UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

GENERACIÓN DE ENERGÍA UTILIZANDO EL EFECTO PIEZOELECTRICO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

I N G E N I E R O M E C A T R Ó N I C O

P R E S E N T A:

JOSÉ MARÍA SANTIAGO GARCÍA
FRANCIA GONZALEZ ALFARO

DIRECTOR DE TESIS :
DR. ALVARO AYALA RUIZ

DICIEMBRE 2015

México, D.F.

Universidad Nacional Autónoma de México
UNAM
Biblioteca Central
Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

1. Introducción **1**

2. Antecedentes **2**

2.1. Tipos de energía *2*

2.2. Baterías de papel *9*

2.3. Sensores piezoeléctricos *12*

2.4. LED *14*

2.5. Materiales *20*

2.6. Ashby *23*

3. Objetivo **25**

4. Desarrollo **27**

4.1. Necesidad *27*

4.2. Requerimientos y especificaciones *27*

4.3. Búsqueda de información comercial y académica *29*

4.4. Diseño conceptual *35*

4.5. Lluvia de ideas *36*

4.6. Evaluación de ideas *39*

4.7. Conceptos finales *41*

4.8. Construcción de prototipos *47*

4.9. Ensamble *66*

4.10. Prototipo final *69*

4.12. Costos *73*

5. Resultados **75**

5.1. Discusión de resultados *77*

6. Conclusiones **78**

7. Bibliografía **80**

1. Introducción

. El problema el cual tiene el bosque de Tlalpan consiste durante el horario matutino en donde los corredores están expuestos a caídas y accidentes debido a la poca iluminación que posee la pista. La solución más práctica es poner una infraestructura de iluminación como las que poseen distintos para que en la ciudad el cual rompería con el paisaje natural del bosque, también es un tipo de iluminación el cual está conectada a la red nacional y su energía es producida por materiales fósiles, por otra parte la iluminación estaría encendida en intervalos de tiempo muy largos a pesar de que no fuera necesaria y gastaría recursos innecesarios.

Por lo tanto, es necesario implementar una infraestructura de iluminación la cual sea amigable con el medio amiente, que sea activada cuando el usuario lo requiera, que sea energía limpia no utilizando la red eléctrica nacional y que no afectara el paisaje natural de bosque.

La solución que se propuso es diseñar y fabricar un dispositivo para iluminar las pista del bosque de Tlalpan la cual sea activada al momento de correr con ayuda del efecto piezoeléctrico.

Por lo tanto el objetivo del presente trabajo sea el diseñar y manufacturar una baldosa que genere energía eléctrica que podrá ser utilizada para encender una lámpara de LEDs con ayuda de sensores piezoeléctricos.

Para llevar a cabo este trabajo se dividió en seis capítulos, en el primer capítulo de antecedentes se hizo una búsqueda bibliográfica de los temas que se van a tratar como las tecnologías nuevas; para el segundo capítulo nombrado objetivo, se planteó el problema, la necesidad, se propuso una solución que cumpliera la necesidad y se planteó el objetivo del trabajo. El siguiente capítulo fue el desarrollo en donde se usó un método de diseño que ayudó a proponer ideas, diseñar y manufacturar un prototipo final el cual se probaría con condiciones lo más parecidas a las del bosque de Tlalpan. Para el capítulo de resultados, se plasmaron gráficos, tablas y se hicieron discusiones de la pruebas realizadas al prototipo final. Por último, en las conclusiones se hizo un análisis del cumplimiento del objetivo, los problemas que surgieron y su solución, retos y logros realizados con el trabajo.

2. Antecedentes

2.1. Tipos de energía

La energía es necesaria por una gran número de razones, principalmente en la antigüedad era comúnmente utilizada en la preparación de alimentos y como suministro de calor. Conforme el paso del tiempo el ser humano ha tenido diversas necesidades como desarrollos tecnológicos, para poder satisfacer e implementar las nuevas tecnologías, para cumplir con ello tuvo que hacer uso de nuevos tipos de energía.

Como fue avanzando la tecnología y las necesidades energéticas, hubo un tipo de energía que predominó sobre las demás, esta es la energía eléctrica, la cual es necesaria para el funcionamiento de los distintos aparatos, dispositivos, máquinas, etc.

Lamentablemente la naturaleza no proporcionaba la energía eléctrica fácilmente como la energía solar, tiene que obtener de la trasformación de otras energías las cuales eran más fáciles de obtener y manejar.

El hombre tuvo que generar nuevas tecnologías para la trasformación de las principales fuentes energéticas a la energía eléctrica, hasta llegar a procesos muy complejos para poder obtener la energía eléctrica.

Principales fuentes de energía son: madera, combustibles fósiles. Fuentes alternativas de energía: energía solar, eólica, fuentes geotérmicas, uso de las corrientes de los océanos del mundo. Un aspecto significativo de la mayoría de estas fuentes de energía alternativa es que tienden a ser dependientes del tiempo. La principal desventaja de la electricidad como un portador de energía es la imposibilidad de almacenar en cantidades suficientes. Esto conduce al problema de desarrollo de métodos de almacenamiento de energía eficaces.

La energía eléctrica es la forma de manifestarse la energía, la cual, tiene características como la docilidad en su control, la fácil y limpia trasformación en, la rapidez y eficacia de su trasporte, el problema de la energía eléctrica es su dificultad para almacenarla.

Para producir la electricidad se consigue por distintos procedimientos, las formas más empleados son:

Por Inducción. Si se desplaza un conductor eléctrico en el interior de un campo magnético, aparece una diferencia de potencial en los extremos del mismo. Los generadores industriales de electricidad están basados en esta propiedad electromagnética.

Por acción de la luz. Al incidir la luz sobre ciertos materiales aparece un flujo de corriente de cierta importancia. Las células fotovoltaicas aprovechan esta energía.

Existen varios tipos de fuentes renovables para obtener energia y transformarla a energía eléctrica. Normalmente hay un generador que pasa un tipo de trabajo mecanico en energía eléctrica.

Energía solar

Esta energía del llega a la tierra en forma de radiación la cual se persive en forma de luz. Sin embargo, del total de la energía que llega a la tierra procedente del sol, sólo 3/4 partes entran a través de la atmósfera. La idea de aprovechar la energía solar no es novedosa. El proceso básico es simple ya que con paneles solares concentran la luz solar que cae sobre ellos y la convierten en energía. Esto se logra de varias maneras y depende del objetivo; ya sea electricidad para una región o agua caliente para una piscina. El mayor obstáculo de la energía solar es el precio de la instalación.

El equipo solar cuesta mucho más que un equipo tradicional de energía. Lleva muchos años de uso ver que la inversión valió la pena. A pesar del costo, la energía solar permite que se pueda complementar la energía en las ciudades(Castillo, 1985).

Energía eólica

El viento es el movimiento de las masas de aire, las cuales circulan dese zonas de alta presión atmosférica a zonas de presión atmosférica menor. Estas diferencias de presión son ocasionadas que la superficie terrestre es calentada por el sol y por el movimiento de rotación de la tierra. La energía del viento representa una gran fuente energética renovable con la disponibilidad para su explotación. Ha destacado como el recurso con mayor viabilidad para la generación de electricidad.

La principal desventaja de esta energía, es nuestra incapacidad para controlar el viento. También existen dificultades de planificación variabilidad y almacenamiento.(Hernandez, 2014)

Energía nuclear

La energía nuclear se presentó como una alternativa para los combustibles fósiles en 1970. Las plantas realizaban fisiones nucleares en un entorno controlado, lo que producía energía. Los bajos costos del combustible equilibraron la inversión financiera necesaria para crear las plantas de energía nuclear, y esto tenía como consecuencia electricidad a más bajo costo. A pesar de los graves accidentes, la energía nuclear sigue siendo una fuente viable de energía en muchos lugares.

Las plantas de energía nuclear suministran el 16% de la energía del mundo en 70 países. Son una fuente importante de energía para países sin muchos recursos de combustibles fósiles. Francia y Japón tienen programas particularmente activos de energía nuclear.

Las plantas ahora incorporan múltiples sistemas de seguridad para evitar fusiones del núcleo y la liberación de sustancias radiactivas. Todavía resta preocupación acerca del desecho del combustible que se consume, que podría ser utilizado para fabricar armas nucleares (Schlumberger Excellence in Education Develoment, 2015).

Energía hidroeléctrica

La energía hidroeléctrica utiliza la energía del agua que cae para hacer girar turbinas y generar electricidad. La energía que se genera de esta forma depende del control de un curso de agua, como por ejemplo un río, a menudo con una presa. Los generadores impulsados por agua no producen emisiones.

El flujo de agua, controlado dentro de la planta hidroeléctrica, determina la cantidad de electricidad producida para generar la energía necesaria. Aproximadamente el 20% de la electricidad mundial proviene de esta fuente. Una de su desventaja es que en muchos casos se tiene que cambiar el caudal del rio y esto afecta a la biodiversidad de alrededor como algunas comunidades.(Schlumberger Excellence in Education Develoment, 2015)

Energía mareomotriz

Una planta de energía mareomotriz captura la energía del flujo de las mareas que entran y salen de las bahías o estuarios. Una presa especial denominada presa de contención separa el área de las mareas en cuencas superiores e inferiores. Las turbinas dentro de la presa de contención giran a medida que el agua fluye de una cuenca hacia la otra, según la dirección de la marea. Las turbinas impulsan un generador que, luego, produce electricidad.

La instalación de una planta mareomotriz es costosa, por lo tanto, la planta debe ser capaz de generar energía suficiente como para que la inversión valga la pena.

Esto sucede únicamente cuando hay una diferencia de al menos 5 m (16 pies) entre la marea alta y la baja. Cualquier diferencia menor no genera la energía suficiente como para que la planta mareomotriz resulte viable desde el punto de vista financiero (Schlumberger Excellence in Education Develoment, 2015).

Dispositivos actuales de almacenamiento de energía

- Químico

Celdas y almacenamiento de Hidrógeno

Las celdas de combustible con base a hidrógeno son una forma de generar electricidad que se ha ido desarrollando en el último tiempo. Este sistema consta de juntar hidrógeno con oxígeno para formar agua, el proceso libera energía

Este sistema incluye tres componentes claves: la electrólisis que consume electricidad fuera de los horarios de mayor demanada para producir hidrógeno, la celda de hidrógeno que utiliza este hidrógeno, además de oxígeno del aire, para producir electricidad en horarios punta, y el tanque de hidrógeno que almacena hidrógeno asegurando los recursos necesarios cuando se requieran.

La reacción oxidación-reducción entre hidrógeno y oxígeno es una reacción simple que ocurre entre una estructura (celda electroquímica elemental) compuesta por 2 electrodos (ánodo y cátodo) separados por un electrolito (medio de transferencia de iones).

Existen varios tipos de celdas de hidrógeno como:

- Alcalinas
- De Membrana de Intercambio
- De Metanol Directo
- De Ácido Fosfórico
- De Carbonato Fundido

- De Óxido Sólido

Existen 4 métodos de almacenamiento de hidrógeno, dos desarrolladas principalmente:

- Hidrógeno presurizado: Esta técnica consta de comprimir el hidrógeno en un recipiente que, dependiendo de sus características, puede soportar mayor o menor presión. Por ejemplo, un recipiente de acero puede soportar entre 200 y 250 bar, mientras que uno de fibra de carbono con aluminio alcanza a soportar 350 bar.

Consiste en la licuefacción del hidrógeno, lo que es muy costoso puesto que se deben lograr temperaturas cercanas a los -253°C. Además, tiene grandes pérdidas.

- Absorción de Hidrógeno

Para muchos materiales, agregar hidrógeno a sus estructuras moleculares es un proceso natural (dadas ciertas condiciones). Por lo tanto, si se manejan ciertas variables (como presión y temperatura), se puede lograr que se agregue o elimine hidrógeno de estos materiales. Este sistema tiene como ventaja que la presión se mantiene baja, por lo que es mucho más seguro que el anterior. Utilizan nanofibras de carbono para almacenar hidrógeno. (Ellena, 2012)

El más tradicional sistema de almacenamiento de energía eléctrica es ElectrochemicalEnergy Storage (EES), clasificado en tres categorías:

1. Baterías primarias (pilas)

Son unidades de almacenamiento que convierten energía química en energía eléctrica; con base en su duración, existen dos tipos de pilas, las primarias o desechables.

2. Baterías secundarias (baterías recargables)

Se pueden recargar un número limitado de veces, siendo algunas de sus principales características. Sus desventajas radican en el hecho de manejar baja densidad de potencia su tiempo de vida se ve directamente afectado al número de ciclos carga y descarga, son costosas y contienen componentes altamente contaminantes y tóxicos.

Algunos materiales que se han encontrado en las pilas:

Litio (Li)

Magnesio (Mn)

Mercurio (Hg)

Níquel (Ni)

Plata (Ag)

Plomo (Pb)

Cadmio (Cd)

Zinc (Zn)

3. Pilas de combustible (produce electricidad de una fuente externa de combustible y de oxígeno en contraposición a la capacidad limitada de almacenamiento de energía que posee una batería). Investigación de materiales para la solución sólida de electrodos y de electrolitos sólidos.

- Almacenamiento térmico

Las propuestas de diseño se han orientado al uso de sal fundida como un almacén de calor, recolectado por una torre solar, y utilizado para generar electricidad en mal tiempo o en la noche. Se esperan eficiencias térmicas sobre el 99% en un año.

Otro uso consiste en utilizar electricidad remanente para producir hielo y almacenar hasta el día siguiente, cuando se utiliza para refrescar el aire en un edificio grande, o el aire producido por un turbogenerador de gas, aumentando la capacidad de generación en momentos pico.

- Eléctrico

Capacitor

Para cargar un capacitor debe realizarse un trabajo para transportar electrones de una placa a la otra. Como dicho trabajo se desarrolla en un tiempo dado, se desarrolla energía cinética que es almacenada en el capacitor como energía potencial. La carga de un capacitor puede compararse con la energía cinética desarrollada al comprimir un resorte, este al ser comprimido almacena esa energía como energía potencial que devolverá como energía cinética cuando sea liberado.

$$W = 0.5 \cdot c \cdot V^2$$

Expresados:

W: en Joules

C: en Faradios

V: en Volts

El resultado de la ecuación la potencia entregada por capacitor dependiendo de su voltaje medido en volts y su capacitancia medida en faradios.

La energía eléctrica que puede ser almacenada en un capacitor es pequeña, por lo que difícilmente puede ser utilizado como fuente de energía. A pesar de este inconveniente, tras propiedades que posee posibilitan múltiples aplicaciones de este componente en circuitos electrónicos.

Como se vio en la expresión, la energía almacenada en un capacitor es directamente proporcional al cuadrado de la tensión aplicada “V”. Esta condición parece indicar que, ara un capacitor dado conseguiríamos almacenar mucha energía con el sólo hecho de aumentar indefinidamente la tensión aplicada al mismo.

Esto es verdad hasta un límite dado, es real que si se va aumentando el nivel de la tensión aplicada a las placas del capacitor la energía almacenada en él se incrementará exponencialmente.

Este último concepto puede representarse gráficamente, (Figura 1).

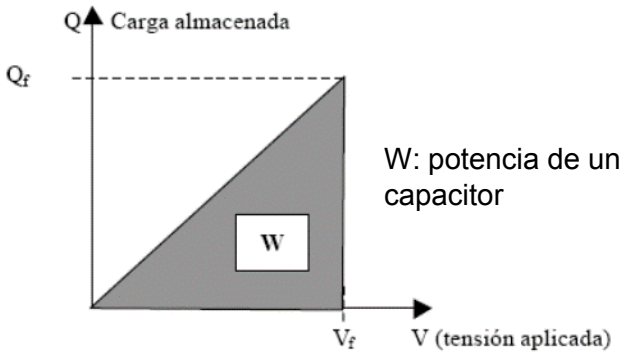


Figura 1 Representación grafica del capacitor

La energía almacenada en el capacitor está representada por la zona gris de la figura 1 se observa que al incrementarse la tensión aumenta la carga almacenada y como consecuencia aumenta la superficie que representa la energía almacenada.

En este punto se pensó que si se seguía aumentando la tensión aplicada indefinidamente se conseguiría almacenar cada vez más energía, se vió que este aumento es verdad pero tiene un límite y ese límite es impuesto por el material utilizado en el dieléctrico.

Cuando la tensión (diferencia de potencial) aplicada a las placas de un capacitor llega a tomar un nivel suficientemente alto, su dieléctrico se perfora y conduce. En este caso al cortocircuitarse las placas el capacitor queda inutilizado. “La tensión de perforación del dieléctrico depende del material utilizado en él y de su espesor”.

“La máxima tensión que puede resistir un dieléctrico sin perforarse es llamada RIGIDEZ DIELECTRICA”, está tabulada por materiales y se expresa en volts o kilovolts por mm o por cm.

Tabla 1 Rigidez dieléctrica de algunos materiales

Material	Kv/cm de espesor
Caucho	250
Ebonita	500
Mármol	17
Mica	750
Parafina	400
Prespahn	135

Supercapacitor

Los supercapacitor almacenan energía eléctrica en forma de cargas electroestáticas confinadas en pequeños dispositivos, formados por pares de placas conductivas separadas por un medio dieléctrico. Los supercapacitor tiene la capacidad de ser cargados y descargados en brevísimos periodos de tiempo, del orden de segundos o menos, lo cual los hace especialmente apropiados para responder ante interrupciones de suministro de poca duración.

Pueden entregar gran densidad de potencia por periodos cortos de tiempo, teniendo un número elevado de ciclos de carga/descarga sin que esto afecte su vida útil.

Su principal desventaja es que su tiempo de carga, es proporcional a su tiempo de descarga.

