<sup>2</sup> de material de tabla de melamina el cual contiene 25 discos piezoeléctricos conectados en paralelo y es accionado por un peso promedio de 65 Kg genera una potencia eléctrica de 205.56 mW.

Dichos resultados están acordes con lo calculado en esta investigación donde la baldosa comprende un área de 0.12 m<sup>2</sup> de material de triplay fenólico el cual contiene 19 discos piezoeléctricos conectados en paralelo y es accionado de manera teórica por una persona de 65 Kg obteniendo una potencia eléctrica de 210 mW CC.

Como se puede ver la potencia obtenida de manera teórica en la presente investigación es ligeramente superior a lo obtenido por Núñez, para este caso como

ya se mencionó antes se usó discos piezoeléctricos de 23 mm de diámetro efectivo, en el caso de Núñez no menciona dichas dimensiones del disco utilizado, dicho factor puede hacer la diferencia en el resultado final de las potencias y del total de discos piezoeléctricos utilizados.

Con los parámetros eléctricos obtenidos se confirma la hipótesis en donde se afirma que con el sistema de iluminación mediante baldosas con generadores piezoeléctricos es posible reducir el consumo de energía eléctrica en la discoteca TARIMA.

Por último un resultado notorio que se obtuvo de los parámetros eléctricos es un bajo nivel de corriente eléctrica lo que hace que este sistema de generación de energía sea poco conocido y no utilizado en nuestro país, como fuentes de generación alternativas, dicho resultado es apoyado por Cortes, Ensástiga y Pineda (2010), quienes sostienen que la energía obtenida de las baldosas es ideal para encender pequeñas cargas como lámparas led de bajo consumo eléctrico.

Afirmación aceptada en esta investigación ya que la capacidad de generación de las baldosas está muy por debajo a comparación de otras fuentes de generación de energía, por lo que solo fue posible suministrar al sistema de iluminación led decorativa de la discoteca TARIMA.

## VI. CONCLUSIONES

1. Se realizó el análisis del consumo de energía eléctrica del sistema de iluminación de la pista de baile de la discoteca TARIMA, determinando así que algunos de los dispositivos de iluminación utilizan la función audio-rítmicas (alumbrar al ritmo de la música y en función al tono del sonido), con la aplicación de dicha función se obtiene un menor registro de energía eléctrica siendo este un máximo de 0.8 KWh, pues la simultaneidad de prendido de las luces fue controlado por la música que contenía tonos altos y efectos DJ.
2. Se determinó los parámetros eléctricos de los generadores piezoeléctricos de manera teórica aplicando principios físicos matemáticos, siguiendo la teoría que en discos piezoeléctricos con áreas efectivas menores y de mayor grosor se obtiene el mayor registro de energía. Es por ello que se realizaron dos cálculos con diferentes áreas efectivas de 17 mm y 23 mm respectivamente ambos del mismo grosor de 0.33 mm, los resultados obtenidos fueron 23.15 V AC y 12.66 V AC, siendo el ideal para trabajar la segunda tensión, que al aplicarlo en la baldosa después del proceso de rectificación se obtiene una tensión de 11.26 V CC y 19 mA en un área de 0.12 m<sup>2</sup> que contiene 19 discos piezoeléctricos.
3. Se seleccionaron los componentes de diseño de las baldosas piezoeléctricos mediante el empleo de software Inventor, el material seleccionado para la baldosa fue el triplay fenólico por su alta resistencia mecánica y propiedad aislante, que al someterlo al análisis de tensión (esfuerzos) presenta como resultado un esfuerzo máximo de 1.28 MPa el cual le hace apropiado para este proyecto.
4. Se elaboró la evaluación económica obteniendo un VAN de S/1,153.86 y una TIR de 17%, ambos indicadores arrojan valores aceptables para considerar viable el presente proyecto en un periodo de 5 años.

## VII. RECOMENDACIONES

1. Debido a que la presente investigación se realizó de manera teórica por motivos de la pandemia COVID 19, que trajo consigo el confinamiento y cierre de fronteras nacionales e internacionales, no se pudo acceder a los elementos piezoeléctricos de tiendas virtuales nacionales e internacionales, por ello se recomienda realizar un prototipo y realizar pruebas correspondientes que permitan corroborar los parámetros eléctricos hallados.
2. Ante los bajos parámetros de corriente eléctrica que se obtuvo se recomienda ahondar en electrónica de potencia y así poder incrementar dicho valor.
3. Para prolongar la vida útil de la batería del sistema piezoeléctrico se recomienda utilizar solo hasta el 70% de la energía almacenada.
4. Es importante realizar un plan de mantenimiento preventivo que permita el correcto funcionamiento de las baldosas piezoeléctricas, en la presente investigación se está considerando un presupuesto del 2% del costo total de la inversión.
5. Aplicar la presente investigación en lugares con mayor tránsito peatonal y donde el costo del KWh sea más elevado para que el periodo del proyecto sea menos tiempo y factible.
6. Investigar la forma de lograr que el sistema piezoeléctrico trabaje bajo rango dinámico, con ello ya no sería necesario rectificar los valores obtenidos y se ahorraría en los elementos de rectificación y no habría pérdidas de energía al realizar este proceso.
7. Se recomienda implementar un circuito que permita realizar el cambio de fuente de energía de forma automática cuando el indicador del regulador indique que las baterías del sistema piezoeléctrico estén cargadas al 100%, y que realice la operación contraria cuando las baterías estén por encima del 70 % de su uso.

## REFERENCIAS

ARÉVALO, LAURA Y LAMPREA, DARWIN. Diagnóstico para la implementación de baldosas piezoeléctricas como alternativa de energía renovable en la Universidad Tomás Villavicencio campus Aguas Claras. Tesis (Ingeniero Ambiental). Villavicencio: Universidad Santo Tomás, Facultad de Ingeniería Ambiental, 2019. Disponible en

en <https://www.google.com.pe/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/18494/2019lauraarevalo.pdf%3Fsequence%3D6%26isAllowed%3Dy&ved=2ahUKEwidj8LWYPPsAhXBIrkGHb79BKgQFjAAegQIBAC&usq=AOvVaw25IS1MtDeqJMkdZBdH3uMr&cshid=1604859864967>

ACTUADORES piezoeléctricos [Mensaje en un blog]. México: Cúpich y Elizondo, F., (enero - marzo de 2000). [Fecha de consulta: 05 de abril de 2020]. Recuperado de <http://eprints.uanl.mx/10005/>

AUTODESK Knowledge Network. Autodesk Help. 13 de febrero de 2014. Disponible en: <https://knowledge.autodesk.com/es/support/inventor-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2014/ESP/Inventor/files/GUID-C787792D-BBB1-41A7-BBD7-CBCABCBE7C01-htm.html>

A NOVEL approach to recycle energy using piezoelectric crystals [Mensaje en un blog]. India: Arjun, [et al.], F., (diciembre de 2011). [Fecha de consulta: 04 de abril de 2020]. Recuperado de <http://www.ijesd.org/show-34-549-1.html>

