



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**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**

Joel Abraham Bolaños Martínez

Asesorado por el Ing. Julio César Solares Pénate

Guatemala, octubre de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**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

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JOEL ABRAHAM BOLAÑOS MARTÍNEZ
ASESORADO POR EL ING. JULIO CÉSAR SOLARES PEÑATE

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León de Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raul Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Ing. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
EXAMINADOR	Ing. Julio César Solares Pénate
EXAMINADOR	Ing. Natanael Jonathan Requena Gómez
SECRETARIA	Ing. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**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**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 2 de febrero de 2015.



Joel Abraham Bolaños Martínez



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica y Regional de Post-grado de Ingeniería Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

Guatemala, 24 de noviembre de 2015

Ing. Otto Fernando Andrino González
Coordinador del Área de Electrotecnia
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Ingeniero Andrino:

Por este medio me permito dar aprobación al Trabajo de Graduación titulado: "**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**", desarrollado por el estudiante **Joel Abraham Bolaños Martínez**, ya que considero que cumple con los requisitos establecidos.

Por lo tanto, el autor de este trabajo y yo como asesor, nos hacemos responsables del contenido y conclusiones del mismo.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarlo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Julio César Solares Peñate
Asesor

JULIO CÉSAR SOLARES P
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
COLEGIADO No. 2330

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Ref. EIME 36. 2016.
Guatemala, 25 de julio 2016.

Señor Director
Ing. Francisco Javier González López
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
**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,** del estudiante **Joel Abraham
Bolaños Martínez**, que cumple con los requisitos establecidos para
tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
DID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. 
Otto Fernando Andrino González
Coordinador Área Electrotécnica

MSc. OTTO F. ANDRINO G.
ING. ELECTRICISTA
COL. # 4,038

sro



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA
UNIDAD DE EPS

Guatemala, 27 de julio de 2016.
Ref.EPS.DOC.457.07.16.

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano
Director Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Rodríguez Serrano.

Por este medio atentamente le informo que como Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Joel Abraham Bolaños Martínez** de la Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con carné No. **201114562**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **"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"**.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Natanael Requena Gómez
Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Eléctrica



c.c. Archivo
NRG/ra

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA
UNIDAD DE EPS

Guatemala 29 de julio de 2016.
Ref.EPS.D.302.07.16.

Ing. Francisco Javier González
Director Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero González.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN OPERACIÓN DEL PROTOTIPO: SISTEMA DE SUMINISTRO DE ENERGÍA POR PANELES PIEZOELECTRÍCOS EN LAS INSTALACIONES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA, USAC"** que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Joel Abraham Bolaños Martínez**, quien fue debidamente asesorado por el Ing. Julio César Solares y supervisado por el Ing. Natanael Requena Gómez.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor y del Supervisor de EPS, en mi calidad de Director apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano
Director Unidad de EPS



SJRS/ra

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Ref. EIME 36. 2016.
Guatemala, 1^o de AGOSTO 2016.

Señor Director
Ing. Francisco Javier González López
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
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, del estudiante Joel
Abraham Bolaños Martínez, que cumple con los requisitos establecidos
para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. 
Otto Fernando Andriano González
Coordinador Área Electrotécnica



SRO

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

REF. EIME 59. 2016.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; **VÍCTOR MANUEL SAGASTUME PONCE** titulado: **ANÁLISIS DE CONSUMO Y DEMANDA ELÉCTRICA EN PLANTAS DE PRODUCCIÓN AVÍCOLA, GRUPO PAF, GUATEMALA,** procede a la autorización del mismo.

Ing. Francisco Javier González López



GUATEMALA, 4 DE OCTUBRE 2016.

Universidad de San Carlos
de Guatemala

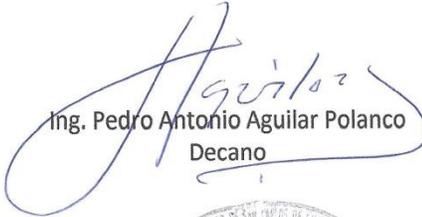


Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 523.2016

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN OPERACIÓN DEL PROTOTIPO: SISTEMA DE SUMINISTRO DE ENERGÍA POR PANELES PIEZOELÉCTRIOS EN LAS INSTALACIONES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA, USAC**, presentado por el estudiante universitario: **Joel Abraham Bolaños Martínez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, octubre de 2016



/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por ayudarme a entender que existe un amor más allá del todo terrenal que nos une a todos, que todos provenimos de un mismo origen universal, que en esencia mi prójimo y yo somos lo mismo, que todos tenemos sueños y metas que se pueden alcanzar con dedicación y esfuerzo, pero sobre todo con fe en Jah al momento de enfrentar el camino para lograr llegar.

Mi madre

Maria Antonieta Martínez Sagastume, por ser mí ejemplo de seguir luchando por lo que quiero y ser cada día mejor. Por nunca darse por vencida y darme esa lección de vida, ella siempre será mi inspiración.

Mi novia

Maria Emilia Posadas Recinos, por estar siempre a mi lado y no dejarme caer demostrándome que estará conmigo en las buenas y en las malas.

Mi hermano mayor

David Rafael Bolaños Martínez, por estar conmigo desde un principio y brindarme su apoyo en todo que necesite.

Mi hermana

Deborah Raquel Bolaños Martínez, por su amor incondicional y desmedido hacia mí, que siempre me ha dado ese impulso necesario.

Mis sobrinos

Gabriel, Paulo y Jarim Vaquerano Bolaños, por su apoyo y ser la motivación para llegar a ser un profesional ejemplar.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser esa entidad legendaria, cuna de mis conocimientos teóricos, técnicos, culturales, políticos y sociales.

Facultad de Ingeniería

Por permitirme ser parte de su historia y de sus profesionales egresados.

Mi señora madre

Por el apoyo diario que me ha dado desde el primer día que me dio la oportunidad de estudiar párvulos hasta llegar a este punto de mis estudios para mi preparación como profesional.

Mis hermanos

David, Josué, Samuel y Deborah Bolaños Martínez, por el apoyo y la guía mostrada a lo largo de mi vida y sobre todo en la etapa universitaria.

**Mis amigos de la
Facultad**

Axel Sigui, Juan José Cueva, José Vides, Josué Ramírez y Luis Ramírez, por las incontables experiencias vividas con ustedes que aun al día de hoy sigo aprendiendo de esto al recordar.

Catedráticos de la facultad

Por la paciencia y dedicación que tuvieron para poder compartirme el conocimiento que los ha llevado a ser profesionales exitosos.

Dios

Por su protección diaria y sobre todo, por darme perseverancia para continuar con el camino de desarrollar mis habilidades como profesional, y por permitirme ser un egresado de la gloriosa tricentenaria Universidad de San Carlos de Guatemala.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	XIII
GLOSARIO	XV
RESUMEN.....	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
INTRODUCCIÓN	XXIII
1. ENERGÍAS RENOVABLES.....	1
1.1. Alternativas energéticas actuales	2
1.2. Piezoelectricidad	7
1.2.1. Material piezoelectrico	8
1.2.2. Transductor piezoelectrico.....	10
1.2.3. Ejemplos internacionales de la generaci3n de piezoelectricidad	12
2. PANELES PIEZOELÉCTRICOS MAMS.....	17
2.1. Análisis teórico de los transductores piezoelectricos.....	18
2.1.1. Ecuaciones y constantes	21
2.1.2. Circuito equivalente	26
2.1.3. Transductores piezoelectricos en el mercado nacional	28
2.1.4. Resultados teóricos	33
2.1.5. Comportamiento de transductores piezoelectricos bajo la carga.....	35

	2.1.5.1.	Comportamiento cuasi estático de la carga	36
	2.1.5.2.	Comportamiento dinámico de la carga	37
	2.1.5.3.	Comportamiento de la carga dentro de las instalaciones de la FIUSAC	38
2.2.		Análisis práctico de los transductores piezoeléctricos.....	52
	2.2.1.	Resultados ante diferentes maneras de deformar los transductores	53
	2.2.2.	Resultados ante diferentes maneras de rectificar Vstack.....	58
	2.2.3.	Conexión serie o paralelo.....	65
2.3.		Diseño de paneles piezoeléctricos MAMS	70
	2.3.1.	Materiales a utilizar en la construcción de paneles MAMS	73
	2.3.2.	Proceso de construcción de paneles piezoeléctricos MAMS.....	75
	2.3.3.	Costo de fabricación.....	83
2.4.		Generación de Paneles Piezoeléctricos MAMS	85
3.		ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA COSECHADA POR PANELES MAMS	89
	3.1.	Baterías recargables	90
	3.2.	Cargador de batería	95
	3.3.	Carga de baterías a partir de paneles piezoeléctricos MAMS	96
	3.3.1.	Sistema de control para recarga de baterías.....	106
	3.3.2.	Diseño del cargador de baterías	109
	3.3.3.	Implementación del cargador de baterías	122

4.	ESTACIÓN DE RECARGA PARA DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS DE USO COTIDIANO.....	127
4.1.	Inversor de corriente DC/AC.....	128
4.1.1.	Protección contra sobreconsumo	131
4.2.	Construcción de la estación de recarga.....	133
4.2.1.	Material didáctico.....	137
5.	INSTALACIÓN DEL PROTOTIPO PARA EL SISTEMA DE SUMINISTRO DE ENERGÍA POR PANELES MAMS.....	141
5.1.	Instalación de paneles MAMS	141
6.	ANÁLISIS DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DE ENERGÍA POR PANELES PIEZOELÉCTRICOS	155
6.1.	Análisis del desempeño del sistema de suministro de energía	157
6.1.1.	Historial de monitoreo.....	158
6.2.	Impacto social.....	168
6.3.	Rentabilidad de la piezoelectricidad como alternativa energética.....	172
	CONCLUSIONES	175
	RECOMENDACIONES.....	181
	BIBLIOGRAFÍA.....	183
	ANEXOS.....	185

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

1.	Esquema de una hidroeléctrica	2
2.	Bosquejo de las conversiones de la energía solar	2
3.	Esquema de conversión de energía eólica	4
4.	Esquema de una generadora geotérmica	5
5.	Ilustración de la generación de energía marina	6
6.	Polarización de la cerámica piezoeléctrica dependiendo el esfuerzo aplicado	7
7.	Estructura Perovskita.	8
8.	Comportamiento directo de una cerámica piezoeléctrica	9
9.	Comportamiento inverso de una cerámica piezoeléctrica	10
10.	Ilustraciones de transductores piezoeléctricos comerciales	11
11.	Ilustración de alfombra piezoeléctrica	13
12.	Ilustración de sistema energético piezoeléctrico israelita por Innowattech.....	15
13.	Proceso de transformacion de la energía de mecánica a eléctrica... ..	19
14.	Definición de las líneas de los ejes de un material piezoeléctrico	19
15.	Configuración de apilamiento.....	20
16.	Circuito equivalente para generador piezoeléctrico	27
17.	Buzzer piezoeléctrico	29
18.	Transductor piezoeléctrico núm. 1	29
19.	Parlante piezoeléctrico	30
20.	Transductor piezoeléctrico núm. 2	31
21.	Transductor piezoeléctrico núm. 3	32
22.	Voltaje de salida bajo carga cuasi estática.....	37
23.	Voltaje de salida bajo carga dinámica,	38

24.	Vista de planta, alrededores del T3, FIUSAC	39
25.	Ubicación de las áreas analizadas.....	42
26.	Gráfica de las cantidades promedio de flujo peatonal en el pasillo del 1er nivel, T3	44
27.	Secciones analizadas; pasillo del 1er nivel y puerta central del T3 frente al salón 110	44
28.	Gráfica de las cantidades promedio de flujo peatonal en el pasillo del 1er nivel frente a la puerta del T3	46
29.	Gráfica de las cantidades promedio de flujo peatonal en el pasillo del nivel 0 con dirección al T1	48
30.	Sección analizada, pasillo en el nivel 0 del T3 con dirección al T1.....	48
31.	Comparación de flujo peatonal promedio por hora	49
32.	Vista de perfil de la versión a escala de un panel piezoeléctrico	53
33.	Vista de planta de la versión a escala de un panel piezoeléctrico	53
34.	Versión a escala de panel piezoeléctrico para prueba núm.1 sin guías de deformación.....	54
35.	Versión a escala de panel piezoeléctrico para prueba núm. 2 con guía de deformación al centro.....	56
36.	Versión a escala de panel piezoeléctrico para prueba núm. 3 con 2 guías de deformación en los extremos.	57
37.	Circuito a implementar para la 1era prueba.....	59
38.	Circuito a implementar para la 2da prueba	60
39.	Circuito a implementar para la 3ra prueba.....	62
40.	Circuito a implementar para la 1era prueba.....	66
41.	Circuito a implementar para la 2da prueba	68
42.	Circuito a implementar para la 3er prueba.....	69
43.	Transductor piezoeléctrico a usar para paneles ya con guías de deformación	70

44.	Superficie base de contrachapado	76
45.	Base de plywood con orillas protegida	77
46.	Base de foamy	77
47.	Áreas de presión ejercidas en el pie al caminar con zapato normal.....	79
48.	Distribución de transductores en área de 0,60 m * 0,60 m.....	80
49.	Conexión en paralelo de transductores hacia a los rectificadores	81
50.	Vista de la parte superior de panel piezoeléctrico MAMS	82
51.	Vista de la parte inferior de panel piezoeléctrico MAMS	82
52.	Señal respuesta, en circuito abierto, de los paneles al transitar gente sobre ellos. $V_{pp}=20,4V$	93
53.	Batería a utilizar en la estación de recarga	94
54.	Pruebas preliminares realizadas en la ubicación elegida para instalar el proyecto	97
55.	Señal respuesta sin rectificar de un transductor piezoeléctrico al ser presionado con el dedo. Cerámica usada en los paneles MAMS, $V_{pp}=23,6V$	98
56.	Curva de carga en un capacitor	99
57.	Circuito a implementar para pruebas de descarga del capacitor de 2200 μF	101
58.	Pruebas realizadas con paneles MAMS acoplados al capacitor de microondas.....	103
59.	Grafica resultante del caminar sobre los paneles MAMS acoplados al capacitor de microondas	103
60.	Señal de salida del regulador de voltaje con los paneles MAMS acoplados al capacitor de microondas	104
61.	Medidores de voltaje, circuito implementado para cada batería	110
62.	Mapa de karnaugh para indicador CLR.....	113
63.	Mapa de karnaugh para indicador PR.....	113
64.	Circuito implementado para establecer estado de recarga	113

65.	Diagrama del sistema de control, segmento de relays	114
66.	Mapa de karnaugh para indicador R4.....	120
67.	Mapa de karnaugh para indicador R2.....	120
68.	Mapa de karnaugh para indicador R1.....	120
69.	Mapa de karnaugh para indicador R5.....	121
70.	Diagrama del sistema de control, segmento del circuito combinacional	121
71.	Simulación de la placa PCB finalizada.....	123
72.	Artwork de la placa PCB del sistema de control para la estación de recarga.....	124
73.	Placa del sistema de control para la estación de recarga finalizada.....	125
74.	Inversor de corriente de 12VDC a 110VAC, 150W	130
75.	Placa reguladora de voltaje para alimentar puertos USB	133
76.	Interior de la estación de recarga.....	135
77.	Vista de perfil del interior de la estación de recarga	136
78.	Material didáctico orientado al principio de la piezoelectricidad.....	138
79.	Material didáctico de la piezoelectricidad aplicada como alternativa energética	138
80.	Estación de recarga para dispositivos electrónicos de uso cotidiano	139
81.	Marco para la instalación de paneles MAMS	143
82.	Trabajos realizados para provocar la inclinación en las rampas.....	144
83.	Rampas unidas al marco para segmento peatonal sobrepuesto	145
84.	Terminales en la canaleta para conectar los paneles MAMS	145
85.	Vista interna del segmento peatonal sobre puesto en el pasillo	146
86.	Segmento peatonal instalado	147
87.	Estación de recarga instalada.....	148
88.	Instalación del prototipo finalizada	152

89.	Interruptores para poner en operación el proyecto	153
90.	Monitoreo de indicadores 9/11/2015	165
91.	Estudiante haciendo uso de la estación de recarga.....	171

TABLAS

I.	Principales Constantes	21
II.	Ecuaciones para analizar en una sola dimensión	24
III.	Ecuaciones para analizar en 3 dimensiones.....	26
IV.	Características del transductor piezoeléctrico núm. 1.....	30
V.	Características del transductor piezoeléctrico núm. 2.....	31
VI.	Características del transductor piezoeléctrico núm. 3.....	32
VII.	Variables referidas a las características mecánicas	33
VIII.	Resultados teóricos del transductor piezoeléctrico núm. 1	34
IX.	Resultados teóricos del transductor piezoeléctrico núm. 2	34
X.	Resultados teóricos del transductor piezoeléctrico núm. 3	35
XI.	Horario de clases de lunes a viernes:	41
XII.	Análisis del pasillo del 1er nivel, T3	43
XIII.	Análisis de la puerta del T3 frente al salón 110	45
XIV.	Análisis del pasillo en nivel 0 del T3 con dirección al T1	47
XV.	Promedio de personas por hora.....	49
XVI.	Promedio de personas por día.....	49
XVII.	Comparación de flujo peatonal promedio por día	50
XVIII.	Resultados de prueba sin guías de deformación	55
XIX.	Resultados de prueba con guía de deformación voltaje AC	56
XX.	Resultados de prueba con 2 guías de deformación voltaje AC	57
XXI.	Resultados de prueba con rectificador de media onda y capacitor de 220 μ F - voltaje DC.....	59

XXII.	Resultados de prueba con rectificador de onda completa y capacitor de 220 μ F - voltaje DC.....	61
XXIII.	Resultados de prueba con cuádruplicador de voltaje de capacitores de 220 μ F - voltaje DC.....	62
XXIV.	Resultados de prueba con rectificador de media onda y capacitor de 220 μ F - voltaje DC.....	63
XXV.	Resultados de prueba con rectificador de onda completa y capacitor de 220 μ F - voltaje DC.....	64
XXVI.	Resultados de prueba con cuádruplicador de voltaje de capacitores de 220 μ F - voltaje DC.....	65
XXVII.	Resultados de prueba conexión en paralelo antes del rectificador de onda completa - voltaje DC	67
XXVIII.	Resultados de prueba conexión en paralelo luego de los rectificadores de onda completa - voltaje DC	68
XXIX.	Resultados de prueba conexión en serie luego de los rectificadores de onda completa - voltaje DC	69
XXX.	Comparación de capacitores	72
XXXI.	Costo en materiales para un panel MAMS	85
XXXII.	Resultados de panel piezoeléctrico MAMS ante carga cuasiestática.....	86
XXXIII.	Capacitor de 2200 μ F en carga	99
XXXIV.	Corriente obtenida al descargar el capacitor de 2200 μ F	101
XXXV.	Corriente obtenida al descargar el capacitor de microondas.....	104
XXXVI.	Resultados del proceso de recarga	107
XXXVII.	Tabla de verdad para indicadores de <i>clear</i> y <i>preset</i>	111
XXXVIII.	Tabla de verdad para indicador R4	117
XXXIX.	Tabla de verdad para indicador R2	117
XL.	Tabla de verdad para indicador R1	118
XLI.	Tabla de verdad para indicador R5	119

XLII.	Interpretación de indicadores.....	156
XLIII.	Resultados obtenidos el 27 de octubre de 2015	159
XLIV.	Resultados obtenidos el 28 de octubre de 2015	159
XLV.	Resultados obtenidos el 29 de octubre de 2015	160
XLVI.	Resultados obtenidos el 30 de octubre de 2015	161
XLVII.	Resultados obtenidos el 31 de octubre de 2015	161
XLVIII.	Resultados obtenidos el 3 de noviembre de 2015	162
XLIX.	Resultados obtenidos el 4 de noviembre de 2015	163
L.	Resultados obtenidos el 5 de noviembre de 2015	163
LI.	Resultados obtenidos el 6 de noviembre de 2015	164
LII.	Resultados obtenidos el 7 de noviembre de 2015	164
LIII.	Resultados obtenidos el 9 de noviembre de 2015	165
LIV.	Resultados obtenidos el 10 de noviembre de 2015	166
LV.	Resultados obtenidos el 11 de noviembre de 2015	166
LVI.	Resultados obtenidos el 12 de noviembre de 2015	167
LVII.	Resultados obtenidos el 13 de noviembre de 2015	167
LVIII.	Resultados obtenidos el 14 de noviembre de 2015	168

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Amperio
Ah	Amperio hora
E	Campo eléctrico
cm	Centímetro
I	Corriente
AC	Corriente alterna
DC	Corriente directa
C	Coulomb
ρ	Densidad
θ	Diámetro
F	Faradios
°	Grado
°C	Grados Celsius
g	Gramo
Hz	Hertz
J	Joule
Kg	Kilogramo
KHz	Kilo Hertz
KΩ	Kilo Ohm
Lb	Libra
m	Metro
m²	Metro cuadrado
m³	Metro cúbico
MHz	Megahertz

MΩ	Megaohm
μF	Microfaradio
mA	Miliamperio
mm²	Milímetro cuadrado
mV	Milivoltio
mW	Miliwatt
Y	Módulo de Young
N	Newton
nF	Nanofaradio
Ω	Ohm
Pa	Pascal
π	Pi
%	Porciento
P	Potencia
Q.	Quetzales
s	Segundo
τ	Tao
ΔI	Variación dimensional
V	Voltio
W	Watt

GLOSARIO

AC	Altern current - corriente alterna.
Artwork	Diseño del circuito para ser implementado en placa.
AWG	American Wire Gauge – Calibre de Alambre Estadounidense.
Capacitancia	En electromagnetismo y electrónica, la capacitancia o capacidad eléctrica es la propiedad que tienen los cuerpos para mantener una carga eléctrica.
Cinético	Del movimiento o relacionado con él.
DC	Corriente directa.
Dieléctrico	Cuerpo aislante o mal conductor del calor o la electricidad.
Diodo	Dispositivo electrónico de dos electrodos por el que circula la corriente en un solo sentido.
Dipolo	Conjunto de dos polos magnéticos o eléctricos de signos opuestos y cercanos entre sí.
DPDT	Doble Polo Doble Pivote.

Electrodo	Extremo de un conductor en contacto con un medio, al que lleva o del que recibe una corriente eléctrica.
Electroquímica	Estudia los fenómenos químicos que provocan electricidad y los fenómenos eléctricos que dan lugar a transformaciones químicas.
Ferroelectrico	Material con una propiedad empírica de dieléctricos no centrosimétricos.
Fotovoltaica	Cuerpo que genera una fuerza electromotriz cuando se encuentra bajo la acción de una radiación luminosa o análoga.
Geiser	Es un tipo especial de fuente termal que emite periódicamente una columna de agua caliente y vapor al aire.
Impedancia	Resistencia aparente de un circuito dotado de capacidad y autoinducción al flujo de una corriente eléctrica alterna.
Integrado	También conocido como chip, microchip, es una estructura de pequeñas dimensiones de material semiconductor.
Led	Diodo emisor de luz.

Mintermino	En álgebra booleana, se conoce como término canónico de una función lógica a todo producto o suma en la cual aparecen todas las variables en su forma directa o inversa.
PCB	Circuito impreso en placa.
Perovskita	Es un mineral del grupo IV (óxidos) según la clasificación de Strunz; es un trióxido de titanio y de calcio (CaTiO ₃).
Polarización	Acumular los efectos de un agente físico en puntos o direcciones opuestas de un cuerpo.
Policristalino	Es un agregado de pequeños cristales de cualquier sustancia.
Protoboard	Es un tablero con orificios conectados eléctricamente entre sí, en el cual se pueden insertar componentes electrónicos.
Relay	Es un dispositivo electromagnético. Funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico.
Resiliencia	Es igual al trabajo externo realizado para deformar un material hasta su límite elástico.

Transistor	Es un dispositivo electrónico semiconductor utilizado para entregar una señal de salida en respuesta a una señal de entrada.
UTP	Par trenzado no blindado.
VAC	Voltaje en corriente alterna.
VDC	Voltaje en corriente directa.
Vpp	Voltaje pico pico.
Vrms	Voltaje eficaz.

RESUMEN

En la actualidad existe la posibilidad que el ser humano genere su propia energía para luego utilizarla en diversos fines, esto se puede lograr con la aplicación de una alternativa energética basada en piezoelectricidad, ya que con la deformación de transductores piezoeléctricos se genera energía eléctrica la cual puede ser almacenada.

Para llegar a desarrollar un prototipo primeramente es necesario conocer las alternativas energéticas actuales, para entender sus principios y diseño tecnológico. En este caso el fin es crear paneles piezoeléctricos los cuales serán utilizados como segmentos peatonales para que el transeúnte con sus pasos deforme y genere energía.

Los dispositivos principales de los paneles son los transductores, a los cuales se les realizaron diferentes pruebas con resultados que dieron paso a diseñar el sistema de generación, rectificación, regulación y almacenamiento de la piezoelectricidad. Cada panel posee capas de distintos materiales con características que dan tiempo de vida a los transductores.

Debido a que la cantidad de energía generada es directamente proporcional a la cantidad de personas que caminan sobre el segmento peatonal, se realizaron análisis poblacionales dentro de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, para identificar el sector con mayor afluencia peatonal, una vez se obtuvieron los resultados de este análisis y con el prototipo finalizado se procedió a realizar pruebas dentro de las instalaciones del edificio T3 poniendo a disposición del estudiante una

estación de recarga para dispositivos electrónicos de uso cotidiano alimentada con la piezoelectricidad generada.

Con este trabajo de graduación se busca crear un prototipo de una alternativa energética en desarrollo, y también, promover responsabilidad ambiental en la comunidad para que el uso de energía eléctrica sea más consciente.

OBJETIVOS

General

Analizar la rentabilidad de paneles piezoeléctricos como una alternativa energética dentro de las instalaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Específicos

1. Investigar y comprender el funcionamiento de un material piezoeléctrico a través del estudio y pruebas en transductores de dicho material.
2. Diseñar paneles piezoeléctricos en conjunto con circuitos de cosecha, y almacenamiento de energía eléctrica, basados en el caminar de los transeúntes sobre estos.
3. Desarrollar el prototipo de estación de recarga, para dispositivos electrónicos para la población estudiantil por medio de una solución alternativa en equilibrio con el medio ambiente.
4. Demostrar el interés y el compromiso con el desarrollo tecnológico de la Universidad de San Carlos de Guatemala y de nuestro país Guatemala como tal.

5. Proporcionar información e introducir conciencia ambiental a la población de una manera interactiva con el usuario, por medio del desarrollo sostenible con los paneles piezoeléctricos.

INTRODUCCIÓN

La generación de energía eléctrica es una gran industria que va desde soluciones que contaminan el planeta, como las generadoras con combustibles fósiles o nucleares, hasta alternativas energéticas renovables como paneles solares, parques eólicos, energía geotérmica, hidroeléctricas, entre otros.

De estas anteriores la que mejor ha demostrado su rendimiento para grandes masas es la hidroeléctrica, estas tienen un gran campo de aplicación en Guatemala pero tienen un retraso de aplicación por los problemas socioculturales que se han presentado; esto llama a dar otro tipo de soluciones siempre ecológicas. Como una nueva solución en el país se están implementando plantas generadoras de energía solar en las áreas de mayor insolación.

Debido a que la población sigue en crecimiento es lógico pensar que de igual forma la demanda de recursos para abastecer las necesidades se irá incrementando y no solo en nuestro país; en otras partes del mundo se está tomando en serio la idea de que el ser humano puede generar su propia energía con el que hacer del día a día o dicho de una manera más directa con el caminar del día a día. De este punto surge la idea de los paneles piezoeléctricos para cosechar la energía de los peatones al caminar sobre estos.

En países como Japón se han implementado dichos paneles en las estaciones del metro para que la misma gente que transita proporcione energía a la estación, estos fueron colocados en puntos estratégicos como molinetes de

entrada; en Holanda se tiene la misma idea aplicados en las puertas giratorias; en Israel esta idea se ha llevado a otros niveles aplicándolos dentro del asfalto y en las vías ferroviarias con el objetivo que al pasar los automóviles y trenes estos sean los generadores de energía.

1. ENERGÍAS RENOVABLES

El concepto de energía renovable proviene del hecho de que sus fuentes de generación son virtualmente inagotables; un concepto similar es el de energía alternativa la cual es una fuente que puede suplir a las fuentes energéticas convencionales a base de combustibles fósiles, ya fuese por su menor efecto contaminante o por su posibilidad de renovación; aun siendo renovables tienen sus limitaciones y como cualquier otro recurso natural tienen un máximo de explotación, no por eso se debe entender que se agotarán.

Otro concepto importante es el de crisis energética, el cual se hace presente cuando una fuente energética se agota, lo cual para nuestra actualidad global no es ninguna opción a tomar, ya que la necesidad de la humanidad por energía eléctrica va en aumento proporcional al mercado de dispositivos contemporáneos y al crecimiento de las distintas poblaciones en el planeta.

Con un crecimiento perpetuo las nuevas sociedades deben fundarse con base en el desarrollo sostenible, para lograr un equilibrio entre la satisfacción de las necesidades humanas, vestimenta, alimentación, trabajo y vivienda; y el impacto sobre el medio ambiente con el objetivo que este logre recuperarse del deterioro que se le ha causado.

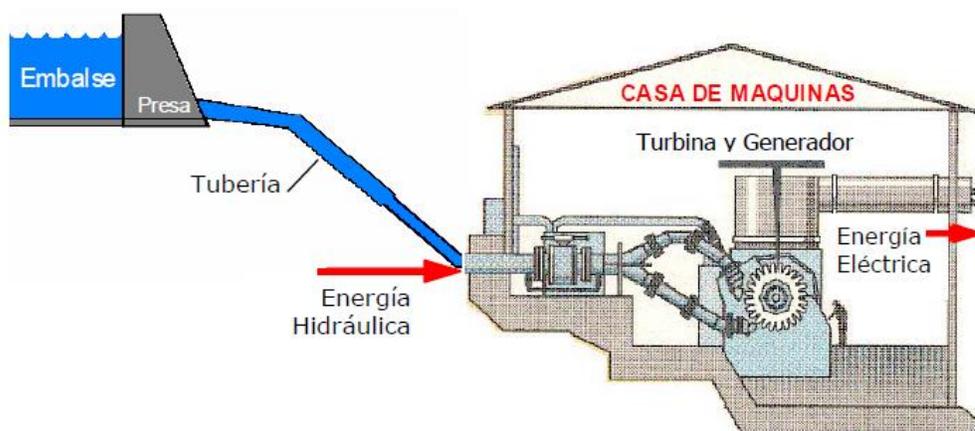
Existen tres puntos primordiales para lograr un desarrollo sostenible los cuales son:

- Ningún recurso renovable deberá utilizarse a un ritmo superior al de su generación.
- Ningún contaminante deberá producirse a un ritmo superior al que pueda ser reciclado, neutralizado o absorbido por el medio ambiente.
- Ningún recurso no renovable deberá aprovecharse a mayor velocidad de la necesaria para sustituirlo por un recurso renovable utilizado de manera sostenible.

1.1. Alternativas energéticas actuales

Alrededor del planeta existen distintas alternativas energéticas que se vienen desarrollando y utilizando desde ya hace varios años, Guatemala no es la excepción en este campo, ya que se cuenta con mucho potencial para la aplicación de este tipo de generación de energía renovable. Algunas de las alternativas energéticas aplicadas son:

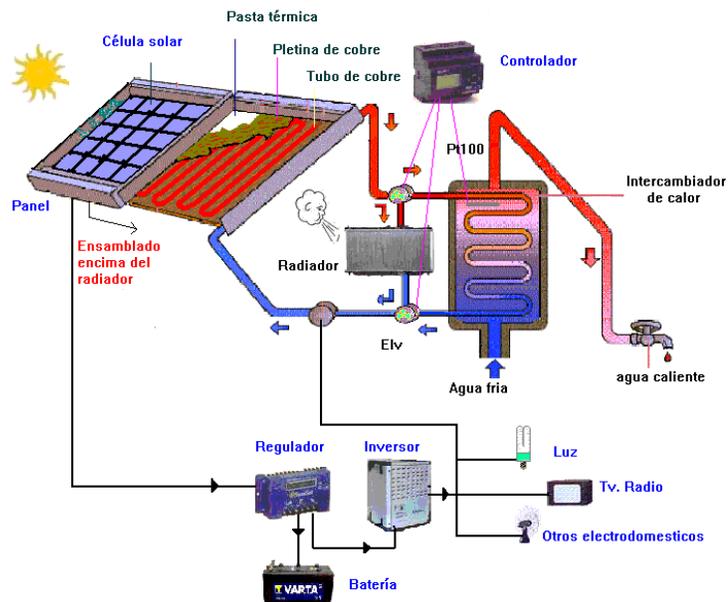
Figura 1. Esquema de una hidroeléctrica



Fuente: *Energías Renovables*. www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2012/04/Energ%C3%ADas-Renovables.pdf. Consulta: abril de 2015.

- Energía hidráulica: es obtenida principalmente por el caudal de los ríos. La gravedad provoca un flujo de un nivel alto sobre el nivel del mar hasta un nivel más bajo ocasionando una fuerza que es capaz de movilizar turbinas y generar energía eléctrica.
- Energía solar: esta se basa en aprovechar la radiación electromagnética (luz, calor y rayos ultravioleta principalmente) del sol, existen 2 formas de conversión de energía solar que se utilizan actualmente:
 - Conversión térmica de alta temperatura: consiste en transformar la energía solar en energía térmica almacenada en un fluido, donde el proceso se lleva a cabo dentro de colectores.

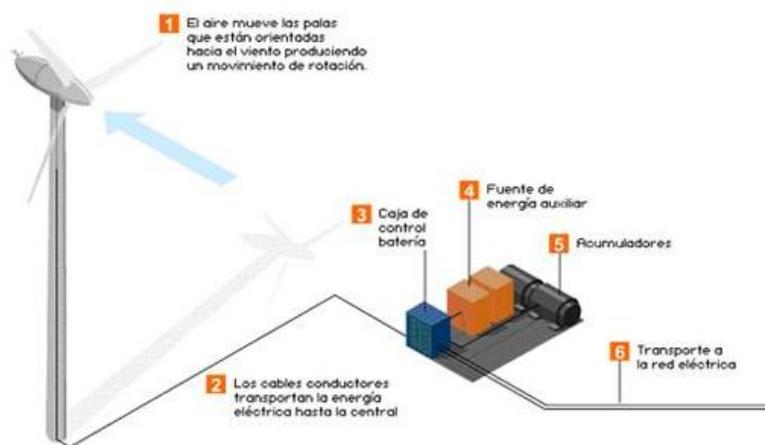
Figura 2. **Bosquejo de las conversiones de la energía solar**



Fuente: *Energías Renovables*. http://imagenes.mailxmail.com/cursos/imagenes/4/8/energia-solar-en-el-peru_23284_1_1.jpg. Consulta: abril de 2015.

- **Energía eólica:** se le puede considerar a este tipo de energía como una manera indirecta de energía solar, puesto que el aire como fluido llega a estar expuesto a calentarse por la radiación del sol provocando incrementos en la presión atmosférica y movilizándolo hacia zonas de menor presión obteniendo como resultado viento, del cual es aprovechado su energía cinética ya sea para bombeo de agua o para generación de energía eléctrica.

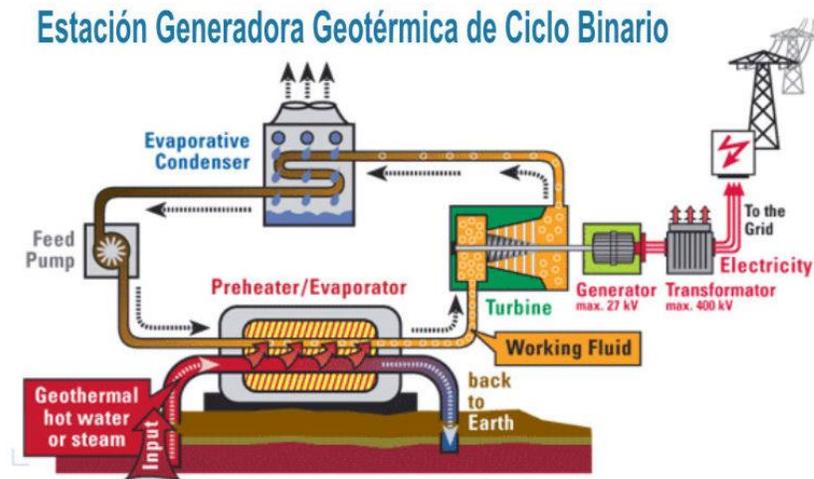
Figura 3. **Esquema de conversión de energía eólica**



Fuente: *Energías Renovables*. <http://www.monografias.com/trabajos73/fuentes-energia-renovable/image081.jpg>. Consulta: abril de 2015.

- **Energía geotérmica:** es la acumulada en la corteza terrestre, se le saca provecho en forma de calor y de energía eléctrica a partir del vapor natural del planeta. Fuentes naturales de este tipo de energía que muestra por sí sola la naturaleza pueden ser los geiseros y baños termales, actualmente, la perforación y bombeo permiten explotar esta alternativa de otras maneras.

Figura 4. Esquema de una generadora geotérmica



Fuente: *Energías Renovables*. www.energias.bienescomunes.org/wp-content/uploads/2012/06/Ciclo-Binario.jpg. Consulta: abril de 2015.

- Energía marina: también conocida como energía oceánica o de los océanos, es la energía transportada por las olas, las mareas, la salinidad y las distintas temperaturas del océano. El principio de este tipo de energía es parecido al de la energía eólica, funcionan con la energía cinética almacenada de los fluidos en los que están inmersos los generadores, en este caso en especial dentro de las masas de agua que poseen los océanos.