- Almacenamiento de energía magnética por superconductividad SMES (Almacenamiento de Energía en Superconductores Magnéticos)

Los sistemas SMES almacenan energía electromagnética con pérdidas insignificantes mediante la circulación de corriente continua a través de bobinas superconductoras, enfriadas criogénicamente. La energía almacenada se puede lanzar de nuevo a la red descargando la bobina. El sistema utiliza un inversor/rectificador para transformar energía de corriente alterna (AC) a corriente continua (DC) o viceversa.

El inversor/rectificador presenta pérdidas de energía cercanas al 2-3% en cada dirección. Los SMES presentan menores pérdidas de electricidad en comparación a otros métodos de almacenamiento de energía. El alto costo de los superconductores es la limitación principal para el uso comercial de este método de almacenamiento de energía.

Debido a las necesidades energéticas de refrigeración y a los límites en la energía total capaz de ser almacenada, los SMES se utilizan actualmente para el almacenamiento de energía por breves periodos de tiempo.

- Mecánico

a) Almacenamiento de Energía con Aire Comprimido (CAES)

Los sistemas CAES utilizan la energía compresiva asociada al aire presurizado contenido en depósitos subterráneos consistente en cavidades naturales o antiguas minas o en acuíferos porosos que están geológicamente contenidos. El almacenamiento se realiza comprimiendo el aire durante horas valle. Durante horas punta el aire comprimido se utiliza para producir potencia al expandirlo en una turbina de gas con relativamente alta eficiencia.

b) Almacenamiento en volantes de inercia

La inercia mecánica es la base de este método del almacenaje. Un disco pesado que rota es acelerado por un motor eléctrico, que actúa como generador en reversa, retrasando el disco y produciendo electricidad. La electricidad se almacena como energía cinética. La fricción se debe mantener al mínimo para prolongar el tiempo de almacenamiento. Esto se logra colocando la rueda volante en el vacío y usando cojinetes magnéticos, lo cual hace que el método sea costoso.

Velocidades más grandes de la rueda permiten mayor almacenamiento pero requieren materiales resistentes o materiales compuestos para resistir la fuerza centrífuga. Se está investigando el uso de nanotubos de carbón como material de la rueda.

2.2. Baterías de papel

Cualquier tipo de papel con recubrimiento de la superficie hidrofóbica[1,] puede ser utilizado para este propósito.

Existen al menos tres métodos para crear barreras hidrofóbicas:

1. Fotolitografía
   La hoja de papel es impregnada con:
   - Fotoresinas
   - Polimerización para exponerlos a la luz ultravioleta a través de una máscara transparente

2. Impresora de cera sólida comercial
   Hay un rápido depósito de cera en el papel, después el papel es calentado para derretir la cera que penetra en el papel para generar hidrofóbicas.

3. Tratamiento de láser
   La modificación de la cara seleccionada puede realizarse utilizando un láser de CO_2 (dióxido de carbono) para crear patrones hidrofobicos.

Dichas baterías resultan interesantes por dos principales razones:

1. Una fuente de poder integrada de papel podría ser preferible para un sistema con papel electrónico.
2. La intrínseca, áspera y porosa cara del papel beneficia la manipulación de electrones y el transporte de iones a través de toda la superficie especialmente dentro del electrodo para un rendimiento de alta potencia.

Aplicaciones del papel y la betería hecha de papel

- Batería de fluidos papel basado en dispositivos de microfluidos como ensayo de fluorescencia.
- Batería de papel activada por orina para biosistemas.
- Supercapacitor integrado con una celda fotoelectroquímica[5].

- Pila de combustible microbiana basada en papel es un dispositivo desechable que sirve para obtener diagnósticos biológicos.

Batería de iones de litio con una alta densidad energética.

A continuación se muestra en la tabla 2 de baterías a base de papel y dispositivos de almacenamiento de energía.

Tabla 2 Baterias a base de papel y dispositivo de almacenamiento

	Batería de iones de litio	Supercapacitor	Nanogenerador
Operación principal	Reacción de iones de litio	Reacción reducción	Conversión de energía mecánica
Aplicación del papel	Electrodo	Electrodo	Electrodo
Generación de energía	mW	mW	μW
Electrodo	Litio basado en materiales de óxido de metal	Óxidos de carbón u otros materiales basados en carbón	Piezoeléctricos o materiales metálicos
Aplicación de la potencia	Electrónica de alta potencia	Electrónica de alta potencia	Electrónicos
Observaciones	Recargable	Recargable	Energía obtenida de vibraciones

Baterías de Iones de Litio

Funcionan transportando iones de litio entre el ánodo y el cátodo a través de un aislante eléctrico. Las baterías de iones de litio han sido remplazadas por otros tipos de baterías, basadas en diferentes químicos como:

• NiCd (Niquel-cadmino) y Ni MH Cell (Celdas de níquel-matel duro) espacialmente en el campo de los electrónicos portátiles

Baterías de ion-litio se han explorado también debido a sus características intrínsecas, como la gran rugosidad superficial y la estructura porosa para mejorar la generación de energía, la flexibilidad mecánica para realizar plenamente la electrónica flexible.

Normalmente, su poder y densidad de corriente son significativamente mayores que otros tipos de baterías basadas en papel preferidas para la alimentación de la electrónica de alta potencia.

Baterías de ion-litio flexibles basadas en un material similar al papel, sustratos conductores han sido un foco importante en esta área. Recientemente, se ha desarrollado un papel de nanotubos de carbono de paredes / policelulosa y la batería de litio.

Los papeles de policelulosa se sumergieron en la tinta CNT y sumergido durante 10 min. Células completas utilizando Li44Ti5O15 y LiFePO4 electrodos basados en nanotubos de carbono de paredes / policelulosa mostraron una primera capacidad de descarga de 153,3 mA hg A1 con eficiencias de 90,6% a 0,1 C y la descarga de la capacidad de 102.6 mA hg A1 a alta velocidad.

Desarrollado una célula de la batería de iones de litio-papel único flexible. Ellos utilizaron nano celulosa tanto como un aglutinante de electrodo y como material separador. La batería está hecha a través de un documento de decisiones de proceso de tipo de filtración secuencial de dispersiones acuosas dependiendo el contenido de los componentes de la batería. Las celdas de la batería resultantes fueron mecánicamente fuertes y flexibles con buenas propiedades y con capacidades reversibles de 146 mA Hg A1LiFePO4 a C/10 y 101 mA hg LiFePO en 1 C.

La mayor parte de la investigación sobre baterías de papel Li-ion están utilizando películas de "Papel-similar", la incorporación de diversos nanocompuestos, que normalmente exigen mucho más complicados procesos con mayor costo.

Para disminuir el coste y la complejidad, el grupo de Cu utilizó un papel disponible comúnmente con la fabricación simple y estructura del papel. Se informó de una batería de Li-ion utilizando un papel recubierto con nanotubos de carbono y plata. En comparación con los plásticos, los sustratos del papel mejorarán dramáticamente la adhesión de la película, simplificado en gran medida el proceso de recubrimiento y significativamente rebajando el costo. Se mostró que este papel conductor se puede utilizar como un excelente colector de corriente ligera de las baterías de ion-litio para sustituir los equivalentes químicos metálicos existentes. Esta batería mostró excelente rendimiento con un 95% de capacidad.

Baterías flexibles de iones de litio

Se desarrolló una batería de iones de litio con papel de carbón de pared simple (nanotubos/ policelulosa) .

Proceso de fabricación:

- El papel de policelulosa fue sumergido en tinta de nanotubos de carbón por 10 minutos.

- Se usaron celdas de combustible que contienen $Li_4Ti_5O_{15}$ y $LiFePO_4$ que muestran una capacidad de descarga de 153.3 mA h g^{-1} y con eficiencia del 90.6% a 0.1 C y una capacidad de carga de 102.6 mA h g^{-1} 10 C

Materiales de las actuales baterías de papel

1. Papel con una película de electrodos TIO_2.
2. Papel disponible comercialmente con fabricación simple, papel recubierto con nanotubos de carbón y una película de nanocable de plata.

Existe una enorme diferencia entre las baterías comunes de litio fabricadas con plástico y las generadas con sustratos de papel, éstas mejoran la adición de películas simplificando el proceso de recubrimiento y disminuyendo significativamente los precios.

El papel conductor puede ser utilizado como un colector de corriente ligera, en las beterías de iones de litio para reemplazar los químicos metálicos actuales presentes.

La batería de iones de litio muestra un excelente rendimiento, las delgadas películas de Nanotubos de Carbon fueron laminadas sobre un papel comercial. El papel funcionaba de dos formas: sopore mecánico y como la membrana de la batería.

Estas baterías pueden ser una excelente fuente de poder en términos de la generación de corriente. Son recargables y duran largos periodos.

Las desventajas que presenta esta batería es que requiere muchas capas para depositar el papel, incrementando la complejidad de sus diseños y el aumento de sus costos. Lo materiales no son baratos y no son amigables con el ambiente y requieren un sofisticado medio de alimentación

2.3. Sensores piezoeléctricos

Efecto piezoeléctrico

El funcionamiento de este tipo de sensores se basa en el efecto piezoeléctrico descubierto por Jacques y Pierre Curie en 1880 en los cristales de cuarzo. Este fenómeno se produce en determinados sistemas cristalinos y consiste en la aparición de una cierta carga eléctrica cuando el cristal es sometido a algún tipo de deformación.

Los materiales piezoeléctricos pueden convertir la tensión mecánica en electricidad, y la electricidad en vibraciones mecánicas. El cuarzo es un ejemplo de un cristal piezoeléctrico natural. Los cristales de cuarzo están hechos de átomos de silicio y oxígeno en un patrón

repetitivo. En el cuarzo, los átomos de silicio tienen una carga positiva y los átomos de oxígeno tienen una carga negativa. Normalmente, cuando el cristal no está bajo ningún tipo de estrés externo, las cargas se dispersan uniformemente en las moléculas a través del cristal. Pero cuando el cuarzo se estira o exprime, el orden de los átomos cambia ligeramente. Este cambio causa que las cargas negativas se acumulen en un lado y las cargas positivas se acumulen en el lado opuesto. Cuando haces un circuito que conecta un extremo del cristal con el otro, puedes utilizar esta diferencia potencial para producir corriente. Entre más aprietas el cristal más fuerte será la corriente eléctrica. Por el contrario, enviar una corriente eléctrica a través del cristal cambia su forma. (Figura 2)

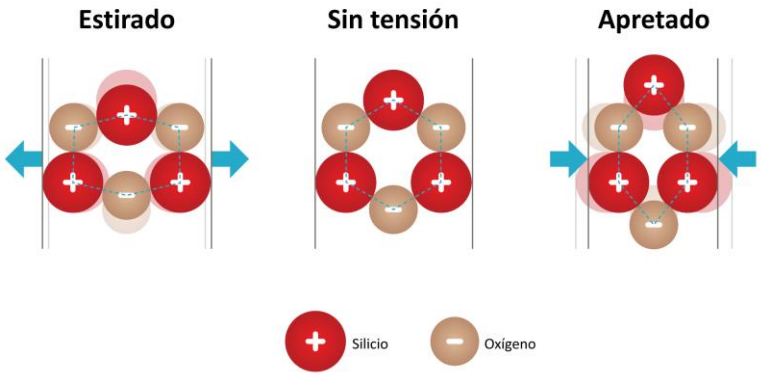


Figura 2 Molécula de cuarzo

Los materiales piezoeléctricos se pueden clasificar en naturales y sintéticos, dentro de los naturales encontramos los cristales de cuarzo y turmalina y dentro de los sintéticos se encuentran la sal de Rochelle, el titanato de Bario y algunos componentes cerámicos como PZT (titanatos —circonatos de plomo-), metaniobato de plomo, el fluoruro de polivinilideno (PVF2 o PVDF), trifluoroetilenoTrFEP(VDF/TRFE), el nylon y la polyurea).

Los materiales cerámicos para orientar la estructura molecular de los cristales se somete el material a un campo eléctrico durante su fabricación. La diferencia de potencia al aplicada depende del espesor del material (hasta 10 kV), la temperatura del material se debe elevar hasta la temperatura de Curie, dejándolo enfriar en presencia aún del campo. Al desaparecer éste, los cristales de la cerámica no se pueden desordenar debido a lastensiones mecánicas acumuladas, quedando una polarización remanente. Las cerámicaspiezoeléctricas cuentan con una gran estabilidad térmica, magnética y física, su principaldesventaja es la sensibilidad térmica de sus parámetros en ambientes donde latemperatura está cerca de la Curie, Tabla 3.

Tabla 3 Temperatura Curie de materiales ferroelectricos

Material	Temp de curie (°C)
SrTiO3	-200
Cd2Nb207	-88
Sal de Rochels	24
BaTiO3	120
PbZrO3	233
PbTiO3	490
NaNbO3	640

El proceso de fabricación de los materiales cerámicos utilizados como dispositivos piezoeléctricos supone una serie de pasos que se indican en la figura 2, con etapas de sinterizado, pulido y polarizado para concluir con la deposición de los electrodos.

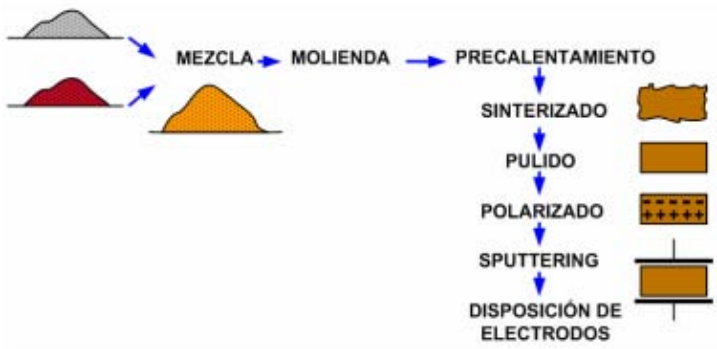


Figura 3 Proceso de fabricacion de materiales ceramicos

2.4. LED

Un LED es un diodo emisor de luz que su acrónimo significa Light-EmittingDiode, los cuales son pequeños elementos de iluminación. Capaz de emitir luz visible al ser polarizado el cual forma parte de los dispositivos de unión p-n, por lo tanto al polarizarse de manera directa ocurre una combinación de huecos y electrones dentro de la estructura y cerda de la unión,

En la década de los 60's, Nick Holonyak Jr. Invento el primer diodo emisor de luz en los laboratorios de General Electric, los cuales eran de color rojo y se emplearon básicamente como indicadores de encendido y apagado. En el año 1962 se creó el primer Led comercial combinando Galio, Arsénico y Fosforo (GaAsP) con lo cual se consiguió un LED rojo con una longitud de onda de emisión de unos 650 nm con un intensidad relativamente baja de unos 10 mCd a 20 mA.

En la década de los 70's aparecen los LED de color verde, amarillo y naranja los cuales son usados para calculadores, relojes digitales y equipos de monitoreo. Se introdujeron nuevos colores al espectro, Utilizando GaP y ámbar, se consiguieron colores verde y rojo. También

se desarrollaron LED inflarojos, los cuales se utilizaron en los controles remotos de los televisores y otros artefactos para el hogar.

En inicio de los 80's, se desarrollaron LED de mayor calidad con nuevas tecnologías, más eficientes y consumiendo menor energía, los cuales generaban 10 veces más luz, los cuales se utilizaban en señalizaciones de tránsito y en carteles de exteriores.

A finales de los 80's y principios de los 90's, se tuvieron grandes avances en control y calidad de los LED's lo que permitió un uso más rudo dentro del mercado. A mediados de la década de los 90's el Dr. NakamuraShuji, investigador de Nichia, una empresa japonesa dedicada a la fabricación de LED's, llego a desarrollar el led de color azul, LED con solores saturados y con la posibilidad de crear rangos de colores infinitos.

En esa misma década, aprecio el material más exitoso para producir LED, (AlInGaP) Aluminio, Indio, Galio y Fosforo. Las principales virtudes de este compuesto es que se puede conseguir una gama de colores, que van desde el rojo hasta el amarillo, cambiando la proporción de los materiales que lo integran, su vida útil es mucho mayor a los de sus predecesores con 100 000 horas a un ambiente de temperatura y humedad elevados.

En el siglo XXI ha visto parecer los diodos OLED (LED orgánicos) fabricados con materiales polímeros organiso semiconductores. Aunque la eficiencia lograda con estos dispositivos, estan lejos de los diodos inorgánicos, su fabricación promete ser considerablemente más barata que la de estos, siendo además posible depositar gran cantidad de diodos sobre cualquier superficie empleando técnicas de pintado para crear pantallas de color,

Hoy en día, los sistemas de iluminación mediante LED resultan viables para una amplia gama de aplicaciones entre las que se incluye la iluminación de fachadas con alturas de 150 metros o más. Los LED's blancos han alcanzado un rendimiento de más de 100 lúmenes por watt en el laboratorio, lo que los hace visible para numerosas aplicaciones de iluminación general con un significativo ahorro de energía (Calderon, 2011)

Funcionamiento

El funcionamiento físico consiste en que en los materiales semiconductores un electrón al pasar de la banda de conducción a la de valencia pierde energía; esta energía perdida se puede manifestar en forma de un fotón desprendido, con una amplitud, una dirección y una fase aleatoria. La energía perdida cuando pasa un electrón de la banda de conducción a la de valencia se manifieste como un fotón desprendido o como otra forma de energía (calor), va a depender principalmente del tipo de material semiconductor. Cuando un diodo semiconductor se polariza directamente, los huecos de la zona p se mueven hacia la zona n y los electrones de la zona n hacia la zona p; ambos desplazamientos de cargas constituyen la corriente que circula por el diodo.