BARRERA, ANDRÉS Y MANTILLA, MARLON. Caracterización de parámetros eléctricos de los piezoeléctricos PZT y PVDF utilizados en el mercado colombiano. Trabajo de Grado (Tecnólogo en Electricidad). Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad de Tecnológica, 2017. Disponible en <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/6925/1/MantillaCasta%C3%B1edaMarlonGiovany2017.pdf>

BOLAÑOS, JOEL. Diseño, construcción y puesta en operación del prototipo: sistema de suministro de energía por paneles piezoeléctricos en las instalaciones de la facultad de Ingeniería, USAC. Trabajo de Graduación (Ingeniero Mecánico Electricista). Guatemala: Universidad San Carlos de Guatemala, Facultad de



Ingeniería, 2016. Disponible en <https://es.scribd.com/document/392387243/Joel-Abraham-Bolanos-Martinez>

CERÁMICAS piezoeléctricas: funcionamiento y propiedades [Mensaje en un blog]. Sao Carlos: Alves, F., (1 de marzo de 2010). [Fecha de consulta: 03 de abril de 2020]. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/395989141/RT-ATCP-01-ES-pdf>

CIFUENTES, JORGE. Baldosa piezoeléctrica para alimentar sistema de iluminación de bajo consumo energético. Trabajo de Grado (Ingeniero Mecatrónico). Antioquia: Escuela de Ingeniería de Antioquia, Facultad de Ingeniería Mecatrónica, 2013. Disponible en <https://repository.eia.edu.co/handle/11190/730>

CONCHA, PABLO Y ZAMALLOA, RODRIGO. Proyecto de viabilidad para implementar un sistema de generación de energía renovable en las estaciones de la línea 1 del tren eléctrico de lima. Tesis (Ingeniero Industrial). Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Facultad de Ingeniería, 2017. Disponible en [https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/623982/Concha\\_RP.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/623982/Concha_RP.pdf?sequence=4&isAllowed=y)

CORTÉS, ADRIANA, ENSAZTIGA, ERICK Y PINEDA, MARCO. Propuesta de diseño de un piso generador de energía eléctrica. Tesis (Ingeniero Electricista). México: Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica Eléctrica, 2010. Disponible en <https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/18605>

CHILPA, EDUARDO Y CHONG, MEILING. Diseño sostenible para la eficiencia energética de iluminación utilizando efecto piezoeléctrico en los bloques FIIC de la ULVR. Trabajo de Investigación (Arquitecto). Guayaquil: Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción 2019. Disponible en <http://repositorio.ulvr.edu.ec/bitstream/44000/3058/1/T-ULVR-2699.pdf>

DUARTE, EZEQUIEL Y FISCHER, ANDRÉS. Generación de energía con materiales piezoeléctricos. Proyecto Trabajo Final (Ingeniero Electricista). Buenos Aires: Universidad Nacional de Mar Del Plata, Facultad de Ingeniería, 2018. Disponible en <http://rinfi.fi.mdp.edu.ar/handle/123456789/315>

ELECTRICAL power generation characteristics of piezoelectric generator under quasi-static and dynamic stress conditions [Mensaje en un blog]. Tailandia: Keawboochuay y Engel, F., (10 de octubre de 2003). [Fecha de consulta: 06 de abril de 2020]. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/279462746/Pie-Zo-Power-Gen>

FEASIBILITY Study for Using Piezoelectric Energy Harvesting Floor in Buildings Interior Spaces [Mensaje en un blog]. España: Mohamed, [et al.], F., (03 de febrero de 2017). [Fecha de consulta: 07 de abril de 2020]. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/318048482\\_Feasibility\\_Study\\_for\\_Using\\_Piezoelectric\\_Energy\\_Harvesting\\_Floor\\_in\\_Buildings'\\_Interior\\_Spaces](https://www.researchgate.net/publication/318048482_Feasibility_Study_for_Using_Piezoelectric_Energy_Harvesting_Floor_in_Buildings'_Interior_Spaces)

GONZALES, FRANCIA Y SANTIAGO, JOSÉ. Generación de energía utilizando el efecto piezoeléctrico. Tesis (Ingeniero Mecatrónico). México: Universidad Nacional Autónoma De México, Facultad de Ingeniería, 2015. Disponible en <http://132.248.52.100:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/9475/Tesis.pdf?sequence=1>

GÓMEZ, ÁLVARO. Diseño de un Sistema de energy harvesting basado en piezoeléctricos. Trabajo Fin de Grado (Tecnólogo en Telecomunicación). Alcalá: Universidad de Alcalá: Escuela Politécnica Superior, Facultad de Ingeniería, 2018. Disponible en [https://ebuah.uah.es/dspace/bitstream/handle/10017/33621/TFG\\_Gomez\\_Molina\\_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://ebuah.uah.es/dspace/bitstream/handle/10017/33621/TFG_Gomez_Molina_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

HERNÁNDEZ, ROBERTO. Metodología de la Investigación Científica [en línea]. 6.<sup>a</sup> ed. México: Interamericana editores S.A. de C.V., 2014 [fecha de consulta: 06 de abril de 2020].

Disponible en: [https://www.academia.edu/33689831/Metodolog%C3%ADa\\_de\\_la\\_investigaci%C3%B3n\\_McGraw\\_Hill\\_2014](https://www.academia.edu/33689831/Metodolog%C3%ADa_de_la_investigaci%C3%B3n_McGraw_Hill_2014)

ISBN: 978-1-4562-2396-0

MORENO, JORGE Y SERNAQUÉ, JOSÉ. Diseño de baldosas con generadores piezoeléctricos para la iluminación del pórtico de la universidad señor de Sipán. Tesis (Ingeniero Mecánico Electricista). Pimentel: Universidad Señor de Sipán,

Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Urbanismo, 2015. Disponible en <http://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/uss/308/Moreno%20Rodr%C3%ADquez%20-%20Sernagu%C3%A9.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

MORRAS, LUCÍA. Pisadas que no dejan huella. Trabajo de Fin de Grado (Arquitecto). Viña del Mar: Universidad Politécnica de Madrid, Facultad de Ingeniería, 2019. Disponible en <http://biblio3.url.edu.gt/publiircifuentes/TESIS/2018/07/03/Tzunux-Harlyn.pdf>

NUÑEZ, MIGUEL. Aprovechamiento de la tecnología piezoeléctrica para la generación de energía eléctrica en la pista de baile de la discoteca La Cayet – Distrito de Soritor Departamento de San Martín. Tesis (Ingeniero Mecánico Electricista). Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Facultad de Ingeniería y Eléctrica, 2018. Disponible en <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/UNPRG/2174>

ÑAUPAS, HUMBERTO, [et al.]. Metodología de la investigación cuantitativa – cualitativa y redacción de tesis [en línea]. 4.ª ed. Colombia: Ediciones de la U., 2014 [fecha de consulta: 08 de abril de 2020].