Figura 5. **Ilustración de la generación de energía marina**



Fuente: *Energías Renovables*. <http://energiasrenovablesunig9.weebly.com/uploads/7/5/3/2/7532555/3329434.jpg?289>. Consulta: abril de 2015.

En la actualidad para Guatemala la mejor opción como alternativa energética son las hidroeléctricas debido al gran número de ríos que se tiene dentro del territorio nacional, lamentablemente por problemáticas sociopolíticas se han visto retrasados estos proyectos.

Como otra alternativa para el desarrollo sostenible se ha puesto en operación plantas de energía solar y parques eólicos, junto a las hidroeléctricas existentes y generadoras geotérmicas muestran un futuro prometedor para Guatemala en este campo energético. Los puntos de interés para nuestro país son:

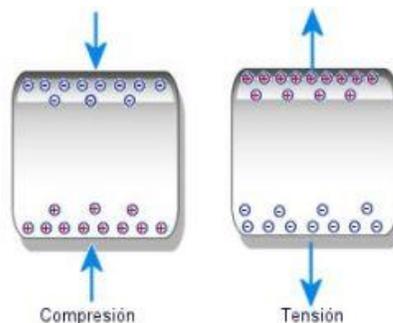
- Se cuenta con potencial disponible para proyectos hídricos, geotérmicos, eólicos y solares que aún no han sido aprovechados como se debe.
- Existe mercado para la venta de energía para pequeñas y microcentrales generadoras de energía.
- Existen incentivos para el desarrollo de proyectos de energía renovable, durante los periodos de preinversión, ejecución y operación.

1.2. Piezoelectricidad

Es un fenómeno que ocurre en determinados cristales que al ser sometidos a tensiones mecánicas en su estructura aparece una polarización eléctrica y aparece un diferencial de potencial y cargas eléctricas en su superficie.

La propiedad de la piezoelectricidad fue observada por primera vez por Pierre y Jacques Curie en 1881, estudiando la compresión del cuarzo. Al someterlo a la acción mecánica de compresión, las cargas de la materia se separan. Esto propicia una polarización de la carga, lo cual causa que salten chispas. Si se ejerce presión en los extremos del eje polar se produce polarización, un flujo de electrones se dirige hacia un extremo y genera en él una carga negativa, mientras que en el extremo opuesto se induce una carga positiva. Cuando se utilizan láminas de cristal estrechas y de gran superficie, el alto voltaje obtenido es mayor.

Figura 6. **Polarización de la cerámica piezoeléctrica dependiendo el esfuerzo aplicado**



Fuente: *Piezoelectricity*. <http://4.bp.blogspot.com/-k04PKJeXksc/UpxtKdhf7PI/AAAAAAAAADiY/us4LsKirnNQ/s1600/piezoelectric1.jpg>. Consulta: abril de 2015.

1.2.1. Material piezoeléctrico

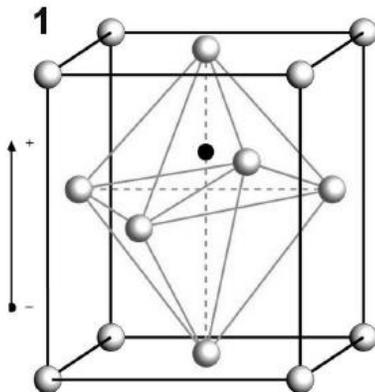
Las cerámicas piezoeléctricas son cuerpos macizos semejantes a los utilizados en aislantes eléctricos. Son constituidas por cristales ferroeléctricos microscópicos, llegando a ser denominadas policristalinas.

En las cerámicas PZT, estos pequeños cristales poseen estructura cristalina tipo Perovskita, la cual presenta estructura tetragonal, romboédrica o cubica simples, dependiendo de la temperatura en la que se encuentre el material, la temperatura crítica para estos materiales se le denomina temperatura de Curie.

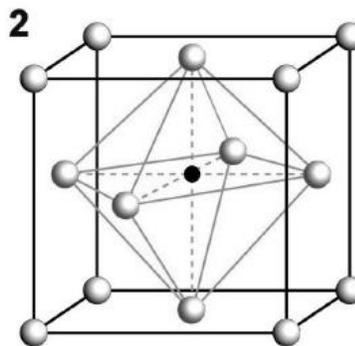
La estructura Perovskita presenta una simetría tetragonal en que el centro de simetría de las cargas eléctricas positivas no coincide con el centro simétrico de las cargas negativas, dando origen a un dipolo eléctrico.

Figura 7. Estructura Perovskita

1) Debajo de la temperatura de Curie



2) Por encima de la temperatura de Curie

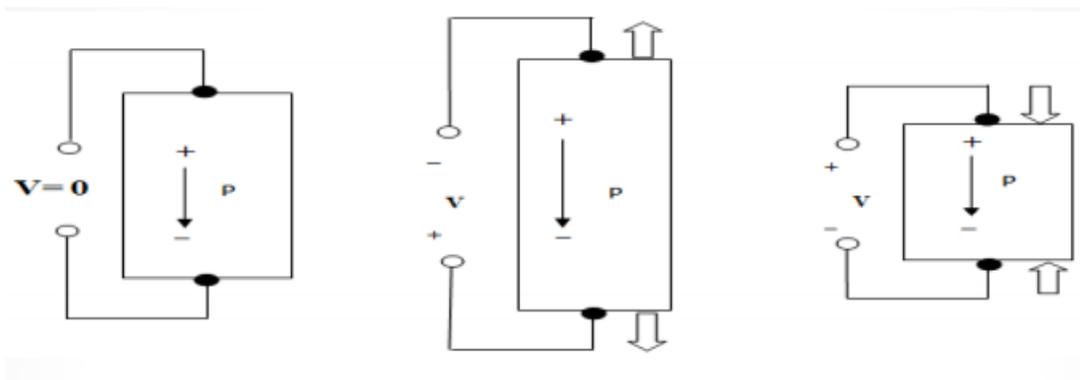


Fuente: ALVES PEREIRA, Antônio Henrique. *Cerámicas piezoeléctricas: funcionamiento y propiedades*. p. 3.

La existencia de este dipolo provoca que esta estructura cristalina se deforme en presencia de un campo eléctrico generándose un desplazamiento eléctrico cuando es sometida a una deformación mecánica, lo que caracteriza a los efectos piezoeléctricos de manera inversa y directa respectivamente.

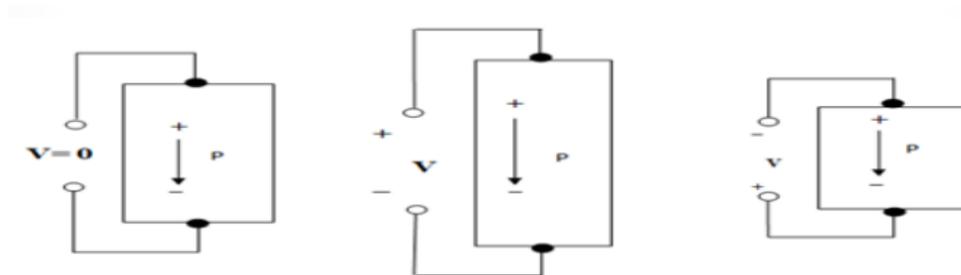
La deformación mecánica o la variación del dipolo eléctrico de la estructura cristalina de la cerámica no implican necesariamente la presencia de efectos macroscópicos, visto que los dipolos se arreglan en dominios, que a su vez se distribuyen aleatoriamente en el material policristalino. Para que ocurran manifestaciones macroscópicas es necesaria una orientación preferencial de estos dominios, conocida como polarización. Inclusive esta polarización desaparece con el tiempo y uso, inutilizando el material para la transformación de energía eléctrica en mecánica.

Figura 8. **Comportamiento directo de una cerámica piezoeléctrica**



Fuente: CIFUENTES GUTIÉRREZ, José Andrés. *Baldosa piezoeléctrica para alimentar sistemas de iluminación de bajo consumo energético*. p. 21.

Figura 9. **Comportamiento inverso de una cerámica piezoeléctrica**



Fuente: CIFUENTES GUTIÉRREZ, José Andrés. *Baldosa piezoeléctrica para alimentar sistemas de iluminación de bajo consumo energético*. p. 21.

En el proceso de polarización, el cuerpo cerámico recibe electrodos en un par de caras paralelas a través de las cuales, se somete al material calentado a un campo eléctrico con intensidad próxima al límite de ruptura dieléctrica, induciendo una polarización macroscópica remanente después de este proceso.

1.2.2. Transductor piezoeléctrico

Son elementos que transforman una magnitud física en una señal eléctrica. Se pueden clasificar en dos tipos: pasivos y activos. Son activos aquellos que se deben conectar a una fuente externa de energía eléctrica para que puedan responder a la magnitud física a medir; y son pasivos los que directamente dan una señal eléctrica como respuesta de la magnitud física, como es el caso de un transductor piezoeléctrico.

El transductor piezoeléctrico genera una tensión eléctrica proporcional a la aceleración por presión, sobre un cristal piezoeléctrico. Para su fabricación se usan materiales cerámicos como el titanato de bario, aunque en un principio se utilizaba el cuarzo.

Por medio del efecto piezoeléctrico a través de una fuerza externa se logra un desplazamiento de cargas lo que induce una corriente de desplazamiento y está un campo eléctrico. Bajo este principio trabajan los micrófonos piezoeléctricos, mientras que los altavoces piezoeléctricos aprovechan el efecto inverso convirtiendo las señales eléctricas en deformaciones mecánicas para emitir sonidos.

Figura 10. **Ilustraciones de transductores piezoeléctricos comerciales**



Fuente: Laboratorio de electrónica, T1, Facultad de Ingeniería.

Entre las aplicaciones que tienen los transductores piezoeléctricos en la actualidad dentro de la industria están:

- Monitorear combustión durante el desarrollo en motores de combustión interna.
- Pantallas táctiles de teléfonos celulares.
- Equipo de ultrasonido.
- *Buzzers* – alarmas.
- Sensores de presión.
- Pastillas para guitarras.

1.2.3. Ejemplos internacionales de la generación de piezoelectricidad

Desde hace poco, varios son los países que se han visto en el interés sobre investigar y desarrollar tecnología con transductores piezoeléctricos para la generación de energía eléctrica, todo esto partiendo de la idea, de que el consumidor debe realizar el proceso para tener a disposición la energía que luego utilizará.

La particularidad de esta tecnología es que el consumidor no debe efectuar ninguna tarea, en especial para la generación de la piezoelectricidad sino simplemente realizar sus actividades diarias de manera cotidiana, debido a que esta alternativa energética depende de la movilidad del usuario se pueden desechar condiciones como el clima, disponibilidad de recursos naturales, desechos del proceso con un efecto toxico para el medio ambiente; mientras la comunidad que se encuentra en el rol de usuario continúe con sus actividades se podrá tener energía eléctrica. Algunos ejemplos internacionales que se pueden citar son los siguientes:

- Japón, estación Shibuya de Tokio: la estación dispone de una alfombra por la que cada pasajero tiene que pasar para llegar a la zona de compra de billetes.

La alfombra lleva por debajo un sistema basado en materiales piezoeléctricos, capaces de convertir los pasos de las personas que andan por encima en energía eléctrica. La energía producida se utiliza para iluminar algunas luminarias de bajo consumo led y un panel donde se muestra la cantidad de energía producida, una persona de 60 kg de

peso produce aproximadamente 0,5 watts cuando pasa por la alfombra dos veces, una para comprar su billete y otra para volver.

Figura 11. **Ilustración de alfombra piezoeléctrica**



Fuente: *Electricidad paso a paso*. <http://nologia.com/wp-content/uploads/2008/12/electricidad-con-pasos.jpg>. Consulta: abril de 2015.

- Países bajos, estación de tren: la compañía Royal Boon Edam Group Holding ha instalado en una estación de tren de los Países Bajos la primera puerta giratoria que almacena la energía que se produce cada vez que alguien pasa a través de ella.

La energía obtenida se utiliza para iluminar unas lámparas con tecnología led en el techo, mientras que en el exterior un indicador muestra la cantidad total de energía producida en la puerta, esto con fin didáctico para el consumidor.

- España, proyecto SPIA: el proyecto Sistema Personal Luminoso Autónomo, SPIA; en España tiene otra perspectiva de lo que se puede

lograr con transductores piezoeléctricos al momento de generación de energía eléctrica por medio del consumidor.

La investigación desarrollada por el Centro de Investigaciones en Nanomateriales y Nanotecnología, CINN; tiene como fin el crear equipo de vestimenta industrial con la posibilidad de que tengan luminarias alimentadas por el movimiento del usuario, el proyecto contempla colocar transductores piezoeléctricos en la ropa para que con las deformaciones, causadas por los movimientos de la persona que la viste, se genere piezoeléctricidad.

- Israel, Innowattech: esta empresa ha pensado en la energía mecánica que pierden los coches y los trenes al circular y han llegado a la conclusión de que se debería poder recuperar de alguna manera.

El invento trata de la colocación de generadores piezoeléctricos, debajo de las vías del tren o del asfalto de las autopistas, que son capaces de generar energía gracias al movimiento, la temperatura, el peso y las vibraciones de los vehículos que pasan por encima.

La prueba se realizó en un tramo de diez metros que se encuentra en la intersección Hefer de la antigua carretera costera de la Ruta 4 de Israel. Situando los pequeños generadores piezoeléctricos a cinco centímetros de la superficie. El paso de los coches sobre el sistema de generadores eléctricos fue capaz de capturar alrededor de 2 000 vatios por hora.

Sin duda alguna, Israel es un país líder en innovaciones tecnológicas y con el apoyo del gobierno y de la industria local, esta iniciativa se

encuentra en el mejor escenario posible para poner a prueba sus nuevos sistemas.

Figura 12. **Ilustración de sistema energético piezoeléctrico israelita por Innowattech**



Fuente: Innowattech.

2. PANELES PIEZOELÉCTRICOS MAMS

Partiendo del principio de la piezoelectricidad y utilizando transductores se propone la realización de paneles. Los cuales una vez finalizados podrán llevar a cabo la transformación de energía mecánica del caminar de las personas sobre ellos, a eléctrica para su almacenamiento.

Para comenzar con la construcción de estos paneles se debe elegir el mejor transductor piezoeléctrico existente en el mercado guatemalteco, para dicha selección se les realizarán diferentes pruebas con el fin de obtener resultados prácticos y elegir con base en estos la cerámica a utilizar en los paneles.

Una vez elegido el transductor se procederá a seleccionar la conexión ideal entre transductores, para aprovechar de mejor manera la conversión de energía mecánica a eléctrica. Para llegar a obtener la mayor cantidad de energía eléctrica convertida se debe comprender que los transductores piezoeléctricos no son solamente cristales de cuarzo sino que tienen un circuito equivalente RC, el cual se explicará más adelante en este título.

Parte importante de los paneles será la forma en que estos sean construidos, las capas que los constituirán son fundamentales, ya que en estos estarán distribuidos los transductores, los cuales deben ir en una superficie elástica para que tenga un rango de libertad al momento de deformarse; por lo mismo que en los paneles habrán circuitos estos deben contar con que las caras superficiales sean impermeables y que una de estas caras debe tener

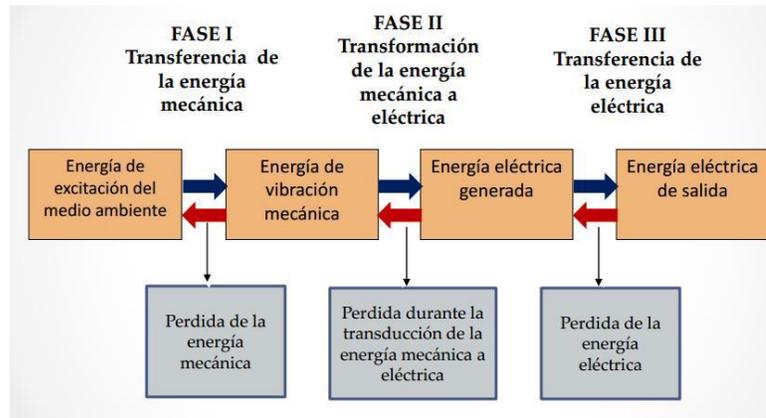
cierta rigidez, ya que sobre esta caminarán las personas con un peso promedio de 60 kilogramos para la población estudiantil de la FIUSAC.

2.1. Análisis teórico de los transductores piezoeléctricos

Para la realización del proyecto el elemento primordial son los transductores piezoeléctricos, ya que en estos es donde se lleva a cabo el proceso de transformación de la energía, es decir a partir de la energía mecánica del transeúnte por caminar sobre los paneles se lleva a cabo un proceso para que se obtenga energía eléctrica.

Dentro de este proceso se deben contemplar pérdidas, como se mencionó anteriormente estos dispositivos tienen un circuito equivalente RC, donde las resistencias provocan efecto joule repercutiendo en la eficiencia del sistema; debido a que se debe conseguir la mayor cantidad de energía mecánica convertida a eléctrica, la cantidad de presión generada por el peso de las personas es proporcional a la carga producida y el factor de proporcionalidad será la eficiencia.

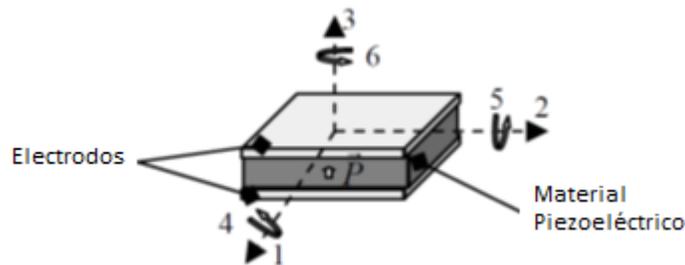
Figura 13. **Proceso de transformación de la energía de mecánica a eléctrica**



Fuente: CIFUENTES GUTIÉRREZ, José Andrés. *Baldosa piezoeléctrica para alimentar sistemas de iluminación de bajo consumo energético.* p. 23.

En lo que se refiere a un análisis teórico de las cerámicas piezoeléctricas con lleva muchos aspectos a tomar en cuenta. Estos dispositivos reaccionan a los esfuerzos aplicados en 3 ejes (X, Y y Z) y sobre estos se deben tomar en cuenta la dirección en que el material reaccionara.

Figura 14. **Definición de las líneas de los ejes de un material piezoeléctrico**

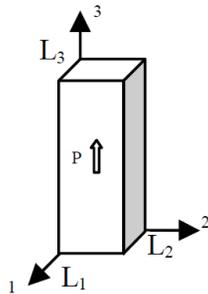


Fuente: CIFUENTES GUTIÉRREZ, José Andrés. *Baldosa piezoeléctrica para alimentar sistemas de iluminación de bajo consumo energético.* p. 34.

La convención de signos para los materiales piezoeléctricos se puede generalizar en 2 casos. La primera es llamada configuración de apilamiento, la cual opera en el modo 33. La segunda es la configuración doblada, que opera en el modo 31. La convención de signos asume que la polarización del material siempre ocurre en la dirección 3.

En el modo 33, el voltaje eléctrico es recuperado en la dirección 3 y el material es forzado en la dirección de polarización que es la misma dirección 3. Por otro lado, en el modo 31, el voltaje eléctrico se encuentra en la dirección 3, mientras que el material es forzado en la dirección 1, la cual es perpendicular a la dirección de polarización.

Figura 15. **Configuración de apilamiento**



Fuente: CIFUENTES GUTIÉRREZ, José Andrés. *Baldosa piezoeléctrica para alimentar sistemas de iluminación de bajo consumo energético*. p. 34.

Para el interés del proyecto la configuración de apilamiento es la que cumple con el objetivo deseado, ya que el pisar de las personas sobre los paneles será en la dirección 3 y a su vez, la cerámica se polarizará en la misma dirección; debido a esto el análisis teórico no se desviará a tomar en cuenta las demás configuraciones sino solo la de apilamiento.

2.1.1. Ecuaciones y constantes

Elegida la configuración en cómo se analizará el transductor se deben especificar las constantes con las que se pueden realizar los cálculos. Estas constantes indican características mecánicas y físicas, propias de cada cerámica.

Tabla I. Principales constantes

Constantes		Unidad	Valores típicos	Definición
<i>d</i>	Constante de carga piezoeléctrica	$\frac{\text{metros}}{\text{voltios}} \left(\frac{m}{V}\right)$ o $\frac{\text{Coulomb}}{\text{Newton}} \left(\frac{C}{N}\right)$	De 0,2 a 8 Angstrom (10e-10 metros) por volt aplicado De 20 a 800 pico Coulomb por Newton aplicado	Indica la proporción entre la variación dimensional (Δl) del material piezoeléctrico en metros y la diferencia de potencial aplicada en voltios; y entre generación de cargas eléctricas en Coulomb y la fuerza aplicada en el material en Newton.
<i>g</i>	Constante de tensión piezoeléctrica	$\frac{\text{Voltio}\cdot\text{metro}}{\text{Newton}} \left(\frac{V\cdot m}{N}\right)$	De -1 a 60 volts para cada Newton aplicado	Informa cual es la proporción entre la diferencia de potencial generada en Voltios y la fuerza aplicada en Newton para una cerámica con una longitud de 1 metro.
<i>K</i>	Coefficiente de acoplamiento	Adimensional	De 0,02 2 % de eficiencia; a 0,75 75 % de eficiencia	Eficiencia del material en la transducción / conversión de energía eléctrica en mecánica y viceversa.
<i>Q</i>	Factor de calidad mecánico	Adimensional	De 50 a 1 500	Es una medida relacionada con la disminución mecánica del material, es decir que el

Continuación de la tabla I.

				factor de calidad mecánico de un dispositivo resonante es 100, significa que si es excitado momentáneamente en su frecuencia de resonancia, irá oscilar $100/2\pi$ veces antes de alcanzar el reposo.
Tan δ	Factor de disipación dieléctrica	Adimensional	De $2 * 10^{-3}$ a $25 * 10^{-3}$	Medida relacionada con las disminuciones dieléctricas del material.
Tc	Temperatura de Curie	Grados Celsius	De 150 a 350 °C	Temperatura en la cual la estructura cristalina del material sufre una transición de fase dejando de presentar propiedades piezoeléctricas. Después de superar esta temperatura, el material pierde la polarización remanente inducida, tornándose inútil para la utilización como elemento transductor de energía eléctrica en mecánica.
	Límite de tracción dinámico	Adimensional		Es el límite máximo de tracción a que el material puede ser sometido dinámicamente sin romperse. Este límite debe ser tomado en cuenta

Continuación de la tabla I.

				principalmente al proyectar transductores de potencia, donde las cerámicas piezoeléctricas son sometidas a altos campos eléctricos que provocan tanto la compresión como la tracción del material.
K o ϵ_r^3	Constante dieléctrica	$\frac{\text{faradios}}{\text{metros}} \left(\frac{F}{m}\right)$	$8.85 * 10^{-12}$	La constante dieléctrica relaciona la permisividad dieléctrica del material con relación a la permisividad del vacío.
	Tasa de envejecimiento			Es la tasa con que las propiedades piezoeléctricas del material se alteran con el tiempo a medida que la orientación de los dominios de los dipolos, creada por el proceso de polarización.

Fuente: elaboración propia.

Dado a que el análisis de los transductores piezoeléctricos se resume a la configuración de apilamiento, las ecuaciones que se enlistaran a continuación serán para una sola dimensión.

Tabla II. Ecuaciones para analizar en una sola dimensión

	Ecuación	Unidad	Núm.
Polarización	$P = Zd + \epsilon_0 XE$	$\left[\frac{C}{m^2}\right]$	(1)
Deformación elástica	$e = Zs + Ed$		(2)
Coefficiente de deformación piezoeléctrica	$d = \left(\frac{\delta P}{\delta Z}\right)_E = \left(\frac{\delta e}{\delta E}\right)_Z$	$\left[\frac{m}{V}\right]$	(3)
Coefficiente de tensión piezoeléctrica	$g = \left(\frac{-\delta E}{\delta Z}\right)_P = \left(\frac{\delta Z}{\delta E}\right)_e$	$\left[\frac{m^2}{C}\right]$	(4)
Efectividad de conversión de energía mecánica a eléctrica o viceversa	$k^2 = \frac{\text{energía eléctrica convertida a energía mecánica}}{\text{energía mecánica de entrada}}$		(5)
Voltaje – AC generado	$V_a = \frac{k_{33} F h_{piezo}}{A} (0,5 Y \epsilon_0 \epsilon_r)^{-1/2}$	[V]	(6)
Capacitancia de apilamiento	$C_{stack} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{h_{piezo}}$	[F]	(7)
Resistencia de pérdida	$R_{loss} = \frac{\tan \delta}{\omega_n C_{stack}}$	[Ω]	(8)
Energía eléctrica almacenada	$W_{eléctrica} = \frac{q^2}{2C_{stack}}$	[J]	(9)
Carga eléctrica almacenada	$q = C_{stack} V_a$	[C]	(10)

Continuación de la tabla II.

Frecuencia natural	$\omega_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{m}}$	[Hz]	(11)
Constante elástica	$K = \frac{YA}{h_{piezo}}$	$\left[\frac{N}{m}\right]$	(12)
Constante de carga y descarga	$\tau = (R_{loss} + R_{leakage})C_{stack}$	s	(13)
Tiempo de carga y descarga	$T = 5\tau$	s	(14)
Área	$A = \pi r^2$	m ²	(15)
Volumen	$V = Ah_{piezo}$	m ³	(16)
Masa	$m = \rho V$	Kg	(17)

Fuente: elaboración propia.

Las anteriores ecuaciones son herramientas para analizar la piezoelectricidad, donde los objetivos de estas es describir la polarización eléctrica que aparece en el material al aplicar una tensión mecánica y la aparición de una deformación elástica en el material al aplicar un campo eléctrico, en estas se encuentran ciertas constantes no mencionadas aun, las cuales son:

- Z = tensión mecánica
- E = campo eléctrico

- X = susceptibilidad eléctrica
- s = coeficiente de elasticidad
- Y = Módulo de Young de la cerámica piezoeléctrica
- A = área transversal del transductor piezoeléctrico
- hpiezo = espesor del transductor piezoeléctrico

Sí el uso de los transductores en el presente proyecto demostrara otras configuraciones a parte de la de apilamiento, es decir que los esfuerzos aplicados a estos y la polarización de las cerámicas fuesen en 3 dimensiones como se muestra en la figura 14 se deben usar las siguientes ecuaciones:

Tabla III. **Ecuaciones para analizar en 3 dimensiones**

Ecuación	No.
$d_{ik} = \left(\frac{\delta e_k}{\delta E_i} \right)_z$	(17)
$g_{ik} = \left(\frac{\delta Z_k}{\delta E_i} \right)_z$	(18)
$i \equiv x, y, z$	(19)
$k \equiv xx, xy, xz, yy, yz, zz$	(20)

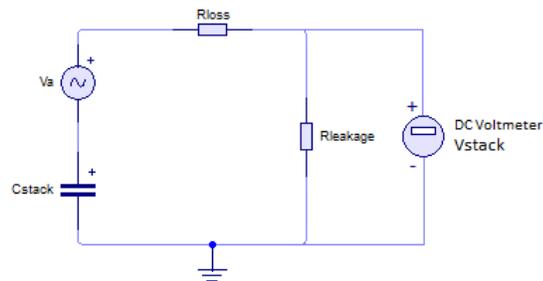
Fuente: elaboración propia.

2.1.2. Circuito equivalente

Como se ha mencionado con anterioridad las cerámicas piezoeléctricas cuentan con un circuito equivalente RC, el cual es mostrado de diversas formas, para este caso se ha venido trabajando con Keawbooncliny & Engel de la cual se ha podido extraer las constantes y ecuaciones que se presentaron

anteriormente; partiendo de esto el circuito a presentarse a continuación es el que ellos proponen:

Figura 16. **Circuito equivalente para generador piezoeléctrico**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

En el anterior circuito se puede observar como la cerámica piezoeléctrica está conformada por un generador de corriente alterna, una resistencia de pérdida, una resistencia de fuga y un capacitor de apilamiento.

Para el análisis del presente proyecto el generador de voltaje alterno es lo que anteriormente se mencionó como V_a , ecuación núm.6, este es apreciable cuando se le aplica fuerza al transductor mientras esta en circuito abierto.

En serie a este generador de voltaje se encuentra una resistencia de perdida R_{loss} , ecuación núm.8, esta representa la perdida dieléctrica interna del material.

La energía eléctrica almacenada en la cerámica se expresa en la ecuación núm.9 como resultado de los esfuerzos mecánicos en el material, en el circuito equivalente se presenta la capacitancia de apilamiento, ecuación núm.10, en serie al generador AC.

En paralelo al circuito equivalente se encuentra la resistencia de fuga, Rleakage, la cual no se expresa en ninguna ecuación, ya que la forma de obtener el valor de esta es con un multímetro en paralelo a la cerámica piezoeléctrica, los valores que esta presenta se encuentran en el orden de los 10 megaohmios.

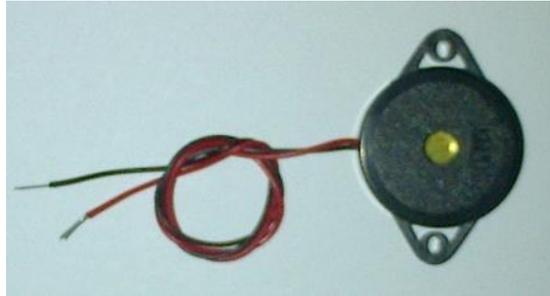
2.1.3. Transductores piezoeléctricos en el mercado nacional

Las cerámicas piezoeléctricas comerciales se encuentran dentro de la clasificación de materiales piezoeléctricos que necesitan ser polarizados, estas surgieron debido a que los materiales de origen natural como el cuarzo y el rubidio tienen un efecto piezoeléctrico muy pequeño; su composición consta de titanio de bario (BaOTiO_2) y una combinación de zirconato de plomo (PbZrO_3) y titanio de plomo (PbTiO_3), mejor conocido en la industria como PZT (zirconato titanato de plomo), tiene la ventaja de fabricarse a un precio muy bajo, físicamente fuerte y químicamente inerte.

Entre los dispositivos de electrónica a la venta se lograron conseguir 3 distintos transductores piezoeléctricos PZT, de diferentes proveedores cada uno, para ser más específicos en cada lugar se consigue de diferente forma, es decir no en todos los lugares se pueden pedir directamente por el nombre con el que se le trata a estas cerámicas en este proyecto.

El primer transductor es identificado como *buzzer* en el mercado, es bien sabido que dentro de estos dispositivos se encuentran estas cerámicas piezoeléctricas que son utilizadas con base en su comportamiento inverso para vibrar a cierta frecuencia y emitir sonido al estar encapsuladas en un recipiente de plástico.

Figura 17. **Buzzer piezoeléctrico**



Fuente: Laboratorio de electrónica, T1, Facultad de Ingeniería.

Al sacar el transductor de su carcasa de plástico se logra observar que es de la siguiente forma:

Figura 18. **Transductor piezoeléctrico núm.1**



Fuente: Laboratorio de electrónica, T1, Facultad de Ingeniería.

Esta cerámica tiene las siguientes características:

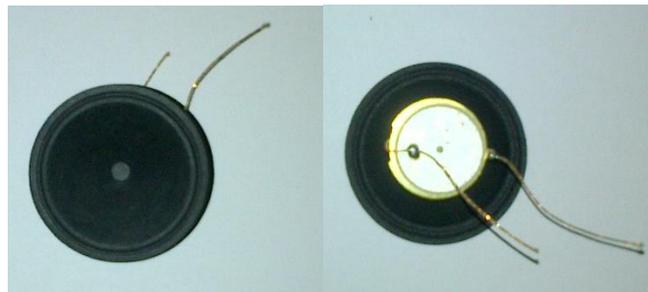
Tabla IV. **Características del transductor piezoeléctrico núm.1**

θ_{exterior}	0,0195 m
Área	0,00029865 m ²
h_{piezo}	0,00014 m
R_{leakage}	6 M Ω

Fuente: elaboración propia.

El segundo transductor piezoeléctrico es conseguido en la forma de un pequeño parlante de agudos, el transductor se encuentra a simple vista con un pequeño cono de papel adherido a él.

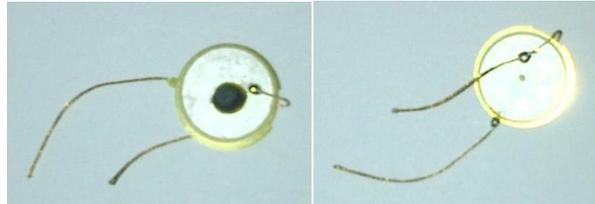
Figura 19. **Parlante piezoeléctrico**



Fuente: Laboratorio de electrónica, T1, Facultad de Ingeniería.

Para dejar solamente el transductor, que es lo que importa para este proyecto, solamente se debe quitar el cono de papel; este transductor cuenta con la característica que posee doble cara de electrodo a diferencia del primer transductor que solamente posee una.

Figura 20. **Transductor piezoeléctrico núm. 2**



Fuente: Laboratorio de electrónica, T1, Facultad de Ingeniería.

Esta cerámica tiene las siguientes características:

Tabla V. **Características del transductor piezoeléctrico núm.2**

$\theta_{exterior}$	0,0213 m
Área	0,00035633 m ²
h_{piezo}	0,0002 m
$R_{leakage}$	4 M Ω

Fuente: elaboración propia.

El último transductor obtenido en el mercado nacional se obtiene como tal, esta cerámica viene sin ninguna carcasa ni nada más; visualmente se aprecia que es muy similar al primer transductor sin su carcasa de plástico, en base a las pruebas se demostrara si sus resultados también son similares.

Figura 21. **Transductor piezoeléctrico núm.3**



Fuente: Laboratorio de electrónica, T1, Facultad de Ingeniería.

Esta cerámica tiene las siguientes características:

Tabla VI. **Características del transductor piezoeléctrico núm. 3**

$\theta_{exterior}$	0,02 m
Área	0,00031416 m ²
h_{piezo}	0,0001 m
$R_{leakage}$	6 M Ω

Fuente: elaboración propia.

Existen variables para realizar el análisis teórico que sus valores dependen de las características mecánicas de los materiales que componen al transductor; al ser cerámicas comerciales PZT sin ninguna ficha técnica las obtenidas para el análisis, los valores que se propone en la bibliografía para las variables ligadas a estas propiedades son los siguientes:

Tabla VII. **Variables referidas a las características mecánicas**

Y	$5,20E + 10 \frac{N}{m^2}$
Densidad ρ	$7\ 600 \frac{Kg}{m^3}$
Constante dieléctrica ϵ_r	1 750
Constantes piezoeléctrica g_{33}	$0,0258 \frac{Vm}{N}$
Coefficiente de acoplamiento k_{33}	0,73
Tangente de pérdida dieléctrica $\tan \delta$	0,02
Factor de calidad mecánico Q	75

Fuente: elaboración propia.

2.1.4. Resultados teóricos

Con las características y valores de constantes presentadas se procede a demostrar los resultados teóricos que cada transductor tiene el potencial de entregar en la práctica, tomando en cuenta que el estudiante promedio de la Facultad de Ingeniería pesa 60 kg generando una fuerza de 588 N sobre la superficie de un transductor.

Tabla VIII. **Resultados teóricos del transductor piezoeléctrico núm. 1**

Voltaje AC – generado (ec.6)	10,03 V
Cstack (ec.7)	33,04 nF
Constante elástica (ec.12)	$1,11 * 10^{11}$
Masa (ec.17)	0,32 g
Frecuencia natural (ec.11)	2,96 MHz
Rloss (ec.8)	0,205 Ω
Carga eléctrica almacenada (ec.10)	$3,31 * 10^{-7}$ C
Energía eléctrica almacenada (ec.9)	$1,66 * 10^{-6}$ J
Constante de carga y descarga (ec.13)	0,1982 s
Tiempo de carga y descarga (ec.14)	0,9912 s

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Resultados teóricos del transductor piezoeléctrico núm.2**

Voltaje AC – generado (ec.6)	12.01 V
Cstack (ec.7)	27.59 nF
Constante elástica (ec.12)	$9.26 * 10^{10}$
Masa (ec.17)	0.54 g
Frecuencia natural (ec.11)	2.08 MHz
Rloss (ec.8)	0.349 Ω
Carga eléctrica almacenada (ec.10)	$3.31 * 10^{-7}$ C
Energía eléctrica almacenada (ec.9)	$1.98 * 10^{-6}$ J
Constante de carga y descarga (ec.13)	0.1104 s
Tiempo de carga y descarga (ec.14)	0.5518 s

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Resultados teóricos del transductor piezoeléctrico núm. 3**

Voltaje AC – generado (ec.6)	6,81 V
Catack (ec.7)	48,70 nF
Constante elástica (ec.12)	$1,63 * 10^{11}$
Masa (ec.17)	0,24 g
Frecuencia natural (ec.11)	4,15 MHz
Rloss (ec.8)	0,09896 Ω
Carga eléctrica almacenada (ec.10)	$3,31 * 10^{-7}$ C
Energía eléctrica almacenada (ec.9)	$1,126 * 10^{-6}$ J
Constante de carga y descarga (ec.13)	0,2922 s
Tiempo de carga y descarga (ec.14)	1,46 s

Fuente: elaboración propia.

Estos resultados teóricos dan una expectativa de lo que un transductor puede dar ya en la práctica, tomando como punto principal el voltaje generado por una persona de 60 kg, el cual es el que se logra medir en las salidas de la cerámica según el circuito equivalente.

2.1.5. Comportamiento de transductores piezoeléctricos bajo la carga

De los resultados anteriores se debe fijar atención al tiempo de carga y descarga de las cerámicas, ya que el comportamiento del transductor depende de la aplicación de la carga durante este periodo, es decir si la carga permanece aplicada durante menos tiempo la respuesta será diferente que si la carga se mantiene por un tiempo mayor.