La luz generada en un LED es liberada de átomos, esta luz es compuesta de pequeños paquetes de energía sin masa llamados fotones que son la unidad básica de luz. En un átomo los electrones se mueven en orbitales alrededor del núcleo, estos electrones tienen diferente cantidad de energía dependiendo del orbital en el que se encuentren, entre más alejado del núcleo mayor es la cantidad de energía. Estos electrones pueden cambiar de orbital, si un electrón salta de un orbital menor a uno mayor necesita una excitación (energía

externa), en cambio si un electrón va de un orbital mayor a uno menor libera energía en forma de fotón.

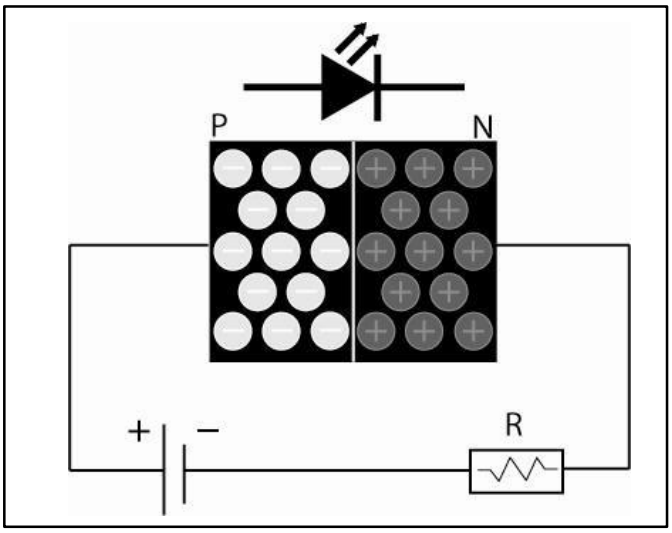


Figura 4Representacuin de un diodo unión P-N

La luz generada en un LED es liberada de átomos, esta luz es compuesta de pequeños paquetes de energía sin masa llamados fotones que son la unidad básica de luz. En un átomo los electrones se mueven en orbitales alrededor del núcleo, estos electrones tienen diferente cantidad de energía dependiendo del orbital en el que se encuentren, entre más alejado del núcleo mayor es la cantidad de energía. Estos electrones pueden cambiar de orbital, si un electrón salta de un orbital menor a uno mayor necesita una excitación (energía externa), en cambio sí un electrón va de un orbital mayor a uno menor libera energía en forma de fotón. (Mosqueda, 2008)

Los electrones libres pueden caer en espacios del material P, cuando esto sucede los electrones caen a un orbital menor por lo tanto liberan energía, liberan fotones. Esto sucede en cualquier diodo, pero solo se puede ver la luz cuando el diodo está compuesto de ciertos materiales. Los diodos de silicio están construidos de tal manera que los electrones liberan poca cantidad de energía y generan fotones de baja frecuencia correspondientes a los rayos infrarrojos, invisibles para el ojo humano. Los LED's que emiten luz visible al ojo humano están hechos con otros materiales. Por ejemplo, los primeros LED's que se fabricaron fueron de color rojo, el material usado es arseniuro de galio-aluminio (AlGaAs). LED's azules están hechos con nitruro de galio-indio (InGaNi) y LED's verdes hechos con fosfuro de galio-aluminio (AlGaP). Los LED's de tonalidad blanca se crean al combinar combinar luz roja verde y azul (RGB) o también poniendo una capa fluorescente amarillenta a LED's azules.

Se deben conocer dos especificaciones eléctricas.

- Forward Voltaje (VF): La tensión en polaridad directa de trabajo del LED y variará en función del color, de la intensidad luminosa, se miden el volts.
- Forward Currente (IF): es la intensidad circula de la corriente que circula por el LED. Se mide en mili Ampere.

Tabla 4 Consumo de corriente y voltaje dependiendo del color

LED	VF [V]	IF [A]
Rojo std	1.5	0.015
Verde std	1.8	0.015
Amarillo std	1.8	0.015
Blnco	2.8	0.02
Amarillo brillante	2	0.02
Verde brillante	3	0.02
Azul brillante	3	0.02
Rojo brillante	2	0.02

La dirección en que los fotones son liberados es aleatoria, además de que el propio material absorbe algunos de estos fotones, por esta razón es necesario concentrar los fotones para poder iluminar y esto se logra encapsulando el diodo en un material plástico transparente especialmente construido para dirigir los fotones en una determinada dirección. Hay diferentes tipos de encapsulado que cubren al LED con el propósito de manipular la luz que emiten, existe el encapsulado transparente utilizado en LED's de alta potencia con el fin de que esta cubierta no absorba la luz generada por el LED. El encapsulado coloreado es similar al anterior pero con tonalidad, se usa en LED's indicadores o donde sea necesario identificar el color del LED aunque esté apagado. Los LED's de encapsulado difuso son también de tonalidad y tienen la característica de esparcir la luz del LED, lo que implica una menor iluminación pero más expandida. Los LED'smilky son difusos sin tonalidad, es decir blancos, especialmente diseñado para LED's multicolores.

Componentes de un LED

Existen numerosos encapsulados disponibles para los LED y su cantidad se incrementa año con año a medida que sus aplicaciones se hacen más específicas.

Las partes constitutivas de un LED se puede observar en la figura 7, la cual representa tal vez el encapsulado más popular de éstos, el de 5 mm de diámetro.

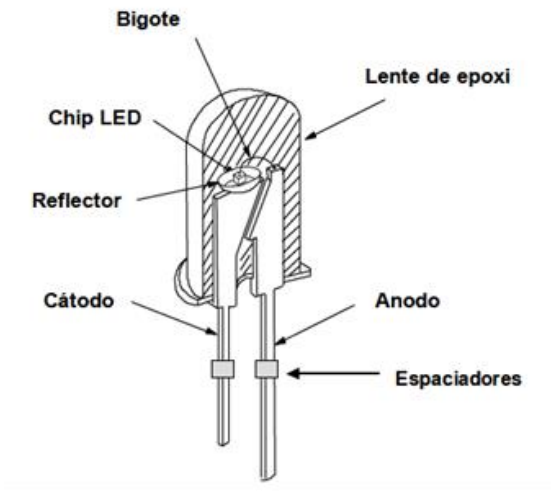


Figura 5Componentes de un LED

El LED viene provisto de dos terminales que se extienden por debajo su capsula e indica cómo deben ser conectados al circuito. En el esquema podemos observar que la parte interna de la terminal del cátodo es más grande que la del ánodo, esto se debe a que el cátodo está encargado de sujetar al sustrato de silicio, por lo tanto será este terminal el encargado de disipar el calor generado hacia el exterior, ya que el terminal del ánodo se conecta al chip por un delgado hilo de oro, el cual prácticamente no conduce calor.

La parte más importante del LED es el chip semiconductor localizado en el centro del foco. El chip tiene dos regiones separadas por una juntura. La región P está dominada por las cargas positivas y la N por las negativas. La juntura actúa como una barrera al paso de los electrones entre la P y la N; solo cuando se aplica el voltaje suficiente al chip puede pasar la corriente y entonces los electrones pueden cruzar la juntura hacia la región P.

El terminal que sostiene el chip posee una forma parabólica o su aproximación semicircular, este es un punto muy crítico en la fabricación y concepción del LED ya que un mal enfoque puede ocasionar una pérdida considerable de energía o una proyección dispareja.

Un LED bien enfocado debe proyectar un brillo parejo cuando se proyecta sobre una superficie plana. Un LED con enfoque defectuoso se puede identificar porque proyecta formas que son copia del sustrato y a veces se puede observar un aro más brillante en el exterior de círculo, síntoma seguro de que la posición del sustrato se encuentra debajo del centro focal del espejo terminal.

Dentro de las características ópticas del LED aparte de su luminosidad esta la del ángulo de visión, se define generalmente el ángulo de visión como el desplazamiento angular desde la perpendicular donde la potencia de emisión disminuye a la mitad. Según la aplicación que se le dará al LED se necesitara distintos ángulos de visión así son típicos LED con 15, 30, 45, 60 y hasta 90 grados de visión. Generalmente el ángulo de visión está determinado por el radio de curvatura del reflector del LED y principalmente por el radio de curvatura del encapsulado. Por supuesto mientras más chico sea el ángulo y a igual chip semiconductor se tendrá una mayor potencia de emisión y viceversa (Calderon, 2011).

Tipos de LED

LED de alta potencia

Son diseños que incluyen diversas alternativas de óptica de control del flujo luminoso y se fabrican en potencias mayores de 1 W, este tipo de LED´s se utilizan pricipalmente en aplicaciones arquitectónicas de iluminación en exteriores e iluminación para calle, permitiendo tener mas posibilidad de diseño y efectos de color (SiLed, 2015).

Características:

- Vida promedio de 50,000 horas.
- Flujo luminoso de 55 lúmenes.
- Ángulo de apertura del haz luminoso de 120° sin óptica secundaria.
- Mantenimiento del flujo luminoso de 75%.
- Voltaje de operación de 3-4 Volts de corriente directa.
- Corriente de operación de 350 mA.
- Colores blanco, azul y verde fabricados de Nitruro de Galio e Indio (InGaN).

Colores ámbar y rojo fabricados de Fosfuro de Galio, Indio y Aluminio (AlIGaP).

LED de baja potencia

LED que sirve para indicar algo y vienen en diferentes tamaños 3 mm, 5 mm 10 mm y gigantes de hasta 20 mm Y con diferentes corrientes que oscilan desde 1 mA a mas de 20 mA. La escalaestablece un límite superior en el consumo de energía debido al calor causadopor la alta densidad de corriente y la necesidad de un disipador (Calderon, 2011).

Características

- Vida promedio 100 000 horas
- Voltaje de operación 2 a 5 Volts
- Corriente de operación 250 mA
- Distintos colores
- Precio bajo.

2.5. Materiales

Polímeros

Un polímero es una molécula constituida por la repetición de pequeñas unidades químicas simples llamados “monómeros”. El número de unidades d monómeros que constituye una cadena polimérica es conocido como el grado de polimerización. En algunos casos la repetición es lineal, de forma semejante a como una cadena la forman sus eslabones otros casos las cadenas son ramificadas o interconectadas formando retículos tridimensionales (Fred W. Billmeyer, 1962).

Los polímeros sintéticos son obtenidos por reacciones de polimerización. Las cuales trasforman simples moléculas de tamaño pequeño, llamados monómeros, en una unión covalente de carias unidades monomericas.

Polimerización

Nuevos polímeros se obtienen mediante la modificación química de polímeros existentes o a través de polimerización de simples moléculas. Existen dos tipos de tipos de categorías de polimerización:

Polimerización de condensación o de reacción por etapas

Es la formación de polímeros por medio de reacciones químicas intermoleculares que implican mas de una especie monomérica y normalmente se origina una subproducto de bajo peso molecular, como el agua. Se repite sucesivamente y en algunos casos de produce una molécula lineal. El tipo de la reacción generalmente es mayor que la de adición.

- Polimerización de adición o de reacción en cadena

Si la molécula entera de monómero pasa formar parte del polímero es una reacción por adición, por lo tanto no genera residuos. Presentan reacciones de iniciación, propagación y terminación. La iniciación de la reacción puede ser inducida por calor, por agentes químicos o por radiación.

Espuma polimerica flexible

La fabricación de la espuma de polímero flexible se hace por la expansión controlada y la solidificación de un líquido a través de agentes de soplado (agentes físicos, químicos o mecánicos). Pueden ser suaves o dóciles para relleno de cojines, colchones y para ropa acolchonada. Las espumas flexibles se caracterizan para amortiguar en el caso de las células cerradas y de células abiertas se caracterizan por absorberlíquidos y actúan como esponjas.

Las propiedades de las espumas dependen del material que están hechas y de la densidad relativa, la mayoría de los elastómeros se puede espumar. En menor medida también dependen del tamaño y forma de las células.

Una de sus propiedades mecánicas más importantes son es su módulo de elasticidad que esta entre 0.001 y 0.003 GPa, esto se refleja al momento de la compresión del material, se compacta demasiado pero vuelvea su forma nuevamente, de tal forma que funciona como un resorte. Posee una densidad entre 16 a 35kg/m^3 que es una baja densidad, funciona como aislante térmico. el Material combinado con otros materiales, resulta muy efectivo para disminuir la transmisión de sonidos y para amortiguar vibraciones y eliminar resonancias..

Es un material con poca durabilidad ya que los factores como el agua y el sol afectan directamente al material de tal forma que se desintegren y pierdan su calidad de apoyo. En caso de ser quemado, emite humo toxico que producen gases de efecto invernadero que tienen efectos negativos sobre el medio ambiente.

Existen dos tipos de polímeros flexibles de espuma. De baja densidad y de muy baja densidad. Las ventajas y desventajas son las mismas, pero las aplicaciones pueden cambiar dependiendo que propiedades mecánicas como química requiera la aplicación . Un claro ejemplo es en los colchones, cuando se quiere un colchón muy suave, se utiliza un polímero de muy baja densidad, pero la desventaja a comparación del de baja densidad es que se hundirá más el cuerpo en un colchón con este tipo de material. Las propiedades mecánicas de los dos tipos de espumas son los siguientes. (Tabla 3, Tabla 4)

Tabla 5 Propiedades mecánicas de muy baja densidad

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo de Young	2.5e-4 - 0.001	GPa
Módulo de elasticidad trasversal	1e-4 -5e-4	GPa
Módulo de compresibilidad	2.5e-4-0.001	GPa
Coeficiente de Poisson	0.23-0.3	
Límite elástico	0.01-0.12	MPa
Tensión de rotura	0.24-0.85	MPa
Esfuerzo de compresión	0.01 -0.12	MPa

Tabla 6 Propiedades mecánicas de baja densidad

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo de Young	0.001-0.003	GPa
Módulo de elasticidad trasversal	4e-4 -0.002	GPa
Módulo de compresibilidad	0.001-0.003	GPa
Coeficiente de Poisson	0.23-0.33	
Límite elástico	0.02-0.3	MPa
Tensión de rotura	0.24-2.35	MPa
Esfuerzo de compresión	0.02 -0.3	MPa

Caucho sintético

El caucho butilo se crea mediante la unión de polímeros diferentes en la misma cadena. El elemento primario de la cadena es isobutileno, al que se añade una cantidad menor de isopreno. Para llevar a cabo esta fusión, el isobutileno es refrigerado a -100 grados Celsius diluido con cloruro de metilo. Entonces el isopreno equivalente a aproximadamente 2% de la mezcla total se añade junto con algo de cloruro de aluminio, causando una reacción que une los dos polímeros en una sola cadena. El caucho butilo es tanfuerte como el caucho natural, pero más durable.

El caucho ha llegado a dominar el mercado en la producción de revestimientos interiores para neumáticos. También se utiliza para reemplazar el caucho natural en otros casos como mangueras, tapones farmacéuticos y selladores de todo tipo. La durabilidad y la resistencia a la intemperie son los factores primarios en su superioridad al caucho natural.(Aislamientos y Estanqueidad Erica, 2015)

Alguns características son:

- Excelente resistencia a la intemperie, oxidación, ozono y al calor.
- Muy baja resiliencia, lo que proporciona una elevada capacidad de amortiguación de impactos o vibraciones no sostenidas.
- Baja permeabilidad al aire y gases en general.
- Excelente en contacto con grasas y aceites vegetales y animales.
- Campo de temperaturas: entre -45°C y 130°C, e incluso mayores, con formulaciones adecuadas.
- Resistente a la mayoría de los productos químicos inorgánicos, ácidos minerales y álcalis.
- Limitada resistencia a los productos químicos oxidantes.

Propiedades mecánicas. Tabla 5

Tabla 7 Propiedades mecánicas del caucho sintético

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo de Young	0.0014 - 0.004	GPa
Módulo de elasticidad trasversal	4e-4 - 6e-4	GPa
Módulo de compresibilidad	1.45-1.55	GPa
Coeficiente de Poisson	0.499-0.5	
Límite elástico	20 -25	MPa
Tensión de rotura	20-25	MPa
Efuerzo de compresión	23-25	MPa

2.6. Ashby

Este método de selección de materiales fue desarrollado por M.F. Ashby en 1992 y radica principalmente en la optimización del proceso de diseño, basándose en la selección más apropiada de material para la aplicación establecida.

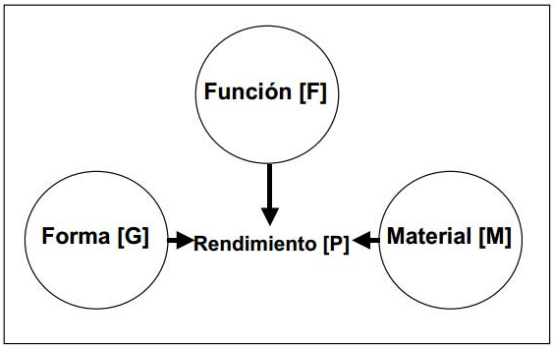


Figura 6 Mitología Ashby para el optimizar la base de diseño

Según esta metodología, existe un parámetro de rendimiento P que puede permitir la optimización del proceso de diseño de un componente dado. Dicho parámetro o índice de rendimiento depende de la forma del componente, de la función y las exigencias físicas a las cuales se encuentre sometido y del material del cual se encuentre constituido. Esta función se expresa bajo la siguiente notación:

$$P(rendimiento) = f\{[F],[G],[M]\}$$

Separados cada uno de los índices de forma independiente se obtiene:

$$P = f_1[F]\, f_2[G]\, f_3[M]$$

La metodología Ashby busca optimizar el índice de rendimiento en el proceso de diseño desde el punto de vista de la selección más adecuada para el material y según las restricciones dadas por la función que va a ejercer el componente y por la configuración geométrica del mismo. Para mejorar el índice de rendimiento se busca minimizar la

expresión que representa el índice del material, manteniendo los demás índices constantes. Una vez se ha identificado el índice de material se procede a realizar la selección mediante las cartas de selección de materiales Ashby. A través de dichas cartas se puede seleccionar los materiales con base en las propiedades más relevantes identificadas en el índice del material, orientando la selección al material cuya combinación de propiedades otorgue el más bajo índice de selección (Beltran, 2002).