Disponible en: <https://fdiazca.files.wordpress.com/2020/06/046.-mastertesis-metodologicc81a-de-la-investigaciocc81n-cuantitativa-cualitativa-y-redacciocc81n-de-la-tesis-4ed-humberto-ncc83aupas-paitacc81n-2014.pdf>

ISBN: 978-958-762-188-4

OSINERGMIN. Electronorte. 22 de junio de 2020. Disponible en: <https://www.osinergmin.gob.pe/Tarifas/Electricidad/PliegosTarifariosUsuarioFinal.aspx?Id=140000>

OJEDA, ESTEBAN. Diseño de instalación de baldosas piezoeléctricas para iluminar multicancha en la sede viña del mar. Trabajo de Titulación (Ingeniero en Proyecto y Diseño Mecánico). Viña del Mar: Universidad Técnica Federico Santa María, Facultad de Ingeniería, 2019. Disponible en <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/48052/3560901064652UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

PIEZOPRODUCTS. Johnson Matthey. 08 de octubre de 2015. Disponible en: <https://www.piezoproducts.com/technology/piezoelectric-effect/>

PÉREZ, ERICK Y VELÁSQUEZ, SALVADOR. Diseño e implementación de un generador piezoeléctrico baldosa, para alimentar un sistema de iluminación de baja potencia. Tesis (Ingeniero Electricista). México: Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior De Ingeniería Mecánica Eléctrica, 2016. Disponible en <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/21498/1/Dise%C3%B1o%20en%20implementaci%C3%B3n%20de%20un%20generador%20piezoel%C3%A9ctrico%20baldosa%2C%20para%20alimentar%20un%20sistema%20de%20iluminaci%C3%B3n%20de%20baja%20potencia.pdf>

PALOMINO, KENNY. Prototipo generador de energía eléctrica por el uso de una bicicleta elíptica para la iluminación de un ambiente de deporte. Informe de Suficiencia Profesional (Ingeniero Electrónico). Lima: Universidad Tecnológica del Perú, Facultad de Ingeniería de Sistemas y Electrónica, 2016. Disponible en <http://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/UTP/237/6/0710085.pdf>

PRENDES, MARCOS. Generación de energía mediante piezoeléctricos en vías ferroviarias. Proyecto de fin de Grado (Ingeniero Mecánico). Madrid: Universidad Carlos III de Madrid, Facultad de Ingeniería, 2016. Disponible en [https://earchivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/24108/TFG\\_Marcos\\_Prendes\\_Hurtado\\_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://earchivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/24108/TFG_Marcos_Prendes_Hurtado_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

RPP. Vital Salud. 20 de mayo de 2018. Disponible en: <https://rpp.pe/vital/salud/los-peruanos-tienen-la-talla-mas-baja-del-mundo-segun-estudio-de-harvard-noticia-1123978>

RÍOS, FRANCISCO Y FERNÁNDEZ, PABLO. Factibilidad técnica y económica de implementar un sistema Energy Harvesting con generadores piezoeléctricos, en una zona de alto tráfico vehicular de la ciudad de Cali. Trabajo de Grado (Ingeniero Industrial). Santiago de Cali: Pontificia Universidad Javeriana Cali, Facultad de Ingeniería, 2016. Disponible en [http://vitela.javerianacali.edu.co/bitstream/handle/11522/8763/Factibilidad\\_tecnica\\_economica.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://vitela.javerianacali.edu.co/bitstream/handle/11522/8763/Factibilidad_tecnica_economica.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

SEPÚLVEDA, ESTEBAN. Diseño de un Colector de Energía Piezoeléctrico (Energy Harvesting) Mediante Optimización Topológica que Maximice la Transformación de Energía Mecánica en Eléctrica Generada por un Ser Humano al Caminar. Tesis

(Magister en Ingeniería Mecánica). Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas, Departamento de Ingeniería Mecánica, 2014. Disponible en <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/52878/1128267719.2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

SOTELO, RODRIGO Y NIETO, EDWIN. Análisis técnico y económico del potencial de generación eléctrica a través de dispositivos piezoeléctricos. Monografía (Ingeniero Eléctrico). Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad Tecnológica, Departamento de Ingeniería Mecánica, 2018. Disponible en <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/15578?locale=es>

SUPERINTENDENCIA de Banca, Seguros y AFP. Tasas de interés activas de mercado. 25 de junio de 2020. Disponible en: <https://www.sbs.gob.pe/app/pp/EstadisticasSAEEPortal/Paginas/TIActivaMercado.aspx?tip=B>

TENA, JOSÉ. Sistema de carga y arranque [en línea]. 3.<sup>a</sup> ed. España: Ediciones Paraninfo, SA., 2017 [fecha de consulta: 29 de mayo de 2020].

Disponible en: [https://books.google.com.pe/books?id=zFEsDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=sistema+de+carga+y+arranque+tena+sanchez+jose+guillermo&hl=es&sa=X&ved=2ahUKewjo\\_sXijPfsAhXsJ7kGHSJBABUQ6AEwAHoECAQQAq#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=zFEsDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=sistema+de+carga+y+arranque+tena+sanchez+jose+guillermo&hl=es&sa=X&ved=2ahUKewjo_sXijPfsAhXsJ7kGHSJBABUQ6AEwAHoECAQQAq#v=onepage&q&f=false)

ISBN: 978-84-283-3512-6

TAMAYO, DIEGO Y CARDOZO, NATALIA. El uso de piezoeléctricos para la generación de energía sostenible como proyecto piloto en un perfil vial de Bogotá. Trabajo de Grado (Ingeniero Civil). Bogotá: Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería, 2017. Disponible en <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14488/1/Proyecto%20de%20grado%20piezoelctricos%20en%20perfil%20vial%20piloto%20en%20Bogot%C3%A1.pdf>

TENA, KEVIN. Implementación de sensores piezoeléctricos para la generación eléctrica bajo calzada: aplicaciones en el Aeropuerto de Barcelona. Trabajo de grado (Ingeniería de Aeropuertos). Barcelona: Universidad Politécnica de

Catalunya, Facultad de Ingeniería, 2017. Disponible en <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/107254/memoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ZAPATA, DANIEL Y BUSTAMANTE, GERALDINE. Análisis de viabilidad para desarrollo de prototipo de acera que produce electricidad. Proyecto (Ingeniero Industrial). Medellín: Universidad de San Buenaventura, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Mecánica, 2012. Disponible en [https://handbook.usfx.bo/nueva/vicerrectorado/citas/TECNOLOGICAS\\_20/Electricidad/22.pdf](https://handbook.usfx.bo/nueva/vicerrectorado/citas/TECNOLOGICAS_20/Electricidad/22.pdf)

## ANEXOS

### Anexo N° 01: MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
<b>Variable independiente</b>  <b>Generadores piezoeléctricos</b>	Piezoeléctrico: características de algunos materiales cerámicos que tienden a generar pequeña energía eléctrica al ser deformados. (Bolaños, 2016, p. 10)	De los generadores piezoeléctricos se obtienen parámetros eléctricos al ser accionados por las personas al bailar.	Parámetros eléctricos de los discos	Voltaje	Razón
			piezoeléctricos	Corriente	Razón
			Presión aplicable sobre las baldosas	Potencia	Razón
				Peso de las personas	Razón
				Tamaño de la baldosa	Razón
<b>Variable dependiente</b>  <b>Consumo de energía eléctrica</b>	El consumo de energía eléctrica se mide a través de la potencia en un determinado tiempo.	Analizar el consumo de energía de la discoteca para poder sustituirla por la energía generada por las baldosas piezoeléctricas.	Horas de funcionamiento de la discoteca.	Energía eléctrica	Razón
Costo de facturación mensual en el sistema de iluminación				Razón	

Fuente: elaboración propia.