Un concepto básico para un circuito RC es que se carga en un tiempo de 5τ llegando a un nivel de voltaje igual al cual este expuesto, si este voltaje es

bajo, el capacitor a su debido tiempo se carga a un nivel bajo de voltaje sin embargo si este voltaje se incrementa lo mismo sucederá con el voltaje que almacenará el capacitor.

En el circuito equivalente de las cerámicas piezoeléctricas el voltaje al cual está expuesto el C_{stack} es el que genera internamente el transductor, pero este a su vez depende del comportamiento de la carga cuando es aplicada, si bien es de suma importancia la fuerza que se le aplique para generar la presión suficiente y obtener un diferencia de potencial considerable; es de igual importancia el tiempo y la continuidad con que esta es aplicada.

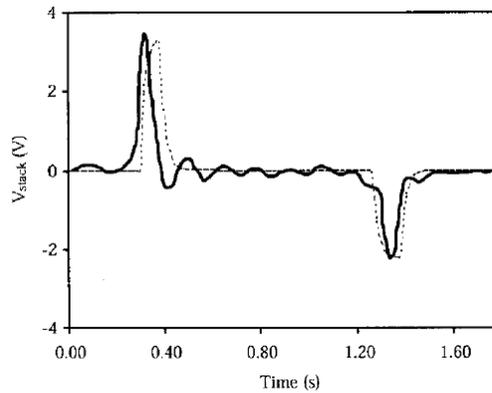
Existen 2 tipos de comportamiento de la carga según Keawboonclinay & Engel, comportamiento de la carga cuasi estática y comportamiento dinámico, para cada uno el transductor presenta respuestas totalmente diferentes que puede llegar a influir de manera crítica al diseño del circuito de cosecha de energía eléctrica.

2.1.5.1. Comportamiento cuasiestático de la carga

Cuando al transductor piezoeléctrico se le aplica la carga por un tiempo mayor que el de carga del capacitor, la respuesta de este serán 2 picos de voltaje, tal y como se mencionó en el capítulo 1, una señal alterna debido a los esfuerzos de compresión y tensión aplicados.

El primer pico de voltaje se produce cuando se comienza a aplicar presión y el segundo pico se produce cuando se retira dicha presión, esto se debe a que el tiempo que transcurre desde que se aplicó la carga hasta que se retiro es mayor que la constante de carga del transductor, tal y como se muestra en la siguiente gráfica:

Figura 22. **Voltaje de salida bajo carga cuasiestática**



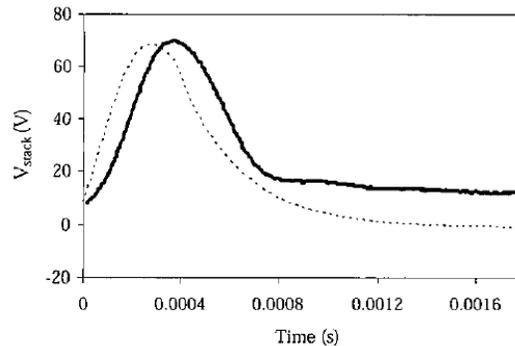
Fuente: KEAWBOONCLINAY, Chok. *Electrical power generation characteristics of piezoelectric generator under quasi-static and dynamic stress conditions*. p. 4.

2.1.5.2. **Comportamiento dinámico de la carga**

El comportamiento dinámico es cuando la aplicación de la carga dura menos tiempo que la constante de carga del transductor, esto implica que la aplicación de esta carga debe ser repetitiva durante este pequeño periodo de tiempo con el fin de que la diferencia de voltaje almacenado en C_{stack} sea mayor.

Como señal de respuesta, a este tipo de carga, el transductor piezoeléctrico no genera corriente alterna sino solamente un pico positivo de voltaje aproximadamente 10 veces mayor que el que alcanza con una carga cuasi estática.

Figura 23. **Voltaje de salida bajo carga dinámica**



Fuente: KEAWBOONCLINAY, Chok. *Electrical power generation characteristics of piezoelectric generator under quasi-static and dynamic stress conditions*. p. 6.

Este tipo de comportamiento es más productivo para el proyecto porque se logra obtener una mayor diferencia de potencial, el punto ahora es comprender como es el comportamiento de la carga dentro de las instalaciones de la Facultad de Ingeniería.

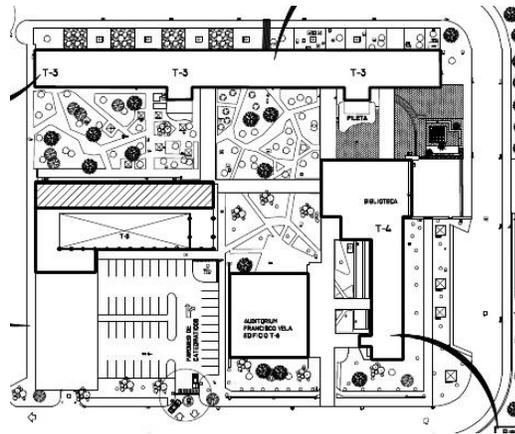
2.1.5.3. Comportamiento de la carga dentro de las instalaciones de la FIUSAC

La instalación del proyecto ya concretado debe ser en una ubicación donde exista afluencia peatonal para generar la suficiente energía y almacenarla, siendo también un lugar donde a pesar de estar expuesto al usuario todo el tiempo no sufra acciones delictivas.

Debido a esto lo correcto es en los alrededores del edificio T3, ya que es el edificio principal para el estudiantado de la facultad; en el edificio se analizaron visualmente los puntos donde concurre mayor número de personas,

llegando a la conclusión de que son las 2 puertas principales y un pasillo estrecho, que comunica el edificio T3 con el T1.

Figura 24. **Vista de planta, alrededores del T3, FIUSAC**



Fuente: Universidad de San Carlos de Guatemala. <http://img48.xooimage.com/files/8/e/3/usac-1b9182c.jpg>. Consulta: junio de 2015.

La primer puerta es la más cercana a las personas que vienen entrando a la universidad y tiene dirección hacia el edificio T4, la segunda esta frente al salón de clases 110, esta puerta es más un embudo, ya que se encuentra en el centro del edificio; ambas puertas dan entrada al 1er nivel del edificio T3.

El pasillo estrecho mencionado se encuentra en el nivel 0 del T3, este tiene un flujo peatonal elevado, ya que es una ruta directa para llegar al edificio T1, el cual es utilizado por los alumnos de diseño gráfico y en su mayoría por estudiantes de ingeniería, su principal característica es que posee un ancho de aproximadamente 2 metros haciendo que la orientación al caminar por este sea predecible.

Con este análisis visual preliminar se tomó la decisión de analizar 3 áreas del edificio, la puerta central frente al salón de clases 110, el pasillo del primer nivel dentro el T3 y el pasillo estrecho en el nivel 0 que comunica el T1 con el T3.

Para llevar a cabo el análisis de flujo poblacional se realizó análisis visual de campo y se acudió a Secretaria Adjunta, quienes tienen a su disposición las grabaciones del equipo CCTV instalado en la facultad, al llegar a un acuerdo con las autoridades prudentes se pudo obtener los videos de seguridad de 2 cámaras, una de las cuales se encuentra en el primer nivel del edificio T3 justamente capturando la actividad de la puerta frente al salón 110 y una sección del pasillo del 1er nivel; la otra cámara se encuentra en el nivel 0 del T3 filmando la actividad del pasillo estrecho que comunica edificios. Existen ciertos puntos a tomar en cuenta para este análisis:

- La facultad de ingeniería cuenta con un promedio de 12 000 estudiantes activos siendo la tercera facultad con más alumnos dentro del campus universitario.
- Los cursos del área básica son impartidos de lunes a viernes, aunque no todos son impartidos en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería sino en edificios alternos como es el caso del S12.
- Luego de la etapa inicial de la carrera los siguientes cursos ya no son impartidos de lunes a viernes sino que los cursos con mayor contenido están en horarios de lunes, miércoles y viernes; dejando martes y jueves para cursos con menor contenido o periodos de laboratorios dependiendo la carrera que se curse; esto influye en la cantidad de estudiantes que llegan a las instalaciones de la facultad.

- Existen ciertas prácticas o laboratorios que son impartidos los días sábados, de igual forma existen alumnos que llegan los fines de semana a la facultad para trabajar proyectos en grupo.
- Las clases comienzan desde las 7:10 a.m. hasta las 8:40 p.m. con duración de 50 minutos cada periodo.
- Son escasas las ocasiones donde los alumnos no deben cambiar de salón de clases entre periodo y periodo, lo que provoca que cada 50 minutos luego de terminar la clase existe un flujo peatonal alto donde las personas se movilizan de salón a salón o de edificio a edificio.

Tabla XI. **Horario de clases de lunes a viernes**

Núm. de período	Hora inicio	Hora finalización
1	7:10 a.m.	8:00 a.m.
2	8:00 a.m.	8:50 a.m.
3	8:50 a.m.	9:40 a.m.
4	9:40 a.m.	10:30 a.m.
5	10:30 a.m.	11:20 a.m.
6	11:20 a.m.	12:10 p.m.
7	12:10 p.m.	1:10 p.m.
8	1:10 p.m.	2:00 p.m.
9	2:00 p.m.	2:50 p.m.
10	2:50 p.m.	3:40 p.m.
11	3:40 p.m.	4:30 p.m.
12	4:30 p.m.	5:20 p.m.
13	5:20 p.m.	6:10 p.m.
14	6:10 p.m.	7:00 p.m.
15	7:00 p.m.	8:40 p.m.

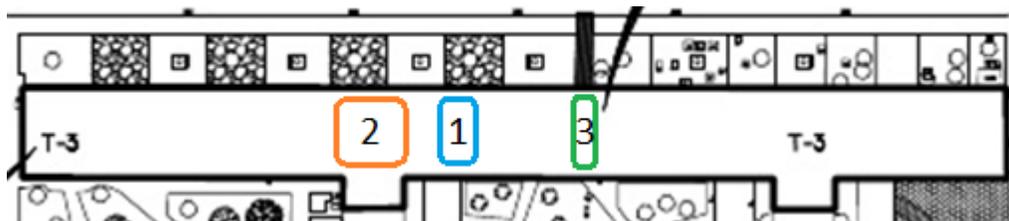
Fuente: elaboración propia.

Para el análisis de flujo peatonal se analizaron 12 horas diarias de videos en una semana regular dentro de la FIUSAC, se describe como regular, ya que dentro de un semestre se llevan a cabo diferentes actividades y más si se toma en cuenta las tradiciones universitarias que posee la USAC, debido a esto se eligió una semana donde no hubiesen actividades no cotidianas para observar el comportamiento peatonal habitual del estudiante.

Con base en los videos analizados se cuantifico y se obtuvo la media de la cantidad de personas que pasan por estas áreas, en segmentos de hora; cada hora tiene sus momentos pico que es donde la población estudiantil cambia de salones.

Se tomó en cuenta la particularidad de cursos impartidos lunes, miércoles y viernes y otros martes y jueves, por lo cual los días de la semana serán agrupados de esa forma para conocer si existe algún cambio en la cantidad de personas que transitan.

Figura 25. **Ubicación de las áreas analizadas**



1. Sección de pasillo 1er nivel T3
2. Sección de pasillo a la entrada frente al salón 110
3. Pasillo de comunicación entre edificios T1 y T3

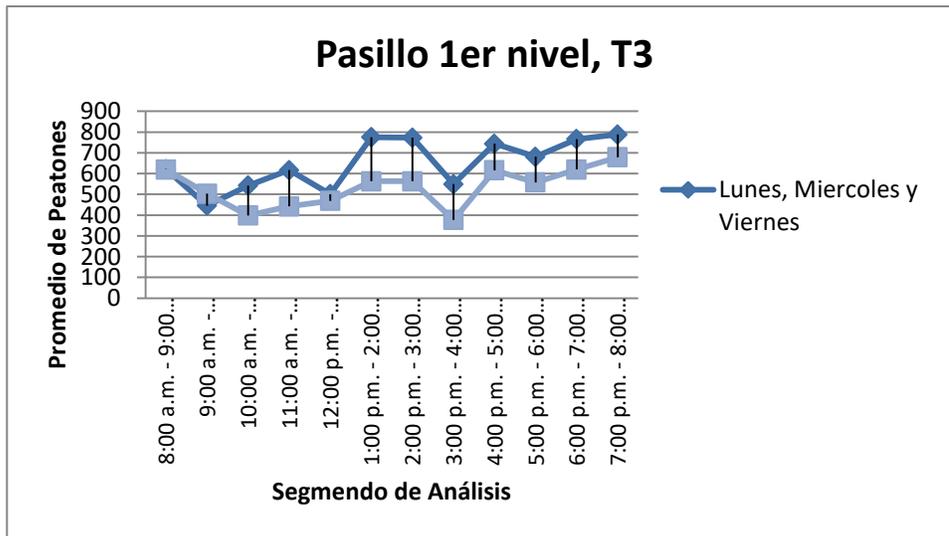
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Tabla XII. **Análisis del pasillo del 1er nivel, T3**

Segmento de análisis	Promedio de personas que transitan	
	lunes, miércoles y viernes	martes y jueves
8:00 a.m. - 9:00 a.m.	621	620
9:00 a.m. - 10:00 a.m.	446	503
10:00 a.m. - 11:00 a.m.	542	398
11:00 a.m. - 12:00 p.m.	617	442
12:00 p.m. - 1:00 p.m.	501	469
1:00 p.m. - 2:00 p.m.	775	563
2:00 p.m. - 3:00 p.m.	773	563
3:00 p.m. - 4:00 p.m.	549	377
4:00 p.m. - 5:00 p.m.	744	616
5:00 p.m. - 6:00 p.m.	681	558
6:00 p.m. - 7:00 p.m.	766	620
7:00 p.m. - 8:00 p.m.	788	679

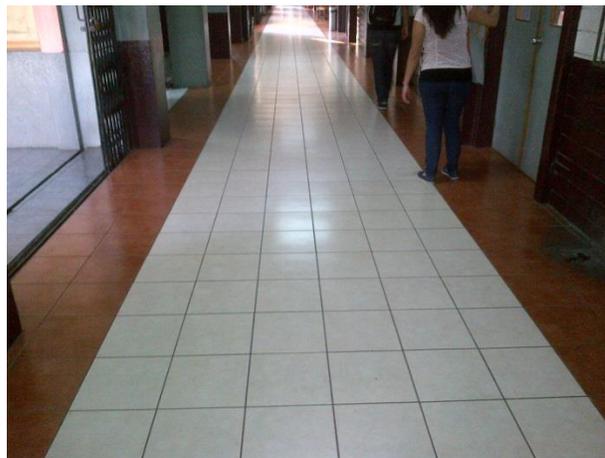
Fuente: elaboración propia.

Figura 26. **Gráfica de las cantidades promedio de flujo peatonal en el pasillo del 1er nivel, T3**



Fuente: elaboración propia.

Figura 27. **Secciones analizadas; pasillo del 1er nivel y puerta central del T3 frente al salón 110**



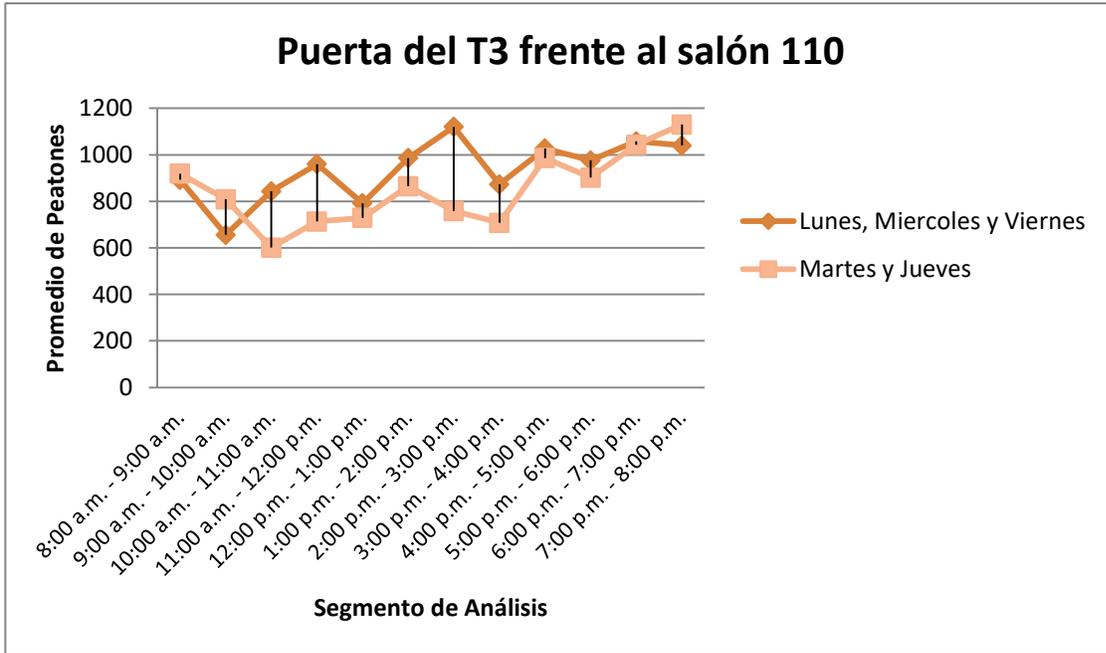
Fuente: Interior del edificio T3, Facultad de Ingeniería.

Tabla XIII. **Análisis de la puerta del T3 frente al salón 110**

Segmento de análisis	Promedio de personas que transitan	
	lunes, miércoles y viernes	martes y jueves
8:00 a.m. - 9:00 a.m.	892	919
9:00 a.m. - 10:00 a.m.	656	809
10:00 a.m. - 11:00 a.m.	843	601
11:00 a.m. - 12:00 p.m.	960	713
12:00 p.m. - 1:00 p.m.	792	729
1:00 p.m. - 2:00 p.m.	986	865
2:00 p.m. - 3:00 p.m.	1 120	758
3:00 p.m. - 4:00 p.m.	873	708
4:00 p.m. - 5:00 p.m.	1 027	986
5:00 p.m. - 6:00 p.m.	976	902
6:00 p.m. - 7:00 p.m.	1 058	1 043
7:00 p.m. - 8:00 p.m.	1 040	1 130

Fuente: elaboración propia.

Figura 28. **Gráfica de las cantidades promedio de flujo peatonal en el pasillo del 1er nivel frente a la puerta del T3**



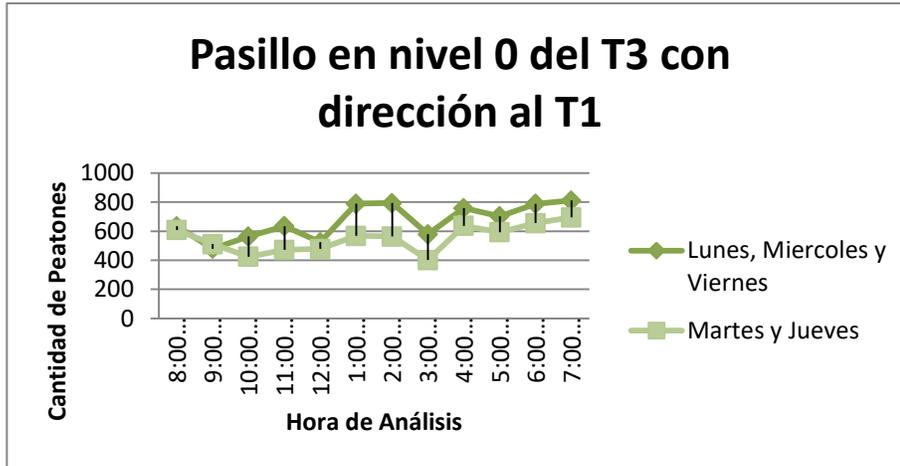
Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Análisis del pasillo en nivel 0 del T3 con dirección al T1**

Segmento de análisis	Promedio de personas que transitan	
	lunes, miércoles y viernes	martes y jueves
8:00 a.m. - 9:00 a.m.	633	608
9:00 a.m. - 10:00 a.m.	479	511
10:00 a.m. - 11:00 a.m.	564	425
11:00 a.m. - 12:00 p.m.	635	472
12:00 p.m. - 1:00 p.m.	524	478
1:00 p.m. - 2:00 p.m.	789	568
2:00 p.m. - 3:00 p.m.	793	563
3:00 p.m. - 4:00 p.m.	579	402
4:00 p.m. - 5:00 p.m.	758	637
5:00 p.m. - 6:00 p.m.	702	593
6:00 p.m. - 7:00 p.m.	788	655
7:00 p.m. - 8:00 p.m.	811	695

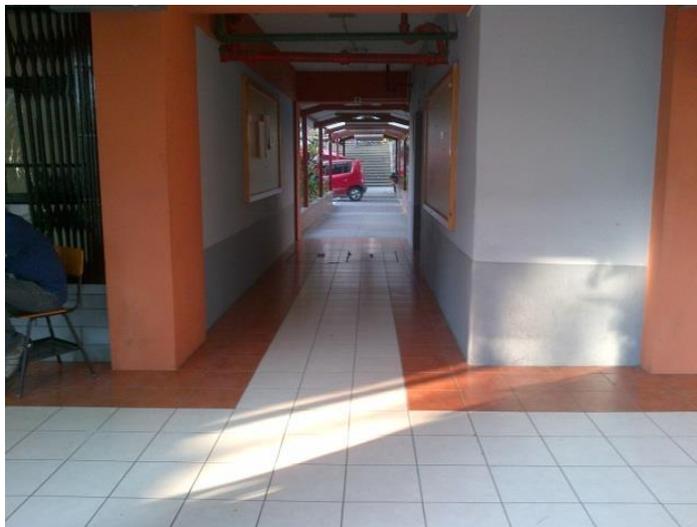
Fuente: elaboración propia.

Figura 29. **Gráfica de las cantidades promedio de flujo peatonal en el pasillo del nivel 0 con dirección al T1**



Fuente: elaboración propia.

Figura 30. **Sección analizada, pasillo en el nivel 0 del T3 con dirección al T1**



Fuente: Nivel 0 del edificio T3, Facultad de ingeniería

Tabla XV. **Promedio de personas por hora**

Pasillo 1er nivel T3	Puerta del T3 frente al salón 110	Pasillo en nivel 0 del T3 con dirección al T1
592,13	891,1	610,9

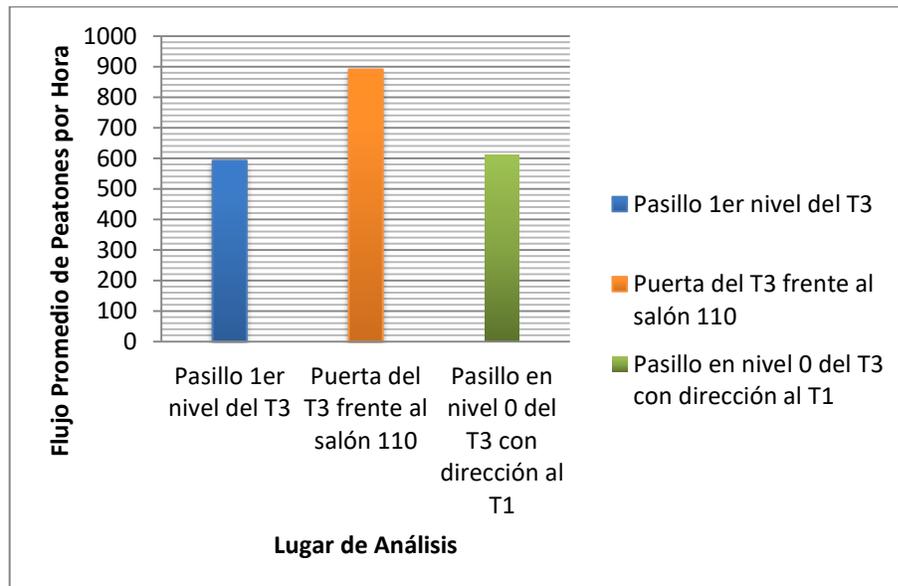
Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Promedio de personas por día**

Pasillo 1er nivel T3	Puerta del T3 frente al salón 110	Pasillo en nivel 0 del T3 con dirección al T1
7 105,5	10 693	7 331

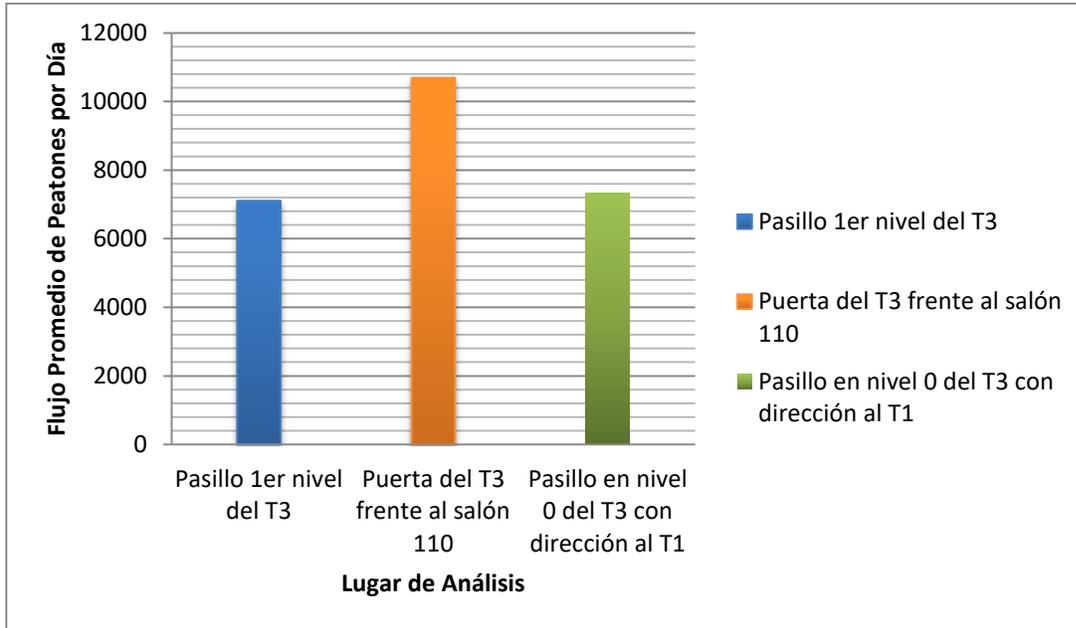
Fuente: elaboración propia.

Figura 31. **Comparación de flujo peatonal promedio por hora**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Comparación de flujo peatonal promedio por día**



Fuente: elaboración propia.

En el análisis se puede observar que si existe un cambio en la cantidad de personas que transitan los días lunes, miércoles y viernes comparado con la cantidad que transita los martes y jueves, pero no es realmente considerable, a pesar de eso la menor cantidad de personas cuantificadas no baja de 300 personas por hora; uno de los datos más significativos para el fin y la causa del presente proyecto es la cantidad de personas que transitan por el T3, en un día se tiene un promedio de 7 100 personas en la sección del pasillo del nivel 1, 10 600 en la sección frente a la puerta y 7 331 en el pasillo del nivel 0; esto motiva a dar una solución energética basada en el transitar de las personas.

Si bien la cantidad de personas es un buen resultado se debe recordar que la generación de energía no viene del número de las personas, que fue lo cuantificado, sino del número de pasos que se dan al caminar por estas áreas,

ya que dependiendo del área abarcada por los paneles se puede capturar como mínimo 2 pasos por persona, obteniendo alrededor de 14 200 aplicaciones de fuerza sobre los paneles.

Ahora bien como detalle a resaltar del número de personas que pasan durante una hora en las secciones analizadas, es que del total un 70 % pasan en un lapso de 20 minutos, \pm 10 minutos del momento de cambio de periodo, dejando aproximadamente una media hora donde pasa el 30 % restante a un ritmo más lento.

En las instalaciones del edificio T3 un 40 % del tiempo la carga tiene un comportamiento que se podría decir dinámico, sin embargo los lapsos de tiempo en el que no transitan personas por las áreas analizadas tiene un promedio de 1 minuto, y el tiempo que debe importar es el que dura el pie en el panel, partiendo de lo anterior se concluye que a pesar que el mayor número de personas transita en un periodo de tiempo menor no quiere decir que cumpla con las condiciones de comportamiento dinámico de la carga, para esto las personas deben caminar sobre los paneles en un tiempo menor a 5τ .

Aún no se tomó la decisión sobre en cuál de las 3 secciones se instalaran los paneles piezoeléctricos, ya que esta debe ir en conjunto con el dato de la diferencia de potencial generada por el prototipo de los paneles y ya con este dato se podrá decidir cuanta área es necesaria abarcar y cuanto flujo peatonal es necesario para suplir de energía a la estación de recarga.

2.2. Análisis práctico de los transductores piezoeléctricos

Para la realización de un prototipo es más importante conocer los resultados prácticos que puede ofrecer un dispositivo, la teoría es una referencia de lo que se podrá ver en la práctica.

A continuación se dan a conocer los resultados obtenidos de diferentes pruebas realizadas a los transductores piezoeléctricos presentados anteriormente, el fin de estas pruebas es elegir una cerámica para el diseño de los paneles piezoeléctricos.

Recordando que, a la forma en como los transductores piezoeléctricos dan una dirección a su polarización en paralelo a la dirección en que se aplica la fuerza se le conoce como la configuración de apilamiento, las siguientes pruebas estas estipuladas que la fuerza será aplicada de manera perpendicular a la cerámica como lo haría un peatón al caminar sobre los paneles.

Al realizar las pruebas se decidió crear una pequeña versión de un panel, con sus capas como las tendrán los prototipos, para que el desgaste que se evidencie en estas pruebas sea similar al que tendrán los transductores en la aplicación de campo.

Figura 32. **Vista de perfil de la versión a escala de un panel piezoeléctrico**



Fuente: Laboratorio de electrónica, T1, Facultad de Ingeniería.

Figura 33. **Vista de planta de la versión a escala de un panel piezoeléctrico**



Fuente: Laboratorio de electrónica, T1, Facultad de Ingeniería.

2.2.1. Resultados ante diferentes maneras de deformar los transductores

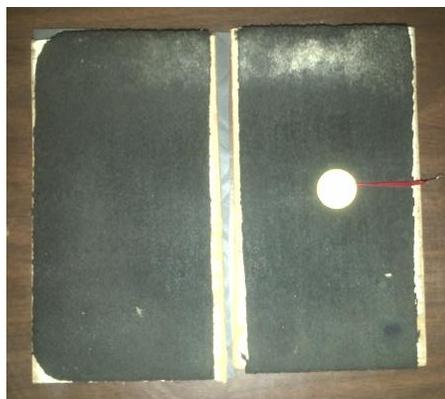
Para estas pruebas lo que se llevó a cabo fue la aplicación de fuerza por medio de pasos de una persona de 60 kg, sobre la versión a escala del panel para tomar nota del V_{stack} resultante de los distintos transductores

piezoeléctricos, en algunas pruebas se colocaron guías de deformación para comprobar si estas ayudan a que la cerámica piezoeléctrica pueda generar mayor diferencia de potencial.

Se tiene un par de cada transductor obtenido, por lo que las pruebas tendrán 5 resultados de cada cerámica, identificándose con T_p n.i, siendo n el número de transductor con el que se le muestra en el subtítulo 2.1.3 e i el número de transductor que es entre el par que se tiene.

- 1er prueba: para esta no se colocaron guías de deformación, el transductor se encuentra sobre superficies lisas de caucho por lo que la deformación que sufra será la que le provoque la forma de pisar del peatón, esta deformación es disminuida por la resiliencia del *plywood* dando como resultado que el transductor solamente sea presionado no deformado; para esta prueba se midió el V_{stack} sin rectificar por lo que los valores de voltaje son en corriente alterna.

Figura 34. **Versión a escala de panel piezoeléctrico para prueba núm.1 sin guías de deformación**



Fuente: Laboratorio de electrónica, T1, Facultad de Ingeniería.

Tabla XVIII. **Resultados de prueba sin guías de deformación**

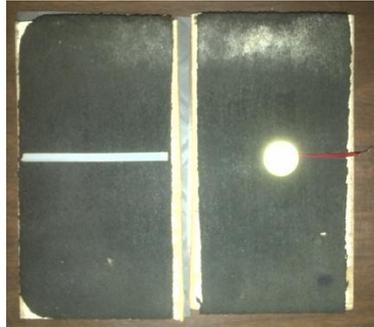
Tp 1.1	1,20 V	1,36 V	1,53 V	1,54 V	1,17 V
Tp 1.2	1,34 V	1,43 V	1,78 V	1,88 V	1,16 V
Tp 2.1	0,74 V	0,57 V	0,37 V	0,5 V	0,65 V
Tp 2.2	0,55 V	0,55 V	0,46 V	0,78 V	0,49 V
Tp 3.1	1,24 V	2,24 V	1,82 V	1,36 V	2,39 V
Tp 3.2	1,21 V	2,59 V	1,58 V	3,26 V	1,84 V

Fuente: elaboración propia.

En estas pruebas se puede analizar que los transductores núm. 2 en promedio darán 0,57 V, no otorgan el mismo voltaje ante la presión como los transductores núm. 1 con una media de 1,44 V y los transductores núm. 3 con su media de 1,95 V; se concluye que para paneles piezoeléctricos basados en presión y no deformación el mejor transductor sería el núm. 3.

- 2da prueba: en esta ocasión se probara con una guía de deformación al centro del transductor, para comprobar si de esta forma se obtiene mayor diferencia de potencial en las cerámicas que en la prueba de solamente presión.

Figura 35. **Versión a escala de panel piezoeléctrico para prueba núm. 2 con guía de deformación al centro**



Fuente: Laboratorio de electrónica, T1, Facultad de Ingeniería.

Tabla XIX. **Resultados de prueba con guía de deformación voltaje AC**

Tp 1.1	1.15 V	0.97 V	0.76 V	0.61 V	0.82 V
Tp 1.2	0.91 V	0.84 V	1.12 V	1.54 V	0.74 V
Tp 2.1	2.27 V	1.14 V	1.92 V	0.87 V	1.75 V
Tp 2.2	1.17 V	2.03 V	1.30 V	0.91 V	1.79 V
Tp 3.1	2.59 V	2.88 V	2.43 V	2.00 V	2.90 V
Tp 3.2	3.77 V	3.80 V	2.40 V	2.11 V	2.91 V

Fuente: elaboración propia.

Como se puede apreciar en esta prueba sí existe un incremento en el voltaje obtenido, como parte del proyecto es conveniente que las guías de deformación para que el voltaje de las cerámicas sea mayor; y el transductor piezoeléctrico núm.3 fue el que mayores resultados produjo con una media de 2,78 V seguido por el transductor núm.2 con una media de 1,52 V y el transductor núm.1 con una media de 0,94 V incluso menor que en la prueba

anterior; nuevamente se tiene que los transductores núm.3 entregan mejores resultados en corriente alterna.

- 3er prueba: partiendo que con la guía de deformación al centro se incrementó en un 22 % el voltaje en la cerámica núm.3 se procederá a hacer pruebas con 2 guías de deformación en paralelo colocadas en los extremos; no se probará con más guías, ya que podrían surgir deformaciones excesivas que acorten la vida media de los transductores.

Figura 36. **Versión a escala de panel piezoeléctrico para prueba núm.3 con 2 guías de deformación en los extremos**



Fuente: Laboratorio de electrónica, T1, Facultad de Ingeniería.

Tabla XX. **Resultados de prueba con 2 guías de deformación voltaje AC**

Tp 1.1	4,77 V	4,21 V	5,47 V	4,37 V	3,22 V
Tp 1.2	4,98 V	3,24 V	3,08 V	5,27 V	4,44 V
Tp 2.1	2,16 V	5,90 V	6,33 V	6,69 V	2,13 V
Tp 2.2	5,48 V	2,35 V	2,98 V	2,91 V	2,33 V
Tp 3.1	4,66 V	4,08 V	6,06 V	7,45 V	6,24 V
Tp 3.2	5,27 V	5,02 V	4,35 V	7,38 V	8,00 V

Fuente: elaboración propia.

Los resultados obtenidos en esta prueba son apreciablemente mayores a los de la primer prueba y también a los de la segunda, haciendo constar que las guías de deformación llegan a triplicar el voltaje obtenido con solamente la presión, dejando al transductor núm.3 con una media de 5,85 V, el transductor núm.1 con una media de 4,31 V y el transductor núm.2 con una media de 3,92 V; de esta forma es apreciable que los transductores No.3 han sido los mejores al momento de generar corriente alterna.

2.2.2. Resultados ante diferentes maneras de rectificar V_{stack}

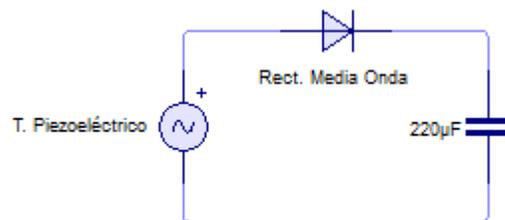
Para iniciar un rectificador de señal es aquel dispositivo que permite la conversión de corriente alterna en corriente continua, para el prototipo se necesita trabajar con corriente directa para alimentar las baterías por lo que las siguientes pruebas van enfocadas en diferentes maneras de rectificar la señal V_{stack} .

Las 3 primeras pruebas se realizarán con un comportamiento de la carga cuasi estático, es decir: se dejó cargar y descargar el capacitor interno de la cerámica dando un solo paso a la vez sobre la versión a escala del panel, pero para apreciar la manera en como el voltaje se logra ir cosechando se complementaran los circuitos rectificadores con un capacitor de 220 μ F, este también cumple con la función de rectificar la señal y medirla en corriente directa.

Las pruebas siguientes serán realizadas con las 2 guías de deformación, ya que toda sesión de pruebas es una evolución de la anterior.

- 1er prueba: la parte superior del panel con las 2 guías de deformación y el transductor en la parte inferior tal cual en la tercera prueba del título 2.2.1 se tendrá a las salidas de la cerámica un rectificador de media onda con un capacitor de 220 μF para cosechar el voltaje.