3. Objetivo

Hoy en día el ahorro de energía eléctrica es un tema importante ya que la masa de la población crece día con día y con ello crece la demanda de la producción y consumo de energía. El problema de la demanda acelerada de la generación de energía eléctrica está obligando a aumentar la explotación y la generación de energía eléctrica de forma poco sustentable, como la quema de hidrocarburos los cuales incrementan los índices de contaminantes en el aire.

Por otra parte, el costo anual de alumbrado público ha aumentado considerablemente por la gran demanda que se tiene. Sólo en la Ciudad de México, al año, se tiene que pagar más de 1300 mdp, esto es porque la tecnología que es utilizada es deficiente y costosa. Un caso en particular de esta tecnología son los postes de luz que iluminan las vías públicas, los cuales tienen un consumo de 3 510 000 (watts/hora) y 12 285 pesos cada día (Calvo Peña, 2015).

Las luminarias en las zonas públicas en ocasiones permanecen prendidas a pesar de que se use o no, esto genera un costo innecesario que se puede evitar con nuevas tecnologías, por otro lado, existen zonas donde el alumbrado es deficiente o no existe.

Tal es el caso del bosque de Tlalpan, en el horario matutino los corredores están expuestos a caídas debido a la poca iluminación que hay presente en dicho lugar, es necesario evitar que los corredores estén expuestos a caídas en el horario matutino, esta vicisitud podría solucionarse instalando infraestructura en la iluminación del camino de la ruta de los corredores, sin embargo, esta medida afectaría el ambiente natural del bosque ya que la instalación de la luminaria modificaría el paisaje y la fauna del lugar por otra parte, es posible encontrar otra solución como pintar la pista para poder hacer más vistoso el camino a seguir, pero esto afectaría nuevamente el paisaje natural del bosque.

Se requiere crear e implementar nuevas formas de generación de energía limpia para poder disminuir la cantidad de gases tóxicos y partículas suspendidas que degeneran y dañan la calidad de vida de los habitantes de las ciudades, pero al mismo tiempo satisfacer la demanda.

Se necesita un dispositivo que ilumine el camino, que sea activado cuando el usuario lo requiera y que no se conecte o use la red eléctrica y no distorsione el paisaje.

Solución

Diseña y fabricar un dispositivo para iluminar las pista del bosque de Tlalpan, al momento de correr.

Por lo tanto se propone que el objetivo del presente trabajo sea el diseñar y manufacturar una baldosa que genere energía eléctrica que podrá ser utilizada para encender una lámpra de LEDs con ayuda de sensores piezoeléctricos

El presente trabajo presenta una forma nueva para aprovechar la energía generada por el efecto mecánico que resulta de una actividad física como lo es correr y caminar, para poder aplicar dicha energía generada en una baldosa que estará conformada con sensores que detectarán la energía generada por una pisada y con ayuda del efecto piezoeléctrico se

provocará una diferencia de potencial que podrá ser utilizado para encender una lámpara con LEDs que alumbrará la pista principal.

4. Desarrollo

4.1. Necesidad

Se necesita un dispositivo que ilumine el camino, que sea activado cuando el usuario lo requiera y que no se conecte o use la red eléctrica y no distorsione el paisaje.

Solución

4.2. Requerimientos y especificaciones

La baldosa debe ser un dispositivo que en comparación con otras tecnologías actuales, cumpla ciertos rubros para comodidad de los usuarios. Hoy en día se define como energías verdes a todas aquellas energías generadas a partir de alguna fuente de energía primaria respetuosa con el medio ambiente, esto involucra, a todos aquellos materiales y procedimientos que están presentes en la realización del dispositivo, es por eso que en el diseño de la ésta baldosa se procuró que dentro de las especificaciones y los requerimientos estuviesen implícitos los puntos importantes para lograr que la baldosa cumpliera con las necesidades requeridas y que además tuviera un valor agregado cuidando cada uno de los aspectos y elementos que la componen y así poder juntar una nueva tecnología que fuera amigable con el ambiente.

Cada uno de los requerimientos y las especificaciones están propuestos conforme a las necesidades de las personas que usaran la baldosa, como lo son la persona encargada de montar la baldosa, los corredores del centro de Tlalpan y la persona a cargo de montar la baldosa en su lugar de destino. A continuación se da un listado, con cada uno de los requerimientos y especificaciones con los que deberá cumplir el diseño y la fabricación de la baldosa.

1. Iluminación

Debido a que los corredores del centro de Tlalpan están expuestos a caídas en un horario matutino (5 am – 9 am), para que los corredores puedan realizar sus actividades es necesario que la luz (característica ambiental) y la visión (característica personal) se complementen, ya que se considera que el 50% de la información sensorial que recibe el hombre es de tipo visual, es decir, tiene como origen primario la luz. Un tratamiento adecuado del ambiente visual permite incidir en los aspectos como seguridad y confort. Lo valores mínimos de iluminación artificial quedan registrados en la O.G.S.H.T el 9 de marzo de 1971 y se muestra en la tabla 8.

Tabla 8 Tipo de iluminación

Nivel iluminación en LUX	Tipo de trabajo
1000 LUX	Joyería y relojería, imprenta
500 a 1000 LUX	Ebanista
300 LUX	Oficina, bancos de taller
200 LUX	Industria conserveras, carpinterías metálicas
100 LUX	Sala de máquinas y calderas depósitos y almacenes
50 LUX	Manipulación de mercancías
20 LUX	Patios galerías y lugares de paso

El valor ideal para la iluminación de la pista principal del bosque de Tlalpan sería de 20 LUX, aproximadamente 9 Lumens.

2. Generación de energía eléctrica

Se requiere un dispositivo que genere entre 5 y 10 [V] el cual puede funcionar con los sensores y lograr el objetivo de alcanzar 20 LUX necesarios para una correcta iluminación por parte de la baldosa.

3. Ligera

En general en México un hombre que no realiza algún entrenamiento muscular es capaz de levantar el 60% de su peso corporal, para una mujer que tampoco realiza ningún entrenamiento debería ser capaz de levantar aproximadamente el 47.5% de su peso corporal, considerando que ambos se encuentran en una edad adulta no avanzada.

"El peso promedio de mujeres entre los 18 y 25 años es de 62.90 kg, y en los hombres de 70.43 kg; de los 40 a 50 años el promedio de peso en las mujeres incrementa a 72.15 kg, y en los hombres a 77.30 kg."[1]

Por lo que se propone un peso de la baldosa de 5 [kg], para que cualquier persona, no importando su condición física tenga acceso directo y fácil con la baldosa, que no represente problema alguno el montar la baldosa en cualquier parte del bosque y que no sea una carga para la persona encargada de esta labor.

4. Fácil instalación y fácil mantenimiento

Esta función está más dirigida hacia las personas que estarán a cargo del mantenimiento de la baldosa dentro del bosque, ya que se busca que sea una energía verde se pretende eliminar casi en su totalidad la complejidad que conlleva la instalación de cualquier elemento tecnológico actual, lo ideal sería que la persona encargada fuera capaz de montar y desmontar la baldosa de una manera sencilla sin la intervención de herramientas complejas o maquinaria y que esto no consuma más del tiempo estimado para el mantenimiento de la baldosa por parte del operador de la baldosa, esto con el fin de que no sea necesaria la visita de algún ingeniero a cargo de la baldosa, lo que le restaría costos de mantenimiento. Así garantizamos que cualquier persona con muchos o escasos conocimientos en electrónica pueda ser capaz de instalar la baldosa (vestido, 2012).

5. Compacta

Una baldosa comercial en promedio tiene unas medidas de 40x40 cm^2 por lo que si se quiere que el mantenimiento y la instalación de la baldosa sea un procedimiento fácil y que también el traslado de la baldosa no sea complicado se propone que el tamaño de la baldosa sea del mismo tamaño que una baldosa de loseta común 40 x 40 cm^2.

6. Bajo costo

Se desea que la baldosa esté disponible para usuarios del centro de Tlalpan por lo que, en su fase de prueba se espera que el costo de fabricación esté muy por debajo de la baldosa comercial existente, como ya se mencionó, es necesario que la baldosa no altere el entorno visual del centro de Tlalpan así que los materiales deberán ser fáciles de conseguir, maquinar y si es posible "amigables con el ambiente". Po lo que se calcula que el precio de la baldosa sea de $1500, incluyendo el diseño, la manufactura y los materiales.

Tabla 9 Especificaciones y requerimientos

Requerimientos	Especificaciones
Iluminación	2800-4200 mcd con un ángulo de 100° 9 [Lumens]
Generación energía eléctrica	10 [v] por cada pisada
Ligera	2 [Kg]
Resistente	90 [kg]
Fácil mantenimiento	Tiempo y componentes*
Compacta	40 x 40 cm^2
Bajo Costo	$1000

4.3. Búsqueda de información comercial y académica

Tecnología Pavegen

Baldosas generadoras de energía fabricadas por Pavegen Systems, una empresa inglesa lanzada en 2009 por Laurence Kemball-Cook. La baldosa de 45x60 [cm], se hunde 5 [mm] en el suelo y genera 8 Whats fueron diseñadas especialmente para zonas en donde se concentra mucha gente, como estaciones de tren, de metro, de autobús, aeropuertos, colegios y centros comerciales. Kemball-Cook considera la tecnología de Pavegen información protegida, por lo que no revela si las baldosas se basan en piezoelectricidad ni describe con detalle su funcionamiento. Afirma que se trata de tecnología híbrida y que «no hay nada igual en el mercado». Por eso mismo declara que sus baldosas son 200 veces más eficientes que cualquier otro producto rival. (National Geographic, 2015)

En la figura 7 se muestra el diseño de ***Pavegen title***:

Figura 7 Pavegen title

Funcionalidades de la baldosa Pavegen:

- Datos inalámbricos — Aplicación que ofrece la compañía para poder mostrar el seguimiento de la generación de energía, del movimiento peatonal, de las pisadas y otros datos en tiempo real.
- Personalización — Gama de colores y texturas variadas, para que se adecue al lugar donde serán instaladas.
- Durabilidad — Soporta 20 millones de huellas y condiciones climáticas extremas.
- Ensamble — Cada baldosa puede conectarse en cadena a la siguiente, todo el cableado corre a través de los propios azulejos.
- Almacenamiento — La baldosa aprovecha la energía generada de las pisadas y la utiliza directamente o la almacena para su uso posterior.
- Materiales — El material superior de las baldosas utiliza materiales 100% reciclados como caucho y neumáticos.

Desventajas:

- El precio — Debido a su diseño exclusivo, poco se sabe acerca del posible precio de cada baldosa. El precio varía según el tamaño del proyecto y el lugar en donde será instalado, también hay que considerar el precio que generará el ,mantenimiento de cada baldosa

- Instalación — La empresa es encargada de la instalación total de cada una de las baldosas, el cliente no podrá ser parte de este procedimiento.
- Mantenimiento — Debido al diseño secreto industrial con el que se maneja la fabricación de cada baldosa, todo el mantenimiento corre a cargo por parte de la empresa.
- Poco atractivo visual — No incita a los usuarios a querer pisarla, ya que tiene un diseño demasiado común, las personas no podrían diferenciar entre el una baldosa común y la baldosa de Pavegen, siendo esto un problema ya que la baldosa presenta una hendidura sobre el piso de 5mm, podría causar una desestabilización en los transeúntes que circular por el lugar en donde están instaladas las baldosas

Tope de generación de energía eléctrica

Es un proyecto ecológico que transforma en electricidad la energía que es generada por los vehículos al momento de pasar por un tope. Con el paso de 50 automóviles el tope genera 12 [Kilowatts].

El dispositivo trabaja en dos modalidades:

- La cogeneración — Se necesita que el vehículo pase por encima del tope para que unos muelles inyecten aire en un tanque y de ahí a un generador que se conecta a la línea de CFE.
- Generación in situ — El aire acumulado durante el día con el paso de los vehículos se acumula en un tanque y se pueda ocupar cuando se necesite, descargando el aire almacenado.

Desventajas:

- Generación de energía — Al necesitar de vehículos para poder generar energía ya no es un método de generación de energía totalmente limpia, ya que los vehículos necesitas de hidrocarburos lo que significa emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

• Amigable con el ambiente	Ya que se necesita el peso promedio de un vehículo (850 kg un auto sedan hasta 2000 km automóviles menos compactos) se vuelve totalmente dependiente del paso de vehículos, lo que obliga el uso de este medio de transporte poco amigable con el ambiente.
• Espacio de almacenamiento	El espacio para poder almacenar el aire generado se podría volver un problema ya que se necesitan espacios grandes y en una ciudad como lo es la Ciudad de México es muy difícil conseguir dichos espacios.

Un tope generador de energía eléctrica, fabricaron estudiantes universitarios de Nuevo Laredo, Tamaulipas, quienes con el peso de un automóvil generarán energía mecánica para luego convertirla en eléctrica misma que será almacenada en baterías de los vehículos.

Los jóvenes de la carrera de ingeniería mecatrónica del Instituto Tecnológico realizaron este proyecto con la finalidad de apoyar con electricidad a escuelas y hospitales.

Este proyecto tiene contemplado ayudar a las escuelas y hospitales, las cuales en ocasiones no tienes los recursos suficientes para pagar la luz.

Los topes generadores de energía eléctrica serán instalados en las calles de esta frontera y cuando los automóviles circulen sobre este tope. . Al momento que el automóvil pase sobre el tope, este se flexionará de manera vertical el cual producirá energía mecánica y por medio de transmisiones y engranes, las cuales están conectadas a un generador, se transformará la energía mecánica a eléctrica y se almacenará en baterías”

Se puede ver en la figura 8 una maqueta el proyecto el cual usa una batería de vehículo, pistones, un capacitador, un transformador y una cadena de bicicleta que funciona como engrane (Cruz, 2011).

Figura 8 Maqueta de tope generador de energía

Topes que producen energia limpia

Estudiantes de la Universidad Tecnológica de México desarrollaron un proyecto ecológico llamado TOPE, que transforma en electricidad la energía que los vehículos crean cuando pasan por un reductor de velocidad.

Jéssica López y Sergio Arellano, estudiantes de negocios internacionales e ingeniería mecánica, respectivamente, señalaron que el proyecto es rentable económicamente para zonas urbanas o negocios y fábricas donde hay tránsito vehicular considerable.

Para generar 12 kilowatts, energía suficiente para encender 200 focos de 60 watts durante 60 minutos, el sistema requiere un flujo de apenas 50 automóviles por hora.

Con el proyecto los jóvenes ganaron el primer lugar del Premio Global al Emprendimiento James McGuire 2013, organizado por Laureate International Universities, una red global de universidades particulares a la que pertenecen 76 instituciones de 27 países,

El dispositivo trabaja en dos modalidades, la cogeneración y la generación in situ., Figura 8. En la primera solo se necesita que un auto pase por encima del tope para que unos muelles inyecten aire en un tanque y de ahí a un generador que se conecta a la línea de CFE.

En lugar de que el medidor avance hacia adelante, se va hacia atrás, lo que se ve reflejado en la reducción del pago. Para ese sistema es necesario darse de alta en la Comisión Reguladora de Energía como proyecto de cogeneración y señalar que se va a “vender luz.

La generación in situ consiste en que el aire acumulado durante el día con el paso de los autos se acumule en un tanque y se pueda ocupar cuando se necesite, es entonces que el dispositivo descarga el aire almacenado. Ese sistema se puede utilizar para iluminar salones, parques o avenidas. Para que el dispositivo genere energía eléctrica debe existir un flujo mínimo de 12 autos que pasen por encima del tope (Rodriguez, 2013).

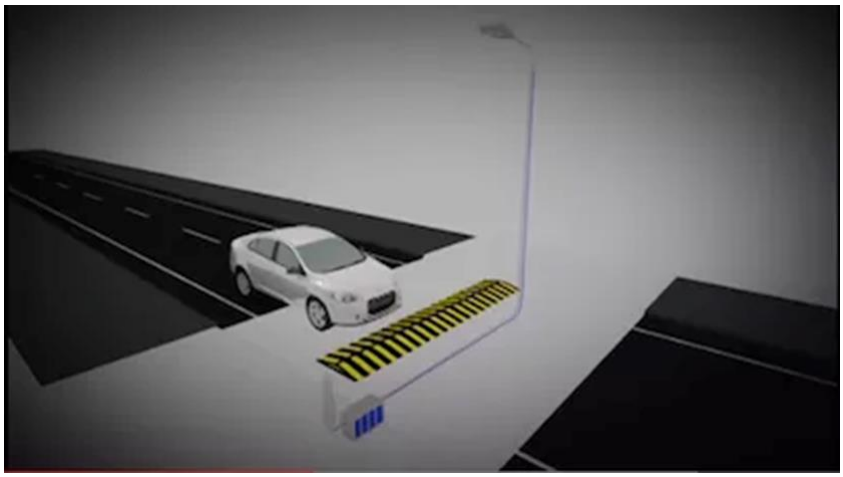


Figura 9 Animación de tope insitu

Gimnasio generador de energía

Son principalmente un tipo de negocios pequeños, son lugares donde principalmente se apuesta por la sostenibilidad y disminuir la huella de carbono que generan los seres humanos a lo largo de su vida. A diario la gente utiliza estos centros de fitness para ejercitarse y tener una mejor calidad de vida. En cada uno de estos lugares la cantidad de energía mecánica que se genera debido a la energía humana provocada por el movimiento repetitivo de las personas que acuden a los gimnasios es desperdicia de forma significativa.