## **Anexo N° 02**

### **INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

#### **ENTREVISTA N° 01**

**TESIS:** Sistema de iluminación mediante baldosas con generadores piezoeléctricos para reducir el consumo de energía eléctrica en la discoteca tarima – Chiclayo

**TESISTA:** Manayay flores Marck Antony

**INSTRUCCIONES:** Responda las siguientes preguntas de forma detallada.

1. Datos personales del entrevistado y cargo.
2. ¿Qué días funciona la discoteca?
3. ¿Cuáles son los días de mayor concurrencia de personas a su local?
4. ¿Cuántas horas funciona la discoteca por día?
5. ¿Cuál es su consumo eléctrico en iluminación de su local?
6. ¿Estaría dispuesta a invertir para generar su propia energía eléctrica para la iluminación de su local?





## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS

### FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

**Instrumento:** Entrevista

#### DATOS GENERALES DEL EXPERTO

**APELLIDOS Y NOMBRES:** .....

**PROFESIÓN:** .....

**ACTIVIDAD LABORAL ACTUAL:** .....

Estimado (a) experto (a), el instrumento a validar es una **entrevista**, objeto de estudio por favor le pedimos responda las siguientes preguntas:

a) Considera pertinente la aplicación de esta **entrevista**, para los fines establecidos en esta investigación.

Es pertinente  Poco pertinente  No es pertinente

-----  
-----

b) Considera que el formato es adecuado para la recolección de datos.

Es adecuado  Poco adecuado  No es adecuado

-----  
-----

## FICHA DE INVENTARIO DE EQUIPOS

SISTEMA DE ILUMINACIÓN DE LA DISCOTECA TARIMA				
ÍTEM	TIPO DE LUMINARIA	CANTIDAD	AUDIORÍTMICAS	POTENCIA (W)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				



## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS

### FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

**Instrumento:** Lista de cotejo

#### DATOS GENERALES DEL EXPERTO

**APELLIDOS Y NOMBRES:** .....

**PROFESIÓN:** .....

**ACTIVIDAD LABORAL ACTUAL:** .....

Estimado (a) experto (a), el instrumento a validar es una **lista de cotejo**, objeto de estudio por favor le pedimos responda las siguientes preguntas:

a) Considera pertinente la aplicación de esta **lista de cotejo**, para los fines establecidos en esta investigación.

Es pertinente  Poco pertinente  No es pertinente

-----  
-----

b) Considera que el formato es adecuado para la recolección de datos.

Es adecuado  Poco adecuado  No es adecuado

-----  
-----

# Anexo N° 03: CERTIFICADO DE VERIFICACIÓN INICIAL DEL MEDIDOR DE ENERGÍA ELÉCTRICA N°2018052344

**CLOU SHENZHEN**  
CLOU ELECTRONICS CO., LTD.

UNIDAD DE VERIFICACIÓN METROLÓGICA  
AUTORIZADA POR INACAL - DM  
N° DE REGISTRO: UVM 014



CERTIFICADO DE VERIFICACIÓN INICIAL N° 2018052344

## 1. Datos del Instrumento:

Marca	CLOU	Tensión de referencia ( $V_n$ )	220V
Modelo	DDS720	Corriente de base ( $I_b$ )	5A
Número de serie	2018052344	Corriente máxima ( $I_{max}$ )	60A
Fabricante	Shenzhen Clou Electronics Co.,Ltd.	Frecuencia de referencia	60Hz
Procedencia	China	Constante	1600imp/kWh
Año de fabricación	2018	Clase	1
Normas de Aprobación de Modelo	IEC 62052-11 IEC62053-21	Clase de protección	II
Certificado de Homologación(*)	INACAL - DM/HLE-013-2017	Número de hilos	2
Visualizador	LCD	Fases	Monofásico

(\*) Emitido por la Dirección de Metrología del INACAL

## 2. Resultados:

Ensayos realizados de acuerdo a la NMP 021:2015 (Ref. IEC 62058-31); Temperatura: 23 °C

Inspección visual	Tensión en c.a.	Vacío	Arranque
CONFORME	CONFORME	CONFORME	CONFORME

Corriente	0,05 $I_b$	$I_b$	$I_{max}$
f.p. ( $\cos \phi$ )	1	1	0,5ind.
Error (%)	-0.117	0.141	-0.021
Lím. Error (%)	(±1,5%)	(±1,0%)	(±1,0%)
Verificación del registro	CONFORME		

f.p. = factor de potencia

Fecha de verificación: 2018-01-20

## 3. Trazabilidad:

Equipo de ensayo de medidores de energía eléctrica marca Clou, modelo CL10005D-24, número de serie 03210, y clase de exactitud 0.05; con certificado de calibración DBN201700349 emitido por South China National Center of Metrology Guangdong Institute of Metrology, el día 24 de julio del 2017

Equipo de ensayo con tensión alterna marca Clou, modelo CL481B, número de serie 2014058, y clase de precisión 5.0; con certificado de calibración 173504148 emitido por Shenzhen Academy of Metrology Quality Inspection National Hi-tech Metrology Station, el día 06 de diciembre del 2017.

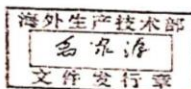
## 4. Conclusiones:

El medidor verificado cumple con los requisitos establecidos en la NMP 021:2015 (Ref. IEC 62058-31)

## 5. Observaciones:

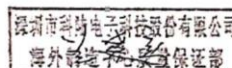
El certificado de aprobación de modelo es CPA 2016E265-44