Figura 37. **Circuito a implementar para la 1er prueba**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Tabla XXI. **Resultados de prueba con rectificador de media onda y capacitor de 220 μF - voltaje DC**

Tp 1.1	0,2 mV	0,2 mV	0,2 mV	0,4 mV	0,6 mV
Tp 1.2	0,2 mV	0,2 mV	0,2 mV	0,1 mV	0,2 mV
Tp 2.1	1,6 mV	1,5 mV	1,0 mV	2,5 mV	2,0 mV
Tp 2.2	3,0 mV	1,0 mV	2,0 mV	2,0 mV	2,0 mV
Tp 3.1	0,2 mV	0,2 mV	0,2 mV	0,3 mV	0,5 mV
Tp 3.2	0,2 mV	0,3 mV	0,3 mV	0,7 mV	0,2 mV

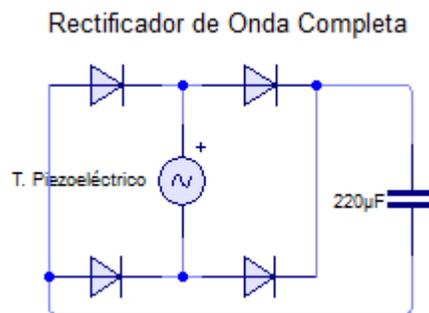
Fuente: elaboración propia.

Con los resultados es evidente que las pruebas con un capacitor para almacenar el voltaje también implica una impedancia que presenta una carga, los resultados son las diferencias de potencial que se almacenan en el capacitor cada vez que se da un paso sobre el panel a escala.

En estas pruebas con rectificador de media onda y un capacitor, los transductores núm. 2 fueron los que mejores resultados ofrecieron con una media de 1,86 mV por paso, los transductores núm.3 con una media de 0,31 mV y los transductores núm.1 con una media de 0,25 mV; cabe resaltar que estos resultados de los transductores núm.2 es debido a que este tipo de cerámica tiene 2 electrodos mientras que los demás transductores solamente tienen 1, siendo esto el por qué entrega más potencia que los demás.

- 2da prueba: las bases de esta prueba fueron las mismas que las de la anterior solamente que se utilizó un rectificador de onda completa de 4 diodos para recolectar el voltaje de los 2 picos no solamente el del positivo como en la prueba anterior.

Figura 38. **Circuito a implementar para la 2da prueba**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Tabla XXII. **Resultados de prueba con rectificador de onda completa y capacitor de 220 μ F - voltaje DC**

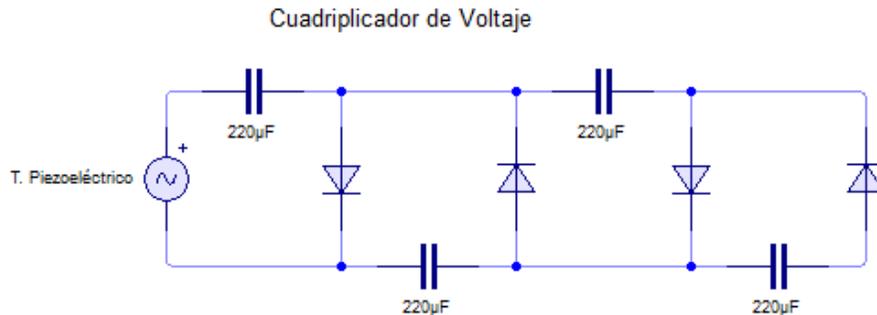
Tp 1.1	15 mV	12 mV	20 mV	20 mV	20 mV
Tp 1.2	10 mV	10 mV	10 mV	20 mV	20 mV
Tp 2.1	26 mV	20 mV	20 mV	20 mV	20 mV
Tp 2.2	23 mV	20 mV	20 mV	20 mV	20 mV
Tp 3.1	11 mV	11 mV	11 mV	9.0 mV	12 mV
Tp 3.2	11 mV	7,0 mV	11 mV	11 mV	7,0 mV

Fuente: elaboración propia.

Esta prueba con rectificador de onda completa da resultados más significativos dando como conclusión que un rectificador de onda completa es mejor que uno de media onda para este caso; los transductores núm.3 tienen los mejores resultados con una media de 20,9 mV por paso, transductores núm. 1 con una media de 15,7 mV y los transductores núm.3 con una media de 10,1 mV; bajo estas pruebas ya más concretas se evidencia la exigencia de potencia y es donde el transductor núm. 2 sobresale por su característica anteriormente mencionada.

- 3er prueba: para esta prueba no se utilizaran rectificadores como tal sino un cuadriplicador de voltaje, el cual es un rectificador pero que al mismo tiempo al ser usado con corriente alterna, la cual es la generada por los transductores, se hace un circuito de capacitores y diodos con el fin de multiplicar 4 veces el voltaje de entrada.

Figura 39. **Circuito a implementar para la 3ra prueba**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Tabla XXIII. **Resultados de prueba con cuadruplicador de voltaje de capacitores de 220µF - voltaje DC**

Tp 1.1	1 mV				
Tp 1.2	3 mV	2 mV	3 mV	2 mV	3 mV
Tp 2.1	4 mV	4 mV	6 mV	6 mV	4 mV
Tp 2.2	5 mV	3 mV	5 mV	4 mV	4 mV
Tp 3.1	3 mV	4 mV	4 mV	2 mV	3 mV
Tp 3.2	2 mV	2 mV	1 mV	1 mV	2 mV

Fuente: elaboración propia.

En esta prueba se marca un descenso en la magnitud de los resultados, ya que son 4 capacitores los que involucra el cuadruplicador de voltaje, haciendo que sea necesario más potencia que para un rectificador de onda completa, todo esto se debe tomar en cuenta para hacer más eficiente el prototipo.

El transductor con mayor media de voltaje por paso es el núm. 2 con 4,5 mV, el transductor núm. 3 con una media de 2,4 mV y el transductor núm.1 con una media de 1,8 mV.

Para las siguientes pruebas se pondrá a prueba el comportamiento de las cerámicas bajo una carga dinámica, esto se realizara con un sujeto de pruebas de 60 Kg dando 10 pisadas seguidas sobre el panel para observar hasta que voltaje cosecha el capacitor.

- 4ta prueba: esta prueba es una réplica de la 1er prueba de esta sección pero con la carga en comportamiento dinámico.

Tabla XXIV. **Resultados de prueba con rectificador de media onda y capacitor de 220 μ F - voltaje DC**

Tp 1.1	33 mV	23 mV	36 mV	21 mV	29 mV
Tp 1.2	40 mV	31 mV	34 mV	35 mV	30 mV
Tp 2.1	21 mV	49 mV	35 mV	15 mV	20 mV
Tp 2.2	18 mV	33 mV	21 mV	20 mV	27 mV
Tp 3.1	37 mV	36 mV	24 mV	21 mV	22 mV
Tp 3.2	24 mV	26 mV	10 mV	30 mV	12 mV

Fuente: elaboración propia.

Con el rectificador de media onda y con la carga en comportamiento dinámico se obtuvieron mejores resultados del transductor núm.1 con una media de 31,2 mV por 10 pasos dados continuamente, los transductores núm. 2 con una media de 25,9 mV y el transductor núm. 3 con una media de 24,2 mV; cabe notar que mientras la pruebas tienen otras exigencias los transductores núm. 3 ya no son tan eficientes como lo mostraban en las primeras pruebas.

- 5ta prueba: esta prueba es una réplica de la 2da prueba de esta sección pero con la carga en comportamiento dinámico.

Tabla XXV. **Resultados de prueba con rectificador de onda completa y capacitor de 220 μ F - voltaje DC**

Tp 1.1	126 mV	121 mV	128 mV	111 mV	116 mV
Tp 1.2	150 mV	130 mV	124 mV	113 mV	108 mV
Tp 2.1	270 mV	268 mV	246 mV	241 mV	240 mV
Tp 2.2	362 mV	328 mV	234 mV	278 mV	238 mV
Tp 3.1	73 mV	78 mV	70 mV	69 mV	74 mV
Tp 3.2	87 mV	81 mV	82 mV	79 mV	82 mV

Fuente: elaboración propia.

Los mejores resultados que se obtuvieron, con el rectificador de onda completa con la carga dinámica, fueron por parte de los transductores núm. 2 con una media de 270,5 mV por 10 pasos, los transductores núm. 1 con una media de 122,7 mV y los transductores núm. 3 con una media de 77,5 mV. Esta prueba demuestra que los transductores núm. 2 son mejores que los demás bajo estas condiciones de uso, duplicando los resultados de los transductores núm. 1 y triplicando los resultados de los transductores núm. 3.

- 6ta prueba: esta prueba es una réplica de la 3er prueba de esta sección pero con la carga en comportamiento dinámico.

Tabla XXVI. **Resultados de prueba con cuádruplicador de voltaje de capacitores de 220 μ F - voltaje DC**

Tp 1.1	51 mV	46 mV	41 mV	33 mV	33 mV
Tp 1.2	23 mV	20 mV	14 mV	21 mV	22 mV
Tp 2.1	55 mV	48 mV	55 mV	42 mV	42 mV
Tp 2.2	45 mV	28 mV	36 mV	29 mV	31 mV
Tp 3.1	22 mV	22 mV	15 mV	14 mV	11 mV
Tp 3.2	28 mV	16 mV	15 mV	12 mV	12 mV

Fuente: elaboración propia.

Esta prueba fue realizada con un cuádruplicador de voltaje con capacitores de 220 μ F, los transductores núm.2 tienen una media de 41,1 mV, los transductores núm.1 con una media de 30,4 mV y por los transductores núm. 3 con una media de 16,7 mV.

De estas pruebas se puede concluir y avanzar en el desarrollo del prototipo con la elección de los transductores núm. 2 con rectificadores de onda completa, con solamente una cerámica se obtuvieron resultados considerables para su elección en esta etapa del proyecto.

2.2.3. Conexión serie o paralelo

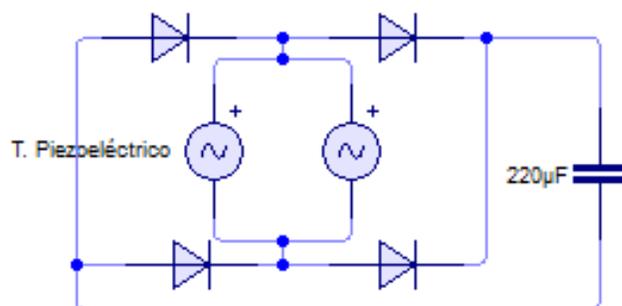
Con base en las siguientes pruebas se seleccionará la manera en cómo se conectarán los transductores entre ellos, si se hace un previo análisis sobre esto se debe tomar en cuenta la forma en como la señal de corriente alterna es generada por cada transductor, no todas las señales iniciaron al mismo tiempo ni todas llegaron a tener el mismo pico de voltaje ni mucho menos en el mismo instante, sin embargo se debe recordar el principio de un circuito en paralelo de

fuentes es una suma de corrientes y un circuito en serie de fuentes es una suma de voltajes.

Para el desarrollo de las siguientes 3 pruebas se realizaron solamente con el par de transductores núm. 2 con rectificadores de onda completa y con carga dinámica del mismo modo que en las pruebas de la sección anterior, los datos mostrados a continuación son los resultados que dieron las cerámicas al conectarlas en diferentes formas:

- 1er prueba: el fin de esta prueba es comprobar si es posible realizar un transductor mayor uniendo cada uno de los transductores antes de llegar al rectificador de onda completa; se usó la conexión en paralelo entre los transductores, ya que de esta forma no importa cual se polarice, la señal llegó al rectificador, otro objetivo de esta prueba fue comprobar si al unir los transductores se logra mayor cosecha de voltaje.

Figura 40. **Circuito a implementar para la 1er prueba**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Tabla XXVII. **Resultados de prueba conexión en paralelo antes del rectificador de onda completa - voltaje DC**

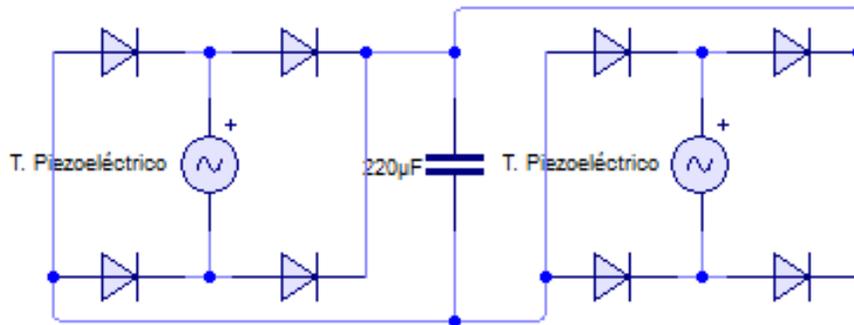
Tp 2	0,55 V	0,58 V	0,34 V	0,31 V	0,29 V
Tp 2	0,49 V	0,45 V	0,50 V	0,32 V	0,28 V

Fuente: elaboración propia.

La media de voltaje cosechado con los 2 transductores en esta prueba fue de 0,411 V, si se duplica el resultado de estos transductores en la prueba núm. 5 de la sección anterior el resultado sería 0,541 V, lo que indica que se está cerca de llegar a una duplicación de energía cosechada con conectar los transductores antes del rectificador; se debe tomar en cuenta que una duplicación solamente se lograría si los transductores tuviesen señales resultantes similares, tanto en tiempos como en picos de voltaje lo cual en la práctica y más aún en el campo es muy difícil de lograr.

- 2da prueba: esta prueba consiste en tener un rectificador de onda completa para cada uno de los 2 transductores y unir las salidas rectificadas en una conexión paralela para sumar corrientes.

Figura 41. **Circuito a implementar para la 2da prueba**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Tabla XXVIII. **Resultados de prueba conexión en paralelo luego de los rectificadores de onda completa - voltaje DC**

Tp 2	0,52 V	0,44 V	0,42 V	0,42 V	0,42 V
Tp 2	0,62 V	0,53 V	0,40 V	0,36 V	0,41 V

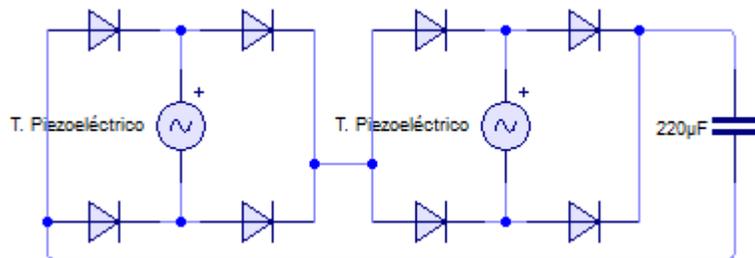
Fuente: elaboración propia.

La media de voltaje cosechado en esta prueba fue de 0,454 V, un aumento del 10 % en comparación con la prueba anterior, analizando desde un punto de vista económico en esta prueba se usaron 2 rectificadores de onda completa, uno para cada transductores, mientras que en la anterior solamente un rectificador, uno para los 2 transductores; un mayor gasto solamente implicó un 10 % de incremento en la energía acumulada.

La anterior conclusión debe tener peso cuando se decida el diseño final de los paneles piezoeléctricos, ya que con base en esta prueba se puede incrementar de gran manera el costo del prototipo.

- 3er prueba: esta prueba consiste en tener un rectificador de onda completa para cada uno de los 2 transductores y unir las salidas rectificadas en una conexión en serie para sumar voltajes.

Figura 42. **Circuito a implementar para la 3er prueba**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Tabla XXIX. **Resultados de prueba conexión en serie luego de los rectificadores de onda completa - voltaje DC**

Tp 2	0,41 V	0,35 V	0,29 V	0,25 V	0,25 V
Tp 2	0,35 V	0,29 V	0,29 V	0,30 V	0,26 V

Fuente: elaboración propia.

La media de voltaje cosechado en esta prueba fué de 0.304 V, la menor de las 3 pruebas, algo que se destaca en la conexión en serie es que toma mayor importancia la señales generadas por los transductores, la aplicación de las cargas en los paneles tendría que ser demasiado precisa para obtener resultados deseados, lo cual deja fuera esta opción, ya que un usuario no puede estar al tanto de usar a la perfección un prototipo y una característica

que hace viable este proyecto es que los usuarios solamente se deben movilizar sobre los paneles sin complicación.

Para avanzar a otra etapa de diseño se elegirá la conexión en paralelo entre los transductores previo al rectificador de onda completa, ya que los resultados de esta prueba devolvieron los datos más relevantes con base en el costo y capacidad de almacenar energía.

2.3. Diseño de paneles piezoeléctricos MAMS

En las secciones anteriores se realizaron las pruebas con una versión a escala de lo que sería un panel piezoeléctrico. Estas no solamente fueron de provecho por los resultados obtenidos sino también, por la evolución de cómo se eligieron los diferentes aspectos para obtener mejores resultados, debido a esto para plantear el diseño de un panel piezoeléctrico MAMS se debe continuar con ese enfoque.

La cerámica a utilizar serán las que anteriormente en el subtítulo 2.1.3 se presentaron como transductores piezoeléctricos núm. 2 con sus guías de deformación.

Figura 43. **Transductor piezoeléctrico a usar para paneles ya con guías de deformación**



Fuente: Laboratorio de electrónica, T1, Facultad de Ingeniería.

Estas guías provocan una mayor deformación por su forma cilíndrica, carecen de una superficie plana en donde exista una distribución del esfuerzo sino que al contrario estas lo puntualizan en el extremo; son de hule, un material con resiliencia lo que trae mayor tiempo de vida a las guías de deformación.

Algo que se debe destacar es que los capacitores sufren cierta cantidad de descarga con el pasar del tiempo al no estar siendo cargados por los transductores, en un circuito RC la capacitancia es proporcional al tiempo de carga y descarga, poner un capacitor mayor de 220 μF , como el de las pruebas, parece ser la solución para una descarga más lenta pero mientras mayor es la impedancia del capacitor menos carga es recolectada de los transductores.

Para continuar con el diseño de los paneles piezoeléctricos se realizó una prueba donde luego de dar un paso sobre el panel a escala se observó la descarga del capacitor durante 1 minuto con el multímetro conectado, implicando así una resistencia de carga adicional, este tiempo es el máximo lapso de espera entre que pase una persona y a continuación otra en el análisis de flujo poblacional en las instalaciones del T3, se comparó el porcentaje de voltaje perdido.

Tabla XXX. **Comparación de capacitores**

Valor del capacitor	Voltaje luego de un paso	Voltaje luego de 1 min	Porcentaje de pérdida
2 200 μF	0,13 V	0,12 V	7,70 %
1 000 μF	0,23 V	0,21 V	8,70 %
470 μF	0,50 V	0,43 V	14,00 %
220 μF	1,09 V	0,80 V	26,60 %
100 μF	1,90 V	1,09 V	42,63 %
47 μF	2,34 V	0,37 V	84,18 %

Fuente: elaboración propia.

El voltaje recolectado es inversamente proporcional a la capacitancia, mientras menor sea la impedancia del capacitor mayor será la carga almacenada, sin embargo el fin de esta prueba es comparar el voltaje almacenado y el porcentaje de pérdida donde es evidente que el que mejores resultados los ofrece es un capacitor de 470 μF por la relación de voltaje almacenado y su porcentaje de pérdida con el multímetro conectado; aun así lo primordial es tener la menor pérdida posible para lo cual se debe trabajar con el capacitor de 2200 μF o mayor para acumular la energía eléctrica y descargarla hacia el regulador de voltaje.

Por las pruebas realizadas se ha concretado lo siguiente para el diseño de los paneles piezoeléctricos MAMS:

- Las cerámicas piezoeléctricas a utilizar serán las encontradas en el mercado como parlantes piezoeléctricos, sus resultados fueron sobresalientes entre los datos obtenidos con las otras cerámicas.

- Para tener mejores resultados al momento de deformar la cerámica se utilizarán guías de deformación paralelas a los extremos de esta.
- La rectificación de la señal de salida AC de los transductores se realizará con rectificadores de onda completa.
- La conexión entre los transductores será en paralelo para sumar corrientes.
- Los rectificadores de señal tendrán más de un solo transductor conectado a sus entradas.
- Para almacenar la carga eléctrica generada de los transductores se utilizará un capacitor de 2 200 μF o mayor.

2.3.1. Materiales a utilizar en la construcción de paneles MAMS

Los diferentes dispositivos electrónicos que se utilizarán para la cosecha de energía eléctrica ya se han fijado, por lo que queda presentar los materiales de los que constarán los paneles piezoeléctricos MAMS, estos llevarán diferentes capas como se pudo observar en su versión a escala, utilizada durante las pruebas.

La selección de materiales se basó en características de resiliencia, impermeabilidad, flexibilidad y elasticidad; dando como materiales a utilizar los siguientes:

- Contrachapado: también conocido como multilaminado o *plywood*, es un tablero elaborado con finas chapas de madera pegadas con las fibras transversalmente una sobre la otra con resinas sintéticas mediante fuerte presión y calor. Esta técnica mejora notablemente la estabilidad dimensional del tablero obtenido respecto de madera maciza.

Por su resiliencia y flexibilidad es apto para ser utilizado como superficies de base en la construcción de los paneles, estando como una capa inferior sobre la cual estará ensamblado todo y una capa superior la cual será la que soporte el paso de los peatones.

- Foamy: significado en inglés espumoso, también conocido como etilvinilacetato, es un polímero termoplástico conformado por unidades repetitivas de etileno y acetato de vinilo, comercialmente se maneja en láminas de diversos grosores y tamaños; los aspectos importantes por los que se usará en los paneles son su baja absorción del agua y por su elasticidad.

Este será utilizado como colchón para los transductores por ser espumoso, se le puede estrujar y regresará a su forma original, así los transductores tendrán espacio para su deformación y luego regresar a su posición inicial.

- Plástico: los plásticos son sustancias químicas sintéticas denominadas polímeros, estos son grandes agrupaciones de monómeros unidos mediante un proceso químico llamado polimerización.

Este material también es presentado en forma de láminas muy delgadas casi como tela, que presentan facilidad para trabajar y debido a su impermeabilidad se utilizara para una capa de protección contra el agua desde la parte inferior de los paneles.

- Caucho: es un polímero elástico que surge como una emulsión lechosa (conocida como látex) en la savia de varias plantas, pero que también

puede ser producido sintéticamente. Es repelente al agua, aislante de la temperatura y de la electricidad.

Para su uso en el proyecto cumplirá con la función dada por su característica de impermeabilidad, se pondrá como base principal de esta forma la capa de caucho mantendrá alejado al panel del suelo para las situaciones donde se acumule agua de lluvia o algún líquido derramado en el suelo.

- Antideslizante: los materiales antideslizantes están hechos tanto de plástico como de caucho, su función es presentar resistencia en forma de fricción y evitar un mal paso o desliz en la superficie de contacto.

Por sus características se utilizará como capa superior de todos los paneles, esta capa será la que tendrá contacto directo con la suela del peatón, el material está hecho para esto y evitará tanto un desgaste apresurado del contrachapado como posibles situaciones de riesgo con el área mojada.

2.3.2. Proceso de construcción de paneles piezoeléctricos MAMS

Las dimensiones que tendrá un panel piezoeléctrico MAMS serán 0,6 m * 0,70 m, similar a lo que equivaldrían 4 baldosas de piso cerámico de 0,33 m * 0,33 m, de esta forma al momento de elegir ubicaciones para la instalación de estos se facilite con la selección de las baldosas de piso que se quieran cubrir. Con los materiales a utilizar presentados se indicará el proceso para elaborar un panel piezoeléctrico MAMS de la siguiente forma:

Tal y como se mencionó las bases o superficies donde se ensamblará todo serán de *plywood*, por lo que se tendrá 1 rectángulo del tamaño indicado como base.

Figura 44. **Superficie base de contrachapado**



Fuente: Laboratorio de electrónica, T1, Facultad de Ingeniería.

El *plywood* elegido es de 3 capas con un grosor de 0,005m, los paneles piezoeléctricos no deben quedar tan elevados del suelo, ya que se debe recordar que esta alternativa energética no debe dificultar el paso de las personas. Luego de tener la base de contrachapado se deben proteger sus orillas con tiras de plástico; haciendo impermeable lo que quedara expuesto del *plywood*; otra función del *plywood* será distribuir la carga cuando este colocado para transitar sobre los transductores, al ser solido este transmitirá la energía mecánica por toda su superficie hasta llegar a deformar la mayoría.

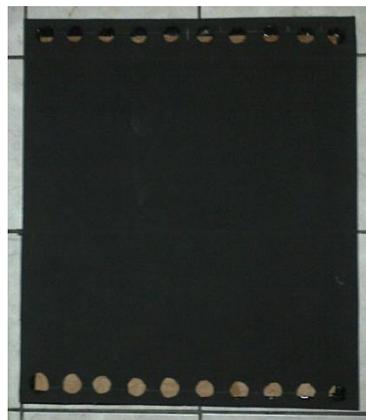
Figura 45. **Base de *plywood* con orillas protegida**



Fuente: Laboratorio de electrónica, T1, Facultad de Ingeniería.

Se tienen 2 tipos de foamy, de 0,01 m y de 0,002 m de grosor, la que se utilizara como base para los transductores colocándola sobre la base de *plywood* tiene el de grosor de 0,01 m; se eligió la gruesa luego de realizar pruebas donde se evidencio que la delgada no dejaba lugar para una plena deformación del transductor.

Figura 46. **Base de foamy**



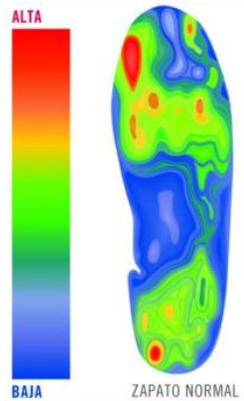
Fuente: Laboratorio de electrónica, T1, Facultad de Ingeniería.

Sobre esta base de esponja Eva se coloca un cuadro de 0,60 m * 0,60 m del foamy de 0,002 m de grosor para hacer la función de aislante entre los nodos positivos y nodos negativos de los transductores; los 5 centímetros sobrantes de lado a lado es un espacio donde se realizaron agujeros para colocar los rectificadores de onda completa.

Ya con las bases ensambladas se debe proceder a colocar los transductores; una de las razones por los paneles tienen un ancho de 0.60m es que la distancia entre pasos esta entre 0,75 m y 0,50 m, se respaldando lo anterior con un análisis visual en las instalaciones de la facultad donde se notó que entre pasos se deja una baldosa de piso cerámico de por medio, y cada una de estas tiene dimensiones de 0,33 m * 0,33 m, por lo que con un área de 0,60 m * 0,60 m se busca capturar con seguridad por lo menos un paso; se debe tomar en cuenta que la talla promedio de calzado en Guatemala es 6,5 americano o 25 cm de longitud con un promedio de 10 cm de ancho.

Cuando se camina la presión del peso corporal cae sobre los pies, pero por su forma y curvatura la distribución de la presión no es uniforme sino que se puntualiza en 2 áreas, el talón y la parte de la planta del pie anterior a los dedos.

Figura 47. **Áreas de presión ejercidas en el pie al caminar con zapato normal**



Fuente: *Calzador busta*. https://calzadorobusta.files.wordpress.com/2012/04/pres_max_2_300.jpg. Consulta: agosto de 2015.

En cada panel se utilizarán 100 transductores, distanciados uno del otro por 0,06 m haciendo 4 cuadrantes de 25 cerámicas cada uno; el propósito de esto es prever el hecho que el usuario no sabrá donde están localizados y caminará por donde él quiera por lo que los transductores deben estar a disposición de capturar el paso en donde él lo de.

Una persona con un zapato de talla 6,5 americano presionara 10 transductores de forma directa, 2 filas de 5, sin tomar en cuenta la distribución del peso que realiza el *plywood* provocando que la pisada polarice más de 10 transductores a la vez; esto ocurrirá en cualquier parte del panel por la distancia de separación que existe entre cerámicas.

Figura 48. **Distribución de transductores en área de 0,60 m * 0,60m**



Fuente: Laboratorio de electrónica, T1, Facultad de Ingeniería.

Para concluir la distribución de los transductores es eficiente en el área que abarca, se usa una cantidad moderada de cerámicas con medidas equidistantes de una a otra, de esta manera cumple con abarcar el paso de una persona con longitud y ancho de pie promedio y lo podrá hacer sin ningún problema con pies más grandes o chicos.

La conexión entre los transductores es en paralelo, pero dado la distribución de los transductores se plantea aprovecharla conectando filas de 5 transductores en paralelo y luego a un rectificador de señal de onda completa, para tener 20 diferentes señales rectificadas en un panel conectadas en paralelo hacia un capacitor como acumulador de carga.

Esto debido a que si se conectan los transductores a un solo rectificador, este a su entrada tendrá muchas señales sumadas las cuales serán diferentes una de las otras, ya que no todos los transductores estarán siendo polarizados al mismo tiempo ni todos serán polarizados, por lo que no podrá ser eficiente el sistema a pesar de la buena distribución de las cerámicas; por lo que se eligió

una moderada cantidad de 5 transductores conectados en paralelo, la longitud de un pie promedio, ya que se espera que estos sean activados en conjunto de manera similar al recibir el paso.

Figura 49. **Conexión en paralelo de transductores hacia a los rectificadores**



Fuente: Laboratorio de electrónica, T1, Facultad de Ingeniería.

Las mismas capas de foamy funcionan como aislante entre las conexiones de los transductores; el circuito de cosecha como tal está finalizado, ahora se debe terminar el panel para lo que se debe recortar un cuadro, de las mismas dimensiones que los demás, del material antideslizante y colocarlo en la parte superior del cuadro de *plywood* que ira como superficie de contacto con el calzado del peatón.

Figura 50. **Vista de la parte superior de panel piezoeléctrico MAMS**



Fuente: Laboratorio de electrónica, T1, Facultad de Ingeniería.

El panel MAMS está finalizado pero aún no aislado del agua, lo cual traería problemas como mojar y desgastar la parte inferior de *plywood* llegando al punto de mojar las capas de foamy y provocar un corto circuito, por las características impermeables del foamy sería dificultoso que esto pasara pero no imposible por lo que se decide colocar caucho para elevar el panel de suelo.

Figura 51. **Vista de la parte inferior de panel piezoeléctrico MAMS**



Fuente: Laboratorio de electrónica, T1, Facultad de Ingeniería.

Se utiliza este tipo de caucho, ya que viene con canaleteado por donde los líquidos pueden avanzar debajo de los paneles, esto para que al momento de que exista acumulación de agua en el suelo esta pueda esparcirse debajo, si fuese un bloque entero el agua podría llegar a acumularse alrededor de tal forma que llegaría a la parte superior del panel provocando un posible filtrado de agua en los circuitos.

El prototipo para el panel piezoeléctrico MAMS está finalizado; el motivo por el cual estos paneles llevan por nombre MAMS es porque son las iniciales del nombre de mi señora madre, María Antonieta Martínez Sagastume, la propuesta del proyecto y lo que se puede lograr con la piezoelectricidad me hizo tomar la decisión de hacer un tributo por su ejemplo de lucha a mi madre, si ella no se da por vencida sin importar las adversidades porque lo habría de hacer yo que tengo sus genes.

2.3.3. Costo de fabricación

La construcción de los paneles piezoeléctricos se basa en la unión de diferentes materiales, cada uno con características propias que cumplieran con agregarle esas mismas cualidades a los paneles por lo que el precio total es una suma de cada segmento utilizado.

Las bases están construidas de contrachapado de 3 capas y esponja americana, cada segmento de estos tiene dimensiones de 0,60 m * 0,70 m y las planchas de donde fueron obtenidas tienen dimensiones de 1,22 m * 2,44 m. Cada base es la cuarta parte de la plancha de donde se obtendrá.

La plancha de contrachapado de 3 capas tiene un valor de Q 85,00, mientras que la de esponja americana Q 140,50. Las bases tienen un valor de

Q 21,25 y Q 35,12 respectivamente. La base inferior de caucho y los segmentos de foamy tienen las mismas dimensiones pero no se obtuvieron de planchas sino que estas se compran por metro y por yarda en el sector de distribución.

El hule acanalado se vende en dimensiones de 1 m*1 m con un costo de Q 164,25 y el foamy en dimensiones de 0,91 m * 2 m a Q 15,00. La base de hule para el panel piezoeléctrico se obtiene con un valor de Q 115,00 y las de foamy a Q 7,50 cada una. La última superficie que tiene dimensiones de 0,60 m * 0,70 m es la de contacto con el calzado de los transeúntes con característica antideslizante se obtiene a un costo de Q 32,50, ya que este material se compra por yarda con dimensiones de 0,91 m * 2 m a Q 65,00.

El plástico con el que se cubren las orillas de la base de *plywood* se compra de igual forma por yarda con dimensiones 0,91 m * 3 m a un precio de Q 13,50 pero se utilizan tiras de 0,15 m * 3 m para cubrir el contorno, estas tienen un costo de Q 2,25.

Cada panel MAMS tiene 100 transductores piezoeléctricos con un precio de Q 4,93 cada uno y 20 puentes rectificadores de onda completa a Q 2,42 cada uno. Además, para la construcción como tal de cada panel se utilizó un cuarto de pegamento de zapatero, 5 barras de silicón, 15 metros de conductores calibre #24AWG y estaño.

Tabla XXXI. **Costo en materiales para un panel MAMS**

Segmento del panel	Costo unitario	Cantidad utilizada por panel	Costo total
Base de <i>plywood</i> de 3 capas	Q 21,25	2	Q 42,50
Base de esponja americana	Q 35,12	1	Q 35,12
Base de hule acanalado	Q 115,00	1	Q 115,00
Capa de foamy	Q 7,50	2	Q 15,00
Superficie antideslizante	Q 32,50	1	Q 32,50
Plástico para impermeabilizar	Q 2,25	1	Q 2,25
Transductor piezoeléctrico	Q 4,93	100	Q 493,00
Puente rectificador	Q 2,42	20	Q 48,40
¼ Pegamento de zapatero	Q 25,00	1	Q 25,00
Barra de silicón	Q 1,50	5	Q 7,50
Metro de conductor calibre #24	Q 2,00	15	Q 30,00
Metro de estaño	Q 3,00	2	Q 6,00
Costo total			Q 852,27

Fuente: elaboración propia.

Para elaborar un panel piezoeléctrico MAMS con las características que se mostraron en este título se debe realizar una inversión de Q 852,27 más aproximadamente 15 horas hombre en el proceso de fabricación.

2.4. Generación de paneles piezoeléctricos MAMS

Con el panel piezoeléctrico MAMS finalizado se debe conocer la potencia media que entrega con cada paso, para esto se realizaron 10 pruebas con un comportamiento de la carga cuasiestática, un paso a la vez, con el fin de obtener datos del voltaje y corriente que entrega; para presentar una carga a la salida se utiliza una resistencia de 1 MΩ y un capacitor de 100 μF, con la cual se presentaron los siguientes resultados.

Tabla XXXII. **Resultados de panel piezoeléctrico MAMS ante carga cuasiestática**

Voltaje generado									
2,64 V	1,75 V	2,02 V	2,51 V	2,21 V	2,45 V	2,50 V	2,16 V	2,47 V	2,04 V
Corriente generada									
135,4 mA	60,7 mA	82,8 mA	118,2 mA	96,3 mA	103,7 mA	115,2 mA	91,5 mA	109,4 mA	83,1 mA

Fuente: elaboración propia.

La media de voltaje generado por paso es de 2,27 V y la media de corriente generada bajo las mismas condiciones es de 99,63 mA, para lo cual se recuerda que potencia es:

$$P = V * I \quad (21)$$

Entonces si se multiplican los anteriores resultados se obtiene una media de potencia generada de 226,16 mW. Se debe recordar que todos los datos resultantes mostrados en esta sección tienen la característica que son V_{rms} , ya que están siendo medidos con un multímetro, cuando estos datos corresponden a la carga que está siendo almacenada en capacitores es más confiable, ya que es la diferencia de potencial que posee.

La sección elegida donde se colocaran los paneles piezoeléctricos MAMS será el Pasillo en nivel 0 del T3 con dirección al T1, es un lugar estrecho por donde se tiene un promedio de 611 personas por hora transitándolo, al ser estrecho es una ventaja, ya que los peatones no tienen tanta opción

dispersarse en el área sino al contrario tienen que acomodarse a las dimensiones del lugar y tener una misma orientación.

Como resultante de las dimensiones del lugar y el comportamiento de los peatones también se reduce el número de paneles a utilizar, reduciendo el costo del proyecto, ya que no se necesita abarcar tanta área para aprovechar el pasar de las personas.

La forma en cómo se conectarán los paneles entre sí será en paralelo, ya que lo primordial en este proyecto con base en las pruebas es la compensación de carga con base en la generación; los picos de voltaje que puede generar un transductor son altos pero su corriente es baja por esto es que se trabaja en paralelo las conexiones para conseguir así la corriente suficiente.

3. ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA COSECHADA POR PANELES MAMS

El diseño que tendrán los prototipos de paneles piezoeléctricos está definido, con esto el proyecto se encuentra en la etapa de conversión de energía mecánica del transitar del peatón a eléctrica para su almacenamiento en un capacitor principal.

Para que en la estación de recarga se pueda disponer de energía eléctrica en cualquier momento no es factible que esta esté acumulada solamente en un capacitor; podría ser el caso si fueran súper condensadores, una nueva tecnología de almacenamiento de carga, estos tienen la característica de trabajar a un nivel bajo de diferencia de potencial pero pueden contener mucha más carga que los capacitores normales, estos están siendo utilizados en proyectos donde se utiliza esta alternativa energética para pequeñas lámparas que pueden funcionar con lo almacenado en uno de estos dispositivos.

La estación de recarga proveerá de energía a partir de baterías recargables; realmente el prototipo será un tipo de UPS, sistema de alimentación ininterrumpida, que estará alimentado por piezoeléctricidad generada desde los paneles en lugar de la energía del sistema; por lo que uno de los puntos primordiales en esta etapa será elegir el mejor tipo de batería para el trabajo.