En el 2007 se planteó una idea interesante que proponía producir electricidad a través del ejercicio físico generado por todas las personas que asisten al gimnasio e inyectar la energía generada a la red eléctrica.

Ventajas:

- El hacer ejercicio es una actividad rutinaria, lo que facilitaría la generación de energía, ya que la gente no estaría obligada a ir a los gimnasios.
- Se pueden instalar gimnasios al aire libre, lo que reduciría la inversión de los usuarios al no poder asistir a lugares especiales para poder ejercitarse, al ser gratis la gente se sentiría motivada para asistir.
- La generación de energía será proporcional a la cantidad de repeticiones que las personas realicen.

Desventajas:

- No todas las personas sienten la necesidad de hacer alguna actividad física.
- Ir a un centro deportivo o gimnasio resulta ser caro.
- Si el gimnasio está al aire libre, los dispositivos necesitarán un mantenimiento extra lo que significa costos extras para mantener los aparatos en buen estado, ya que la gente no suele cuidar lo que no le pertenece.
- Se necesitará que las personas hagan muchas repeticiones para poder generar la cantidad de energía suficiente, lo que descarta cierto rango de edades dentro de la

población, por lo que quedaría totalmente limitado a las personas Joven-adultas en un rango de 15 a 60 años aproximadamente.

- No todas las personas pueden realizar actividades físicas lo que disminuye la cantidad de personas que podrían ser arte de la generación de energía limpia por este medio. Aparatos principales instalados que generan energía:

1. Bicicletas
2. Elípticas
3. Fijas
4. Aparatos mecánicos

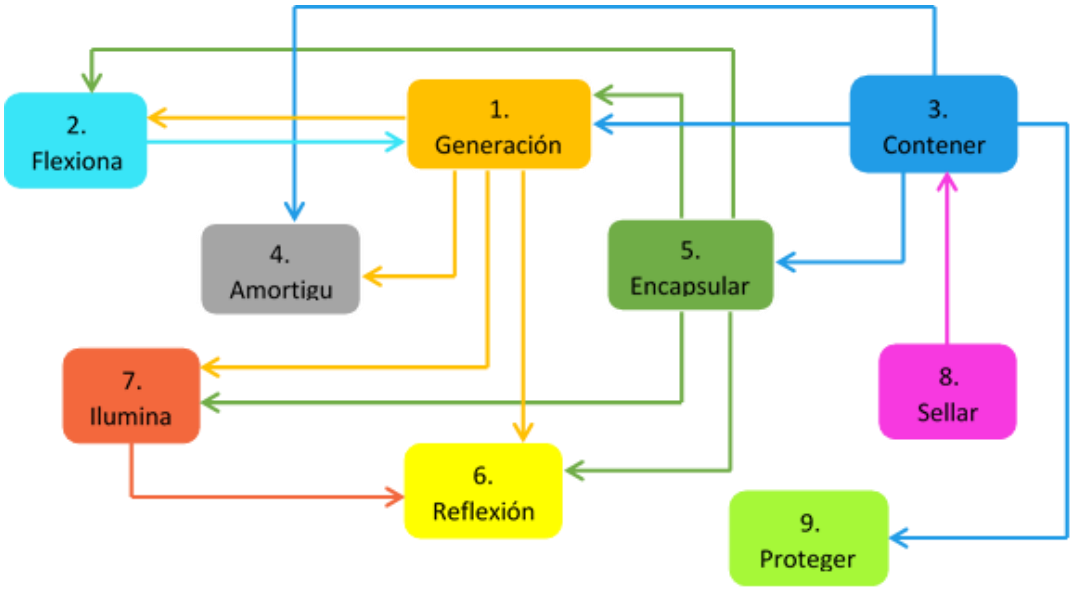
Cada aparato puede producir entre 50 [w] y 40 [w] de energía limpia. (Microgym, 2015)

4.4. Diseño conceptual

Con base en los requerimientos y las especificaciones se plantearon las siguientes funciones, que ayudarán a clasificar con mayor facilidad el tipo de material y los dispositivos que serán ocupados para cumplir las necesidades.

Funciones

1. Generación de energía
2. Flexionar
3. Contener
4. Amortiguar
5. Encapsular
6. Amplificación de la intensidad por reflexión de haz de luz (Cono)
7. Iluminar
8. Sellar
9. Proteger



4.5. Lluvia de ideas

Inducción electromagnética

- La inducción electromagnética consiste en obtener energía eléctrica a partir de variaciones de flujo magnético. Cuando circula una corriente eléctrica por un conductor se crea un campo magnético. Michael Faraday pensaba que se podría producir el proceso inverso, es decir, que un campo magnético produzca una corriente eléctrica y por lo tanto una diferencia de potencial. En 1831, descubre y publica la Ley de Inducción Electromagnética que se puede resumir en que a partir de campos magnéticos y en consecuencia corrientes eléctricas.

Imanes de neodimio y bobina con cable de cobre 1 [mm]

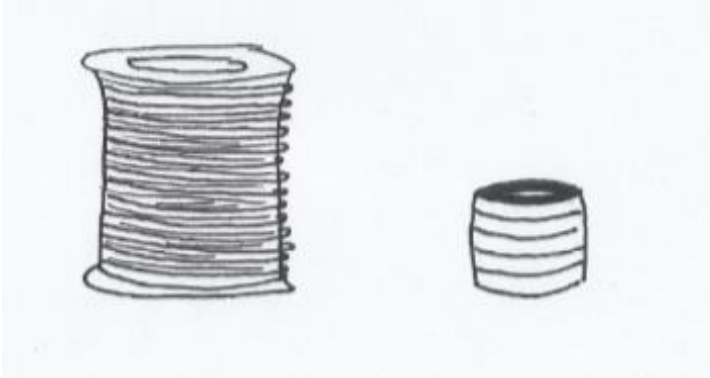


Figura 10 Bobina e imán neodimio

Bobina e imanes de neodimio

- Se pensó utilizar el fenómeno de inducción electromagnética, utilizando un imán y haciendo pasar una imane entre una bobina con cable de cobre, con ello se generaría un campo electromagnético que nos brindaría la suficiente energía para poder encender una serie de LEDs.

Se diseñó y se manufacturó un bobina de “N” nuero de vueltas y se hizo pasar por en medio de la bobina los imanes de neodimio.

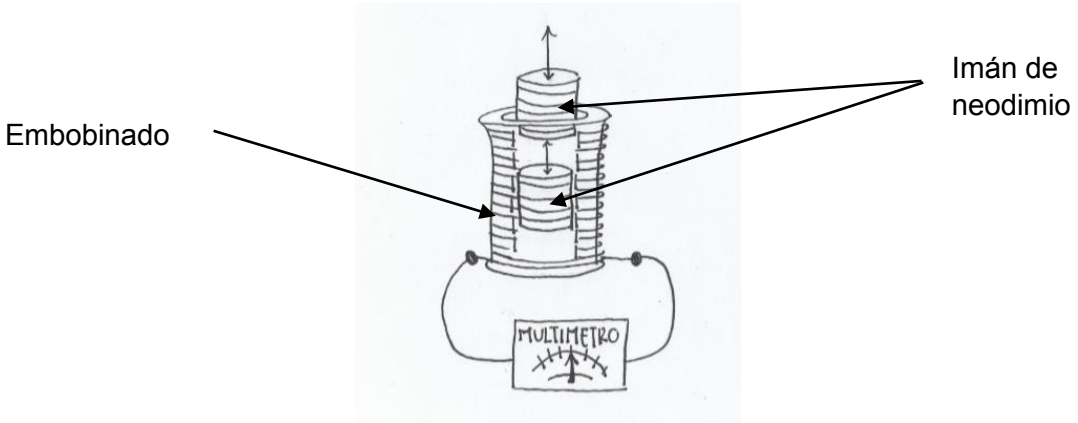


Figura 11 Imán atravesando embobinado

Haciendo un corte transversal imaginario sobre la bobina, se muestra cómo entra y sale el imán, esto generaba una corriente que fue medida con un multímetro. Se concluyó que entre más delgado el calibre del cable que se enrollaba en el carrete para fabricar la bobina, mayor era la corriente generada.

- También se proponía utilizar engranes, los cuales con un impulso generara una serie de oscilaciones y la energía guardada provocará un movimientos en los engranes para provocar un movimiento de oscilación en el cual estaría el imán y el embobinado.

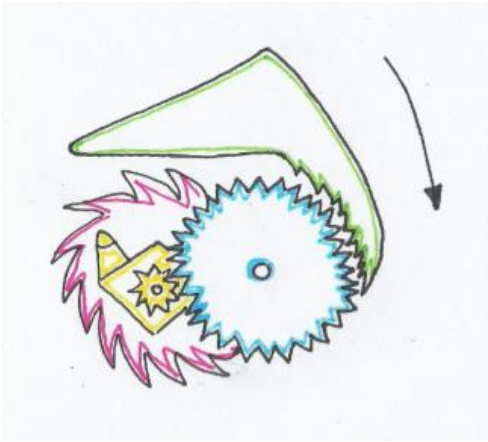


Figura 12 Mecanismo con engranes

Cada color representa un engrane diferente, por lo cual se necesitan cuatro engranes que encajaran de manera ideal para poder hacer un movimiento de oscilación del imán dentro

de la bobina. Los engranes son pequeños y no se tenían las herramientas suficientes para poder hacerlos, ya que se utilizaría las instalaciones de la facultad para poder realizar el proyecto Esta idea se descartó, por no tener los elementos suficientes para lograr el objetivo.

- Se propuso un mecanismo que lograra que el imán oscilara en la bobina ya que se tiene un desplazamiento de 5 [mm] en la baldosa por cada pisada, se pensó utilizar un material que al sufrir un primer movimiento quedará oscilando.

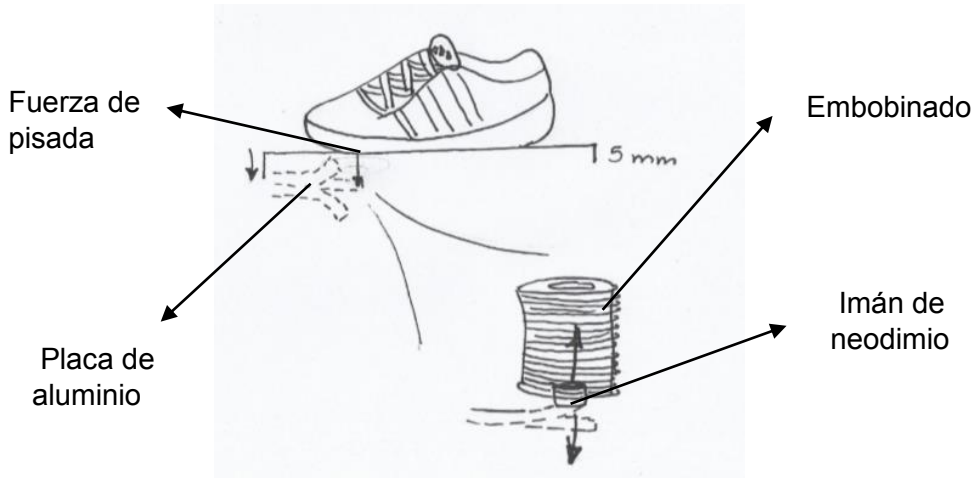


Figura 13 Mecanismo para oscilar imán

Se hizo la prueba con una placa de material aluminio. Como se muestran en las imágenes siguientes, al aplicar una fuerza horizontal sobre la placa que está en cantilever, ésta se mantendrá oscilando cierto tiempo hasta perder su oscilación.

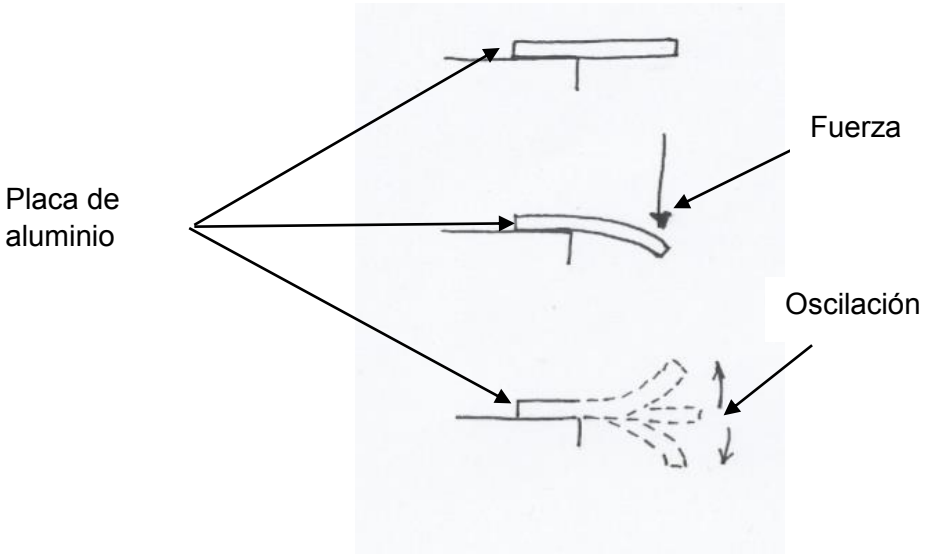


Figura 14 Efecto que tiene la fuerza aplicada sobre la placa

Lo complicado de este diseño era crear el mecanismo que con tan sólo 5 [mm] permitiera una oscilación constante del imán en la bobina.

4.6. Evaluación de ideas

Para evaluar las distintas ideas propuestas y los conceptos, su uso el método de matrices de decisiones, en el cual dependiendo de su puntaje más alto en distintos requerimientos y especificaciones, es el idóneo para realizar.

Tabla 10 Tabla de decisiones iluminación

Requerimiento Especificación	Iluminación [Lm]		
	LED Piraña	LED SMD	LED común
Ilumine 9 lm (a 20 mA)	3	2	1
Fácil instalación	2	1	3
Resistente	3	2	1
Bajo costo	2	2	3
Total	**10**	**7**	**8**

Tabla 11 Tabla de decisión generación de energía

Requerimiento **Especificación**	Generación de energía [V]		
	Inducción electromagnética	Dinamo	Sensor Piezoeléctrico
Genere 10 [V]	1	2	3
Bajo costo	2	1	3
Fácil instalación	1	2	3
Fácil mantenimiento	2	1	3
Total	**6**	**6**	**12**

Tabla 12 Tabla de decisión flexionar sensor

Requerimiento **Especificación**	Flexionar sensor		
	Plástico	Corcho	Fieltro
Resistente	1	3	2
Bajo costo	2	3	1
Fácil mantenimiento	3	2	1
Fácil instalación	1	3	2
Total	**7**	**11**	**6**

Tabla 13 Tabla de decisión material de protección

Requerimiento **Especificación**	Material de protección		
	Acrílico	Vidrio	Madera
Soporte + 90[kg] en una pisada	3	1	2
Resistente al agua	3	2	1
Bajo costo	2	3	2
Fácil mantenimiento	3	2	1
Fácil instalación	2	1	3
No peligroso	3	1	2
Total	**16**	**10**	**11**

Para encontrar un material de amortiguamiento se uso las graficas de Ashby con ayuda del programa CPEdupack, en el cual se ingresaban parámetros y automáticamente el programa proponía varios materiales que cumplían con ello. Loa parámetros que se ingresaron fueron:

- Modulo de Young de 0.0001 GPa
- Densidad de 20 a 100 kg/m3
- Bajo costo
- Esfuerzo a compresion de 0.01 a 0.3 MPa

La grafica que el programa lanzo fue la siguiente (Figura 15).

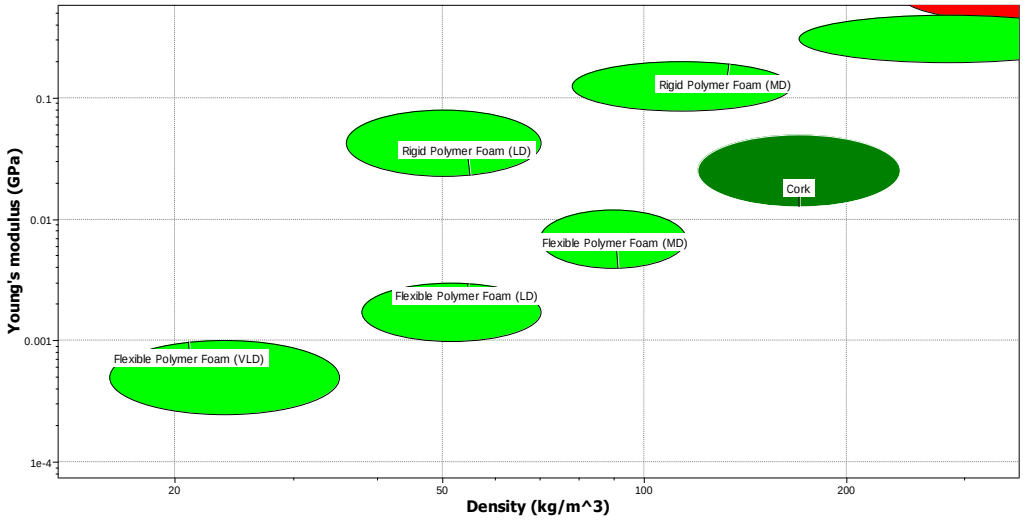


Figura 15 Grafica Ashby

Como se puede observar hay tres tipos de materiales que cumplen o están muy cerca de los parámetros de módulo de Young y densidad establecidos, y conociendo las propiedades de estos materiales también cumplen con los demás parámetros. Por lo tanto se decidió evaluar en la matriz de decisiones el foamy y el PVC espumado que son derivados de los grupos de materiales propuestos por el programa. El cartón que también es un material a evaluar, se propuso ya que es fácil de conseguir y que se usaron para algunos modelos.