## 6. Lugar y fecha de emisión: Shenzhen, 24 de enero del 2018



Yu Jiayuan

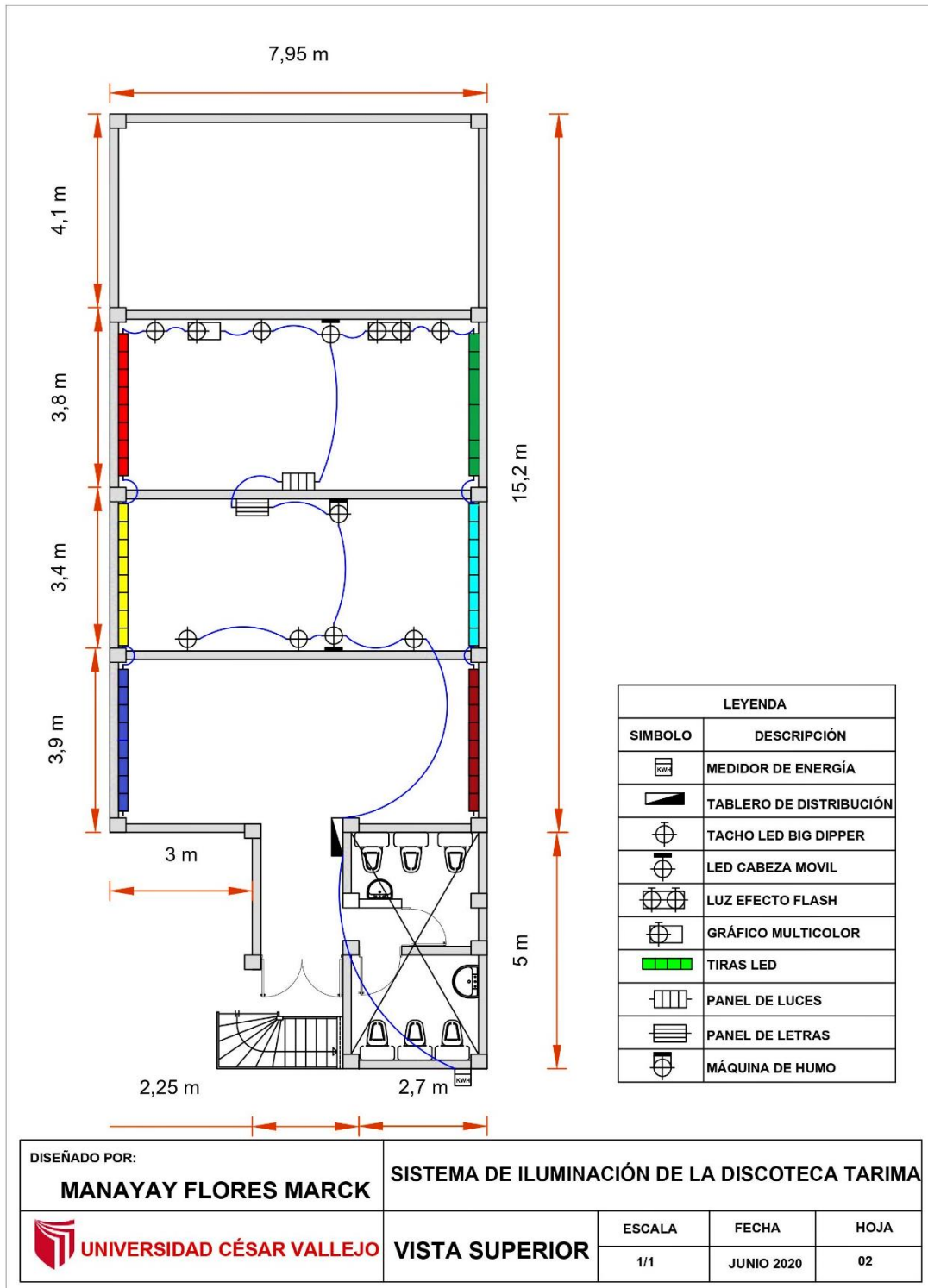
Director del Departamento de Producción  
responsable de los ensayos







Lan Jianyong

Director del Departamento de Control  
de Calidad

## Anexo N° 04: SISTEMA DE ILUMINACIÓN DE LA DISCOTECA TARIMA



## Anexo N° 05: REGISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

HORAS	ENERGÍA REGISTRADA	DIFERENCIA DE ENERGÍA EN (KWh)
<p><b>HORA 1 (8:00 AM)</b></p>	 <p>The image shows a smart meter with a digital display showing 1.0 kWh. The meter is labeled 'Medidor Electrónico Monofásico' and 'Modelo: DDS720'. It includes technical specifications such as 220V, 5(6)A, 60Hz, Class 1, and IP54. The meter is manufactured by Shenzhen Clou Electronics Co., Ltd. with a serial number 2018052344.</p>	<p><b>1.0 KWh</b></p>
<p><b>HORA 2 (9:00 AM)</b></p>	 <p>The image shows the same smart meter with a digital display showing 1.7 kWh. The meter is labeled 'Medidor Electrónico Monofásico' and 'Modelo: DDS720'. It includes technical specifications such as 220V, 5(6)A, 60Hz, Class 1, and IP54. The meter is manufactured by Shenzhen Clou Electronics Co., Ltd. with a serial number 2018052344.</p>	<p><b>0.7 KWh</b></p>
<p><b>HORA 3 (10:00 AM)</b></p>	 <p>The image shows the same smart meter with a digital display showing 2.5 kWh. The meter is labeled 'Medidor Electrónico Monofásico' and 'Modelo: DDS720'. It includes technical specifications such as 220V, 5(6)A, 60Hz, Class 1, and IP54. The meter is manufactured by Shenzhen Clou Electronics Co., Ltd. with a serial number 2018052344.</p>	<p><b>0.8 KWh</b></p>
<p><b>HORA 4 (11:00 AM)</b></p>	 <p>The image shows the same smart meter with a digital display showing 3.3 kWh. The meter is labeled 'Medidor Electrónico Monofásico' and 'Modelo: DDS720'. It includes technical specifications such as 220V, 5(6)A, 60Hz, Class 1, and IP54. The meter is manufactured by Shenzhen Clou Electronics Co., Ltd. with a serial number 2018052344.</p>	<p><b>0.8 KWh</b></p>

# Anexo N° 06: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL REGULADOR DE CARGA



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.

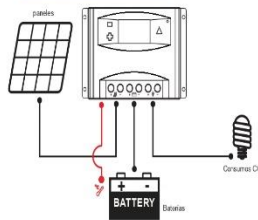
### LCD Información Display



1. Terminal positivo fotovoltaico
2. Terminal negativo fotovoltaico
3. Terminal carga CC positivo
4. Terminal carga CC negativo
5. Pantalla LCD

Nº	Posición	Función
5	Corta	Seguiente visualización: Incremento mientras está en ajustes
6	Carga (25 s)	Incremento continuo mientras está en ajustes
6	Carga	Visualización previa: Disminuye mientras está en ajustes
7	Corta	Interruptor consumo CC: Enter configuración / guardar
7	Carga (25 s)	Enter/Back menú secundario

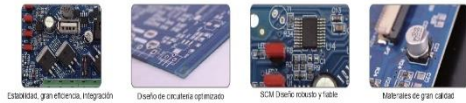
### Conexión al sistema solar:



### Funciones:



### Detalles internos



ESD/ESSE, gran eficiencia, HotSpot

Diseño de carcasa optimizado

SCM Onvick rotado y vibrado

hombros de gran calidad

### PC1500B SERIES Controladores



Modelos: PC1500B-10 y 20A



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



Modelos: PC1500B-50D / 50A4D

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



Modelos: PC1500B-60D / 60A4D

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

### Aplicación



Sistemas portátiles, embarcaciones, S/nuevo

Asiada sistemas solar casero

Granja solar de generación

		Modelo				
		PC1500B-10-20	PC1500B-30-40	PC1500B-50-60	PC1500B-60-80	
Entrada	Voltaje FV	≤50V				
	Intensidad nominal	10A 20A	30A 40A	50A 60A	60A 80A	
	Voltaje sistema	12/24V Auto				
	Desconexión por alto voltaje	16.00V x 1 x 2 x 3 x 4 (1.0.5V)				
	Intensidad descarga nominal	10A 20A	30A 40A	50A 60A	60A 80A	
	Autoconsumo	≤10mA				
	Caida de tensión circuito carga	≤1.24V				
	Caida de tensión circuito descarga	≤1.10V				
	Salida	Modo de carga	PWM 4-etapas carga, absorción, flotación, equalización			
		Voltage Carga Protección	13.6V (13A-15V) x 1 x 2 x 3 x 4			
Voltage Carga Absorción		14.6V (13A-15V) x 1 x 2 x 3 x 4				
Voltage Carga Equalización		14.6V (13V-15.5V) x 1 x 2 x 3 x 4				
Protección Bajo Voltaje		10.7V (10A-14V) x 1 x 2 x 3 x 4				
Reconexión Bajo Voltaje		12.5V (10A-14V) x 1 x 2 x 3 x 4				
Salida USB		5V, 1Ax2		No tiene		
Sección cableado		≤16mm <sup>2</sup>	≤16mm <sup>2</sup>	≤16mm <sup>2</sup>	≤16mm <sup>2</sup>	
Temperatura trabajo		-20°O-55°C				
Características físicas		Tamaño (L x W x H)	188 x 95 x 45.5mm		196 x 111 x 54mm	
	Peso neto	350g		407g		

# Anexo N° 07: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA BATERÍA



Sunbright Power Co.,LTD.

## 6-FM-7Ah Valve-regulated Lead Acid Battery Specification

We are an ISO9001 certified organization. And the products are approved by CE & UL. The nominal voltage of this series is 12V and 6V. And the capacity ranges from 1.2Ah to 24Ah. Their typical applications include: emergency lighting systems, electricity power supply systems, communication systems, UPS systems, starting systems, solar systems etc.

Battery Construction		Material	General Features
Component		Lead dioxide	Maintenance free
Positive plate		Lead	Convenient for installation
Negative plate		ABS	Safety and no leakage
Container		Rubber	Excellent recharge and discharge performance
Cover		Copper	Low self-discharge rate, charge each standby 6 months, temperature 25°C
Safety valve		AGM glass	Adapt to high or low temperature
Terminal		Sulfuric acid	Good deep discharge performance
Separator			Longer cycle life
Electrolyte			UL approval

Performance Characteristics		5. Charge Method: constant-voltage charging at 25°C (77° F)	
<b>1. Dimension and weight</b>		Cyclic use	14.4~14.9V
Length	151mm	Maximum charging current	2.1A
Width	65mm	Temperature Compensation	-30mV/°C
Height	94mm	Float Use	13.6~13.8V
Total Height	98mm	Temperature Compensation	-20mV/°C
Reference Weight	2.2kg	<b>6. Environment Temperature Requirements</b>	
<b>2. Functional Parameter</b>		Discharge Temperature	-15~50°C
Rated Voltage	12V	Charge Temperature	0~40°C
Numbers of cells	6 Cells	Storage Temperature	-15~40°C
Designed Life	3~5 Years	<b>7. Inner Resistance &amp; Max. Discharge Current</b>	
<b>3. Rated Capacity at 25°C (77° F)</b>		A fully charged battery at 25°C (77° F)	28mΩ
20 hr rate (0.05C, 10.8V)	7Ah	Max. Discharge Current	105A (5s)
5 hr rate (0.165C, 10.8V)	5.8Ah	Short Circuit Current	350A
1 hr rate (0.55C, 10.5V)	4.13Ah	<b>8. Self-discharge</b>	
<b>4. Capacity affected by Temperature (20hour rate)</b>		3% Of the capacity per month at 25°C (77° F)	
40 °C (104° F)	103%	Capacity after 3 month storage	91%
25 °C (77° F)	100%	Capacity after 6 month storage	82%
0 °C (32° F)	85%	Capacity after 12 month storage	64%
-15°C (5° F)	65%		

Dimensions (mm)	3D Model Review

Constant-current discharge parameter Unit: A (25°C)

F.V/Time	5min	10min	15min	20min	30min	45min	1h	3h	5h	10h	20h
1.80V/cell	17.90	13.10	10.20	8.67	6.69	4.86	3.94	1.75	1.16	0.65	0.350
1.75V/cell	20.20	14.40	11.20	9.32	6.94	5.04	4.13	1.79	1.19	0.67	0.354
1.70V/cell	22.20	15.70	11.90	9.80	7.23	5.24	4.26	1.83	1.22	0.68	0.360
1.65V/cell	24.50	16.90	12.70	10.40	7.63	5.37	4.35	1.91	1.25	0.70	0.365
1.60V/cell	27.00	18.40	13.60	11.10	8.05	5.60	4.40	1.97	1.30	0.70	0.367

Constant-current discharge parameter Unit: W (25°C)

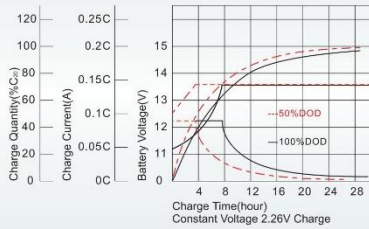
F.V/Time	5min	10min	15min	20min	30min	45min	1h	3h	5h	10h	20h
1.80V/cell	32.40	23.90	18.90	16.10	12.60	9.26	7.57	3.40	2.26	1.29	0.692
1.75V/cell	35.70	25.80	20.30	17.20	12.90	9.52	7.88	3.45	2.31	1.32	0.698
1.70V/cell	38.20	27.50	21.40	17.90	13.40	9.86	8.10	3.54	2.37	1.35	0.710
1.65V/cell	41.60	29.40	22.60	18.90	14.00	10.00	8.23	3.67	2.43	1.37	0.719
1.60V/cell	44.80	31.20	23.80	19.90	14.70	10.40	8.26	3.76	2.50	1.38	0.722

EDITION 2014

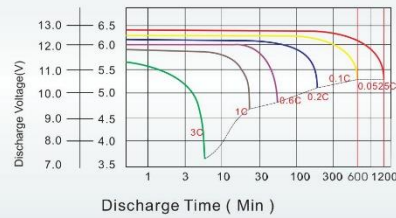


**6-FM-7Ah Valve-regulated Lead Acid Battery Specification**

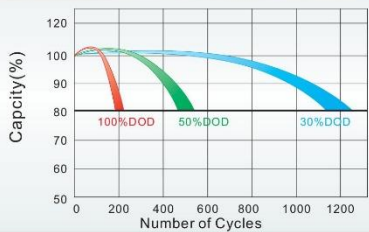
Charge Characteristics for Float Use @ 25°C/77°F