3.1. Baterías recargables

Son conocidas como acumuladores recargables, básicamente son un grupo de una o más celdas electroquímicas secundarias, estas funcionan con reacciones electroquímicas eléctricamente reversibles, es decir cuando la reacción es hacia un sentido se agotan los materiales de las celdas generando corriente y de manera contraria es necesaria una corriente para regenerar los materiales consumidos en las celdas.

Para que estas reacciones químicas puedan ser posibles la batería está construida con electrodos positivos y negativos, y el electrolito; el electrodo positivo presenta materiales químicos con un potencial de reducción positivo mientras que el electrodo negativo presenta materiales químicos con un potencial de oxidación negativo, la diferencia de potencial entre estos electrodos es el voltaje de la pila. El electrolito es una sustancia con iones libres, este hace la función de un conductor eléctrico entre los electrodos. Entre los tipos de batería recargable más comunes se encuentran.

- Baterías de ácido-plomo
- Baterías de níquel-cadmio
- Baterías de níquel-metal hidruro
- Baterías de iones de litio
- Baterías de polímero de iones de litio

El tipo más utilizado para alternativas energéticas y UPS son las de tipo ácido-plomo, ya que estas baterías tienen la característica de soportar de buena manera varios ciclos de carga y descarga respaldadas con su disposición a altas corrientes instantáneas o descargas menores a 60 minutos.

En la actualidad los usuarios que utilizan dispositivos portátiles poseen cargadores de diversas potencias dependiendo su aplicación, si estos cargadores son para computadoras portátiles su consumo se encuentra entre los 65 W a 100 W comúnmente, mientras que si los cargadores son para dispositivos más pequeños como es el caso cotidiano de celulares o tabletas electrónicas, radioteléfonos, reproductores mp3, entre otros. La potencia de entrada de estos cargadores esta entre 28 W a 44 W.

Existen 2 aspectos de la batería que son fundamentales para su selección, el primero es la diferencia de potencial que poseen sus celdas electroquímicas, medido en voltios, y el segundo es el valor máximo de corriente que puede entregar de manera continua en un periodo determinado de horas, medido en amperio hora – Ah.

Con el dato de la potencia consumida por los cargadores se puede obtener la corriente que consume, los cargadores para computadoras portátiles se encuentran entre 0,6 A y 1 A mientras que los cargadores de dispositivos más pequeños se encuentran entre los 0,25 A y 0,4 A.

El tiempo es un factor determinante, con la duración del dispositivo en carga se puede calcular cuanta será la cantidad de amperios hora que se le estará exigiendo a la batería; para recargar desde 0 hasta el 100 % una computadora portátil el tiempo estimado es de 1 a 2 horas; en el caso de los dispositivos más pequeños, el caso más común un celular inteligente actual, la recarga completa se alcanza en un lapso de 2 a 3 horas dependiendo el modelo y la marca del celular, pero los más comerciales están dentro de este rango de tiempo.

Tomando valores máximos, tanto de tiempo como de corriente, resulta que para recargar una computadora portátil es necesario 2 Ah y para recargar un dispositivo menor es necesario 1,2 Ah, entre estos datos obviamente el que requiere mayor exigencia en su recarga es la computadora portátil por lo que se tomara de base los 2 Ah para elegir la batería.

Algo importante que se debe destacar es que para recargar una computadora portátil es necesario 110 voltios en corriente alterna, no existe la posibilidad de que con 5 voltios en corriente directa pueda recargarse, como es el caso de un celular.

Hasta el momento para elegir la batería a utilizar se cuenta con el tipo de pila y la capacidad de entrega mínima de corriente que esta debe tener, hace falta el voltaje que debe tener. Para que la estación de recarga pueda suplir 110 voltios en corriente alterna debe tener una fuente de 12 voltios en corriente directa que pueda ser transformada en un inversor de corriente DC/AC; existen dos maneras de lograr esto ya sea con una batería recargable de 12 voltios o con 2 baterías de 6 voltios conectadas en serie.

Para elegir entre una batería de 12 V o 2 de 6 V es necesario saber que para recargar una batería de 12 voltios se debe contar con una fuente de 13,5 a 13,8 voltios, mientras que para recargar una batería de 6 voltios la fuente debe ser de 6,75 a 6,9 voltios; estos datos son de mucha importancia, ya que si bien con una pisada de un usuario de 60 Kg se generan picos de voltaje de más de 10 voltios, en circuito abierto, se podrá aprovechar mucho más la cantidad de energía generada si el nivel de voltaje que debe sobrepasar es de 6 voltios comparado con 12 voltios.

Figura 52. **Señal respuesta, en circuito abierto, de los paneles al transitar gente sobre ellos. $V_{pp} = 20,4$ V**



Fuente: Laboratorio de electrónica, T1, Facultad de Ingeniería.

Al momento de almacenar energía resulta mucho más fácil llegar a un nivel mayor de 6 voltios que llegar a un nivel mayor a los 12 voltios; se necesita menos gente transitando durante menos tiempo para lograrlo; dado esto se trabajará con las 2 baterías de 6 voltios.

Ahora con el criterio establecido sobre el voltaje que se requiere y con los otros aspectos ya analizados, se debe elegir entre las baterías de tipo ácido-plomo de 6 voltios la que pueda satisfacer la exigencia de carga; en el mercado actual se dispone de lo siguiente:

- Batería recargable de 6v, ácido-plomo, 1Ah
- Batería recargable de 6v, ácido-plomo, 4Ah
- Batería recargable de 6v, ácido-plomo, 7Ah
- Batería recargable de 6v, ácido-plomo, 12Ah

Para elegir la batería a utilizar se debe analizar con base en el consumo de corriente que puede generar la recargas de computadoras portátiles, para la

batería que puede entregar 1 Ah la exigencia de 2 Ah no es factible, con la batería de 4 Ah esta misma exigencia la dejaría con la mitad de la carga lo que ya no daría lugar a disponer de energía para otro dispositivo, la batería de 7 Ah al exigirle una recarga de 2 Ah la deja con 4 Ah dando lugar a otra exigencia del mismo nivel mientras que la de 12 Ah queda con 10 Ah disponibles para seguir supliendo de energía a diferentes dispositivos.

Entre las opciones queda elegir entre 7 Ah y 12 Ah, para esto se hará valido el criterio de que el propósito del proyecto es demostrar la recarga constante de las baterías por medio de la piezoelectricidad, por lo que tener baterías que puedan disponer de mucha carga para entregar no es del todo un beneficio para el objetivo del proyecto, por lo que la opción con la que se trabajara será de 2 baterías recargables de ácido-plomo, 6 voltios y 7 Ah.

Figura 53. **Batería a utilizar en la estación de recarga**



Fuente: Steren. http://imagenes.steren.com.mx/_imgs/prod/jumbo/BR-0607.jpg.

Consulta: octubre de 2015.

La ficha técnica de esta batería indica que tiene la capacidad para 1 000 ciclos de carga y descarga, respaldada con su característica de voltaje de carga flotante que le permite dejar el cargador conectado por tiempo indefinido sin el problema de perjudicar el tiempo de vida de la batería; el fabricante recomienda

que para recargar la batería en reposo los niveles de voltaje del cargador deben estar entre 6,75 a 6,9 voltios.

3.2. Cargador de batería

Un cargador de baterías recargables es un dispositivo que suministra la corriente eléctrica que almacenará, durante la recarga se trata la manera de regenerar los materiales de las celdas electroquímicas, ya que cuando la pila está siendo utilizada como fuente de energía los materiales están en constante entrega de electrones lo que provoca deterioro en estos.

Entre los tipos de cargadores que interesan para el desarrollo del proyecto se encuentran:

- Cargador sencillo: basa su funcionamiento en hacer pasar corriente continua con un nivel de voltaje suficiente para que la corriente fluya del cargador hacia la batería, este tipo de cargador tiene la peculiaridad que no modifica su corriente de salida en el transcurrir del tiempo, esto lo hace un cargador barato pero con inconvenientes como largos lapsos de tiempo de carga y el riesgo de deteriorar la batería al dejarla conectada más tiempo de lo necesario.
- Cargador de mantenimiento: somete a la batería a una recarga muy lenta, la velocidad de carga es la misma que la de autodescarga, el beneficio de tener un cargador de este tipo es que la batería puede estar conectada a él por tiempo indefinido manteniendo su carga completa sin riesgo de una sobre carga o un sobre calentamiento. La aplicación está orientada hacia sistemas desatendidos como es el caso de alarmas o luces de emergencia.

- Cargador inteligente: la corriente que fluye del cargador hacia la batería va a depender del estado de la misma. Este tipo de cargador tiene monitoreado el tiempo, temperatura y voltaje de la batería dando como resultado que pueda dar la corriente necesaria en cada momento; cuando la pila se encuentra recargada en un 85 % los cargadores inteligentes comunes pasan a modo de recarga de mantenimiento para llegar a la carga completa.
- Cargador por pulsos: esta tecnología se basa en inyectar corriente a la batería por medio de un tren de pulsos en DC; su periodo, frecuencia y amplitud son controlados a precisión, los cargadores de pulsos comúnmente manejan frecuencias de 8 KHz y 10 KHz. Estos cargadores son aptos para todo tipo de batería, ya que al usar una carga por pulsos se pueden aplicar altos picos de voltaje a la batería sin sobrecalentarla, en baterías de ácido-plomo esto descompone los cristales de sulfato de plomo extendiendo la vida útil.

3.3. Carga de baterías a partir de paneles piezoeléctricos MAMS

La ubicación en la que se instalarán los prototipos de paneles piezoeléctricos será el pasillo del nivel 0 del T3 con dirección hacia el T1, este tiene un ancho de 2 metros por lo que colocando 2 paneles atravesados queda un espacio vacío de 60 centímetros, 30 cm por lado; es necesario no dejar espacios vacíos visibles, ya que los peatones pueden evitar pasar por los paneles, esto fue evidente en las pruebas preliminares que se realizaron.

Figura 54. **Pruebas preliminares realizadas en la ubicación elegida para instalar el proyecto**



Fuente: Nivel 0, T3, Facultad de Ingeniería.

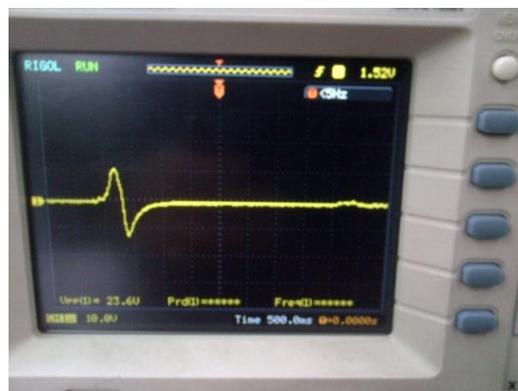
Comúnmente a lo largo de este pasillo se camina en el centro por lo que el espacio que no abarcan los paneles no tendrá mayor impacto en la cantidad de pasos que se aprovechen para la conversión de energía. Será necesario hacer ver que todo el ancho del pasillo está ocupado para que el estudiante no tenga la opción de evitar caminar sobre los paneles.

Con 2 paneles piezoeléctricos a lo ancho del pasillo solamente se logra capturar 1 paso por persona, por lo que se construirán 4 paneles MAMS de manera que estén instalados en parejas con el fin de abarcar la mayor parte del pasillo a lo ancho y puedan capturar de manera segura 2 pasos dando posibilidad de un tercero dependiendo el caminar de cada persona.

Para lograr cargar baterías a partir de la piezoelectricidad se debe almacenar suficiente carga como para luego descargarla en un regulador de voltaje, para así evitar picos de voltaje que puedan dañar la batería, que estará

conectado a la batería y regresar la carga utilizada en la recarga de dispositivos electrónicos; como se explicó en el título anterior la señal de salida de los transductores piezoeléctricos es alterna, por si solos estos pueden provocar altos picos de voltaje pero sin mucha corriente por lo que se vio necesario hacer el diseño de los paneles con 100 cerámicas cada uno para lograr generar una potencia capás de usarse para recargar baterías.

Figura 55. **Señal respuesta sin rectificar de un transductor piezoeléctrico al ser presionado con el dedo. Cerámica usada en los paneles MAMS, $V_{pp} = 23,6 \text{ V}$**



Fuente: Laboratorio de electrónica, T1, Facultad de Ingeniería.

En el diseño de los paneles piezoeléctricos se dejó plasmado que se utilizara un capacitor principal para cosechar la energía eléctrica, por lo que se realizaron pruebas del ritmo de carga que presenta un capacitor de $2\ 200 \mu\text{F}$.

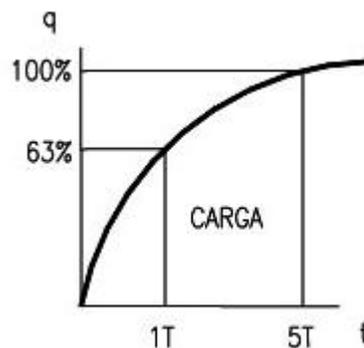
Tabla XXXIII. **Capacitor de 2200 μ F en carga**

Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4	Paso 5	Paso 6	Paso 7	Paso 8	Paso 9	Paso 10
0,13 V	0,23 V	0,34 V	0,44 V	0,53 V	0,63 V	0,71 V	0,85 V	0,94 V	1,04 V

Fuente: elaboración propia.

En promedio por cada paso el capacitor logra almacenar 0,1 voltios, al continuar caminando se llegó a un punto tope de aproximadamente 10 voltios, este es el límite de voltaje que entregan los transductores con el capacitor conectado a los paneles, esto se debe a que los capacitores se cargan hasta igualar la fuente que los alimenta, el ritmo en que se estaba almacenando la carga es diferente al estar cerca de los 10 V debido a que ambas fuentes tienen diferencias de potencial similares llegando al punto que la corriente que fluye de los transductores hacia el capacitor ya no posee la misma magnitud haciendo que la carga almacenada tampoco sea de la misma magnitud que al principio.

Figura 56. **Curva de carga en un capacitor**



Fuente: *Electrotecnia*. <http://www.sapiensman.com/electrotecnia/imagenes/condensador4.jpg>.

[Consulta: octubre de 2015].

Al observar la figura 56 se hace notable un concepto, al comenzar la carga el capacitor se encuentra vacío dando libertad para almacenar, durante el

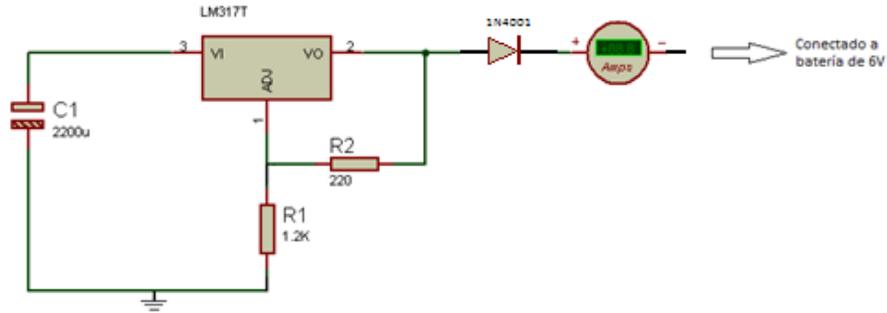
primer paso se puede llegar hasta un 63 % de la carga que finalmente tendrá; dejando los otros 4 pasos para acumular los otros 37 % restantes.

Si bien un solo paso no genera la potencia necesaria ni dura el tiempo suficiente como para cargar el capacitor de 2 200 μF , el concepto del primer 63 % de la carga es verdadero, ya que el ritmo de 0.1 voltios por paso se mantiene hasta llegar a los 5,8 voltios, luego de este punto cada paso equivale a 0,07 voltios llegando a ser 0,01 voltios a partir de los 9,4 voltios de diferencia de potencial que se puede medir en el capacitor.

Teniendo que el voltaje máximo que acumulará el capacitor es 10 voltios se tomará este valor como punto de partida para la descarga al regulador de voltaje, para llegar a esta diferencia de potencial será necesario en promedio 170 pasos, su equivalente en personas caminando sobre el área abarcada por los paneles es alrededor de 80 y 90 transeúntes; el análisis de densidad poblacional demuestra que esta cantidad de personas transitan en el pasillo en un tiempo promedio de 8 minutos.

Se realizaron pruebas para medir la corriente que se logra descargar del capacitor de 2 200 μF hacia la batería; para esto se utilizó el LM317T como regulador de voltaje, este dispositivo es variable así que se utilizaron resistencias de 220 Ω y 1,2 K Ω para fijar su salida en 6,9 voltios.

Figura 57. **Circuito a implementar para pruebas de descarga del capacitor de 2 200 μ F**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Se realizaron pruebas donde cuando el capacitor alcanza aproximadamente los 10 voltios almacenados, se le conecta al regulador de voltaje para provocar su descarga hacia la batería con una salida de 6,9 voltios, los resultados de la corriente de recarga que se obtienen son los siguientes:

Tabla XXXIV. **Corriente obtenida al descargar el capacitor de 2200 μ F**

Núm. 1	Núm. 2	Núm. 3	Núm. 4	Núm. 5
122,54 mA	128,48 mA	74,8 mA	71,5 mA	89,1 mA
Núm. 6	Núm. 7	Núm. 8	Núm. 9	Núm. 10
111,1 mA	130,68 mA	74,14 mA	82,94 mA	75,24 mA

Fuente: elaboración propia.

La media de la corriente que se logra es de 86,02 mA durante un lapso de tiempo aproximado a 3 segundos; esto quiere decir que a la batería se le devolvieron en promedio 0,25806 Coulomb con cada descarga.

Al recargar la batería de una computadora portátil ambas baterías estarán funcionando, entregando la misma corriente, el máximo consumo que se espera en esta situación es 2 Ah lo que equivaldría a 7 200 Coulomb en cada una de las baterías.

$$1 \text{ Amperio} = \frac{1 \text{ Coulomb}}{1 \text{ segundo}} \quad (22)$$

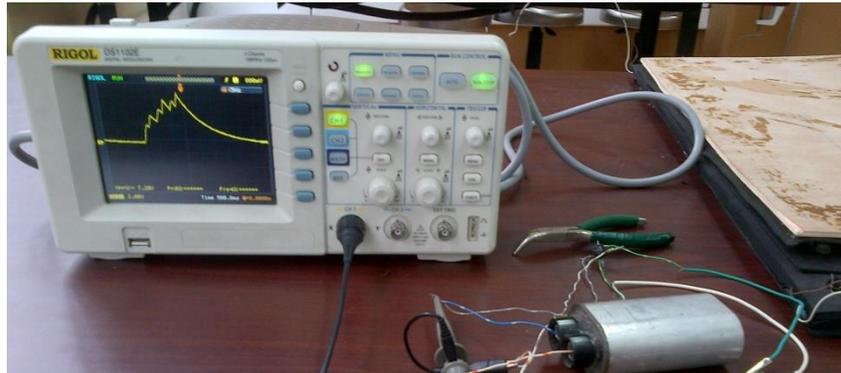
$$\text{Coulomb} = 1 \text{ A} * 7\,200 \text{ segundos} = 7\,200 \text{ Coulomb} \quad (\text{ec. } 22)$$

Esto quiere decir que se necesitan aproximadamente 27,900 descargas del capacitor de 2 200 μF , en tiempo quiere decir que serían 3 720 horas para recuperar la carga perdida o 155 días lo que no es de beneficio para el proyecto por lo que se debe encontrar otra alternativa para la recarga de baterías a partir de los paneles MAMS.

Consultando diferentes fuentes bibliográficas se encontró que lo recomendado para recargar baterías a partir de piezoeléctricidad es tener conectados los transductores directamente a estas, con esto se pretende que ante cualquier estímulo que genere energía eléctrica en los paneles la señal producida sea enviada de manera directa hacia las baterías.

Para comprobar esto se realizaron pruebas donde se utilizó un capacitor de 0,22 μF con una resistencia en paralelo de 10 $\text{M}\Omega$; este dispositivo es un repuesto de microondas y dentro del encapsulado trae ya el circuito RC construido.

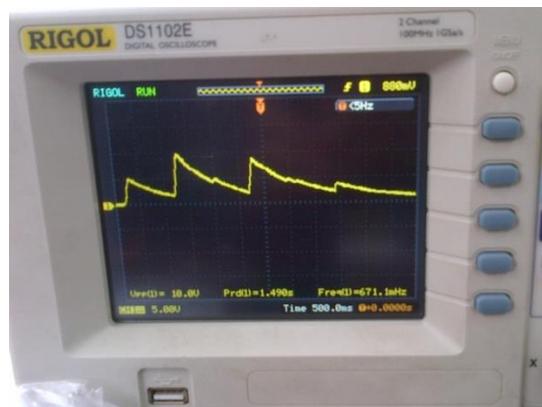
Figura 58. **Pruebas realizadas con paneles MAMS acoplados al capacitor de microondas**



Fuente: Laboratorio de electrónica, T1, Facultad de Ingeniería.

Los resultados de estas pruebas en circuito abierto indican que se producen picos de 10 voltios en un periodo de tiempo de 1,5 segundos, esta prueba se realizó con un usuario de 60 Kg dando pasos sobre un panel MAMS.

Figura 59. **Grafica resultante del caminar sobre los paneles MAMS acoplados al capacitor de microondas**



Fuente: Laboratorio de electrónica, T1, Facultad de Ingeniería.

Para realizar las prueba y analizar la señal salida del regulador de voltaje LM317T se implemento el mismo circuito que se muestra en la figura 57, solamente con el cambio que en lugar del capacitor de 2 200 μF se usa el de microondas con los paneles piezoelectricos conectados en paralelo a este.

Figura 60. **Señal de salida del regulador de voltaje con los paneles MAMS acoplados al capacitor de microondas**



Fuente: Laboratorio de electrónica, T1, Facultad de Ingeniería.

Para realizar estas pruebas se tubo al usuario de 60 Kg caminando constantemente sobre los paneles MAMS, los resultados de la corriente que fluye hacia la batería, al dar solamente un paso, fueron los siguientes:

Tabla XXXV. **Corriente obtenida al descargar el capacitor de microondas**

Núm. 1	Núm. 2	Núm. 3	Núm. 4	Núm. 5
80,4 mA	100,2 mA	140,7 mA	97,2 mA	85,2 mA
Núm. 6	Núm. 7	Núm. 8	Núm. 9	Núm. 10
70,9 mA	87 mA	115,4 mA	91,5 mA	89,6 mA

Fuente: elaboración propia.

En promedio se tienen una corriente de recarga de 95,81 mA durante un tiempo de 1,5 segundos; esto quiere decir que la batería recuperó 0,143715 Coulomb con cada paso, a diferencia de la prueba con el capacitor de 2 200 μ F, donde la energía es acumulada, los picos de voltaje son regulados y directamente inyectados a la batería en recarga.

Utilizando la situación anterior de recargar los 7 200 Coulomb en una batería, se necesitan aproximadamente 50 100 pasos equivalente a 25 050 personas; el análisis de densidad poblacional indica que esta cantidad de personas transita en aproximadamente 3 días y medio; si bien es un tiempo largo en el que se recarga una sola batería es mucho mejor que los 155 días con la carga y descarga del capacitor de 2 200 μ F.

Algo a resaltar en esta prueba fue que el usuario posee 60 Kg y una talla de zapato de 6,5 americano; luego se realizaron las mismas pruebas pero con los paneles ubicados en el pasillo del nivel 0 del T3; ya estando en esta ubicación la diversidad de personas que transitan en este lugar es de beneficio para el proyecto, ya que se pudo destacar que con personas de estatura mayor a los 1,80 metros con un peso mayor a 200 libras, indicado por ellos mismos, la corriente de recarga que fluye hacia la batería es promediada a 300 mA.

La explicación para esto es que si bien el voltaje de salida de los transductores se mantiene en 10 voltios, la cantidad de transductores polarizados ante un paso de personas con esas características es mucho mayor lo que tienen como resultado que se trabaje con suma de corrientes.

Otro punto a resaltar es el hecho de cuando los estudiantes cambian de periodo transitan en grupo, lo que provoca el mismo fenómeno, ya que sin importar el peso de ellos están polarizando muchos transductores a la vez

provocando la sumatoria de corrientes. Estas particularidades se dan ya con el movimiento de una población y es la energía de esta población en movimiento la que el proyecto propone aprovechar.

La manera de recargar las baterías será con los paneles MAMS acoplados al capacitor de microondas, ya que la inyección de la corriente de recarga es instantánea al momento de caminar, tienen mejores resultados que tener un capacitor principal que este almacenando la carga y luego descargase hacia la batería.

3.3.1. Sistema de control para recarga de baterías

Los sistemas de control son utilizados para obtener resultados deseados de un procedimiento, su funcionamiento está basado en procesar señales de entrada que provienen de sensores instalados en las etapas que conforman el sistema, a partir de estas señales de entrada se modifican parámetros para seguir obteniendo los resultados deseados. Se clasifican de la siguiente manera:

- **Sistemas de lazo abierto:** en este tipo de sistemas la salida no interfiere con las acciones que ejecutar el control; esto conlleva a tener problemas con los resultados finales, ya que el procedimiento no tiene una retroalimentación que le indique si existe un error que se deba corregir, por lo que una vez el proceso comienza y tiene error este no se soluciona hasta que el usuario lo solucione.
- **Sistema de lazo cerrado:** en este tipo de sistema la salida interfiere de manera directa con el proceso, una característica fundamental que hace más eficiente al lazo cerrado es que posee retroalimentación de los procedimientos que se están realizando, esto se logra con sensores que

mantienen monitoreado el sistema informando cualquier situación que se presente para asegurar que los resultados finales sean los deseados.

Para el desarrollo del proyecto se diseñó un sistema de control que tendrá varias funciones, entre estas la más importante será cuando una batería disponga de poca carga automáticamente saldrá de funcionamiento y se conectará al regulador de voltaje para recargarse con piezoelectricidad.

Antes de realizar las pruebas preliminares con los 2 paneles piezoelectricos, se utilizó la batería hasta al punto de llevarla de 6,04 voltios, voltaje de fábrica inicial, hasta 5,94 voltios; esto se logró cargando un teléfono móvil (Samsung Core II), con un regulador de voltaje 7805, durante 1 hora consumiendo 0,35 amperios, equivalente a 1 260 Coulomb.

Durante las pruebas preliminares que se realizaron durante 2 horas diarias por una semana, se mantuvo la batería en recarga obteniendo los siguientes resultados de los voltajes con los que la batería inicio cada día:

Tabla XXXVI. **Resultados del proceso de recarga**

Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5
5,94 V	5,96 V	5,97 V	5,97 V	5,98 V

Fuente: elaboración propia.

Al final del quinto día se llegó a 5,99 voltios; el segundo día muestra mayor cambio que los demás debido a que el primer día se hizo la prueba durante un viernes de 6:00 p.m. a 8:00 p.m. con un promedio de 14 personas por minuto; los demás días se realizó lo mismo pero de 6:30 a.m. a 8:30 a.m. con un

promedio de 8 personas por minuto; según la teoría se le devolvieron a la batería 1 586,6 Coulomb.

Estas pruebas fueron muy contundentes con muchos aspectos pendientes de entender con respecto al proceso de carga de baterías; comenzando por el hecho de que en efecto la piezoelectricidad si puede recargar baterías a partir de inyectar la energía al instante del paso dado.

Si bien la teoría indica que se le otorgaron más Coulomb a la batería que los entregados por esta, la recarga se hizo en un punto donde la batería tiende a oponerse a la corriente de recarga debido a que el voltaje con el que se comenzaron las pruebas no tan lejano al voltaje que entregan los paneles piezoeléctricos luego del regulador, existía un voltio de diferencia.

El dato teórico de la carga devuelta a la batería está calculado con el valor promedio que se obtuvo del sujeto de 60 Kg, ya en campo los paneles están expuestos a personas de mayor y menor peso, personas con calzado mayor o menor del 6,5 americano promedio, personas que pasaron solas y otras que pasaron en grupos; por lo que la energía devuelta pudo haber sido más, lo que respaldaría el hecho de que la batería se pudo recargar aún estando en un punto donde no se le consideraría descargada.

Normalmente cuando una batería se conecta a un cargador el voltaje que se mide al conectar el multímetro a las terminales de la pila es mayor al que tiene por sí sola, esto se debe a que el voltaje que se está midiendo es el del cargador que ha bajado su diferencia de potencial por la compensación de carga que le causa la resistencia interna de la batería.

Este no es el caso cuando se está recargando la batería con piezoelectricidad, los picos de voltaje pueden ser medidos antes del regulador, luego de este y antes del diodo se pueden medir ya regulados pero luego del diodo el voltaje que se mide es el de la batería, el valor de la corriente de recarga si es mensurable entre el diodo y la batería con un amperímetro de corriente directa.

3.3.2. Diseño del cargador de baterías

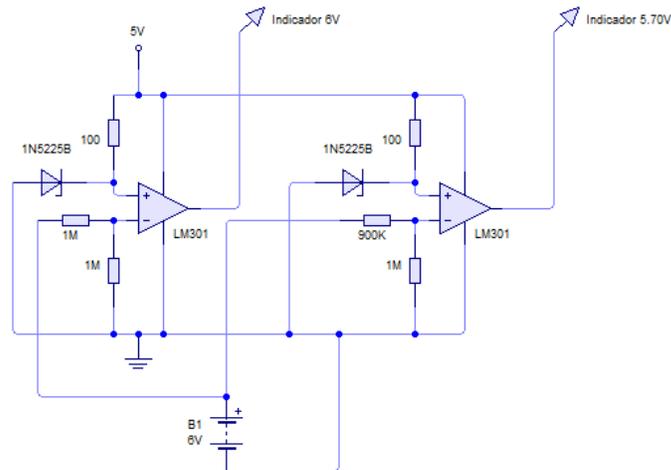
El sistema de control será el encargado de sacar las baterías de funcionamiento y colocarlas en estado de recarga, para que esto pueda suceder se deben definir los voltaje a los cuales la pila se dará por descargada y como recargada; si se deja descargarse demasiado la batería, es decir llegar a que la batería marque 4,5 voltios, el tiempo de recarga será mayor haciendo probable que la segunda batería también se descargue lo que resultaría en que ambas deben recargarse y la alternativa energética quedaría fuera de uso.

Para evitar que ambas baterías queden en necesidad de recarga se hizo una prueba, donde ambas se encontraban a 6,04 voltios, donde se recargo durante una hora una computadora portátil (Notebook PC HP G42-364LA) con un cargador que consume 65 watts; las baterías se conectaron a un inversor de corriente.

Luego que el computador completo su carga, en las baterías se podía medir 5,73 y 5,76 voltios por lo que se decidió que el nivel de voltaje para que una batería sea considera como descargada sean 5,70 voltios y para considerarse cargada 6,00 voltios.

El sistema de control tendrá mensurado el voltaje de las baterías por medio de un arreglo de comparadores de voltaje, el integrado LM301 será utilizado para esta tarea; para una sola pila habrán dos de estos comparadores de voltaje, uno que indique cuando la batería sea menor a 6 voltios y otro que indique cuando sea menor a 5.70 voltios.

Figura 61. **Medidores de voltaje, circuito implementado para cada batería**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

En este circuito se utilizan diodos zener 1N5225B para tener una referencia segura de 3 voltios, la cual está conectada para la entrada de referencia positiva del LM301; para el comparador de voltaje que indicara cuando la batería tenga menos de 6 voltios se tiene un divisor de voltaje con 2 resistencias de 1 M Ω , y para el comparador que indicara que el voltaje medido es menor a 5,7 voltios se tiene un divisor de voltaje con una resistencia de 1 M Ω y un arreglo de resistencias que da como resultado 900 K Ω ; ambos divisores de voltaje están diseñados para que den una referencia de 3 voltios a la entrada negativa del integrado.

Este circuito está diseñado e implementado para cuando el voltaje medido sea menor a 6,00 V y 5,70 V, respectivamente, se tenga como respuesta 1's lógicos; cuando la batería se encuentre descargada, según el criterio anteriormente indicado, ambos indicadores estarán en un nivel alto para lo que la pila debe salir de uso y estar en recarga, si el sistema de control se basa solamente en estos indicadores se tendrá el problema de que cuando la batería llegue a tener 6 voltios se desconectará y entrará en uso, poco tiempo después esta marcará menos de 6 voltios lo que la hará entrar a recarga nuevamente y se mantendrá oscilando entre estos estados.

Para darle una solución automática a este problema se dispuso usar el integrado 74SL74 que es un *flip-flop* con la facilidad de controlar su salida con un *preset* y un *clear*; cuando a la entrada *preset* se da un cambio de estado negativo a la salida Q del integrado se tendrá un 1 lógico mientras que si se realiza este mismo cambio de estado negativo en *clear* a la salida Q se tiene un 0 lógico; una vez dado los pulsos correspondientes el estado de la salida Q no varía hasta que se cambie los estados; para lograr esto se realizó un circuito combinacional basado en los indicadores de voltaje de las baterías.

Tabla XXXVII. **Tabla de verdad para indicadores de *clear* y *preset***

Interpretación del estado	Indicador 6,00 V	Indicador 5,70 V	<i>Clear</i>	<i>Preset</i>
Carga completa	0	0	0	1
X	0	1	1	1
En carga	1	0	1	1
Descargada	1	1	1	0

Fuente: elaboración propia.

Los encargados de monitorear las baterías son los comparadores de voltaje, estos indican con un 1 lógico que el nivel de voltaje es menor al que ellos tienen como referencia; cuando ambos indicadores se encuentran en 0 se interpreta que la batería está con carga completa por lo que la salida Q del 74LS74 debe ser 0, ya que esta indica si la batería debe estar recargándose, por lo que al CLR se le da un estado 0; cuando el indicador de 6 V está en 0 y el indicador de 5,7 V está en 1 es una incongruencia, ya que esto solo sucederá si la batería tiene un voltaje menor a 5,7V pero mayor a 6 V algo imposible por lo que este estado no importa.

Si ambos indicadores se encuentran en 1 quiere decir que la batería se considera como descargada por lo que la salida Q debe ser 1, para que la batería salga de uso y se recargue, por lo que al PR se le da un estado 0; si el indicador de 6 V está en 1 y el indicador de 5,7 V está en 0 quiere decir que la batería se encuentra en uso o en recarga, esto lo decidirá la Q del *flip flop* en base a lo que haya acontecido con anterioridad, es decir cuando la batería llegó a carga completa la salida Q cambia a 0 y pone la batería en uso, mientras tanto los estados de las entradas CLR y PR no cambian se mantienen en 1 lógico hasta que la batería se descarga y al PR se le asigna un estado 0 cambiando la Q a 1 lo que saca la batería de uso hasta que se llegue a su carga completa nuevamente.

Para implementar el circuito combinacional es necesario conocer las funciones para PR y CLR, las cuales se obtienen con mapas de Karnaugh de 2 x 2 utilizando minterminos y maxtérminos de la manera siguiente:

Figura 62. **Mapa de karnaugh para indicador CLR**

CLR	$5,7 V'$	$5,7 V$
$6V'$	0	1
$6V$	1	1

$CRL = 5,7 V + 6 V$

Fuente: elaboración propia.

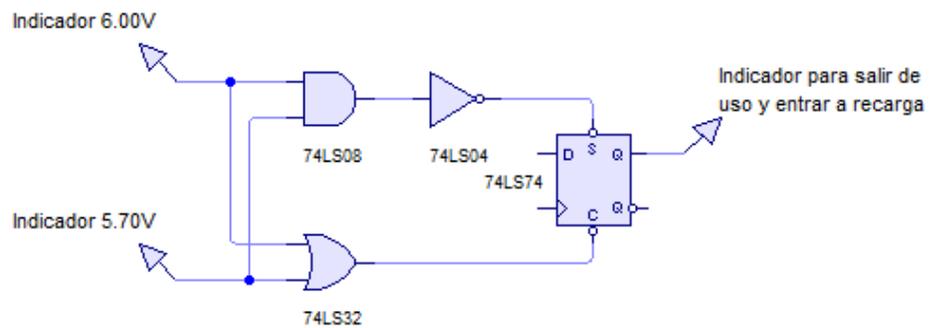
Figura 63. **Mapa de karnaugh para indicador PR**

PR	$5,7 V'$	$5,7 V$
$6 V'$	1	1
$6 V$	1	0

$PR = (5.7V * 6V)'$

Fuente: elaboración propia.