Tabla 14 Tabla de decisión material de amortiguamiento

Requerimiento	Material de amortiguamiento		
Especificación	PCV espumado	Foamy	Cartón
Resistente	2	3	1
Bajo costo	2	3	1
Fácil mantenimiento	3	3	1
Fácil instalación	2	3	2
Total	**9**	**12**	**5**

4.7. Conceptos finales

Prueba de principios

Para probar los conceptos que las matrices de decisiones marcó como mejores, se optó por probar los principios haciendo una serie de pruebas utilizando materiales que ayudaran a probar su funcionamiento. Para ellos se fabricaron en cartón tres diseños.

Para realizar las pruebas iniciales se optó por utilizar un material que fuera fácil de conseguir y que además fuera económico, por lo tanto se usó cartón como estructura principal del prototipo. Se hicieron tres prototipos con diferentes diseños, para probas los principios de

funcionamiento de algunos conceptos que las matrices de decisiones señaló como los óptimos.

Principalmente se quiso probar el piezoeléctrico y el corcho como material de flexión para saber el comportamiento de cada elemento.

1. Diseño con dos sensores

Con este primer modelo se quería probar que los sensores generaban energía al ser flexionados con las pisadas. Se optó por poner el sensor piezoeléctrico de forma circular entre dos placas de plástico y sobre ella un pedazo de corcho circular como que a se muestra en la figura 15.

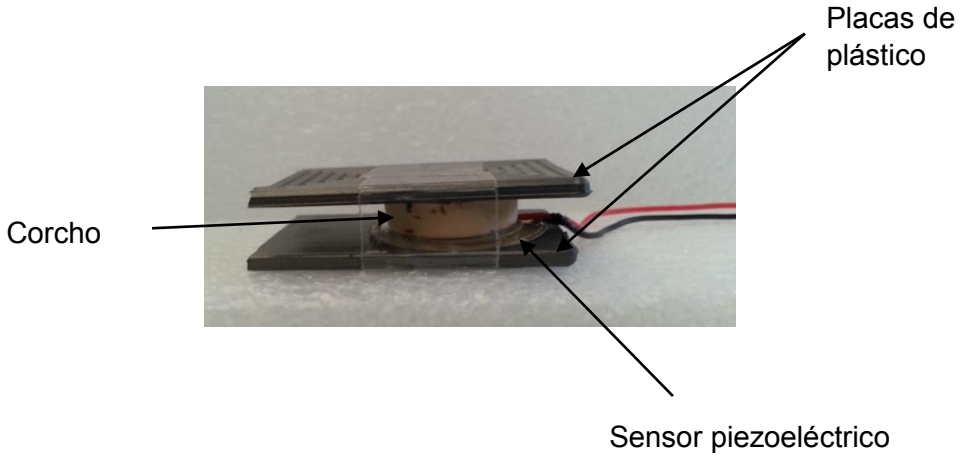


Figura 16 Sensor piezoeléctrico entre dos placas de plástico y corcho

Se colocó un pedazo de corcho que era exactamente del tamaño de la parte del sensor que tiene el material piezoeléctrico para poder lograr la flexión indicada para generar la energía suficiente y encender dos LEDs.

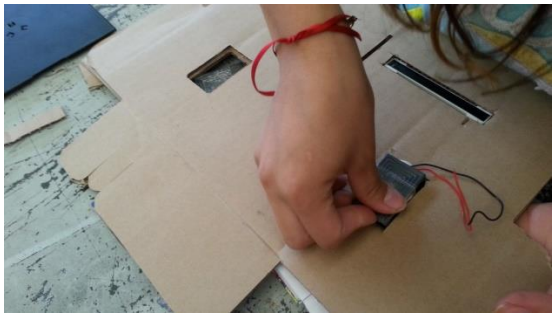


Figura 17 Encapsulado montado en placa de cartón

Se tomaron dos pedazos de cartón (base superior y una inferior) y se le hicieron dos perforaciones para ingresar el encapsulado que contenía al sensor. El cartón iba a ser el material encargado de amortiguar las pisadas del sensor. En la misma placa de cartón, se

colocaron de protoboard que irían conectadas en serie mutuamente y estas a su vez estarían conectadas, cada una, a un sensor piezoeléctrico.

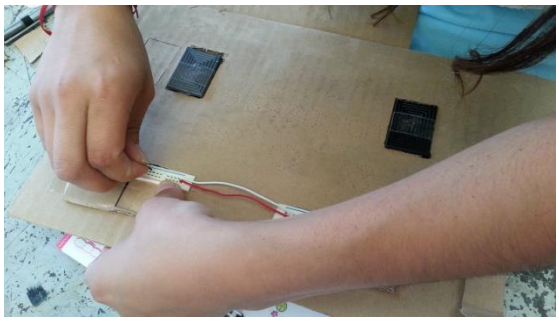


Figura 18 Montado de protoboard a placa de cartón

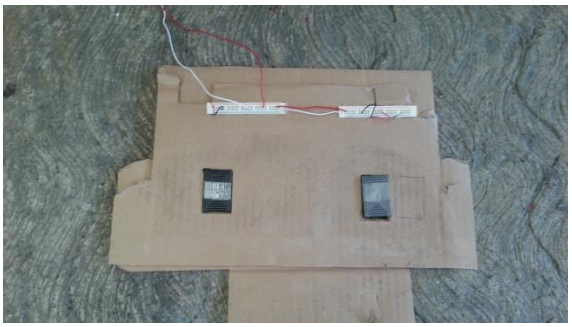


Figura 19 Prototipo de cartón

Se hicieron varias pruebas donde se hizo pasar a una persona pisando sobre las placa de cartón y tratando de presionar los encapsulados. Para poder medir la energía que se generaba, se conectó un multímetro en unas la des protoboards. Se tomaron varias lecturas del voltaje producido por las pisadas al momento de presionar los sensores, el voltaje generado en promedio fue de 25.5 [V]

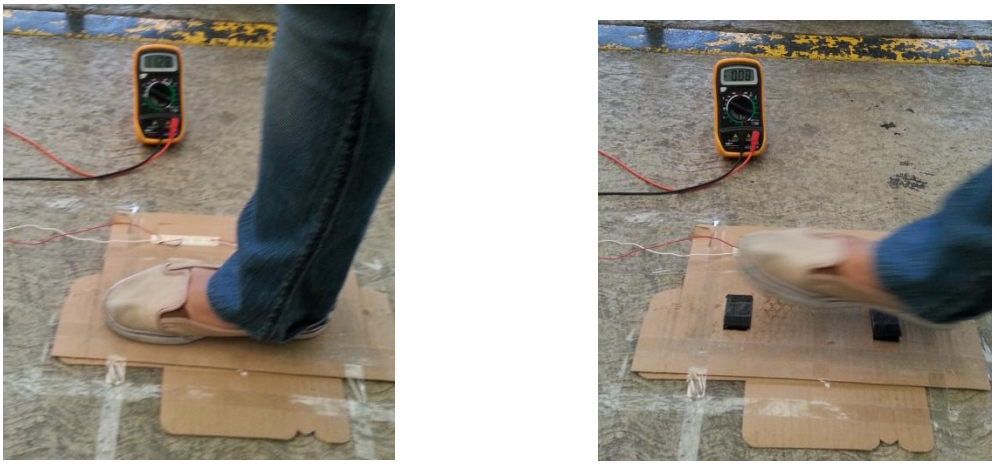


Figura 20 Prueba de prototipo de dos sensoresl

2. Diseño con base en la pisada de las personas

Igualmente que n el diseño anterior se utilizó cartón como material de amortiguamiento, se realizó un diseño en donde se concentraran los sensores piezoeléctricos en la huella de pie. Después de haber hecho una encuesta en la facultad de ingeniería se concluyó que las personas de altura “grande” su pisada era aproximadamente 30 cm y de las personas de altura “pequeña” era de 23 cm de largo.

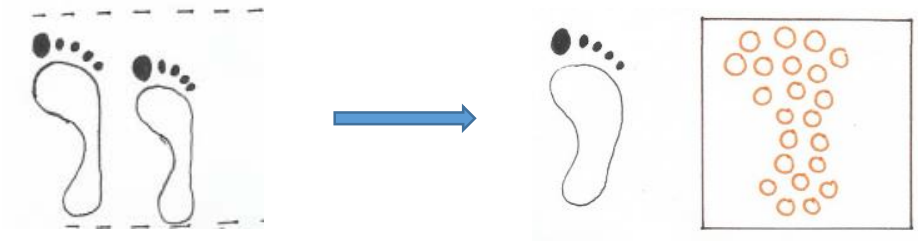


Figura 21 Integración de tamaño de pie a un prototipo

Por lo tanto la dimisión del modelo fue de 40 [cm] x 20 [cm] esto con la finalidad de aprovechar la pisadas de pies grande y pequeños. Se colocaron los sensores de tal forma que abarcaran los puntos de apoyo del pie. Fue por eso que se optó por que los sensores estuvieran de forma distribuida a lo largo de una pisada como la que se muestra en la figura 21.

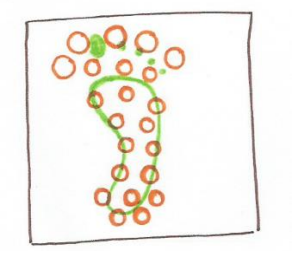


Figura 22 Figura del pie

La linea de color verde muestra la medida del pies estándar y de color naranja de muestran los orificios donde estarán colocados los sensores. Para colocar los sensores se diseñaron y manufacturaron para cada sensor piezoeléctrico dos placas de acrílico circulares del mismo diámetro al sensor. Igualmente que el prototipo anterior, se hizo un encapsulado con las placas, el corcho y el sensor piezoeléctrico. Los orificios en el cartón fueron de forma circulares con la finalidad de que hubiera más sensores en un área y se hicieron del mismo diámetro, para que el ensamble con el encapsulado fuera un ajuste de apriete.

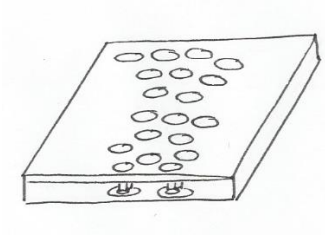


Figura 23 Sketch prototipo

Se hicieron las misma pruebas que el prototipo anterior, conectado todos los sensores en serie y haciendo pasar a una persona pisando la huella que estaba marcada sobre el cartón.

El promedio del voltaje generado fue de 23 [V], pero se observó que había personas que pisaban más cantidad de sensores que otros y en algunos casos nos generaba 30 [V] para

personas que pisaban más señores y el otro caso solo generaba 15[V] que eran las personas que pisaban menos cantidad de sensores.

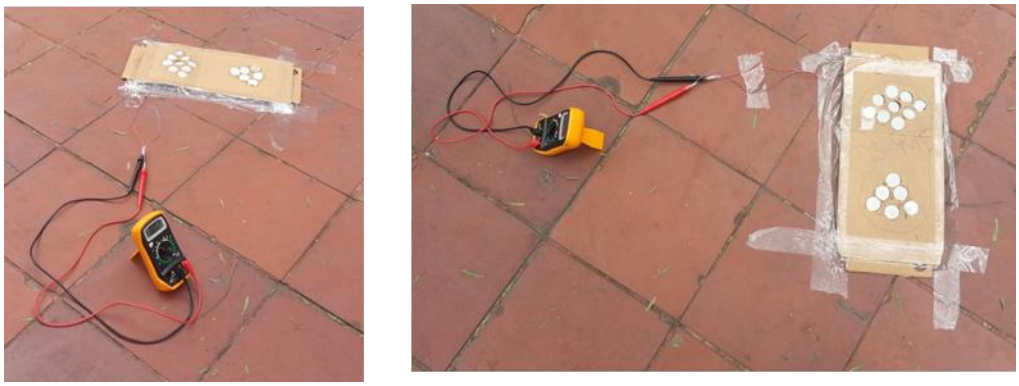


Figura 24 Prototipo basado en el tipo de pie

3. Diseño ocupando todo el espacio de la baldosa con sensores

El objetivo principal de este diseño es poder ocupar todo el espacio de la baldosa con sensores para aprovechar en cualquier dirección y con cualquier pie (derecho o izquierdo) todos los sensores que pudiesen generar energía al momento de pisar la baldosa. En éste prototipo se colocaron 25 sensores de igual manera con su encapsulado y sus dos tapas de acrílico estos estaban acomodados en forma de rombo. Como se muestra en la figura 24:

Figura 25 Prototipo utilizando todo el espacio

Con este diseño las pisadas se aprovechan en cualquier dirección, esto asegura que en cualquier momento, los sensores van hacer presionados y flexionados.

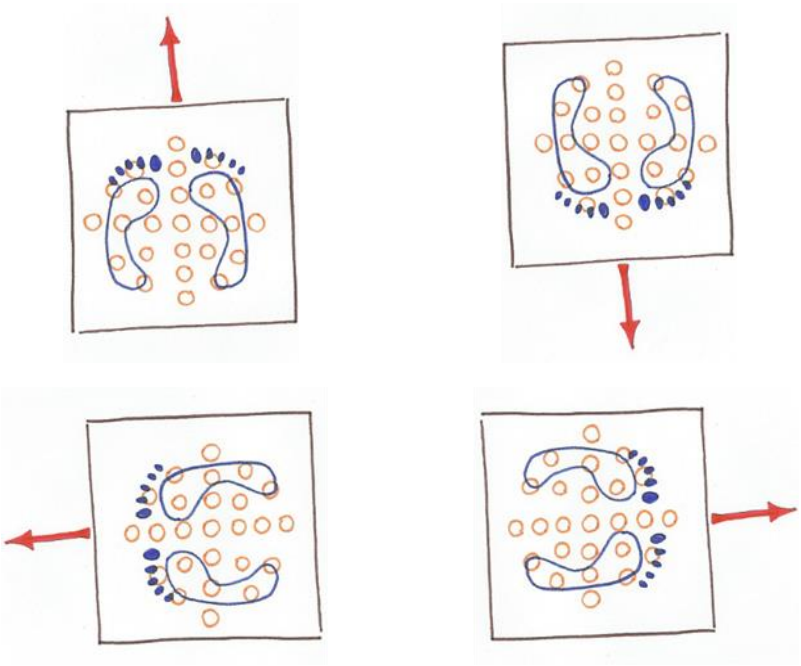


Figura 26 Direcciones de uso del prototipo

Igualmente que en el prototipo anterior, se hicieron pruebas para saber cuánto voltaje se generaba y en qué dirección se generaba el voltaje más alto. Los sensores se conectaron primero en paralelo en grupo de tres y estos a su vez se conectaron en serie para posteriormente conectar un multímetro el voltaje generado El promedio de los resultados fue de 40 [V] por lo tanto se duplico el voltaje a comparación del prototipo anterior.

Figura 27 Pruebas del protoripo

En este modelo, se aprovechó de una forma más eficiente la pisada de las persona, también se observó que había espacios donde se pisaba y no había sensores que eran los espacios de las esquinas.

Con las pruebas realizadas y los resultados, se puede concluir que el prototipo final de la baldosa debería tener en todas su superficie sensores, esto con la finalidad de abarcar todos los tipos de pisadas y en todas direcciones. Igualmente se observó que la generación de voltaje dependía de la cantidad de sensores presionados al momento de la pisada. Por

lo tanto se puedo concluir que la baldosa debía de tener por lo menos 30 sensores en su superficie, en el caso que la superficie se ampliara debería de ser proporcional el número de sensores colocados.

También el voltaje promedio que se alcanzaba un solo sensor es de 18 [V] y dependiendo de la cantidad de sensores como el tipo de conexión el voltaje se incrementaba, pero como voltaje mínimo que se puede alcanzar es de 18 [V] con una pisada firme. Este resultado nos dice que no es necesario hacer algún tipo de conexión, sea en serie o paralelo, ya que un sensor tiene la energía suficiente para poder encender un led.

Con los resultados de las matrices de decisiones y las pruebas que se hicieron a los prototipos, se puede concluir que el diseño deberá tener sensores piezoeléctricos como elemento de generación de energía, corcho como material para flexionar el sensor, también deberá tener por lo menos 30 sensores distribuidos en una superficie para aprovechar mejor la pisada.

También el tipo de iluminación deberá ser tipo LED, el material de amortiguamiento ideal para que cumpla su función y que a su vez pueda flexionar el sensor debe de ser foamy, como material de protección y estructura deberá ser acrílico y por ultimo cada sensor deberá estar conectado a un LED.

4.8. Construcción de prototipos

Con el diseño propuesto en la sección 4.4, se inició la manufactura de un prototipo funcional en el cual se realizaron pruebas para demostrar que el diseño ´propuesto ha alcanzado el nivel deseado de funcionalidad. Se propuso dividir la manufactura en dos partes conforme a sus componentes.