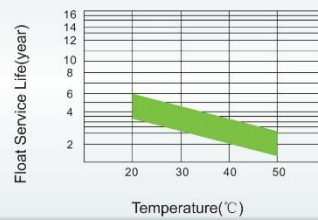
Discharge Characteristics at Various Rates @ 25°C/77°F



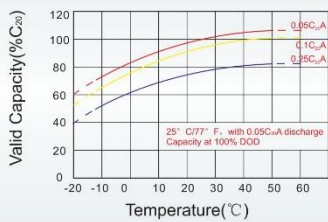
Cycle Life in Relation to Depth of Discharge



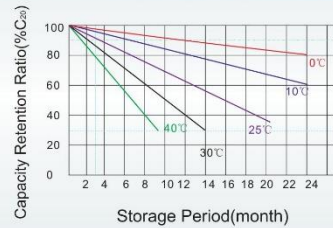
Float Service Life



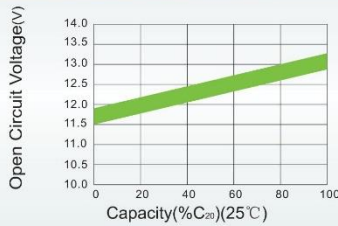
Temperature and Valid Capacity



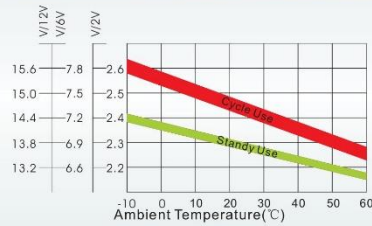
Self Discharge Characteristics



Capacity and Open Circuit Voltage




Relationship between Charging Voltage and Temperature




EDITION 2014

# Anexo N° 08: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL INVERSOR DE CORRIENTE



CONTÁCTANOS CÁMARAS RETROCESO, ESPEJOS, DVR RELOJES AROS TAZAS AROMATIZADORES POLOS CUADROS PARED CUBIERTAS PLACAS LU



### Inversor De Corriente Bateria 12v a 220v 1000 Watts

S/. 299.00

CANTIDAD

AGREGAR AL CARRITO

Transformador para Elevar la Corriente de la batería de tu auto o camioneta de 12V DC a 220V AC como si estuvieses en tu casa y de esa manera poder usar artefactos como computadoras, laptops, televisores, refrigeradoras, equipos de sonido, taladros, amoladoras, luces led, etc

- Marca: UKC
- Eficiencia de conversión:0.6
- Voltaje de entrada: DC 12V
- Frecuencia de salida: 50Hz - 60Hz
- Voltaje de salida: AC 220V±10%
- Potencia nominat: 1000W
- Máxima Potencia: 1000W

1 AÑO DE GARANTÍA

Si, transforma la corriente de 12v a 220v.  
Estas son las características.

UKC AC 1000 W de Onda Sinusoidal Modificada Inversor de la Energía Solar Cargador USB Adaptador de Corriente para Automóvil Inversor Convertidor de 12 V a 220 V 50 HZ

**Características:**  
100% nuevo y de alta calidad  
Tensión de salida: 220 V (+-) 10%  
Frecuebcy salida: 50 hz (+-) 2  
Forma de Onda de salida: Onda Sinusoidal Modificada  
Potencia nominat: 1000 W  
Rango de Tensión de entrada: 12 V  
Descarga de la batería Con La Carga de CA (En 12 V de Entrada)  
Eficacia máxima: el 75%  
Certificación de producto: CCC  
puede convertir DC 12 V en CORRIENTE ALTERNA de 220 V de salida  
Protección de bajo voltaje de cierre.  
Protección de sobrecarga, protección contra el sobrecalentamiento.  
alarma de batería baja, alta batería baja/apagado.  
la tecnología avanzada de chip, alta eficiencia de conversión.  
sistema de ventilador de refrigeración inteligente, CPU microprocesador para darse cuenta de protección múltiple.  
proteger los circuitos eléctricos y de automación en uso.  
caja de la Aleación de aluminio, antioxidante, robusto y duradero.  
un conector universal, disponible en muchos países  
puede trabajar bajo la circunstancia de sonido ultrasónico

**Aplicación:**  
Bomba de Agua y el refrigerador, de Alta potencia de cocina eléctrica, de Bajo potencia de cocina de inducción, hornos de Microondas

tamaño: 22 cm x 11 cm x 5.5 cm  
peso: 1 kg

**Método de Uso:**

## Anexo N° 09: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL INTERRUPTOR CONMUTADOR



### La descripción de los productos

**Nombre:** Interruptor de cambio HZ5B-10/2 (10A, 2 fases)

**Voltaje máximo:** 380 V

**Max:** 10A

**Número de posición:** 3 posiciones

**De la Fase 2:**

**Número de Terminal:** 8

**Material:** plástico/Contacto de plata

**Aplicación:** Control motor

**Personalizado:** Si tiene un diagrama de cableado, Puede darnos, se puede personalizar. Gracias ~



[View All](#)

Recomendados por el vendedor



[Añadir a la cesta](#)

[Comprar ahora](#)

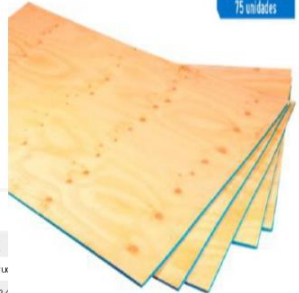
# Anexo N° 10: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL TRIPLAY FENÓLICO

Venta Telefónica (01) 6156002 | Servicio al cliente (01) 419 2000 | Tiendas | Seguimiento de tu compra | Venta Empresa | FALABELLA | BANCO | CMR PUNTOS | VIAJES | SEGUROS | TOTTUS | LINIO |

**SODIMAC** | ¿Qué estás buscando? | Mi Cuenta

LIMPIEZA BAÑO Y COCINA | AIRE LIBRE, JARDÍN Y MASCOTAS | AUTOMÓVIL | CONSTRUCCIÓN Y ACABADOS | DECORACIÓN E ILUMINACIÓN | ELECTROHOGAR, TECNOLOGÍA Y CLIMATIZACIÓN | HERRAMIENTAS Y MAQUINARIAS | MUEBLES Y ORGANIZACIÓN

Home > Campañas > Precio Pro > Tablero Triplay Fenólico CC 12 mm 1.22 x 2.44 m



**PRECIO + PRO**  
Pague menos desde 75 unidades

Producto Exclusivo  
**Tablero Triplay Fenólico CC 12 mm 1.22 x 2.44 m**  
Código: 500062  
★★★★★ (2)

**S/ 69.90 C/U**

Pague menos desde 75 unidades

- 1 + [Agregar al carrito](#)

**Ficha técnica**

Espesor	12 mm
Tipo	Triplay Estructura
Medidas	1.22 x 2.44 m
Clasificación	Triplay
Procedencia	Importado
Marca	Producto Exclusivo
Zona de despacho	
Uso	Ideal para interiores
Material	Fibras de madera
Garantía	Por defecto de fábrica
Recomendaciones	Utiliza desmoldantes cuando su uso es para encofrados. Tener cuidado en el transporte. Emplear equipo de protección necesarios, para evitar accidentes.
Color	Natural
Características	Es un panel derivado de la madera con propiedades estructurales. Con mayor rigidez y durabilidad.