Figura 64. **Circuito implementado para establecer estado de recarga**

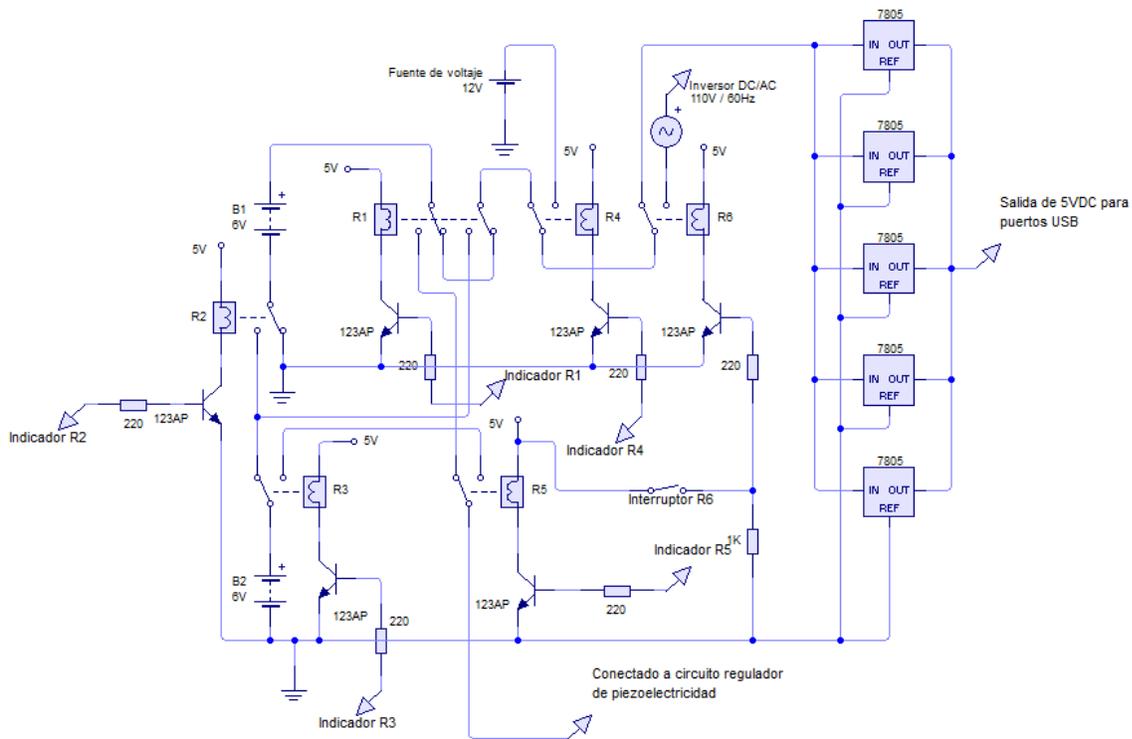


Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Con el circuito anterior implementado se logrará evitar que la batería entre en un estado de conflicto por la oscilación entre estar en uso o en recarga; el *flip flop* será el encargado de llevar un control de la situación que se está presentando; si viene de carga completa la batería entra en uso y si está descargada entra a recarga.

Para realizar la acción de sacar una pila de uso el sistema de control administra *relays* que conectan distintos segmentos de la estación de recarga; el siguiente diagrama indica la manera en cómo están conectados unos con otros.

Figura 65. **Diagrama del sistema de control, segmento de relays**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

El prototipo de la estación de recarga cuenta con 6 relays, cada uno de estos cumple una función en específico. La estación está diseñada para entregar energía en 5VDC, por medio de puertos USB, y en 110VAC, en un tomacorriente, no se puede hacer uso de ambos modos, ya que el circuito que se muestra en la figura 65 está diseñado para funcionar la mayor parte del tiempo con los puertos USB, los relays están conectados en la configuración normalmente cerrado de una manera que se utilicen los puertos USB sin que las bobinas de los interruptores electromagnéticos estén activadas y se tenga un menor consumo energético por parte del sistema de control.

Otro motivo por el cual la estación esta principalmente diseñada para usarse con los puertos USB es porque así la baterías pueden rotarse de uso, mientras la batería B1 se está cargando, por medio de los paneles MAMS, la batería B2 entra en uso, aprovechando la piezoelectricidad generada y la ya almacenada haciendo más eficiente el uso de esta.

El circuito está diseñado para que la batería B1 sea utilizada la mayor parte de tiempo, al momento en que B1 se descargue el relay DPDT R1 la saca de uso ingresando a B2 en función de fuente de energía para la estación mientras R5, en configuración normalmente cerrado, conecta B1 al circuito de piezoeléctricidad regulada para su recarga. En el caso en que B2 llegara a descargarse R3 la saca de uso y la conecta a R5, en configuración normalmente abierta, a la espera de que B1 llegue a carga completa para conectar a B2 al circuito de piezoeléctricidad regulada.

Para que la estación de recarga entregue los 110 VAC se deben conectar las baterías en serie y luego conectarlas al inversor de corriente DC/AC para tener el voltaje deseado; con el interruptor R6 se elige la opción a utilizar si

5 VDC o 110 VAC, al elegir corriente alterna el sistema de control analiza si B2, que es la batería de respaldo, aun no se encuentra descargada.

Si B2 aún puede estar en uso el *relay* R2 hace una conexión en serie de las baterías para tener 12 VDC, al elegir usar AC con el interruptor R6, el *relay* R6 se activa en configuración normalmente abierto para cerrar el circuito con el inversor de corriente, de esta manera la estación de recarga puede entregar AC.

Existiendo la posibilidad de que ambas baterías se encuentren descargadas la estación continuará dando el servicio, cuando la diferencia de potencial tanto B1 como en B2 sea menor a 5,70 voltios el relay R4 se activará para que la fuente de voltaje de 12 VDC que alimenta el sistema de control también alimente la estación de recarga y así esta no entre fuera de servicio.

Este sistema de respaldo se activara bajo 2 condiciones, cuando las baterías estén conectadas en serie y la batería de respaldo B2 indique estar descargada el sistema de respaldo se activara. La otra condición por la que esta opción se activaría será porque ambas baterías estén descargadas.

Cuando B1 se encuentre a plena carga, la batería con prioridad en la recarga, la bobina en R4 se despolarizará regresando el *relay* a la configuración normalmente cerrado para que B1 pueda entregar la piezoelectricidad almacenada por medio de los puertos USB.

Se diseñó un circuito combinacional para que el sistema de control pueda realizar lo anteriormente descrito, las siguientes tablas de verdad muestran bajo qué condiciones se administra la estación de recarga:

Tabla XXXVIII. **Tabla de verdad para indicador R4**

Interpretación del estado	Indicador Q de B1	Indicador Q de B2	Indicador R4
B1 y B2 en uso; alternativa energética en uso	0	0	0
B1 en uso, B2 en recarga; alternativa energética en uso	0	1	0
B1 en recarga, B2 en uso; alternativa energética en uso	1	0	0
B1 y B2 en recarga; activar sistema de respaldo	1	1	1

Fuente: elaboración propia.

Cuando ambas baterías queden por debajo de los 5,70 voltios los indicadores Q de cada uno indicaran que necesitan entrar en recarga por lo que el indicador R4 adquiere un valor de 1 lógico para activar el sistema de respaldo. Siempre que B1 se recarga la estación vuelve a desactivar el sistema de apoyo.

Tabla XXXIX. **Tabla de verdad para indicador R2**

Interpretación del estado	Interruptor R6	Indicador Q de B2	Indicador R2
Estación entregando 5 VDC	0	0	0
Estación entregando 5 VDC	0	1	0
Estación entregando 110 VDC con alternativa energética	1	0	1
Estación entregando 110 VAC con sistema de respaldo	1	1	0

Fuente: elaboración propia.

La condición para usar 110 VAC por medio de la alternativa energética es solamente si ambas baterías se encuentran con un nivel de voltaje mayor a 5,70 V, dado que el sistema de control está diseñado para que B1 sea la primera en recargarse se podrá usar 110 VAC solo si B2 tiene una diferencia de potencial mayor a 5.7 voltios. Basado en esto el indicador R2 tendrá el valor de 1 lógico, para hacer el circuito en serie de las baterías, solamente si B2 no se encuentra descargada.

Tabla XL. **Tabla de verdad para indicador R1**

Interpretación del estado	Indicador Q de B1	Indicador R2	Indicador R1
B1 entregando 5 VDC	0	0	0
B1 en serie con B2 entregando 12 VDC	0	1	0
B1 fuera de uso	1	0	1
X	1	1	0

Fuente: elaboración propia.

Puede existir el caso en que B1 tiene un nivel de voltaje mayor al de B2 y la estación las conecta en serie para usar 110 VAC, el ingreso de B1 a recarga es habilitado por el indicador R1 que al momento de estar conectadas en serie le da prioridad a la situación de B2. Cuando la estación está entregando 5 VDC y B1 se descarga esta sale automáticamente de uso y entra a la recarga pero si está en uso el inversor de corriente esta batería está obligada a esperar que B2 se descargue para salir de uso, de esta manera se asegura de que B1 siempre sea la que presente mayor uso dejando B2 como la de respaldo y que el principio en el que está basado el diseño prevalezca. La situación en que B1 necesite recarga y B2 también se puede dar pero para eso R2 ya no

presentaría un estado de 1 lógico por lo que el último estado de la tabla de verdad no puede suceder.

Para que B2 entre en recarga el indicador R3 debe ser 1 lógico, esto sucede cuando el indicador Q de B2 es 1 lógico por lo que estos no son diferentes uno del otro sino el mismo.

Tabla XLI. **Tabla de verdad para indicador R5**

Interpretación del estado	Indicador R1	Indicador R3	Indicador R5
B1 y B2 en uso	0	0	0
B1 en uso y B2 fuera de uso	0	1	1
B1 fuera de uso y B2 en uso	1	0	0
B1 en recarga y B2 en cola para recarga	1	1	0

Fuente: elaboración propia.

El relay R5 es el encargado de priorizar la recarga de B1, R1 y R3 son indicadores que adquieren un valor lógico 1 si B1 y B2 están fuera de uso por lo que el indicador R5 mantiene el *relay* R5 en configuración normalmente cerrado siempre que B1 esté fuera de uso pueda entrar a recarga, en dado caso ambas baterías están fuera de uso B1 será la prioridad y B2 estará en cola; solamente que B1 no esté fuera de uso y B2 si, esta podrá entrar en recarga.

Los mapas de karnaugh para encontrar las funciones por medio de minterminos de estas tablas de verdad son los siguientes:

Figura 66. **Mapa de karnaugh para indicador R4**

R4	QB2'	QB2
QB1'	0	0
QB1	0	1

$$R4=QB1*QB2$$

Fuente: elaboración propia.

Figura 67. **Mapa de karnaugh para indicador R2**

R2	QB2'	QB2
R6'	0	0
R6	1	0

$$R2=QB2'*R6$$

Fuente: elaboración propia.

Figura 68. **Mapa de karnaugh para indicador R1**

R1	R2'	R2
QB1'	0	0
QB1	1	0

$$R1=R2'*QB1$$

Fuente: elaboración propia.

Figura 69. **Mapa de karnaugh para indicador R5**

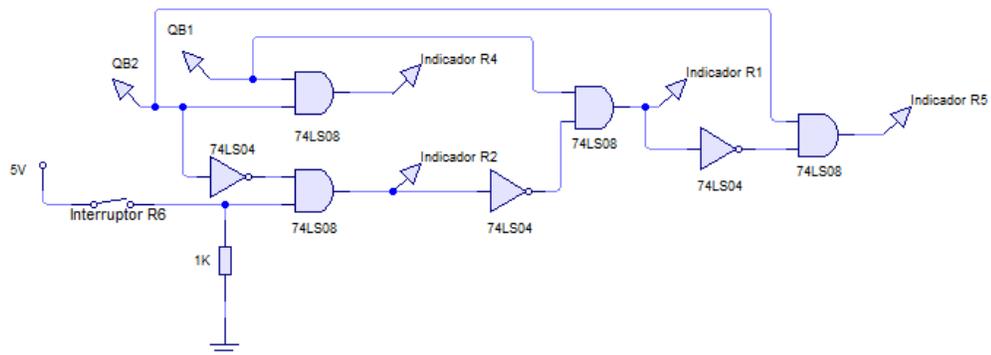
R5	R3'	R3
R1'	0	1
R1	0	0

$R5=R1' \cdot R3$

Fuente: elaboración propia.

Los circuitos implementados en el sistema de control de estas funciones lógicas son los siguientes:

Figura 70. **Diagrama del sistema de control, segmento del circuito combinacional**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Todo la lógica del sistema de control proviene de usar los indicadores de las baterías, es con base en el nivel de voltaje que se tenga en estas se verá afectada la forma en como trabaja la estación de recarga aun así esta no dejara

de dar el servicio de tener a disposición 5 VDC y 110 VAC para recargar los dispositivos electrónicos.

3.3.3. Implementación del cargador de baterías

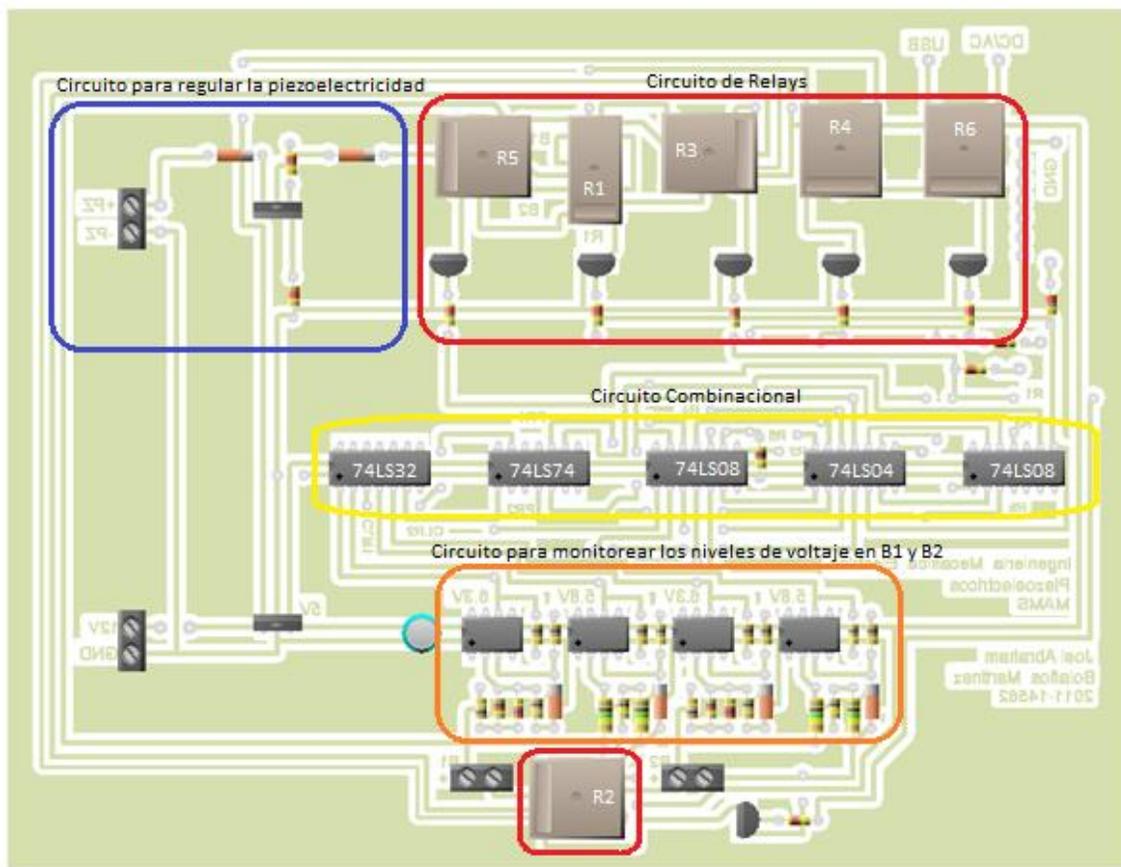
Una vez ya diseñado y probado en *protoboard* el cargador de baterías, desde los medidores de voltaje hasta el sistema de control como tal, se procede a plasmarlo en una placa de fibra de vidrio para lo que se utilizó un software especializado en el diseño de placas PCB.

La estación de recarga es una herramienta de investigación sobre la piezoelectricidad, será una manera de monitorear la recarga de baterías por medio de paneles MAMS por lo que el sistema de control esta alimentado por una fuente de voltaje de 12 voltios, la misma que entrega la energía al ser activado el sistema de respaldo. En el diseño de esta placa PCB se plasmó lo siguiente:

- Terminales para conectar la fuente de 12 voltios
- Terminales para conectar los paneles piezoeléctricos
- Terminales para conectar las baterías B1 y B2
- Los circuitos que monitorean los niveles de voltaje en B1 y B2
- La regulación de voltaje para alimentar el sistema de control
- El circuito que regula los picos de voltaje de la piezoelectricidad
- El circuito de *relays* para el funcionamiento de la estación de recarga
- El circuito combinacional del sistema de control
- Las salidas de leds para los indicadores
- Las entradas para conectar el inversor de corriente DC/AC
- La salida de voltaje para alimentar los puertos USB con 5 VDC

El programa con el que se realizó el diseño de la placa tiene la opción de dar una simulación visual de cómo se vería esta placa finalizada, con los integrados y demás dispositivos complementarios ya soldados.

Figura 71. **Simulación de la placa PCB finalizada**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Estando conforme con el diseño del sistema de control y el de la placa PCB, se procede a realizar la impresión del Artwork en una hoja de papel fotográfico y plancharla al lado del cobre de una placa PCB de fibra de vidrio.

Figura 73. **Placa del sistema de control para la estación de recarga finalizada**



Fuente: Laboratorio de electrónica, T1, Facultad de Ingeniería.

Al finalizar de implementar todos los circuitos en la placa se realizaron pruebas para comprobar que todos los circuitos estaban funcionando como debería ser, se tuvo prioridad en los medidores de voltaje y en el combinacional, ya que son la lógica del sistema de control; las pruebas dieron resultados exitosos donde los circuitos cumplieron con los objetivos para los cuales fueron diseñados cumpliendo las condiciones que se mostraron en las tablas de verdad.

En donde se encuentra las terminales para conectar los paneles piezoeléctricos MAMS se notan, en las figuras 71 y 72, dos puntos en los cuales ira conectado el capacitor de microondas, este no puede ser visualizado en la simulación del programa debido a que no encuentra directamente como un componente en la librería de dispositivos y en la figura 73 no se alcanza a ver, ya que no está soldado directamente a la placa sino con alambres.

Los componentes que están soldados por medio de alambres como los leds y los interruptores no se alcanzan a ver en la figura 73; aun así estos estarán en una ubicación de fácil acceso en la estación de recarga, ya que con observar lo que indiquen estos se podrá analizar la situación en la que se encuentran las baterías.

A los reguladores de voltaje se colocaron disipadores de calor para alargar la vida útil de estos, en esta placa se utilizaron disipadores grandes para el LM317T y el LM7805, ya que estarán funcionando en todo momento.

4. ESTACIÓN DE RECARGA PARA DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS DE USO COTIDIANO

Cuando una persona transite sobre los paneles MAMS, la energía mecánica del paso será convertida a eléctrica por medio de los transductores piezoeléctricos para luego ser rectificadas, reguladas y almacenadas en baterías. La estación de recarga, administrada por el sistema de control, pondrá a disposición de todos la energía eléctrica cosechada de su caminar.

La manera en como la estación de recarga administra los niveles de energía se explicó en el título 3, donde también se dio una introducción de cómo debe ser controlada por el usuario, basándose en que se debe evitar que el estudiante deteriore el sistema de control por el mal uso de la estación haciendo que la forma de utilizarla sea tan simple que no pueda cometer errores.

Para recargar computadores portátiles se hace por medio de conectar el cargador a un tomacorriente alimentado de 110 VAC; si se desea recargar un teléfono portátil, una tableta electrónica, entre otras. Existen 2 opciones para hacerlo, la primera es conectado el cargador a un tomacorriente y la segunda es conectando el dispositivo electrónico por medio de un cable USB a su puerto correspondiente alimentado con 5 VDC.

Con un interruptor para seleccionar entre 110 VAC y 5 VDC el usuario tendrá disposición a cualquiera de las 2 opciones, si se desea recargar cualquier dispositivo por medio del cargador se lo podrá conectar a un tomacorriente y si en lugar de un cargador el usuario cuenta con un cable USB

también se podrá recargar conectando el dispositivo, por medio de este, a un puerto USB.

4.1. Inversor de corriente DC/AC

El inversor de corriente es un dispositivo que se encarga de convertir una entrada de voltaje en corriente directa, a una salida de voltaje de corriente alterna, estos cuentan con un oscilador para controlar un transistor que interrumpe la señal DC de entrada y así generar una onda rectangular.

La salida de corriente alterna se obtiene de un transformador el cual tiene a su entrada la onda rectangular para suavizarla, darle forma de onda sinusoidal y la amplitud para que la diferencia de potencial sea la misma que se obtiene del sistema.

Los inversores comerciales necesitan a la entrada 12 VDC para entregar a la salida 110 VAC. Para que la estación entregue corriente alterna intermitente realiza una conexión en serie de las 2 baterías de 6 voltios, sumados los voltajes se tiene 12 voltios en corriente directa.

Para elegir el inversor de corriente a utilizar en la estación de recarga se debe tener presente que debe funcionar con 12 voltios DC como fuente de energía en su entrada y debe entregar 110 voltios AC con una frecuencia 60 Hz a su salida, ya que los dispositivos están homologados para trabajar en corriente alterna con estas características.

Si bien en el mercado la mayoría de los inversores cumplen con estas características se debe tomar en cuenta la potencia en watts que deberá manejar, por lo que las opciones entre las que se puede elegir son:

- Inversor de corriente de 12 VDC a 110 VAC, 75 W
- Inversor de corriente de 12 VDC a 110 VAC, 100 W
- Inversor de corriente de 12 VDC a 110 VAC, 150 W
- Inversor de corriente de 12 VDC a 110 VAC, 300 W
- Inversor de corriente de 12 VDC a 110 VAC, 400 W
- Inversor de corriente de 12 VDC a 110 VAC, 600 W
- Inversor de corriente de 12 VDC a 110 VAC, 1 000 W
- Inversor de corriente de 12 VDC a 110 VAC, 1 500 W

El precio de estos dispositivos es proporcional a la potencia que puede manejar, por lo que se debe elegir el inversor ideal para realizar la tarea de entregar 110 VAC en la estación de recarga, tomando en cuenta que si se elige un dispositivo con la potencia exacta que se va a consumir terminará por perjudicar y acortar la vida de este, ya que funcionará al máximo de su capacidad en todo momento.

La máxima potencia que se tiene esperado entregar por parte de la estación de recarga son 100 W, y esto será para que el usuario de una computadora portátil cuyo cargador consume esa cantidad de watts pueda conectarla al tomacorriente de la estación sin ningún problema. Entre la investigación que se realizó para comparar potencias de cargadores de laptops se obtuvo que un cargador que consume esta potencia es antiguo pero aún activo en el mercado; el rango de consumo de los cargadores actuales es de 65 W a 80 W.

Ya que la estación de recarga entregara como máximo 100 W, debido que es probable que se conecte un cargador de esa potencia, utilizar un inversor de 100 W no es conveniente, ya que se puede dar el caso donde se le exija al máximo de su capacidad provocándole un decremento en su tiempo de vida útil.

Elegir un inversor de 1 500 W para la estación de recarga no viene al caso, ya que si bien la potencia con la que trabajará no sera ni una decima parte de lo que esta creado para entregar, haciendo asi que su vida util se prolonge, el precio es demasiado elevado y el inversor como tal estará totalmente desperdiciado.

Utilizar un inversor de 150 W para la estacion de recarga para ser lo ideal, ya que al tener que trabajar con una potencia de 100 W este trabajara a un 66,67 % de su capacidad maxima, haciendo que su vida util se prolongue. Si es el caso de que la mayoría de cargadores que se lleguen a conectar al tomacorriente esten entre 65 W y 80 W el inversor trabajara entre 43,33 % y 53,estación 33 % de su capacidad total de trabajo.

Figura 74. **Inversor de corriente de 12VDC a 110VAC, 150W**



Fuente: Steren. http://imagenes.steren.com.mx/_imgs/prod/jumbo/INV-150.jpg.

[Consulta: octubre de 2015].

Dentro de las características con las que cuenta el inversor de corriente elegido es una protección contra cortos circuitos, al momento de ocurrir alguno este se apagará y se mantendrá así hasta que se le apague y se le vuelva a

encender, lo que ocurrirá cada vez que el usuario elija pasar de usar 110 VAC a usar 5 VDC y luego de esto regrese a usar corriente alterna.

4.1.1. Protección contra sobreconsumo

Los dispositivos que se conecten al tomacorriente se espera que consuman como máximo 100 W, ya que se espera que solamente se conecten cargadores ya sea de computadoras portátiles o de teléfonos móviles.

Aun así existe la posibilidad que se conecte un dispositivo que consuma mucho más de 100 W, por mencionar un caso en particular se puede hacer referencia a los estudiantes de la escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica quienes deben implementar los circuitos en placas y para hacer esto deben usar una plancha para plasmar los diagramas de la placa PCB en el cobre, los estudiantes apresurados buscarán un tomacorriente.

Si este caso llegará a suceder una plancha tiene un consumo promedio de 1000W por hora, esto traería problemas desde que es conectada, ya que el inversor de corriente no puede trabajar con esta potencia lo que lo haría dar a la salida una diferencia de potencial inferior a 110 VAC impidiendo utilizarla.

Un dispositivo que consuma como máximo 150 W si puede funcionar con normalidad al conectarlo al inversor, ya que este está diseñado para trabajar con esta potencia a su máxima capacidad de trabajo; el problema en este caso es que las baterías sufrirían una descarga para la cual no está diseñada la estación de recarga.

Para proteger la estación de un sobreconsumo basta con colocar un fusible en serie con la alimentación del tomacorriente. Los fusibles son

dispositivos de protección basados en la corriente que pasa por ellos, si un fusible está diseñado para trabajar con 3 amperios quiere decir que mientras la corriente que pase por él sea menor este no se quemará, en caso contrario la corriente que pasa por él es mayor a los 3 amperios se quemará y quedará un circuito abierto evitando el flujo de corriente.

Ya que los fusibles se eligen con base en la corriente limitadora es necesario conocer la corriente máxima que podrá entregar la estación de recarga para lo cual se realizó el cálculo siguiente:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{100W}{110V} = 0,91 A \quad (\text{ec. 21})$$

La corriente limitadora para la estación de recarga serán 0,91 A por lo que el fusible a elegir será de 1 A, ya que es el valor comercial, en el que fabrican los fusibles, más cercano al valor límite que se desea.

Cuando el usuario conecte un dispositivo con un consumo mayor a 100 W no podrá usarlo, ya sea por un mal funcionamiento del inversor de voltaje o previo a esto que el fusible abra el circuito impidiendo que el tomacorriente pueda estar en uso.

Al abrirse el fusible se deberá realizar mantenimiento correctivo en la estación de recarga, abriéndola y cambiarlo para que el tomacorriente pueda estar disponible.

En el caso de los puertos USB se debería conectar muchos dispositivos al mismo tiempo para que la potencia consumida llegara a ser 100 W, estos están conectados a una placa que tiene 3 reguladores de voltaje LM7805 de 5VDC, conectados en paralelo para que entregue como máximo 4,5 A o 22,5 watts.

Figura 75. **Placa reguladora de voltaje para alimentar puertos USB**



Fuente: Laboratorio de electrónica, T1, Facultad de Ingeniería.

De intentar llegar a consumir más de 22,5 W por medio de 5 VDC se daría el mismo caso que con el inversor de voltaje, se tendría un descenso en la diferencia de potencial provocando que el dispositivo conectado no pueda funcionar; por lo que en los puertos USB no es necesario una protección contra el sobreconsumo.

4.2. Construcción de la estación de recarga

Cuando el usuario haga uso de la estación de recarga, solamente tendrá que seleccionar de qué manera desea recargar su dispositivo, por fuera solamente se tendrá acceso al interruptor para seleccionar, a los puertos USB y al tomacorriente.

Por dentro la estación tendrá las 2 baterías, la placa donde está implementado el sistema de control, la fuente para alimentar al sistema de control y entrar como fuente de energía cuando el sistema de respaldo se active, el inversor de corriente DC/AC y la placa donde se regula el voltaje para los puertos USB.

La estación de recarga será un cajón de 0,28 m de ancho por 0,40 m de largo, cubierto por una capa de PVC de 0,003 m de espesor color blanco para que tenga protección impermeable, ya que esta estará expuesta en el exterior.

En la parte baja, externa, del cajón se ubicarán 5 puertos USB y el tomacorriente, este será de color blanco de la línea T Matix de Bticino. Por dentro el cajón tendrá todas las partes que conformas la estación de recarga.

La placa del sistema de control se coloca en la parte superior del cajón al igual que el capacitor de microondas, se realiza una división interna del cajón para que funcione como soporte para las baterías, ya que estas tienen un peso considerable.

Las baterías recargables de 6 V y 7 Ah se conectan en las terminales de conexión de la placa del sistema de control, las terminales tienen indicado que batería debe ir conectada al igual que las baterías tienen indicado si es B1 o B2.

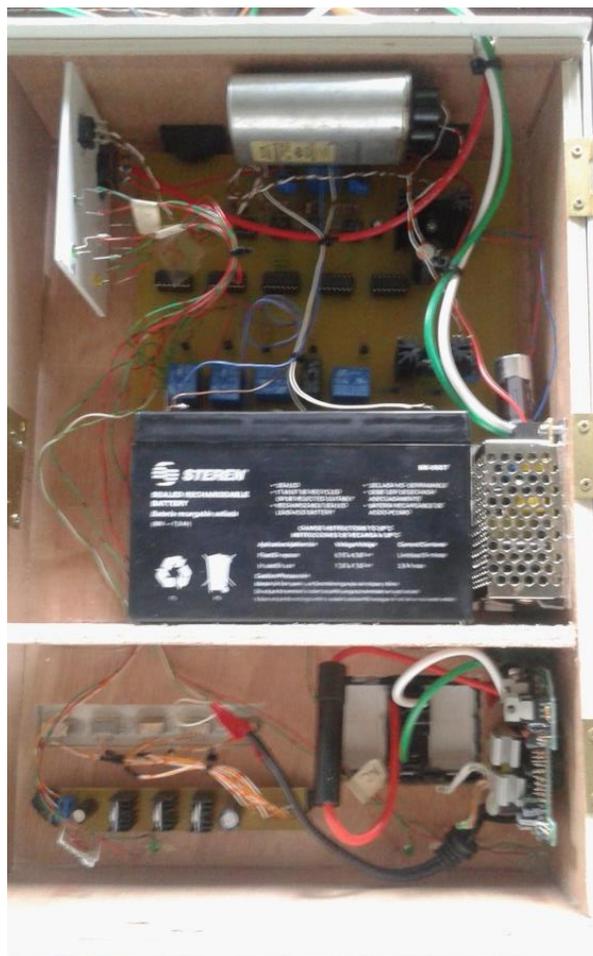
En la placa del sistema de control existen 2 terminales más; una de estas terminales es para conectar la salida de los paneles piezoeléctricos, la otra terminal es para conectar la fuente de voltaje 12 VDC para que alimente la parte administradora de la estación. La fuente de voltaje es colocada a un lado de las baterías por cuestiones de espacio y cercanía hacia la placa principal.

Los 5 puertos USB son conectados a la placa que regula el voltaje y entrega a la salida 5 VDC; el tomacorriente es conectado al inversor de corriente, al cual se le quito la carcasa para ocupar menos espacio, este se colocó en la parte baja del cajón por cuestiones de espacio y cercanía al tomacorriente.

La línea viva entre el tomacorriente y el inversor de corriente se conectó en serie a un porta fusible con su respectivo fusible de 1 amperio para la protección contra el sobreconsumo, la línea neutra y la tierra física fueron conectadas de manera directa del inversor al tomacorriente.

Internamente la estación de recarga tendrá 2 interruptores para ponerla en funcionamiento, un interruptor da paso a que la corriente eléctrica del sistema alimente la fuente de voltaje del sistema de control, el otro interruptor permite que esta fuente de 12 voltios DC alimente los circuitos que monitorean los estados de la estación. Estos irán colocados en un pequeño rectángulo de PVC al cual se tendrá acceso con abrir el cajón.

Figura 76. Interior de la estación de recarga



Fuente: Laboratorio de electrónica, T1, Facultad de Ingeniería.

Los indicadores QB1, QB2, R1 y R3 son primordiales para el monitoreo de la estación de recarga, ya que estos muestran la situación en que se encuentran las baterías; los estados que pueden mostrar es 1 lógico y 0 lógico por lo que de manera ideal se utilizaran leds para conocer el estado.

Con dar una correcta interpretación de los estados se puede saber si una batería se encuentra disponible para ser utilizada o fuera de uso, si se encuentra descargada y está recargándose o en cola para la recarga.

Figura 77. **Vista de perfil del interior de la estación de recarga**



Fuente: Laboratorio de electrónica, T1, Facultad de Ingeniería.

Al momento de la instalación el cajón estará sobrepuesto en la pared del T3, por lo que la unión se hará entre la pared y la parte trasera de la estación. Cuando se necesite tener acceso al interior de la estación primero se debe abrir una chapa ubicada a un lado, al quitar llave se podrá ver por dentro como se ilustra en la figura 77; en este punto se puede tener conocimiento del estado en el que se encuentran las baterías, ya que se pueden ver los leds que están interpretando a los indicadores.

Para realizar mantenimiento o tomar medidas para llevar el control de la estación de recarga se procede a quitar los 2 candados, con esto se libera el cajón para abrirse y tener una vista del interior de la estación como se ilustra en la figura 76.

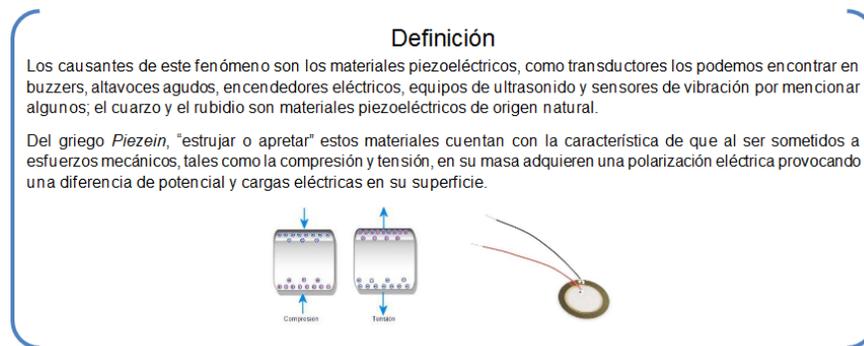
Por fuera la estación tendrá visibles leds que indicaran si la estación de recarga tiene disponibilidad de utilizar la alternativa energética y cuál de las 2 formas de entregar energía está siendo utilizada, si el tomacorriente o los puertos USB.

4.2.1. Material didáctico

Uno de los objetivos del proyecto es transmitir al estudiante el conocimiento que existe una alternativa energética que su funcionamiento está basado en capturar la energía mecánica del consumidor al moverse en un área, que el ser humano es capaz de satisfacer sus necesidades energéticas de una manera equilibrada con el planeta sin que sea necesario utilizar combustible fósil ni recursos no renovables sino un dispositivo que está diseñado para convertir la deformación provocada por los pasos en energía eléctrica.

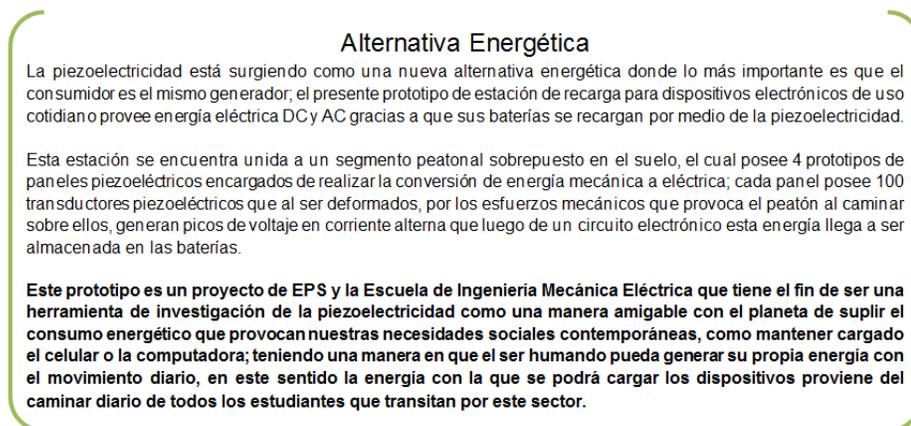
Se debe aprovechar el espacio vacío que quedo en la parte externa del cajón por lo que se colocarán textos dando explicaciones sobre el principio de la piezoelectricidad y de la manera en que está siendo utilizada como alternativa energética.

Figura 78. **Material didáctico orientado al principio de la piezoelectricidad**



Fuente: Laboratorio de electrónica, T1, Facultad de Ingeniería.

Figura 79. **Material didáctico de la piezoelectricidad aplicada como alternativa energética**



Fuente: elaboración propia.

Con el material didáctico se complementa la construcción de la estación de recarga, de manera que por fuera se podrá ver finalizada así:

Figura 80. Estación de recarga para dispositivos electrónicos de uso cotidiano



Fuente: Nivel 0, T3, Facultad de Ingeniería.

5. INSTALACIÓN DEL PROTOTIPO PARA EL SISTEMA DE SUMINISTRO DE ENERGÍA POR PANELES MAMS

La ubicación donde se instalarán los paneles piezoeléctricos será el pasillo del nivel 0 del T3, debido a que este tiene la característica de ser angosto y que al atravesarlo se llega rápidamente al edificio T1 lo que da un comportamiento predictivo de las personas que lo transitan, el recorrido no puede ser ambiguo, ya que no existe espacio para caminar hacia los lados sino solo atravesar el corredor.

El flujo peatonal que se tiene en esta ubicación es de 610 personas por hora y 7 300 personas por día, evidentemente estos números dan inspiración para crear una forma en que se pueda aprovechar la energía de las personas cuando transitan por un lugar.

Algo que fue evidente durante las pruebas preliminares es que si el peatón observa que hay manera de evitar los paneles lo hará, es decir si existe la posibilidad de caminar sobre el piso como normalmente se hace lo hará por lo que la solución es abarcar toda el área donde estarán ubicados los paneles para que los usuarios no puedan evitar caminar y transiten con normalidad.

5.1. Instalación de paneles MAMS

El corredor donde se instalarán los paneles tiene un ancho de 2 metros, cada panel MAMS está diseñado para ocupar 0,70 metros a lo ancho del pasillo, se colocaran 2 de estos a lo ancho del pasillo, por lo que quedará un

espacio sobrante de 0,6 metros que se debe ocupar para que el peatón no vea espacio de donde más dar el paso para evitar transitar por algo desconocido.

A lo largo los paneles ocupan 0,60 metros y se colocaran 2 al igual que a lo ancho, por lo que se caminará a lo largo de 1,20 metros de transductores. Se hará un marco que por dentro tenga un área de 1,68 metros cuadrados para colocar los 4 paneles MAMS.