Lista de componentes

- Base
  - Lista de partes
    - Placa superior
    - Placa inferior
    - Placas intermedia
- Encapsulado de circuito
  - Lista de partes
    - Tubo de PVC
    - LED piraña
    - Cono reflector
    - Base de LED
    - Base del tubo
    - Corcho
    - Sensor piezoeléctrico

- Base

Con la idea de realizar la manufactura de la base se establecieron las siguientes actividades para la lista de partes de la base (Figura 9):

  - Determinar tipo de proceso a utilizar
  - Determinar operaciones

- Creación de código para máquina CNC
- Manufacturar placas en máquina CNC

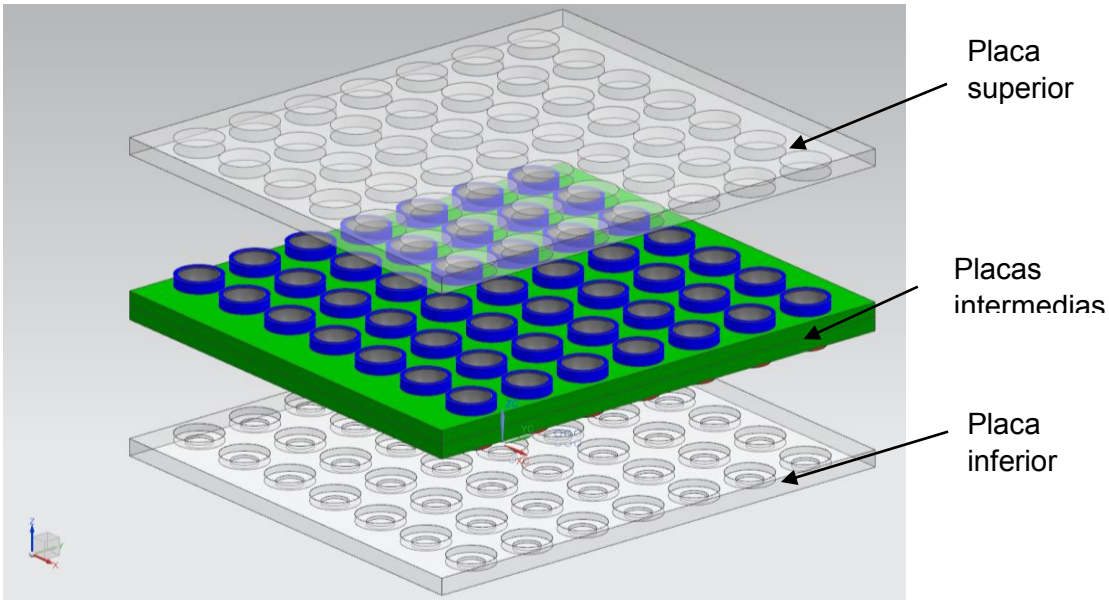


Figura 28Vista en Explosión de componentes para base

Placa superior

El material prepuesto para la placa superioren el diseñofue acrílico, debido a su resistencia y trasparencia. Para manufacturarla se propusieron las siguientes operaciones:

Tabla 15 Tablara ruta de trabajo palca superio

Paso	Operación	Medidas	Herramienta
1	Corte de material en bruto	350 mm x 350 mm	Disco de corte
2	Código G		Unigraphics
3	Fresado de Cajas	49 barrenos ϕ27.5 mm profundidad 8 mm	Cortador vertical 10 mm
4	Limpieza		

Las medidas en bruto fueron de 500 X 500 X 12 mm de las placas superior e inferior, por lo que se cortaron un disco de corte a las medidas requeridas.

La placa de acrílico superior e inferior se adquirieron, donde se pidieron dos placas cuadradas de 350 mm de lado con un grosor de 12 mm. Ahí mismo se cortaron con un disco de corte de un pliego más grande de acrílico.

Para el proceso de manufactura de las placas superior e inferior, se tenía que encontrar una forma de hacerlo con el equipo que la facultad. Se propuso usar algunas de las máquinas de control numérico que posee el laboratorio de manufactura avanzada.

Para pode utilizar alguna de las máquinas de control numérico se creó el código G de la manufactura de la placa superior, para esto se utilizó el módulo de *manufaturing del programa* Unigraphics NX 10, en esta paquetería se diseñaron las trayectorias y se implementaron los parámetros de corte (Figura 28) y las estrategias de manufactura(Figura29). Se simuló el proceso para reducir tiempos y evitar colisiones con algún elemento. Se propuso el tipo de cortador que se utilizaría, se decidió usar un cortador de 10 mm ya que no superaba el diámetro de los barrenos y se tenía en existencia.

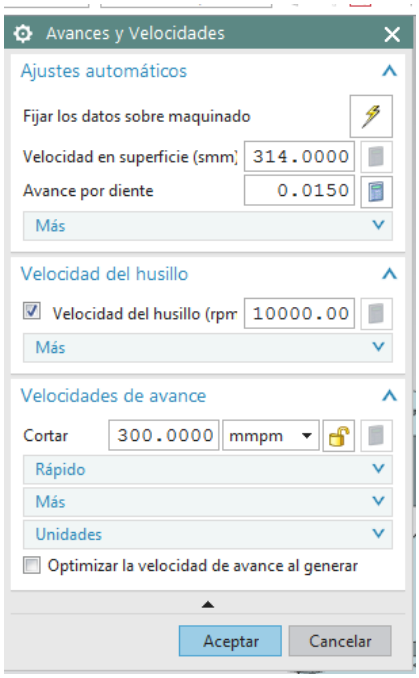


Figura 29 Parámetros de trayectoria

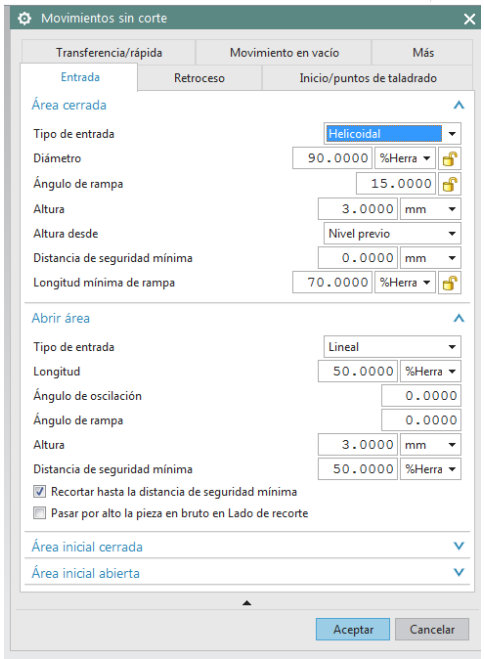


Figura 30 Estrategias de manufactura

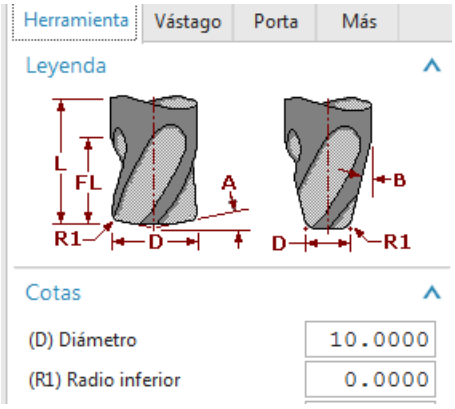


Figura 31 Características del cortador

Se dibujaron también los clams que sujetarían a la placa, esto con la finalidad de tener en cuenta la geometría para verificar impactos al momento de realizar las trayectorias y desplazamientos del cortador.

Finalmente se simuló las trayectorias del cortador, en donde se puede ver la secuencia que estaba programada para la manufactura de las placas. Figura 31

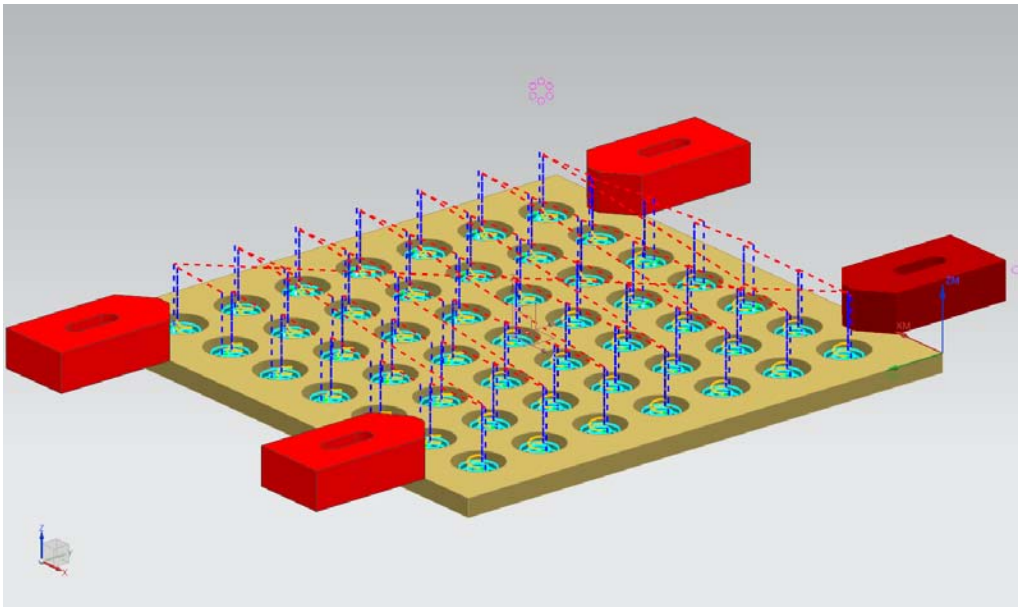


Figura 32 Simulación de trayectoria placa superior

Se propuso hacer la operación de fresado de cajas con la máquina VMC marca CHIRON, al momento de analizar la máquina para la operación, se encontraron varias dificultades, una de ellas fue el tope del eje Z el cual impedía que llegara el cortador hasta la posición de la placa donde se sujetarían las placas.

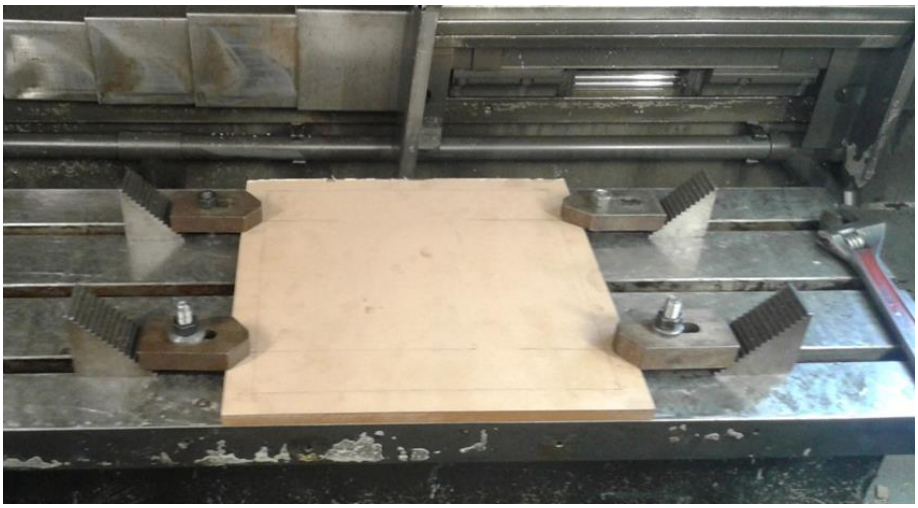


Figura 33Sujeción de placa de acrílico a mesa CHIRON

Por lo tanto se optó por usar la VMC 300, esta máquina de control número sólo tenía un inconveniente para poder manufacturar las placas. Igualmente que la CHIRON, el cortadorno llegaba al a posición de la placa, en el caso que la pieza se sujetara directamente en la bancada. Esto se resolvió subiendo las placas usando una base metálica. Las boquillas que usa esta máquina permitían usar la herramienta utilizada en la simulación de la manufactura.

La base fue montada a la base de la máquina, se sobrepuso la placa de acrílico, esto con la finalidad de mover los ejes de la máquina y observar si había colisiones al momento de manufacturar. Se encontró que la placa de acrílico era demasiado grande en la dirección del eje Y de la máquina y que iba colisionar con los rieles del eje Z al momento de manufacturar la placa, se tomó la decisión de cortar las placas de 350 X 350 mm a 350 X 310 mm para evitar las colisiones, pero este cambio de medidas provocaría un cambio de diseño.

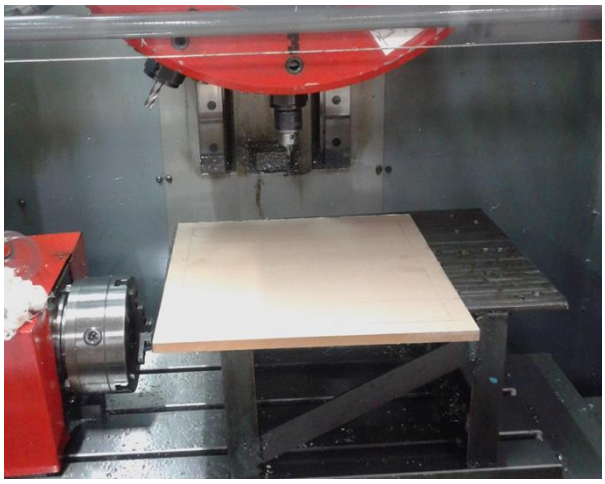


Figura 34 Placa superior sobre puesta en base metálica

Se modificó el modelo geométrico del diseño de las placas para observar posibles problemas en las funcionalidad de prototipo, por lo tanto las medidas finales de las placas fuero 310 x 350 x 12 mm.

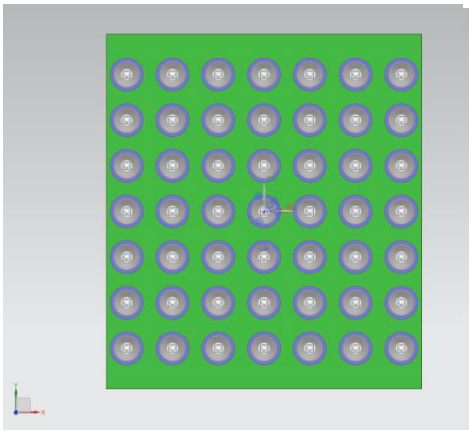


Figura 35 Base modificada

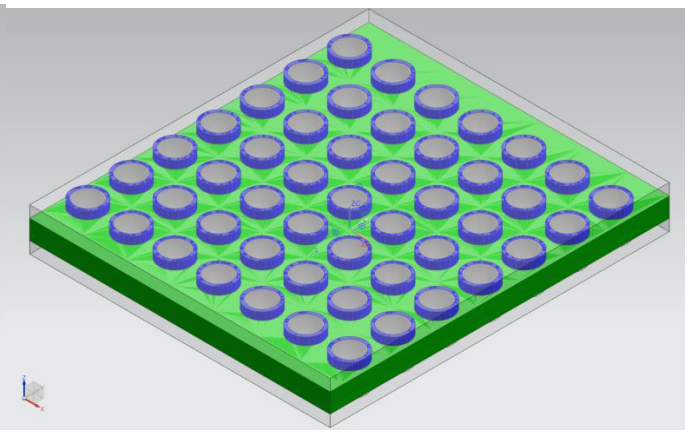


Figura 36 Base modificada isométrico

Con la modificación hechas, se montó la placa a la base de acero con ayuda de cuatro clams, la cual esta estaba montada en la bancada de la máquina, posteriormente se colocó la herramienta al portaherramientas.

Figura 37 Placa superior montada en maquina

Se encontró el cero pieza de la placa, el cual debía de ser el mismo que el de la simulación, posteriormente se cargó el programa la memoria de la máquina. El programa era extenso y la maquina sÓlo soporta 14 kbytes, por consecuencia se dividió el programa principal en tres partes para poder cargar el código en la máquina.

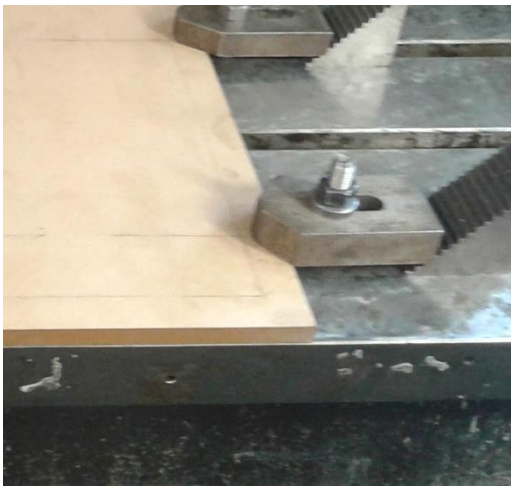


Figura 38 Cero pieza real

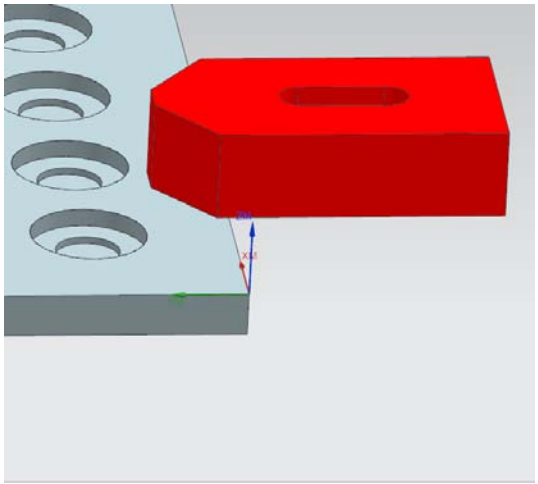


Figura 39 Cero pieza simulación

Con todo listo y verificado, se corrió el programa para la placa superior. Se empezó con un avance lento para verificar si estaba haciendo el código correctamente, posteriormente el avance se aumentó al 75 %, cuando el cortador se acercaba a partes criticas las cuales eran los clams junto con los tornillos, el avance se reducía manualmente a 60 %. Al observar que no había problema ser regresaba a 75% u 80%.