**Reseñas**

Suscríbete a nuestras ofertas |  [Suscribir](#) | Perú

[Regístrate ahora](#) | [Seguimiento de tu compra](#) | [Nuestras Tiendas y Horarios](#) | [Venta Telefónica \(01\) 6156002](#)

**Servicio al cliente**  
Términos y condiciones  
Cómo comprar en SODIMAC.COM  
Múltiples Medios de Pago  
Retiro en Tienda

**Mi cuenta**  
Regístrate ahora  
Recuperar mi clave  
Cambio de clave

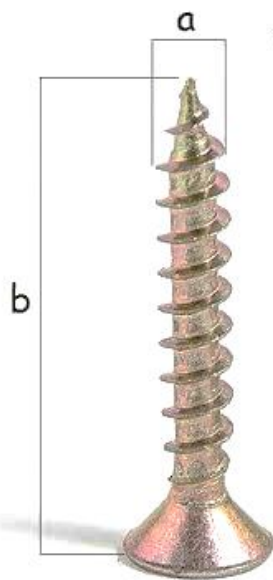
**Nuestra empresa**  
Sodimac Perú  
Trabaja con nosotros  
Venta empresas  
Venta Internet

**Descarga nuestra APP desde:**  
App Store  
Google Play

[Facebook](#) [Twitter](#) [YouTube](#) [Pinterest](#) [Instagram](#)

## Anexo N° 11: DIMENSIONES DEL TORNILLOS FIX

### Tornillos Fix para madera



a x b	a x b	a x b	a x b	a x b	a x b	a x b
2,5 x 10	3 x 10	3,5 x 10	4 x 13	4,5 x 16	5 x 20	6 x 30
13	13	13	16	20	25	35
16	16	16	20	25	30	40
20	20	20	25	30	35	45
	25	25	30	35	40	50
	30	30	35	40	45	55
	35	35	40	45	50	60
	40	40	45	50	55	70
		45	50	55	60	80
		50	55	60	70	90
			60	70	80	100
			70	80	90	120
			80	90	100	
			90	100	120	
			100			



**Anexo N° 12: PLIEGO TARIFARIO DE LOS ÚLTIMOS 6 AÑOS TARIFA BT5B-RESIDENCIAL – SER-CHICLAYO**

MES	FACTOR	2015	2016	2017	2018	2019
ENERO	COSTO POR KWh	S/0.7258	S/0.8389	S/0.8401	S/0.8673	S/0.8850
FEBRERO	COSTO POR KWh	S/0.7427	S/0.8415	S/0.8432	S/0.8908	S/0.8991
MARZO	COSTO POR KWh	S/0.7427	S/0.8440	S/0.8432	S/0.8955	S/0.8952
ABRIL	COSTO POR KWh	S/0.7427	S/0.8184	S/0.8432	S/0.8958	S/0.8952
MAYO	COSTO POR KWh	S/0.7683	S/0.8184	S/0.8046	S/0.8631	S/0.9135
JUNIO	COSTO POR KWh	S/0.7683	S/0.8246	S/0.8060	S/0.8631	S/0.9135
JULIO	COSTO POR KWh	S/0.7871	S/0.8246	S/0.8060	S/0.8692	S/0.9161
AGOSTO	COSTO POR KWh	S/0.8010	S/0.8311	S/0.8237	S/0.8682	S/0.8999
SETIEMBRE	COSTO POR KWh	S/0.8086	S/0.8331	S/0.8237	S/0.8682	S/0.9014
OCTUBRE	COSTO POR KWh	S/0.8086	S/0.8391	S/0.8239	S/0.8682	S/0.9183
NOVIEMBRE	COSTO POR KWh	S/0.8133	S/0.8346	S/0.8538	S/0.8599	S/0.6127
DICIEMBRE	COSTO POR KWh	S/0.8175	S/0.8347	S/0.8671	S/0.8834	S/0.6127
<b>COSTO PROMEDIO ANUAL</b>		<b>S/0.7772</b>	<b>S/0.8319</b>	<b>S/0.8315</b>	<b>S/0.8744</b>	<b>S/0.8552</b>

Fuente: OSINERGMIN, pliegos tarifarios aplicables al cliente final

## Anexo N° 13: VIDA ÚTIL DE LOS ELEMENTOS PIEZOELÉCTRICOS

No.	Company - Technology	Product dimension	Generated energy	Price/ Egyptian pounds	Estimated lifespan by years	Ref.
1	Waynergy Floor	40 x 40 cm tile	10 W per step	4000	20	[2]
2	Sustainable Energy Floor (SEF)	75 x 75 cm tile 50 x 50 cm tile	Up to 30 watt of continuous output. Typical power output for continuous stepping by a person lies between 1 and 10W nominal output per module (average 7W)	15000	15	[3]
3	pavegen tiles	V3 Tile 50 cm each edge	5 Watts continuous power from footsteps	35000	20	[4]
4	(EAPs) Electro-Active Polymers	Sheets	1w	unknown	20	[5][6]
5	Sound Power	50 x 50 cm tile	0.1 watt per 2 steps	unknown	20	[7][8][9]
6	PZT ceramic (Lead zirconate titanate)	Manufacturing in a small size	8.4mW	unknown	20	[10][11][12]
7	Parquet PVDF layers	layers	2.1mWs per pulse with loads of about 70 kg	unknown	20	[13]
8	Drum Harvesters - Piezo buzzer Piezoelectric Ceramics	vary	Around 2.463 mW	Estimated 500 /tile	20	[14]
9	POWER leap PZT	Tile 24" x 24"	0.5mW per step	The project has stopped	20	[15][16]
10	hybrid energy floor - combines human power with solar energy	75 x 75 cm tile 1 x 2 meter tile	up to 60kWh per year, per tile up to 250 kWh per year, per tile	Estimated 15000	20	[17]
11	PZT Nanofibre - nanogenerator &PZT textile nanogenerator	Sheets The volume of the material used is 0.2cm <sup>3</sup>	6mW/cm <sup>3</sup> 0.03 μW power density up to 2.4 μW/cm <sup>3</sup> [20]	available commercially at low cost and in a variety of designs	20	[18][19]
12	Pvdf nanofibre		4 μW/cm <sup>3</sup> 7.2 pW	unknown	20	
13	ZnO nanowire VINGS		5 pW 11 mW/cm <sup>2</sup> 2.7 mW/cm <sup>3</sup>	very economically	20	
14	BaTiO <sub>3</sub>		~7 mW/cm <sup>3</sup>	available commercially at low cost and in a variety of designs		

Table 1. Piezoelectric technology types main technical specifications, price and lifespan.