El segmento peatonal sobrepuesto en el pasillo tendrá 2 m de ancho y 1,5 m de largo, 3 metros cuadrados, por lo que hay 1,32 metros cuadrados que se deben ocupar por medio del marco construido con contrachapado cubierto de las mismas capas que tienen los paneles; solamente que estas parte no tienen transductores.

Para compensar la altura que dan los transductores, los segmentos del marco se harán con contrachapado de 5 capas mientras que los paneles tienen contrachapado de 3 capas; estas dos capas extras dan una altura de 0,005 metros lo mismo que tiene de altura una cerámica con sus guías de deformación.

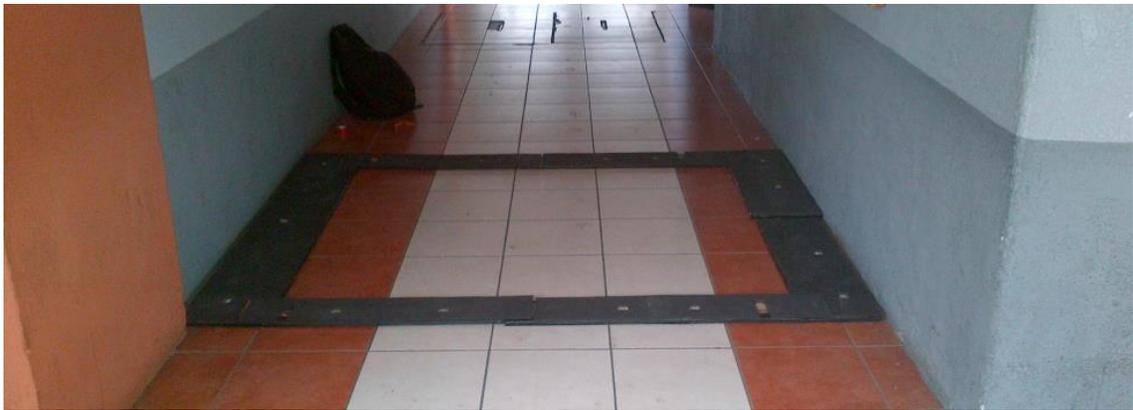
La base del marco será de caucho, seguido por el *plywood* de 5 capas con sus orillas cubiertas de plástico y sobre esto se coloca esponja americana de 1 centímetro de grosor; estos segmentos del marco tienen en sus extremos colas de milano para unirse entre sí.

Para adherir los segmentos del marco al piso cerámico se utilizó adhesivo de doble cara, un tipo de adhesivo que posee pegamento en ambas caras a diferencia del *masking tape* que posee pegamento en una sola. De manera

vertical basta con un cuadrado de 2 cm, por lado, para sostener un martillo de 2,5 lb.

El principal objetivo de utilizar este tipo de adhesivos, para hacer la instalación, es dejar fijo el marco en su ubicación sin dañar la estructura del edificio, ya que la versión presentada de los paneles piezoeléctricos en este informe es la primera, se seguirá mejorando el prototipo y haciendo pruebas en distintos lugares por lo que debe tener disponibilidad de reubicarse.

Figura 81. **Marco para la instalación de paneles MAMS**



Fuente: Nivel 0, T3, Facultad de Ingeniería.

Como se puede observar el marco deja el espacio necesario para que se puedan colocar dentro de los 4 paneles, uno de los segmentos es más corto que los demás, ya que es por el espacio que se debe dejar para instalar la canaleta en la que ira el cableado de los paneles. Una vez instalado el marco se proceden a colocar las rampas para que las personas que deben movilizarse en sillas de ruedas no tengan problemas al transitar por este sector.

Por norma las rampas que son utilizadas para movilizar personas deben tener como mínimo 6 veces la altura como longitud de largo, la altura total que tendrá la instalación de los paneles será de 0,03 m por lo que el largo de las rampas será de 0,18 m para cumplir con los criterios normados.

Para que las rampas queden a ras de suelo se gastó un extremo con cepillo y lima, se le trabajo a un ángulo de $9,5^\circ$ que es el resultado de que el largo sea 6 veces la altura. Además se colocaron refuerzos para que al momento de colocar la rampa como se debe esta quede con la inclinación adecuada pegada al suelo, de esta forma no se sentirá un pequeño escalón al subir la rampa.

Figura 82. **Trabajos realizados para provocar la inclinación en las rampas**



Fuente: Laboratorio de electronica, T1, Facultad de Ingeniería.

La parte superior de las rampas estarán cubiertas de material antideslizante para crear tracción con las llantas y con la suela de cualquier calzado. Este material tendrá un diseño distinto al antideslizante que cubrirá los paneles.

Figura 83. **Rampas unidas al marco para segmento peatonal sobrepuesto**



Fuente: Nivel 0, T3, Facultad de Ingeniería.

Una vez colocadas las rampas se procedió a colocar los 4 paneles piezoeléctricos MAMS dentro del marco, dado que estos van conectados en paralelo, una canaleta ira de por medio a estos con terminales para conectar los paneles entre sí.

Figura 84. **Terminales en la canaleta para conectar los paneles MAMS**



Fuente: Nivel 0, T3, Facultad de Ingeniería.

Con los paneles colocados dentro del marco se hicieron las conexiones prudentes en las terminales de la canaleta, estas tienen lugar para conectarles

2 positivos y una referencia a 0 voltios, aunque realmente pueden ser terminales dobles donde solamente se conecte el positivo y el negativo, ya que de igual forma todos los paneles tendrán unidos los positivos y los negativos pero se eligieron terminales triples para tener ubicación para cada positivo de los paneles.

Figura 85. **Vista interna del segmento peatonal sobre puesto en el pasillo**



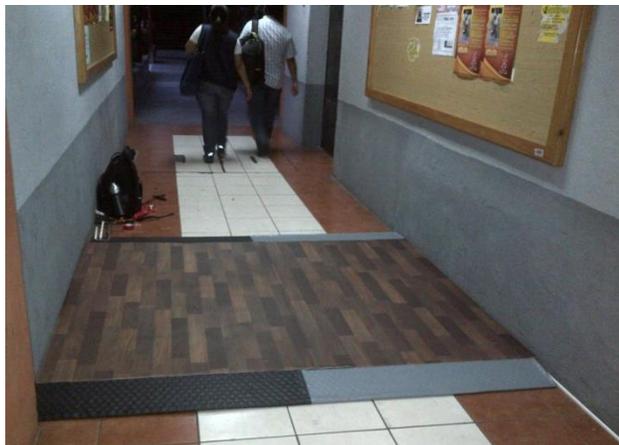
Fuente: Nivel 0, T3, Facultad de Ingeniería

Como se puede observar en la figura 85 en medio de las parejas de paneles se divisa una canaleta, la cual tiene las terminales de conexión, por medio de esta canaleta los 400 transductores están conectados para hacer un solo panel piezoeléctrico. Al lado se alcanza a ver otra canaleta encargada de dar salida a los cables que están conectados en paralelo a los paneles, esta continuará hasta llegar a la estación de recarga.

Hasta cierto punto el peatón puede caminar sobre los transductores directamente pero afectaría demasiado con la basura que se acumularía entre estos, y las conexiones terminarían por ensuciarse de tal manera que habría falsos contactos. Otro problema podría ser que los nodos entre las cerámicas empiecen a reventarse pero el mayor problemas es que al caminar sobre estos solamente se deformarían los transductores que se están pisando por lo que el proyecto perdería eficiencia.

Se colocó una superficie superior para que esta sea la que este en contacto directo con el calzado del peatón y que cumpla con la función de distribuir la fuerza del paso para que se deformen más transductores al mismo tiempo, con esto se puede tener un sistema más eficiente, ya que se cosechara energía eléctrica de transductores que se encuentran alrededor de donde fue dada la pisada.

Figura 86. **Segmento peatonal instalado**



Fuente: Nivel 0, T3, Facultad de Ingeniería

La parte superior del segmento peatonal se construyó a partir de contrachapado de 3 capas y material antideslizante con diseño de piso de

madera por estética, al igual que las rampas tienen los colores gris y negro, ya que son los colores que representan a la Facultad de Ingeniería dentro de la USAC.

Finalizada la primera parte de la instalación del prototipo se debe colocar la estación de recarga, de igual manera que para el marco se usará el adhesivo de doble cara, ya que tiene la capacidad de soportar el peso del cajón con las baterías en su interior.

Se colocó a una altura de 1.20 metros sobre el nivel del suelo y a 0,70 metros del principio de la pared

Figura 87. Estación de recarga instalada



Fuente: nivel 0, T3, Facultad de Ingeniería.

Para dar por finalizada la instalacion se deben conectar los paneles piezoelectricos a la estación de recarga y la fuente de voltaje del sistema de control debe ser alimentada con 110 voltios AC. De esta manera se utilizo canaleta para realizar ruta por donde puedan ir los conductores.

La canaleta es muy facil de instalar, solamente se deben tomar las medidas por donde se hará pasar el conductor, ya que será la ruta que se dará con la canaleta. Con una sierra se procede a hacer los cortes de las longitudes necesarias, uno de los lados cuenta con adhesivo cubierto con papel que con quitarlo se puede instalar la canaleta en una superficie lisa sin problema de que llegue a caerse.

Desde el segmento peatonal hasta la parte baja de la estacion de recarga se hace la instalacion de la canaleta para que se pueda llevar por dentro los conductores que estan conectados a los paneles piezoeléctricos, estos son calibre #24 AWG. El cable UTP esta entre los tipos de conductores mas comerciales para trabajar electrotecnia a nivel experimental por lo que fue el utilizado para conectar los transductores en los paneles y para llevar la energia eléctrica hasta la estación de recarga.

Un cálculo de caída de tensión demuestra que el calibre que se esta utilizando no provocará caída de tensión, que es de mucha importancia para evitar que se pierda energía por la resistencia del conductor:

$$\text{Área del conductor} = \frac{2 \cdot l \cdot I_n}{K_e} \text{ (mm}^2\text{)} \quad (23)$$

$$\text{Área del conductor} = \frac{2 \cdot 5,8\text{m} \cdot 400\text{mA}}{75 \cdot 10} = 0,0062 \text{ mm}^2 \quad (\text{ec. } 23)$$

El trayecto desde el lado opuesto a la estación de recarga en el segmento peatonal hasta la parte baja de la estación son aproximadamente 5,8 metros, la corriente máxima propuesta para el calculo son 0,4 amperios, ya que esta entre los valores mas altos alcanzados con los 4 paneles piezoeléctricos ya instalados. Los conductores son de cobre por eso el valor que tiene la variable K, la cual es una característica conductora del material, el voltaje maximo que se puede alcanzar por medio de los transductores son 10 VDC.

El área en milímetros cuadrados que debería tener el conductor para no tener pérdidas por caída de voltaje es de 0,0062 mm², el calibre #24 AWG tiene un área de 0,205 mm² mas que suficiente para evitar perdida por caida de voltaje. Con los conductores dentro de la estación de recarga se procede a conectarlos en las terminales indicadas para los paneles piezoeléctricos.

La otra ruta para la instalación de la canaleta es desde la parte superior de la estación hasta una caja cuadrada de registro de la instalación eléctrica del edificio. Por esta irán los conductores que alimentaran a la fuente de voltaje para el sistema de control, son de calibre #12 AWG uno de los más comerciales para instalaciones eléctricas domésticas.

La fuente de voltaje indica que de entrada consume 3 amperios, el calibre con el que se está realizando la instalación soporta 20 amperios según la tabla para seleccionar conductores en base al calibre AWG. Con una corriente de 3A el calibre del conductor según el cálculo por corriente nominal seria el siguiente:

$$I = \frac{I_n}{F_{CTA}F_{CSC}F_{CMT}F_{CNC}} \quad (24)$$

$$I = \frac{3A}{0,91*0,8*0,8*0,5} = 10,30 A \quad (\text{ec. 24})$$

Existen factores que se ven involucrados en el rendimiento del conductor, estos dividen a la corriente nominal para incrementarla y así elegir un conductor adecuado para las condiciones que estarán presentes. Cuando estos factores deben indicar que las situaciones no son aptas se les da un valor de 0.8 según la bibliografía del curso de instalaciones eléctricas.

Los factores abarcan condiciones como temperatura ambiente, a que temperatura deberán estar expuestos los conductores, en este caso la temperatura serán 35 °C, ya que puede existir la posibilidad que en verano la temperatura ambiente sea ese valor por lo que el factor será 0.91. Si los conductores estarán en servicio continuo, en este caso los conductores deben trabajar las 24 horas por lo que si se considera que el factor de servicio continuo debe ser 0,8.

El material de la canaleta también afecta debido a que si es metálico, el calor podrá ser disipar de mejor manera el calor, en el caso de la canaleta que se está utilizando es de polímero no de metal por lo que el factor es 0,8. La cantidad de conductores que van en un solo conducto influye, ya que es necesario espacio entre los cables para ventilar el aire caliente por las pérdidas de calor, el factor que se utilizará será 0,5, ya que los cables tendrán que estar totalmente juntos dentro de la canaleta.

La corriente con la que se debe elegir el conductor es de 10,34 A, el calibre #12 AWG soporta 20 A por lo que su capacidad es para casi el doble de corriente que se propone debe ser por las condiciones que deberán soportar los conductores, por lo que la elección del calibre más comercial para instalaciones eléctricas domesticas no fue errónea. Para unir estos conductores con el circuito del edificio, dentro de la caja de registro cuadrada, se utilizó el empalme en T.

Figura 88. **Instalación del prototipo finalizada**



Fuente: nivel 0, T3, Facultad de Ingeniería.

La instalación completa del prototipo del sistema de suministro de energía por paneles piezoeléctricos MAMS duro alrededor de 4 horas, desde la instalación del marco en el piso cerámico hasta conectar la fuente de voltaje para el sistema de control al circuito del edificio.

Finalizando la instalación se puso en operación la estación de recarga, se dió paso a la corriente del circuito del edificio hacia la fuente de voltaje con el interruptor que está dentro de la estación, luego se dió paso a los 12 VDC de la fuente hacia el regulador LM7805 para encender el sistema de control.

Figura 89. **Interruptores para poner en operación el proyecto**



Fuente: nivel 0, T3, Facultad de Ingeniería.

El sistema de suministro de energía por medio de paneles piezoeléctricos fue diseñado, construido y puesto en operación.

6. ANÁLISIS DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DE ENERGÍA POR PANELES PIEZOELÉCTRICOS

Una vez el prototipo fue terminado e instalado se pueden iniciar las pruebas finales para corroborar que tanto el sistema de control como los paneles piezoeléctricos funcionan, las pruebas que se realizaron constan de tomar los niveles de voltaje en las baterías y tomar nota de los indicadores del estado en que se encuentran las baterías.

La toma de datos se realizó durante las primeras horas del día, aproximadamente a las 7:45 A.M., con esto se busca obtener resultados del día anterior, ya que al momento en que se obtuvieron los datos aún no había transitado ni el 10 % de la cantidad de personas que transita por este pasillo diariamente y de igual manera el lapso cubre un tiempo de 24 horas por lo que la toma de datos fue diaria.

Los indicadores de estado de las baterías se encuentran debajo de los interruptores para poner en marcha el prototipo; estos son 2 parejas de leds, una de color amarillo y la otra de color verde. El color amarillo representa a los indicadores QB1 y QB2 quienes indican que la batería debe salir de uso y entrar a recarga, mientras que el color verde representa a los indicadores R1 y R3 que indican si la batería está fuera de uso. QB1 está relacionado con R1 y QB2 está relacionado con R3, entre estos indicadores tienen su interpretación que es necesario comprender para el análisis del sistema de suministro de energía:

Tabla XLII. Interpretación de indicadores

Interpretación del estado	QB1	R1
Batería en uso	0	0
X	0	1
Batería en uso y con necesidad de entrar a recarga	1	0
Batería fuera de uso	1	1

Fuente: elaboración propia.

Para cada batería existe su pareja de indicadores por eso solo se utilizará un par para explicar que significan los estados, si QBn y Rn están en 0 lógico quiere decir que la batería aún no ha llegado a los 5.7 voltios para cambiar el estado de QBn por lo mismo no se encuentra fuera de uso, ya que Rn está en el mismo estado.

En el 2do estado la interpretación es nula, ya que no puede llegar a suceder por un lapso de tiempo prolongado, la batería está en recarga pero a la vez no la necesita. Realmente este estado llegará a suceder siempre que se complete la recarga y pueda entrar en uso, por un instante la diferencia de potencial en las terminales de la batería será de 6,00 voltios aún estando en recarga, QBn indicará que la batería ya no necesita recarga, pero el circuito combinacional de Rn no ha ejecutado el cambio de estado para que pueda salir de recarga y entrar a abastecer de piezoeléctricidad almacenada a la estación. Este estado se hará presente muchas veces pero por un instante de tiempo mucho menor a 1 segundo por lo que el análisis no se ve afectado si se toma en cuenta o no.

Si QBn se encuentra en estado 1 lógico es porque su voltaje ya es menor a 5,70 voltios por lo que necesita entrar a recarga. Existen ciertas condiciones

como cuando B1 y B2 están conectadas en serie, para entregar 110 VAC por medio del inversor, donde B1 esperara hasta que B2 este descargada para entrar a la recarga, esta situación hace valido el estado porque la batería B1 esperara a B2 para salir de uso.

Con ambos indicadores en estado 1 lógico la batería queda fuera de uso, en el caso de B1 entra en recarga mientras B2 sigue entregando energía. Al momento en que ambas baterías se encuentran descargadas B1 será la prioridad de recarga y B2 quedará en cola, para mientras el sistema de respaldo estará activo.

6.1. Análisis del desempeño del sistema de suministro de energía

La instalación del prototipo se llevó a cabo el día sábado 24 de octubre, una semana antes de finalizar el semestre. La cantidad de estudiantes que asisten a la universidad varía dependiendo las actividades que estén programadas en el cronograma del semestre, luego de varios años dentro de la FIUSAC se observó que existe un ligero incremento de la cantidad de estudiantes que asisten en la temporada de exámenes parciales, cercano a finalizar el semestre la cantidad de personas que asisten a clases es menor a la que comenzó debido a diferentes razones por las que los estudiantes deciden no terminar el contenido de los cursos.

Comparado con la cantidad promedio de estudiantes que transitan en las primeras horas de la mañana a principio de semestre, el número de las personas que se presentan durante la última semana es menor en aproximadamente 23 %, el número de personas que transitaron por el pasillo fueron en promedio 7,8 por minuto.

Durante las 2 semanas siguientes a finalizar el semestre se realizan los exámenes finales, el lapso de tiempo en que estos se realizan coincide con la duración de un periodo de clases por lo que la hora de inicio y finalización también coinciden con el horario de clases, esto da como resultado que el comportamiento de la carga sea similar al que se tiene durante el desarrollo del semestre pero con un decremento en la cantidad de estudiantes de aproximadamente el 40 %, ya que se contabilizaron entre 6,3 personas por minuto en el corredor.

Para evaluar los resultados de la recarga de baterías se debe tomar en cuenta este decremento en la cantidad de personas que transitan por el pasillo, el aspecto negativo de esto es que llegar a plena carga tomará más tiempo por lo que el sistema de respaldo se activará el tiempo necesario para que se recarguen las baterías.

Al comienzo de la puesta en operación de la estación de recarga la diferencia de potencial en las baterías B1 y B2 fue 6,04 voltios, para que B1 llegará a ese nivel de voltaje se realizó una recarga con un cargador simple de corriente directa luego de finalizar con las pruebas preliminares, la batería B2 no fue utilizada antes de la puesta en operación por lo que la recarga de B1 se realizó con el objetivo de que ambas baterías recargables comenzarán con la misma diferencia de potencial.

6.1.1. Historial de monitoreo

Las medidas de diferencia de potencial en las baterías y la interpretación de los indicadores de estado de estas se realizaron durante las primeras horas del día, por lo que a continuación se describen los resultados obtenidos y acciones realizadas entre el 26 de octubre y el 14 de noviembre del 2015

El martes 27 fue el primer día en que se monitoreo la estación de recarga, se omitió el lunes 26 por el cierre de la universidad a causa de la suspensión de actividades por la segunda vuelta de las elecciones del 2015.

Tabla XLIII. **Resultados obtenidos el 27 de octubre de 2015**

Voltaje B1	6,01 V
Voltaje B2	6,00 V
Interpretación del estado	QB1=QB2=R1=R3=0. Los 4 indicadores presentaron estado lógico 0, por lo que ninguna batería esta fuera de uso ni necesita recarga.

Fuente: elaboración propia.

Ya que la toma de datos fue durante el inicio del día se esperaban estos resultados, ya que la estación de recarga no había sido utilizada, sin embargo es comprensible ese decremento en el voltaje de las baterías tanto por su descarga natural, como por el constante muestreo que piden los medidores de voltaje.

Tabla XLIV. **Resultados obtenidos el 28 de octubre de 2015**

Voltaje B1	6,00 V
Voltaje B2	6,00 V
Interpretación del estado	QB1=QB2=R1=R3=0. Los 4 indicadores presentaron estado lógico 0, por lo que ninguna batería esta fuera de uso ni necesita recarga.

Fuente: elaboración propia.

En el segundo día los resultados que muestra la estación son los mismos que se obtuvieron en el primer día, por lo que se deduce que la estación de

recarga no está siendo utilizada por lo que no se está poniendo a prueba el rendimiento del proyecto. Dado el caso se decidió cargar dos teléfonos móviles al mismo tiempo, el primero un Samsung Core II con un consumo de 0,35 A y el segundo un Blackberry Curve 9 360 con un consumo de 0,25 A, durante 60 minutos equivalente a 2 160 Coulomb al igual que en la prueba preliminar, a consecuencia de esto el voltaje en B1 cambio a 5,84 V, aun con este valor los indicadores continúan con un estado lógico 0.

Tabla XLV. **Resultados obtenidos el 29 de octubre de 2015**

Voltaje B1	5,83 V
Voltaje B2	5,99 V
Interpretación del estado	QB1=QB2=R1=R3=0. Los 4 indicadores presentaron estado lógico 0, por lo que ninguna batería esta fuera de uso ni necesita recarga.

Fuente: elaboración propia.

El voltaje en B1 indica que la estación aún no está siendo utilizada por los estudiantes, debido a que el voltaje en B1 es prácticamente el mismo, por lo que se volvieron a recargar los mismos teléfonos móviles durante alrededor de 50 minutos hasta que QB1 y R1 cambiaron de estado sacando de uso a B1, es decir la diferencia de potencial llego a 5,70 voltios por lo que la batería entro a recarga por medio de piezoelectricidad regulada.

En teoría la carga a recuperar son 3 960 Coulomb, aproximadamente en 30 horas tomando en cuenta el 23 % de ausencia entre los estudiantes.

Tabla XLVI. **Resultados obtenidos el 30 de octubre de 2015**

Voltaje B1	5,78 V
Voltaje B2	5,94 V
Interpretación del estado	QB1=1 R1=1; QB2=0 R3=0. La batería B1 se encuentra fuera de uso y en recarga, B2 está en uso en la estación de recarga.

Fuente: elaboración propia.

Los datos resultantes del viernes 30 de octubre por la mañana indican que B1 en efecto está en recarga y ya luego del día jueves ha recuperado 0,08 voltios, esto quiere decir que la estación está funcionando de acuerdo como debe ser, ya que saco de uso a B1 y la tiene recargándose con piezoelectricidad regulada.

Por el otro lado luego de casi una semana de su instalación el estudiantado comienza a utilizar la estación de recarga, a eso se debe que B2 tiene una diferencia de potencial de 5,94 voltios por lo que la estación de recarga no activa el sistema de respaldo.

Tabla XLVII. **Resultados obtenidos el 31 de octubre de 2015**

Voltaje B1	5,89 V
Voltaje B2	5,94 V
Interpretación del estado	QB1=1 R1=1; QB2=0 R3=0. La batería B1 se encuentra fuera de uso y en recarga, B2 está en uso en la estación de recarga.

Fuente: elaboración propia.

El viernes 30 de octubre se llevó a cabo El Piletazo, tradición de los estudiantes de último semestre para celebrar su cierre de pensum, durante esta fiesta se tiene un incremento de personas durante horas de la tarde debido a que FIUSAC se convierte en un punto de reunión. Esto es la razón por la que B1 recupero 0,19 voltios desde su descarga, mientras que B2 demuestra que la estación no fue utilizada ese día, ya que se mantuvo con la misma diferencia de potencial.

Tabla XLVIII. **Resultados obtenidos el 3 de noviembre de 2015**

Voltaje B1	5,92 V
Voltaje B2	5,90 V
Interpretación del estado	QB1=1 R1=1; QB2=0 R3=0. La batería B1 se encuentra fuera de uso y en recarga, B2 está en uso en la estación de recarga.

Fuente: elaboración propia.

El lunes 2 de noviembre hubo suspensión de actividades por la costumbre de celebrar el día de los muertos, se reanudo el monitoreo de la estación de recarga el día martes 3 de noviembre.

B1 siguió recuperando carga durante el fin de semana, el flujo peatonal durante el sábado y el domingo es muy escaso, hasta llegar a 5,92 voltios. B2 demuestra que se volvió a utilizar la estación de recarga durante el fin de semana, analizando la situación es mucho más comprensible, ya que estos días son más tranquilos y se puede acceder a la estación de recarga con paciencia y espacio.

Tabla XLIX. **Resultados obtenidos el 4 de noviembre de 2015**

Voltaje B1	5,97 V
Voltaje B2	5,86 V
Interpretación del estado	QB1=1 R1=1; QB2=0 R3=0. La batería B1 se encuentra fuera de uso y en recarga, B2 está en uso en la estación de recarga.

Fuente: elaboración propia.

Durante esta semana se realizaron exámenes finales lo que trae un aumento del 40 % en la ausencia del estudiantado. Se puede notar la diferencia en la cantidad de personas que transitan, B1 solamente recupero 0,05 voltios y continua en recarga. B2 demuestra que la estación nuevamente fue utilizada por un momento con 5 VDC.

Tabla L. **Resultados obtenidos el 5 de noviembre de 2015**

Voltaje B1	5,95 V
Voltaje B2	5,80 V
Interpretación del estado	QB1=0 R1=0; QB2=0 R3=0. La batería B1 se encuentra en uso, B2 vuelve a ser la batería de respaldo.

Fuente: elaboración propia.

A pesar de que el voltaje en B1 indica ser menor que el que se midió el día anterior todos los indicadores se encuentran en estado lógico 0, por lo que se interpreta que B1 llego a su plena carga y entro en uso. El consumo energético es notable en las 2 baterías lo que podría indicar que la estación fue utilizada en 5VDC mientras se cargaba B1 y luego de esta entrar en uso. La otra opción es que luego de que B1 se logró cargar se utilizó 110 VAC por lo que ambas

baterías entregaron energía, esto tiene mucho más sentido al indicar que cuando se realizó el monitoreo matutino la estación estaba en modo de corriente alterna.

Tabla LI. **Resultados obtenidos el 6 de noviembre de 2015**

Voltaje B1	5,93 V
Voltaje B2	5,79 V
Interpretación del estado	QB1=0 R1=0; QB2=0 R3=0. La batería B1 se encuentra en uso mientras que B2 vuelve a ser la batería de respaldo.

Fuente: elaboración propia.

La estación de recarga se mantiene entregando piezoelectricidad acumulada en B1, la batería B2 se mantiene como respaldo o a la espera de una conexión en serie para entrar en uso hasta descargarse y entrar a recarga.

Tabla LII. **Resultados obtenidos el 7 de noviembre de 2015**

Voltaje B1	5,86 V
Voltaje B2	5,73 V
Interpretación del estado	QB1=0 R1=0; QB2=0 R3=0. La batería B1 se encuentra en uso mientras que B2 vuelve a ser la batería de respaldo.

Fuente: elaboración propia.

La estación fue utilizada, por la dualidad de consumo que presentan ambas baterías quiere decir que se utilizó 110 VAC y de igual manera el interruptor se encuentra en esa modalidad, B2 está cumpliendo con su función

de ser la batería de respaldo, ya que al entrar en uso B1 esta solamente ha sido utilizada al conectarse en serie.

Tabla LIII. **Resultados obtenidos el 9 de noviembre de 2015**

Voltaje B1	5,71 V
Voltaje B2	5,69 V
Interpretación del estado	QB1=1 R1=1; QB2=1 R3=1. La batería B1 se encuentra fuera de uso y en recarga mientras B2 espera en cola para la recarga.

Fuente: elaboración propia.

Figura 90. **Monitoreo de indicadores 9/11/2015**



Fuente: nivel 0, T3, Facultad de Ingeniería.

El lunes 9 de noviembre durante el monitoreo diario se obtuvieron los resultados donde los 4 indicadores están en estado alto por lo que B1 se encuentra en recarga y B2 en espera, ambas fuera de uso, la estación de recarga activo el sistema de respaldo.

El prototipo ha quedado sin piezoelectricidad almacenada por lo que activo el sistema de respaldo para seguir dando el servicio. Con la ausencia de estudiantes durante la semana de exámenes finales la recarga llevara más tiempo, el sistema de suministro de energía se encuentra funcionando al ritmo que la cantidad de personas que transitan le permite tener.

Tabla LIV. **Resultados obtenidos el 10 de noviembre de 2015**

Voltaje B1	5,77 V
Voltaje B2	5,68 V
Interpretación del estado	QB1=1 R1=1; QB2=1 R3=1. La batería B1 se encuentra fuera de uso y en recarga mientras B2 espera en cola para la recarga.

Fuente: elaboración propia.

La estación de recarga mantiene como prioridad llevar a plena carga B1 luego de eso B2 ingresara para almacenar piezoelectricidad regulada. B1 presenta un incremento en su carga de 0,06 voltios bajo para lo demostrado durante la primera semana de prueba pero comprensible por el flujo peatonal que se tiene durante exámenes finales.

Tabla LV. **Resultados obtenidos el 11 de noviembre de 2015**

Voltaje B1	5,82 V
Voltaje B2	5,68 V
Interpretación del estado	QB1=1 R1=1; QB2=1 R3=1. La batería B1 se encuentra fuera de uso y en recarga mientras B2 espera en cola para la recarga.

Fuente: elaboración propia.

El incremento de la carga en B1 es lento pero constante, el prototipo sigue entregando la piezoelectricidad regulada a la batería como está diseñado si bien la recarga está siendo lenta esto se debe a la cantidad de personas que transitan, es algo de esperar de esta alternativa energética.

Tabla LVI. Resultados obtenidos el 12 de noviembre de 2015

Voltaje B1	5,89 V
Voltaje B2	5,68 V
Interpretación del estado	QB1=1 R1=1; QB2=1 R3=1. La batería B1 se encuentra fuera de uso y en recarga mientras B2 espera en cola para la recarga.

Fuente: elaboración propia.

Algo a resaltar de la semana de exámenes finales es que estos se realizan en un día, por lo que las personas que asisten un día a la universidad al próximo pueden no llegar a esto se debe esa gran cantidad de ausencia de estudiantes durante estas 2 semanas. Pero por esto mismo existen días donde se realizaran exámenes de cursos que tienen una cantidad apreciable para tomar en cuenta, esta situación es la explicación del incremento de 0,07 voltios algo mayor a lo esperado en esta semana y de mucho beneficio para el prototipo.

Tabla LVII. Resultados obtenidos el 13 de noviembre de 2015

Voltaje B1	5,95 V
Voltaje B2	5,67 V
Interpretación del estado	QB1=1 R1=1; QB2=1 R3=1. La batería B1 se encuentra fuera de uso y en recarga mientras B2 espera en cola para la recarga.

Fuente: elaboración propia.

En la mañana del último día para realizar exámenes finales B1 se encuentra a 0,05 voltios de llegar a plena carga, mientras B2 continúa en espera tal y como está diseñado. El sistema de suministro de energía está trabajando a un 60 % de lo que puede entregar con el flujo peatonal para el que fue diseñado aun así demuestra que cumple con las tarea para lo cual se diseñó con un ritmo más lento del esperado.

Tabla LVIII. **Resultados obtenidos el 14 de noviembre de 2015**

Voltaje B1	5,99 V
Voltaje B2	5,68 V
Interpretación del estado	QB1=0 R1=0; QB2=1 R3=1. La batería B1 se encuentra en uso y B2 entra en recarga.

Fuente: elaboración propia.

El sábado 14 de noviembre el monitoreo diario entregó resultados satisfactorios donde se demuestra que B1 se recargo, y está nuevamente entregando piezoelectricidad almacenada por medio de la estación de recarga. Bajo estas condiciones B2 se encuentra en recarga por lo que al momento de utilizar 110 VAC el sistema de respaldo será el que entregue la energía pues B2, quien es la que condiciona el uso de baterías para esta modalidad, no está sobre los 5,70 voltios luego de haber llegado a plena carga. B2 logro un incremento de 0,01 voltio luego de que B1 lograra entrar en uso.

6.2. Impacto social

Uno de los propósitos primordiales del proyecto es enviar un mensaje sobre conciencia ambiental hacia la población en general, la sociedad actual se

ha sumergido en las comodidades que la tecnología contemporánea ofrece sin importar cuales sean los costos de disfrutar de esto.

En la actualidad iluminar una habitación se puede hacer de una manera muy eficiente con luminarias led, la equivalencia de 40 W fluorescente el led la presenta con un consumo de 6W, es decir 0,05 A; mientras que recargar un teléfono móvil inteligente consume en promedio 25 W.

En base al espacio que ocupa la construcción de un hogar se deciden cuantas luminarias son necesarias para iluminar de manera adecuada. Con 5 luminarias led de 6 W distribuidas de manera adecuada basta para iluminar parte de un hogar si no es el caso de que se pueda iluminar todo el hogar. Es decir que con el consumo energético necesario para iluminar un hogar solamente se recarga un teléfono inteligente, el cual se descarga y se debe recargar diariamente.

Si bien la iluminación de un hogar es necesaria por más de 3 horas, el tiempo de recarga de un teléfono móvil, en Guatemala se da la particularidad de que existen más celulares que personas, es típico ver que una sola persona tiene más de un celular que deben ser recargados a su debido tiempo, sin embargo no siempre se mantienen encendidas todas las luminarias en un hogar, por lo que el consumo energético para tenerlos a plena carga se hace similar al destinado para iluminar.

Como estudiante de la FIUSAC y usuario de un teléfono inteligente como una herramienta de trabajo conozco la necesidad de cuidar que el celular no llegue a niveles bajos de carga y de suceder esta situación habrá que buscar un tomacorriente en buen estado dentro de las instalaciones de la facultad para recargar aunque sea por un momento el celular y que no termine por apagarse.

En el momento solamente se quiere tener activo el dispositivo sin tomar en cuenta el alto consumo energético que esto representa.

Al tener la estación de recarga disponible para cualquier usuario se pretende, con el tiempo, lograr centralizar el punto donde los estudiantes recarguen sus celulares de una manera equilibrada con el planeta, ya que la energía eléctrica consumida será recuperada por el caminar de los mismos usuarios.

Los textos que tiene la estación de recarga dan una pequeña explicación del cómo funciona y del porque se creó el prototipo, al momento de estar haciendo uso se tendrá tiempo suficiente para leerlos para que el estudiante tenga conocimiento sobre esta alternativa energética que está surgiendo y que no solo se puede aplicar a recargar celulares sino bien puede ser aplicada en senderos peatonales para luego con la energía acumulada entregar alumbrado público o como puede ser el caso de las estaciones del transmetro donde al poner esta alternativa energética se podría llegar a abastecer de energía a toda la estación.

Se debe comprender que nuestras comodidades contemporáneas no deben ser motivo para dañar el medio ambiente con generación eléctrica por medio de combustibles fósiles sino que con una alternativa energética basada en el principio que el consumidor es el generador, se puede lidiar con el consumo energético que exige mantener nuestras comodidades.

No se trata de evitar el desarrollo de tecnología, ya que no sucederá, sino de encontrar maneras de que este avance pueda ir de la mano con una mejora notable en el medio ambiente, donde el ser humano pueda generar la energía eléctrica que consumirá sin necesidad de ingresar más carga al sistema de

potencia y llevarlo al punto donde la generación de energía provoque una inevitable contaminación del planeta como es nuestra actualidad.

Figura 91. **Estudiante haciendo uso de la estación de recarga**



Fuente: nivel 0, T3, Facultad de Ingeniería.

Durante la toma de datos se tuvo el gusto de entablar conversaciones con diferentes estudiantes, quienes exponían diversidad de preguntas sobre el proyecto, al momento de resolver las dudas se tenían comentarios positivos hacia el prototipo como alternativa energética.

Muchas de estas personas desconocían esta alternativa energética por lo cual es grato presentar el prototipo ante un grupo de personas que no conocen

esta forma de ser amigable con la naturaleza, mientras seguimos utilizando la tecnología al alcance de nuestras manos.

Como se pudo observar en los resultados obtenidos del rendimiento de la estación, mientras los días transcurrieron la estación de recarga fue utilizada con más frecuencia, tal y como se espera que con el tiempo las personas acepten y utilicen esta alternativa energética.

6.3. Rentabilidad de la piezoelectricidad como alternativa energética

En la actualidad el campo de energías renovables está siendo enfocado en aprovechar grandes fuentes de energía natural que existen en el planeta, como es el caso de las hidroeléctricas, geotérmicas, plantas de energía solar y los campos de energía eólica. En la segunda generación de alternativas energéticas se encuentra la piezoelectricidad, como una tecnología en evolución en base al desarrollo de los prototipos que se realicen alrededor del mundo.

Una cualidad que poseen las alternativas energéticas es que no todas pueden ser aplicadas en cualquier lugar, cada una tiene un punto fuerte que aprovechar en el campo. En un territorio árido tendrá muchas más eficiencia utilizar paneles solares, en lugares de muchos vientos generadores eólicos, en un territorio con ríos hidroeléctricas, etc. Para cada lugar se debe hacer un análisis previo para indicar cuál es la mejor opción a utilizar.

Si se desea generar mucha energía a través de estas tecnologías se deben utilizar muchos dispositivos propios de cada alternativa, al igual que en la generación con combustibles fósiles, aun así la mayoría de estas instalaciones se realizan en territorio rural debido al espacio necesario.

Las capitales de las naciones son ubicadas en diversos territorios, pero cuentan con una misma característica que es una sobrepoblación de ciudadanos. Las áreas urbanas cuentan con una mayor densidad poblacional que las áreas rurales, por lo que el consumo energético en estos sectores es mayor.

Una alternativa energética basada en el principio que el consumidor final es el mismo generador es aplicable en un territorio donde existe la mayor cantidad de consumidores. En las capitales existen grandes acumulaciones de personas en movimiento a diferentes horas del día por lo que una iniciativa de instalar paneles piezoeléctricos en sectores de afluencia peatonal es necesaria para que las ciudades puedan ser amigables con el medio ambiente.

Certificaciones como la Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental (LEED) están siendo promovidas para que los edificios sean construidos bajo criterios de eficiencia energética, la sociedad humana en general se está dando cuenta de esta necesidad de tener un equilibrio con el medio ambiente.

Un prototipo de paneles piezoeléctricos MAMS tiene un costo de Q 852,27, en promedio puede generar 226,16 mW por paso. Con un apoyo para continuar esta investigación se puede llegar a desarrollar tecnología guatemalteca de alta eficiencia para aprovechar el movimiento de las personas dentro de la ciudad, promoviendo la idea para ser instalada en estaciones de transmetro, el paseo de la sexta avenida zona 1, centros comerciales, senderos peatonales, entre otros, hasta aprovechar el pasar de los automóviles en las carreteras como el caso de Israel que tomaron el principio de esta idea y le dieron una evolución a nivel industrial donde puede soportar que transite transporte pesado, Guatemala no se debe quedar atrás.

CONCLUSIONES

1. Cada prototipo de panel piezoeléctrico MAMS contiene 100 transductores, cerámicas PZT provenientes de parlantes de alta frecuencia. La inversión neta necesaria para construir uno es de Q 852,27, al construirlo y caminar sobre este se logra generar 023 W por paso. Al momento de utilizar los paneles con el propósito de recargar baterías para la estación se hizo notar que a un ritmo de 0,14 Coulomb por paso la recarga de una batería, que suple de energía a la estación, llevaría días hasta volver a tener plena carga. Uno de los aspectos que afecta la rentabilidad del prototipo en las instalaciones de la facultad es el área que abarca es pequeña por lo que es necesario ocupar mucho más espacio y ubicarlo en corredores con mucho mas flujo peatonal para estar más cerca del equilibrio entre consumo y generación de energía eléctrica de forma ecológica.

Una característica favorable para el análisis de rentabilidad de los paneles como alternativa energética es su bajo costo de fabricación, tomando en cuenta que es una tecnología en desarrollo dentro del país aún no se cuentan con los dispositivos adecuados para desarrollar prototipos de paneles que generen altos niveles de potencia, si bien involucrar dispositivos específicos para la generación de piezoelectricidad puede elevar el costo de fabricación es necesario para llevar el prototipo a otro nivel e ir logrando la creación de dispositivos más eficientes y de mayor rentabilidad para la generación de energía eléctrica.

2. Una cerámica piezoeléctrica es un dispositivo con 2 tipos de comportamientos: el directo y el inverso, el proyecto se basa en el comportamiento directo el cual se presenta cuando este tipo de transductor es sometido a esfuerzos mecánicos, tales como compresión y tensión, provocando una dislocadura en su estructura cristalina haciendo que las cargas internas, por medio de variaciones del dipolo eléctrico, generen una diferencia de potenciales entre los electrodos dando como resultado generación de piezoelectricidad con potencial de ser rectificada y utilizada. La energía generada es proporcional a la deformación en la cerámica por lo que el diseño de los paneles toma en cuenta guías de deformación que durante las pruebas demostraron ser un factor importante en la potencia generada.
3. Con base en diferentes pruebas realizadas con los transductores piezoeléctricos se pudo ir concretando un diseño de panel, donde los resultados demostraron que utilizar guías para deformar las cerámicas generaba mayores picos de voltaje, los cuales al unirse de manera paralela, suman sus corrientes antes de pasar por un rectificador de corriente alterna para tener piezoelectricidad DC. Cada panel cuenta con 100 transductores conectados en paralelo en grupos de 5 cerámicas que a su vez luego de ser rectificada la señal se conectan en serie, los 20 grupos. Esta señal rectificada proveniente de los 4 paneles ingresa a un capacitor que mantiene el pico de voltaje por más tiempo permitiendo que esta señal sea regulada antes de ser almacenada en baterías recargables. Todo lo anterior administrado por un sistema de control de lazo cerrado dentro de la estación de recarga.
4. La estación de recarga cuenta con la disponibilidad de prestar recarga en 110 VAC y 5 VDC, para que el usuario elija a su preferencia como

recargar su dispositivo. El acceso a la corriente alterna es por medio de un tomacorriente y a la corriente directa por medio de puertos USB. La fuente de energía de la estación es un par de baterías recargables alimentadas con piezoelectricidad regulada, generada en los paneles MAMS. Para administrar las tareas automatizadas de la estación se diseñó un sistema de control con base en funciones booleanas implementadas en circuitos combinacionales, con el objetivo de que en base a los niveles de voltaje de las baterías pueda coordinarse la salida y puesta en recarga de alguna de ellas o el regreso a ser fuente de energía.

5. Al realizar este proyecto y recibir la ayuda de una fundación se reconoce que en Guatemala existen oportunidades para los emprendedores, para las personas que tienen ideas innovadoras sobre cómo cambiar la situación actual de las problemáticas. Muchos problemas se solucionan por medio de la tecnología y otros países aplican este criterio creando soluciones, en este caso ya no es momento de seguir esperando respuestas de otros países cuando se tiene el potencial para generar y dar vida a nuestras ideas como guatemaltecos. El problema del medio ambiente y sobre consumo energético es mundial por lo que es responsabilidad de todo ser humano ayudar de la mejor manera que pueda.
6. El usuario al tener interacción con la estación de recarga se le presenta información resumida sobre el principio de la piezoelectricidad y una explicación de la construcción y aspectos del prototipo de la estación de recarga. Durante los periodos de toma de datos se notó que los usuarios al leer el contenido comprendían cual era el principio y fin del proyecto llevándolos a razonar sobre el hecho de que el ser humano puede

- satisfacer sus necesidades de energía eléctrica aprovechando la energía de sus propios movimientos cotidianos.
7. La alternativa de la piezoelectricidad debe ser utilizada en lugares con mucha población, ya que su fuente de energía son las personas en movimiento. A diferencia de otras alternativas energéticas esta no es afectada por condiciones climáticas.
 8. Basado en la capacidad de entregar energía eléctrica de cada transductor piezoelectrico se obtendrán criterios como la eficiencia que tendrá el sistema y rentabilidad económica que tendrá la construcción de cada panel, ya que se podrá calcular el número de transductor a utilizar para acumular cierta cantidad de energía.
 9. Antes de diseñar un sistema de suministro de energía por medio de piezoelectricidad se deben realizar análisis de flujo poblacional en distintos lugares hasta encontrar el ideal, una vez se tiene una cantidad promedio de personas transitando por el lugar se debe calcular cuanta energía entrega cada prototipo de panel para estimar el área a abarcar con estos y establecer cómo será el tiempo de carga de las baterías.
 10. Existe diferencia entre cuando transita una sola persona a un grupo, el individuo genera dos picos de voltaje positivos por paso creando un pulso de corriente directa, mientras que cuando transita el grupo se convierte en una señal constante de corriente directa con diferencia de potencial similar al del individuo pero con disposición de compensación de carga por la corriente generada al presionar muchos transductores a la vez.

11. En la actualidad existe la costumbre de consumir 27 W de energía eléctrica para recargar los teléfonos inteligentes sin tener una conciencia ambiental de comprender que al hacer esto se está consumiendo energía suficiente como para iluminar un hogar de manera eficiente con tecnología led.
12. Ciertas curiosidades de la conducta humana provocaron que fuese necesario abarcar todo el piso cerámico del sector donde iban a ser instalados los paneles MAMS con un marco. Debido a que el estudiante al observar que existe la posibilidad de transitar sobre algo que si conoce lo hará, por el hecho de no afectar el estado de lo que aprecia como nuevo.
13. Con el pasar del tiempo la estación de recarga se fue utilizando cada vez más, si el proyecto se continua desarrollando se puede llegar al punto en que se centralice la ubicación para recargar dispositivos electrónicos de uso cotidiano, con un sistema energético amigable con el medio ambiente alimentado por piezoelectricidad acumulada de diferentes sectores en la facultad.

RECOMENDACIONES

1. Continuar haciendo pruebas con diferentes cerámicas piezoeléctricas disponibles en el mercado internacional, diseñadas para la generación de energía eléctrica. Una vez elegida una cerámica entre las demás, basar el diseño de un sistema de suministro de energía en su desempeño.
2. Hacer pruebas con los prototipos de paneles y de la estación de recarga en otros puntos de la Universidad, en esta ocasión se puntualizó hacer la investigación dentro de la Facultad de Ingeniería, pero la Facultad de Ciencias Económicas tiene mucho más número de estudiantes en sus edificios y estos mismo estudiantes generan un gran flujo peatonal en los pasillos de la Universidad. Con llevar a cabo pruebas en otras facultades y puntos de la ciudad universitaria podría encontrarse un mejor punto de instalación para el proyecto.
3. Orientar el fin del proyecto hacia una necesidad de mayores dimensiones. Como la iluminación, una gran necesidad del ser humano desde el principio de su existencia es tener luz durante la noche. Para esto se podría usar iluminación led directamente para hacer más eficiente el consumo energético.
4. Cambiar el diseño de los paneles piezoeléctricos para que cada transductor tenga su propio puente rectificador se señal, esto incrementaría el costo pero la sumatoria de corrientes sería en DC algo

que haría más eficiente el sistema a estar a expensas que en AC las formas de las señales no permitan una sumatoria adecuada de señales.

5. Utilizar la tecnología de supercondensadores para disponer de más energía acumulada al momento de cargar las baterías, se puede llegar a diseñar un cargador de baterías que por largos lapsos de tiempo sea constante con estos dispositivos.
6. Realizar publicidad didáctica de mayor impacto, podría llegarse a esto con aumentar las dimensiones de los textos existentes o colocarlos en puntos donde el usuario los aprecie de mejor manera. Como podría ser el caso de colocarse en el segmento peatonal sobrepuesto.
7. Al momento de analizar los alrededores y seleccionar la mejor ubicación para la instalación de un sistema de suministro de energía por medio de piezoelectricidad tomar en cuenta no solo que sea un lugar donde exista suficiente afluencia peatonal sino también que el usuario tenga disposición de espacio a un nivel confortable para hacer uso de la estación de recarga el tiempo que le sea necesario.
8. Continuar con la investigación y desarrollo de tecnología para ser aplicada en la piezoelectricidad, ya que es una manera de obtener energía de lugares con mucha población en movimiento.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALVES PEREIRA, Antônio Henrique. *Cerámicas Piezoeléctricas: funcionamiento y propiedades*. ATCP Engenharia Física. Brasil. 2010. 215 p.
2. ATCP de Brasil. *Efecto Piezoeléctrico y Cerámicas Piezoeléctricas*. Brasil. 2004. 138 p.
3. CIFUENTES GUTIÉRREZ, José Andrés. *Baldosa Piezoeléctrica para Alimentar Sistemas de Iluminación de Bajo Consumo Energético*. Trabajo de Graduación de Ing. Mecatrónica. Escuela de Ingeniería de Antioquia. Colombia. 2013. 20 p.
4. *Diseños Renovables*. [en línea]. <http://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2012/04/Energ%C3%ADas-Renovables.pdf>. [Consulta: abril de 2015].
5. *Energía solar*. [en línea]. http://newton.cnice.mec.es/materiales_didacticos/energia/solar.htm. [Consulta: mayo de 2015].
6. *Fuente de energía*. [en línea]. <http://xombit.com/2014/04/autopistas-futura-fuente-eenergia>. [Consulta: abril de 2015].

7. KEAWBOONCLINAY, Chok. *Electrical power generation characteristics of piezoelectric generator under quasi-static and dynamic stress conditions*. Estados Unidos: IEEE. 2003. 145 p.
8. OGATA, Katsuhiko. *Ingeniería de Control Moderna*. 5a ed. España: Pearson, 2010. 78 p.
9. *Smartphones*. [en línea].
http://cincodias.com/cincodias/2014/07/08/smartphones/1404837516_438103.html. [Consulta: octubre de 2015].

ANEXOS

Anexo 1. Semiconductor


September 1999

LM101A/LM201A/LM301A Operational Amplifiers

General Description

The LM101A series are general purpose operational amplifiers which feature improved performance over industry standards like the LM709. Advanced processing techniques make possible an order of magnitude reduction in input currents, and a redesign of the biasing circuitry reduces the temperature drift of input current. Improved specifications include:

- Offset voltage 3 mV maximum over temperature (LM101A/LM201A)
- Input current 100 nA maximum over temperature (LM101A/LM201A)
- Offset current 20 nA maximum over temperature (LM101A/LM201A)
- Guaranteed drift characteristics
- Offsets guaranteed over entire common mode and supply voltage ranges
- Slew rate of 10V/ μ s as a summing amplifier

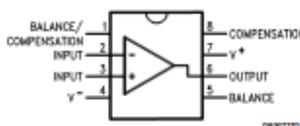
This amplifier offers many features which make its application nearly foolproof: overload protection on the input and output, no latch-up when the common mode range is exceeded, and freedom from oscillations and compensation with a single 30 pF capacitor. It has advantages over internally compensated amplifiers in that the frequency compensation can be tailored to the particular application. For example, in low frequency circuits it can be over-compensated for increased stability margin. Or the compensation can be optimized to give more than a factor of ten improvement in high frequency performance for most applications.

In addition, the device provides better accuracy and lower noise in high impedance circuitry. The low input currents also make it particularly well suited for long interval integrators or timers, sample and hold circuits and low frequency waveform generators. Further, replacing circuits where matched transistor pairs buffer the inputs of conventional IC op amps, it can give lower offset voltage and a drift at a lower cost.

The LM101A is guaranteed over a temperature range of -55°C to $+125^{\circ}\text{C}$, the LM201A from -25°C to $+85^{\circ}\text{C}$, and the LM301A from 0°C to $+70^{\circ}\text{C}$.

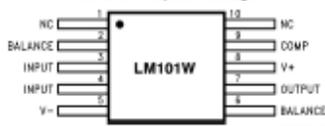
Connection Diagrams (Top View)

Dual-In-Line Package



Order Number LM101AJ, LM101J/883 (Note 1), LM201AN or LM301AN
See NS Package Number J08A or N08E

Ceramic Flatpack Package



Order Number LM101AW/883 or LM101W/883
See NS Package Number W10A

LM101A/LM201A/LM301A Operational Amplifiers

Continuación del anexo 1.

Application Hints (Note 9) (Continued)

When driving either input from a low-impedance source, a limiting resistor should be placed in series with the input lead to limit the peak instantaneous output current of the source to something less than 100 mA. This is especially important when the inputs go outside a piece of equipment where they could accidentally be connected to high voltage sources. Large capacitors on the input (greater than 0.1 μF) should be treated as a low source impedance and isolated with a resistor. Low impedance sources do not cause a problem unless their output voltage exceeds the supply voltage. However, the supplies go to zero when they are turned off, so the isolation is usually needed.

The output circuitry is protected against damage from shorts to ground. However, when the amplifier output is connected to a test point, it should be isolated by a limiting resistor, as test points frequently get shorted to bad places. Further, when the amplifier drives a load external to the equipment, it is also advisable to use some sort of limiting resistance to preclude mishaps.

Precautions should be taken to insure that the power supplies for the integrated circuit never become reversed—even under transient conditions. With reverse voltages greater than 1V, the IC will conduct excessive cur-

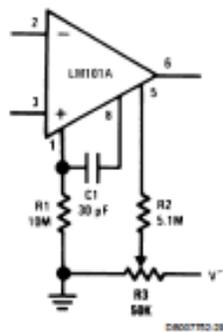
rent, fusing internal aluminum interconnects. If there is a possibility of this happening, clamp diodes with a high peak current rating should be installed on the supply lines. Reversal of the voltage between V^+ and V^- will always cause a problem, although reversals with respect to ground may also give difficulties in many circuits.

The minimum values given for the frequency compensation capacitor are stable only for source resistances less than 10 k Ω , stray capacitances on the summing junction less than 5 pF and capacitive loads smaller than 100 pF. If any of these conditions are not met, it becomes necessary to over-compensate the amplifier with a larger compensation capacitor. Alternately, lead capacitors can be used in the feedback network to negate the effect of stray capacitance and large feedback resistors or an RC network can be added to isolate capacitive loads.

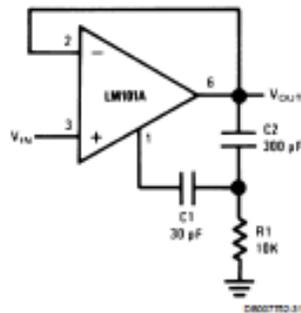
Although the LM101A is relatively unaffected by supply bypassing, this cannot be ignored altogether. Generally it is necessary to bypass the supplies to ground at least once on every circuit card, and more bypass points may be required if more than five amplifiers are used. When feed-forward compensation is employed, however, it is advisable to bypass the supply leads of each amplifier with low inductance capacitors because of the higher frequencies involved.

Typical Applications (Note 9)

Standard Compensation and Offset Balancing Circuit



Fast Voltage Follower



Power Bandwidth: 15 kHz
Slew Rate: 1V/ μs

Continuación del anexo 1.



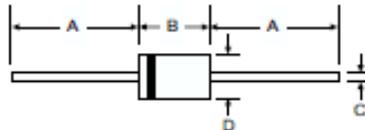
TZX2V4 - TZX36C

500mW EPITAXIAL PLANAR ZENER DIODE

PRELIMINARY

Features

- Planar Die Construction
- 500mW Power Dissipation on FR-4 PCB
- General Purpose, Medium Current



Mechanical Data

- Case: DO-35, Glass
- Leads: Solderable per MIL-STD-202, Method 208
- Marking: Type Number
- Polarity: Cathode Band
- Weight: 0.35 grams (approx.)

DO-35		
Dim	Min	Max
A	25.40	—
B	—	4.00
C	—	0.60
D	—	2.00
All Dimensions in mm		

Maximum Ratings @ T_A = 25°C unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Value	Unit
Zener Current (See Table on page 2)	—	—	—
Forward Voltage <small>@ I_F = 200mA</small>	V _F	1.5	V
Power Dissipation (Note 1)	P _d	500	mW
Thermal Resistance, Junction to Ambient Air (Note 1)	R _{θJA}	300	K/W
Operating and Storage Temperature Range	T _J , T _{STG}	-65 to +175	°C

- Notes:
1. Valid provided that leads are kept at ambient temperature.
 2. Tested with pulses, t ≤ 1.0ms.

Continuación del anexo 1.



LM317T (KA317) Adjustable Voltage Regulator (Positive)

**3-TERMINAL POSITIVE ADJUSTABLE
REGULATOR**

This monolithic integrated circuit is an adjustable 3-terminal positive voltage regulator designed to supply 2.2A typical of load current with an output voltage adjustable over a 1.2 to 37V. It employs internal current limiting, thermal shut-down and safe area compensation.

FEATURES

- Output Current 2.2A Typical
- Output Adjustable Between 1.2V and 37V
- Internal Thermal-Overload Protection
- Internal Short-Circuit Current-Limiting
- Output Transistor Safe-Area Compensation
- TO-220 Package



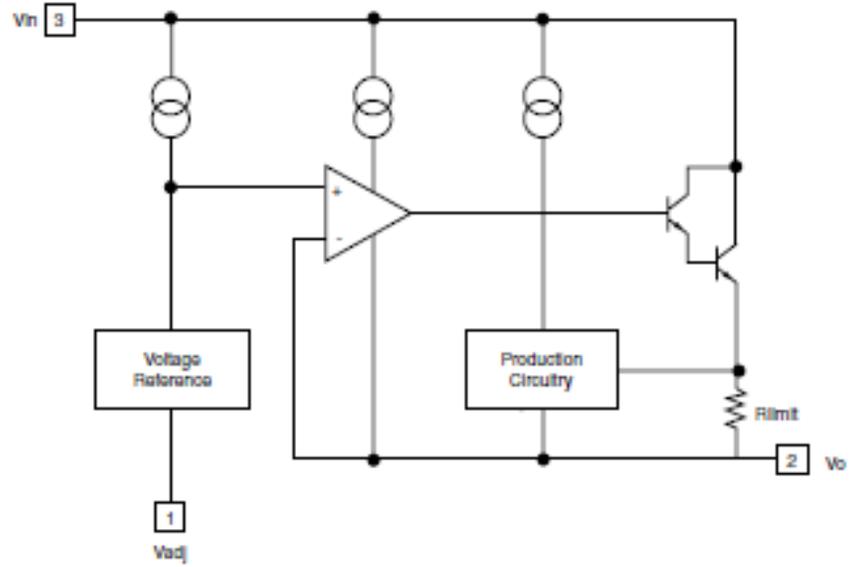
TO-220

LM317T (KA317)

ORDERING INFORMATION

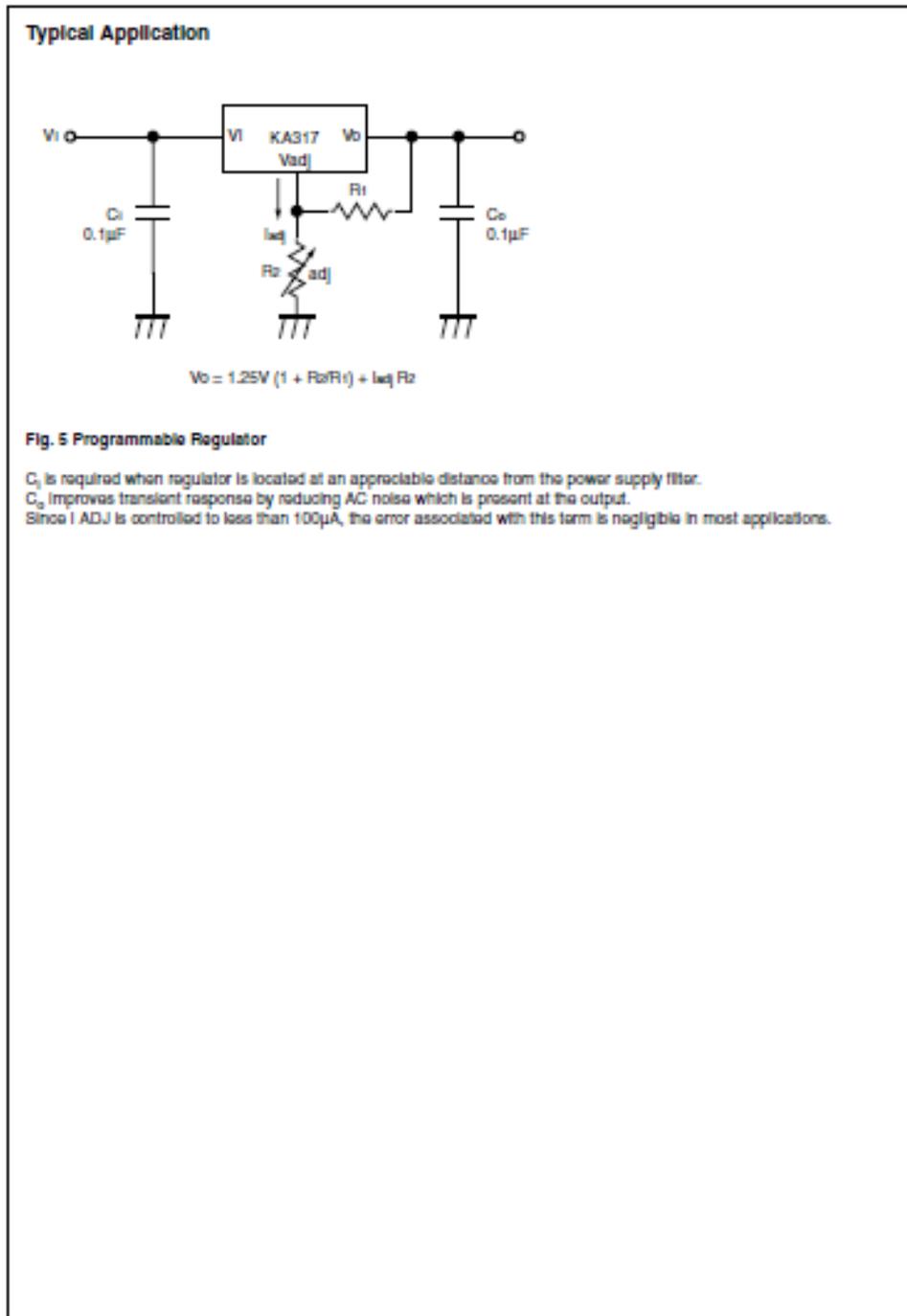
Device	Package	Operating Temperature
LM317T (KA317)	TO-220	0°C - +125°C

BLOCK DIAGRAM



©2000 Fairchild Semiconductor Corporation
REV. 0, May 2000

Continuación del anexo 1.



LM317T (KA317)

Continuación del anexo 1.



Antes de utilizar cualquier producto Steren, lee este instructivo para evitar cualquier mal funcionamiento.

Before using your new Steren's product, please read the instruction manual to prevent any damage.

IMPORTANTE / IMPORTANT

La información que se muestra en este manual sirve únicamente como referencia sobre el producto. Debido a actualizaciones pueden existir diferencias. Por favor, consulte nuestra página web (www.steren.com) para obtener la versión más reciente del instructivo.

The instructions of this manual are for reference about the product. There may be differences due to updates. Please check our web site (www.steren.com) to obtain the latest version of the instruction manual.

PRECAUCIONES / CAUTIONS

- No exponga el equipo a temperaturas extremas.
- Siempre utilice un paño suave y seco para limpiar el inversor.
- No use ni almacene este equipo en lugares donde existan goteras o salpicaduras de agua. Puede causar un mal funcionamiento o un choque eléctrico.
- No conecte equipos que excedan de 150W.
- Desconecte el equipo cuando no vaya a utilizarlo por un periodo de tiempo prolongado.
- Do not expose to extreme temperatures.
- Clean only with a soft, dry cloth.
- Do not use or store the equipment near wet places. May cause malfunction or shock hazard.
- Do not plug any equipment higher than 150W.
- Unplug the device when you don't require it for a long period of time.

CARACTERÍSTICAS / HIGHLIGHTS

El Inversor automático (convertidor de Vcd a Vac) de 150 W, le permite conectar en el automóvil, cualquier equipo de hasta 150 W de consumo que sea en casa, la alimentación es de 12 Volt de corriente directa. Tiene dos salidas de 110 ~ y dos conectores USB para cargar sus equipos.

The 150 W power inverter allows you to use any electronic device in your vehicle, with a 12VDC input power, two 110VAC outputs and two inputs USB to charge their equipment, it's perfect to use it.

Se conecta al encendedor de auto por medio de su cable incluido.

Plug into your cigarette lighter using the included cable.

Tiene luz indicadores de encendido/apagado, circuito de autoprotección y fusible de protección.

Some of the features are: on / off, LED indicator, circuit-breaker and fuse.

MODO DE USO / HOW TO USE

Para utilizar su nuevo Inversor de voltaje, siga estas instrucciones:

To use the power inverter, follow these steps:

- Inserte el inversor dentro del socket de encendedor de cigarrillos del automóvil.
- Conecte el equipo que desea operar dentro de un contacto AC en el inversor.
- Encienda el automóvil y el equipo que desea utilizar.
- Comience a utilizar su dispositivo.
- Cuando ya no requiere utilizar el inversor, apague el automóvil y el dispositivo electrónico y retirelo del inversor.
- Insert the cigarette lighter plug into the car's cigarette lighter socket.
- Plug the device you want to operate into the standard AC plug on the inverter.
- Turn on the electronic device and the car.
- Start using the device.
- When you don't require to use the inverter, power off the car and the electronic device and remove the inverter from the cigarette lighter socket.

⚠ Cuando el sistema de auto-protección se activa, es necesario que desconecte el inversor de la corriente y después de unos segundos, vuelva a conectar, de esta forma el equipo seguirá funcionando de forma correcta.

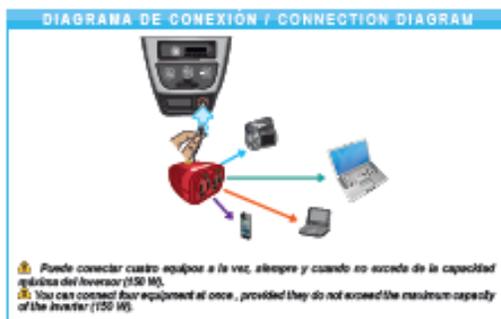
⚠ When the circuit-breaker is overloaded, you must unplug the inverter from the AC outlet, then after few seconds, plug it again into the outlet. The inverter will operate in a normal way after this process.

⚡ Use los puertos USB para cargar sus equipos

⚡ Use the USB ports to charge your equipment

⚠ El fusible se encuentra en la parte superior del inversor, para cambiarlo desconecte el equipo, saque el fusible con ayuda de unas pinzas y reemplévalo por un fusible nuevo (fusible tipo automotriz 20 A).

⚠ The fuse is located on top of the power inverter, to change it unplug the equipment, remove the fuse using tweezers and replace with a new fuse (mini automotive fuse 20 A).



ESPECIFICACIONES / SPECIFICATIONS

Alimentación: 12 V =
Salida: 110 V ~ 60 Hz sinusoidal
Potencia: 150 W

Input: 12 V =
Output: 110 V ~ 60 Hz modified sine wave
Power output: 150 W

⚠ El diseño del producto y las especificaciones pueden variar sin previo aviso. Product design and specifications are subject to change without notice.

STEREN Product: Inversor de voltaje 12 VCD a 110 VCA 150 W
Modelo: INV-150
Marca: Steren

NO SE GARANTIZA

Este producto garantiza el producto por el tiempo de un año en todos los países y zonas de libre comercio, contra cualquier defecto de fabricación y funcionamiento, a partir de la fecha de entrega.

CONEXIONES

- Para hacer el cable le garantizamos que el cable y el enchufe, de hecho, se adaptan a los enchufes de Encendedor Steren S.A. de C.V.
- El enchufe Steren S.A. de C.V. se conecta al aparato al producto en caso de mal funcionamiento siempre según el manual. Las partes de funcionamiento serán válidas por el proveedor.
- El tiempo de operación en ningún caso será mayor a 30 minutos, a partir de la recepción del producto en cualquier de los otros donde se encuentre el cliente a operar.
- El lugar donde se opera el cable, componentes, accesorios y conexiones, así como tener el cable esta garantizado en cualquier de los otros donde se encuentre el cliente a operar.

DEJA POCO DE TIEMPO ESPECIFICAR LOS SERVICIOS QUE

- Cuando el producto ha sido utilizado en un periodo de tiempo.
- Cuando el producto no está operando de acuerdo con el instructivo de uso.
- Cuando el producto no está operando de acuerdo con el proveedor autorizado por Encendedor Steren S.A. de C.V.

El proveedor podrá solicitar que se haga el cable le garantizamos la propia más reciente de cualquier producto. El proveedor garantiza un servicio al consumidor para el tiempo de un periodo que el cliente solicita, previa autorización a nivel de compra y factura de operación.

NOMBRE DEL SERVIDOR

Nombre del Cliente: _____
Código: _____
Apellido: _____
Nombre: _____
Médico: _____
Número de serie: _____
Fecha de entrega: _____
País de origen: _____

El cliente que no puede presentar alguna de la información de contacto de contacto con nosotros y se garantiza y se garantiza el cliente de acuerdo con el proveedor, el cliente que no puede presentar alguna de la información de contacto con nosotros, el cliente que no puede presentar alguna de la información de contacto con nosotros.

ESTEREN Product: 12VDC to AC 110 150 W Power Inverter
Model: INV-150
Brand: Steren

WARRANTY

This Steren product is warranted under normal usage against defects in workmanship and materials for the original purchaser for one year from the date of purchase.

CONEXIONES

- This warranty void with all the required information, unless you purchase this product for or postage, and postcard, need be presented when warranty service is required.
- If the product does not operate, the company will repair it free of charge.
- The warranty period is not more than 30 minutes, from the day the client was received.
- Where repairs, components, accessories and connections, as well as warranty service, except if the address mentioned item.

THE WARRANTY IS VOID IN THE BEST CASES

If the product has been damaged by fire, accident, abuse of use, misloading, bad use, abuse, abuse or other external situations, damage repair by warranty is not provided, except in the following cases:

- The customer can also claim the warranty service in the purchase establishment.
- If you have the warranty card, you can return it, if you return the invoice or purchase ticket.

STEREN INFORMATION

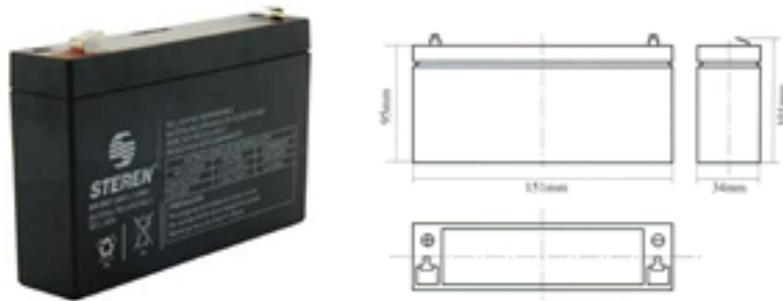
Name of the client: _____
Address: _____
Street: _____
City: _____
State: _____
Date of delivery: _____

In case you need file or have questions, please contact your nearest dealer. If you are in Mexico, please call our Call Center: 01 800 000 0000

Continuación del anexo 1.



**BR - 0607 BATERÍA RECARGABLE SELLADA, DE ÁCIDO-PLOMO, DE
06 VOLTS, 07 AH**



ESPECIFICACIONES

Voltaje Nominal		6V
Capacidad Promedio (tasa de 20 hrs.)		7AH
Dimensiones	Altura Total (con terminales)	101mm (3.98 pulg.)
	Altura	95mm (3.74 pulg.)
	Largo	151mm (5.94 pulg.)
	Ancho	34mm (1.34 pulg.)
Peso		Aprox. 1.35kg (2.98 libras)

Continuación del anexo 1.



CARACTERÍSTICAS

Capacidad 77°F (25°C)	Tasa de 20 hrs. (350mA)	7AH
	Tasa de 10 hrs. (651mA)	6.51AH
	Tasa de 5 hrs. (1.19A)	5.95AH
	Tasa de 1 hr. (4.2A)	4.2AH
	Tasa de 15 min. (13.2A)	3.06AH
Resistencia Interna	Carga máxima de la batería 77°F (25°C)	16mΩ
Capacidad atenuada por la temperatura (20 rango de hora)	104°F (40°C)	102%
	77°F (25°C)	100%
	32°F (0°C)	85%
	5°F (-15°C)	65%
Autodescarga 77°F (25°C)	Capacidad después de 3 meses de almacenaje	91%
	Capacidad después de 6 meses de almacenaje	82%
	Capacidad después de 12 meses de almacenaje	64%
Descarga Máxima de Corriente 77°F (25°C)	105A (5S)	
Terminal	E estándar	F1
	Opcional	F2
Carga (Voltaje Constante)	Ciclo	Carga de Corriente Inicial 1.4A (recomendado) 7.25V ~ 7.45V/77°F (25°C)
	Flotante	6.8V ~ 6.9V/77°F (25°C)

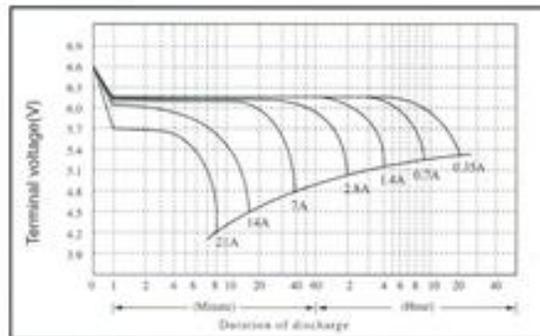
**WATTS CON STANTES DE DESCARGA
(WATT S POR CELULA @ 25°C)**

Voltaje de corte V/Cel	5M	10M	15M	30M	40M	60M
1.75V	50.4	34.0	25.9	15.9	12.7	9.2
1.70V	51.5	34.7	26.5	16.2	12.9	9.4
1.87V	52.1	35.1	26.8	16.4	13.1	9.5
1.80V	53.2	35.9	27.4	16.7	13.4	9.7
1.60V	54.7	36.9	28.1	17.2	13.6	9.9

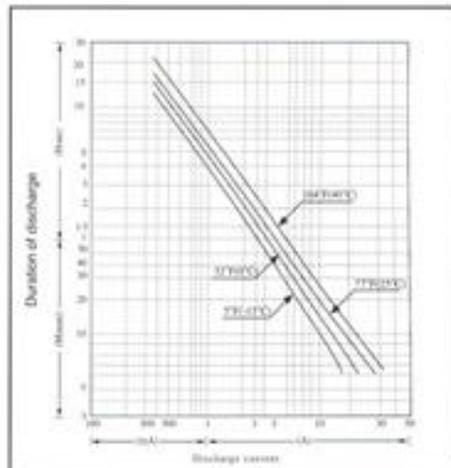
Continuación del anexo 1.



CARACTERÍSTICAS DE DESCARGA
77°F (25°C)



DURACIÓN DE DESCARGA CONTRA CORRIENTE DE DESCARGA



Fuente: Catálogo Steren.