El tiempo de manufactura de la placa superior fue de una hora aproximadamente, a pesar que la simulación estimó 30 minutos. Esto se debió a que el avance era entre 60 a 80 %, nunca se puso 100%, también se detuvo la máquina para quitar residuos en el cortador o en la placa.

Figura 40 Placa superior manufacturada

La última operación era de limpieza de la placa, para ello se utilizó desengrasante. La placa se sumergió en agua mientras se vertía jabón y con un zacate se tallaba para limpiar el lubricante que tenía. Se dejó secar durante tres horas bajo el sol y finalmente la placa estaba lista para el ensamble.

Figura 41 Limpieza placa superior

1. Placa inferior

El material prepuesto para la placa inferior es acrílico, igualmente que la placa superior, para manufacturarlas se propusieron las siguientes operaciones:

Tabla 16 Ruta de trabajo placa inferior

Paso	Operación	Medidas	Herramienta
1	Corte de material en bruto	350 mm x 350 mm	Disco de corte
2	Código G		Unigraphics
3	Fresado de Cajas	49 barrenos ϕ27.5 mm profundidad 5 mm	Cortador vertical 10 mm
4	Fresado de Cajas	49 barrenos ϕ18 mm profundidad 8 mm	Cortador vertical 10 mm
5	Limpieza		

El corte de la placa inferior se hizo en la misma operación de la placa superior, con el disco de corte.

Para la creación del código G, se utilizaron los mismos parámetros de corte que los de la placa superior, figura 10, 11 y 12. Con el diseño de la placa inferior se hicieron nuevas trayectorias y por consiguiente se cambió el tiempo de maquinado, fue 5 minutos menor que la placa superior. Esto se debe a que se tiene un barreno con diámetro menor y una profundidad menor. Figura 41

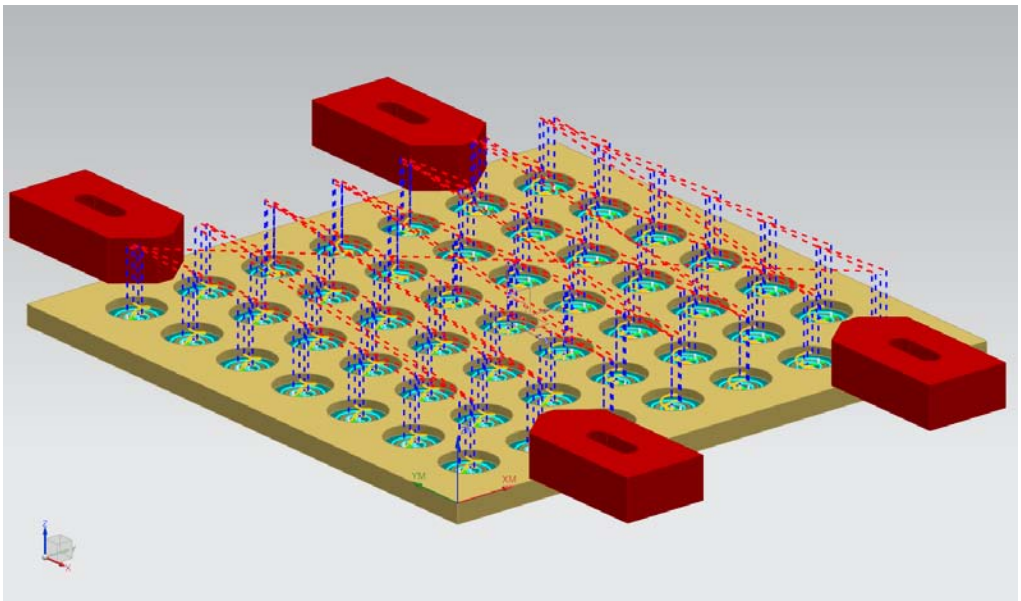


Figura 42 Trayectorias placa inferior

Para la operación de fresado de las cajas, también se redujeron las medidas de la placa para poderla manufacturar en la máquina VMC 300. Los procedimientos del maquinado de la placa inferior fueron el mismo que la placa superior, la diferencia fue en el código cargado a la memoria.

El maquinado de esta placa fue más rápido que la placa anterior, ya que se tenía la certeza de la trayectoria y que no colisionaría con ningún clam o tornillo, por lo tanto se maquino al 90 % de su velocidad de avance. El tiempo estimado por la simulación era de 25 minutos pero al final el tiempo real fue de 35 minutos.

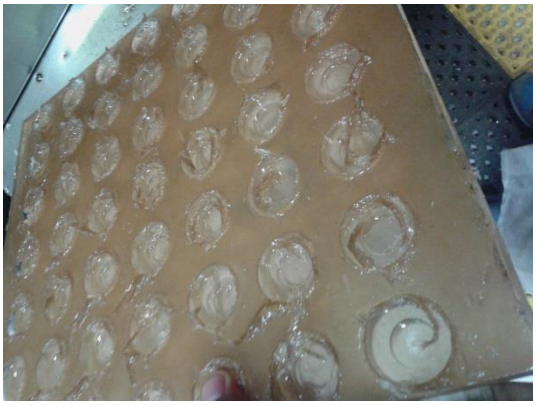


Figura 43 Placa inferior maquinada

Para la operación de limpieza, se limpió con desengrasante. Se sumergió durante un tiempo con agua después se pusieron al sol para que se secaran. Ya con esto estaba listo para el ensamble final

2. Placas intermedias

Para las placas intermedias se propuso un material que tuviera una densidad entre 920 y 970 kg/m3 y con un módulo de Young entre 0.0025 y 0.001 GPa. Se decidió usar Etilvinilacetato el cual es el foamy, ya que su densidad es de 937 $\frac{kg}{m3}$

Para el maquinado de las placas de intermedias se hizo igualmente una ruta de trabajo donde se propusieron las siguientes operaciones:

Tabla 17 Ruta de trabajo placas intermedias

Paso	Operación	Medidas	Herramienta
1	Corte de material en bruto	310 mm x 350 mm	Navaja
2	Barrenado	49 barrenos de 13/16	Sacavocados $1\frac{1}{8}$

El foamy es fácil de cortar, se utilizó una segueta pero sin el arco esto para que fuera más fácil su manejo. Se marcó en la superficie de la placa de foamy la periferia de las placas de acrílico y posteriormente, con ayuda de los planos, se marcaron los centros de los barrenos.

Seusó una herramienta llamada sacabocados. Esta herramienta es para madera, pero la resistencia que tiene el foamy es menor a la de la madera, por lo tanto servía muy bien para cortar el foamy. El tamaño del cortador era de $1\frac{1}{8}$ $(28.57mm)$. Con este tipo de medida se tenía una tolerancia de 3.93 mm por que el diámetro del tubo era mayor, esto con la finalidad de un ensamble de apriete. Para lograr un acabado fino las revoluciones fueron altas y un avance al corte lento.

3. Encapsulado del circuito

Se identificaron las diferentes partes que el encapsulado tenía como los elementos que lo conformaban, con ayuda de esto se propuso un proceso de manufactura para las distintas partes.

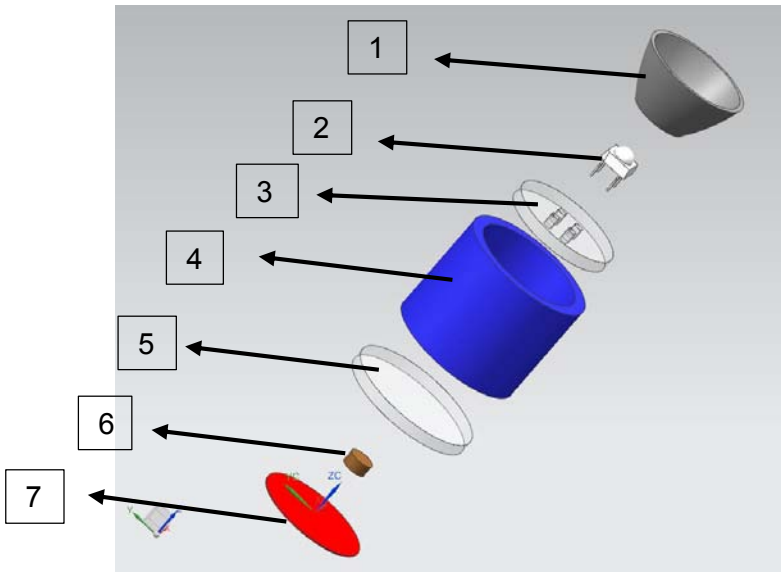


Figura 44 Explosión encapsulado

Se identificaron 7 elementos que contiene el encapsulado estos son: tubo de PVC(4), base de LED(3), base del tubo(5), LED piraña(2), cono reflector(1), corcho(6) y sensor piezoeléctrico(7). Sólo las base de led, base de acrílico, cono reflector y tubo de PVC, son los elementos que tenían un proceso de manufactura, los demás eran elementos comerciales.

Para la base de led y la base del tubo, se propusieron cortarlos en acrílico de 3 mm como se había dicho en la parte de selección de materiales, se optó cortarlos con láser, se cortaron 55 piezas de cada elemento

Se siguió una ruta de trabajo para las partes no comerciales.

Tabla 18 Ruta de trabajo encapsulado

Paso	Operación	Medidas	Herramienta
1	Tronzado de tubo de PVC	26.6 mm	Torno y tronzador
2	Manufactura de reflector	26.7 mm x 14 mm	-

El tubo de PVC se obtuvo a partir de un coplee de 33.6 mm de largo y el diseño marcaba que fuese de 26.6 mm.

Por lo que fue necesario realizar la operación de tronzado del coople de PVC, se decidió usar el tornomanual con una herramienta de tronzado. Usar un tronzador para cortar los tubos, reducía el tiempo a la mitad y no era necesario carearlos. Se maquinaron 55 tubos de PVC para cumplir con los encapsulados requeridos.

Diseño de reflector para manufactura

En la sección 4.4 se propuso el diseño de un cono, el cual tuviera las siguientes características: longitud de 14 mm, un diámetro superior de 26.7 mm, diámetro inferior de 12 mm para que cumpliera con el ensamble.

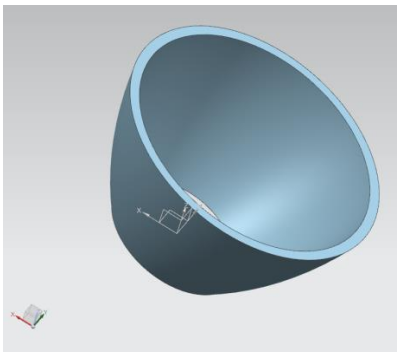


Figura 45 Vista isométrica del cono reflector

Se observó que la geometría del cono no era refleja la luz adecuadamente, se optó por rediseñar el cono para que reflejara mejor la luz que emitía el LED. Para el rediseño del reflector junto con un grupo de diseño y manufactura asistido por computadora, que rediseñara y manufacturara el cono para que cumpliera las características de reflector. Esto con el fin que su manufactura fuera viable y que reflejara la mayor luz posible que emitía el LED piraña.

Se siguió la metodología de diseño para rediseñar el cono que se muestra a continuacion.Se plantearon requerimientos para que el nuevo diseño estuviera acoplado al diseño del encapsulado del circuito.

Metodología de diseño

- Requerimientos
- Especificaciones
- Diseño conceptual
- Modelos solidos
- Análisis
- Diseño de herramienta
- Manufactura de cono

Requerimientos

- Diámetro inferior: 12 mm
- Diámetro superior: 26.7 mm
- Longitud: 14 mm
- Debe reflejar con mayor intensidad la luz
- Material liviano
- Debe ser barato
- Fácil de manufacturar
- Resistente

Con los requerimientos se hicieron las especificaciones mínimas que debía de cumplir el reflector.

Especificaciones:

- Diámetro inferior: 12 mm
- Diámetro superior: 26.7 mm
- Longitud: 14 mm
- Intensidad Aproximadamente 20% más que la intensidad normal del LED (1200 [mcd])= 1440 [mcd]
- Peso máximo: 10 g
- Resistencia mínima: 45 kg
- Precio máximo: $15 por pieza
- Dureza máxima: 30 HV

Diseño conceptual

Basándose en teorías de reflexión y conociendo las propiedades de diferentes carcasas reflectoras, se tomaron como referencia 3 modelos diferentes de carcasa: parabólica, esférica y elíptica.

Parabólica

Con la carcasa parabólica se puede redirigir la luz de modo más variado, obteniéndose radiación concentrada, paralela y abierta. Su propiedad óptica más importante es que si la fuente de luz se coloca en el foco de la parábola, se obtiene un haz de rayos reflejados paralelo al eje parabólico, mientras que si la fuente se desplaza hacia atrás o hacia adelante del foco, el haz converge o diverge respectivamente.

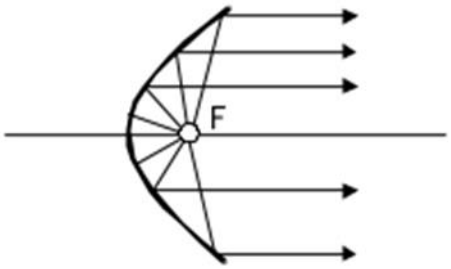


Figura 46 Carcasa parabólica con la fuente de luz en el foco

Esférica

En lo que respecta a la carcasa esférica, cuando la fuente de luz se sitúa en el foco de este reflector, los rayos cercanos al eje, se reflejan paralelamente al mismo, mientras que los rayos lejanos al eje se focalizan en el centro. Por otra parte cuando la fuente se ubica en el centro de la curvatura, los rayos incidentes sobre el reflector se reflejarán a través de la fuente en todas direcciones.

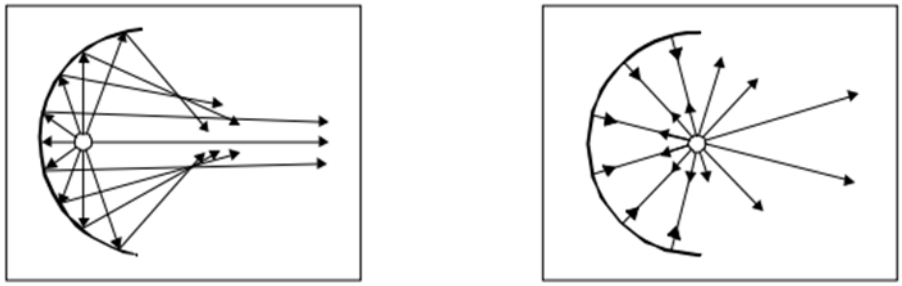


Figura 47 Carcasa esférica con la fuente colocada en el foco de la curva

Elíptica

Por último, las carcasas elípticas cuando la fuente se coloca en uno de los focos de la elipse, los rayos se reflejan hasta el segundo punto focal, mientras que si se ubica adelante o atrás del foco, los rayos se focalizan en el centro, o en la parte superior e inferior respecto al eje.

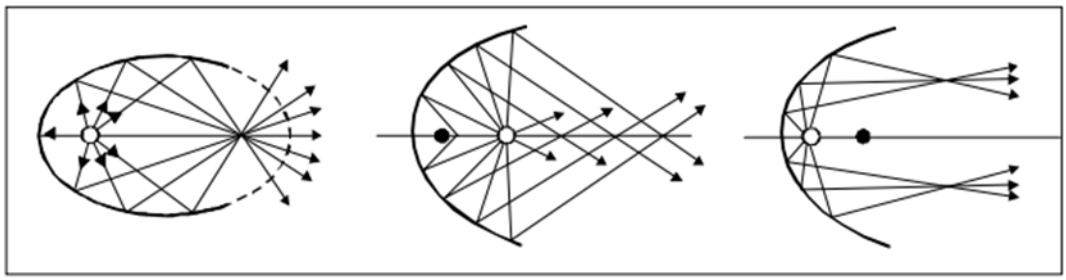


Figura 48 Carcasa elíptica con la fuente de luz colocada en uno de los focos de la elipse, desplazada hacia adelante y desplazada hacia atrás

Modelos Sólidos

Basado en lo anterior se propuso un diseño con la base del modelo tipo parabólica, ya que trae mejor beneficios que las demás. El diseño a detalle se realizó a partir de una carcasa parabólica presenta grandes beneficios en cuanto a reflexión de luz y a su vez de la intensidad luminosa.

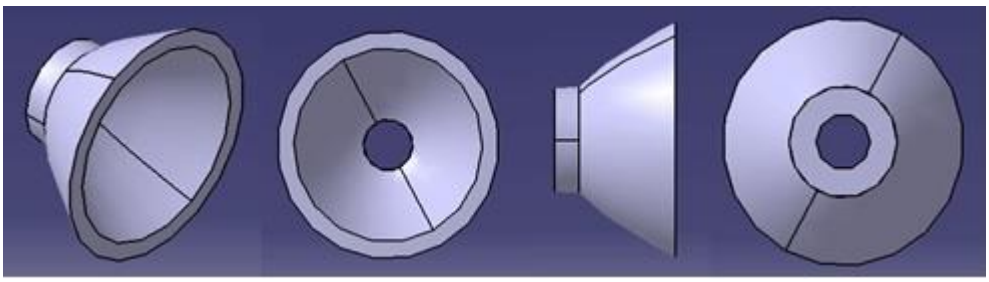


Figura 49 Vista isométrica, frontal, lateral y trasera de la carcasa parabólica

Con las características del diseño y las especificaciones, se decidió usar acetal como material para el reflector, ya que sus características mecánicas como resistencia a la compresion de 116 MPa, modulo a la elasticidad de 2.5 GPa y su temperatura de fusión de 160 °C, estaban en valores para cumplir con las especificaciones.

Análisis

Para la carcasa se analizó en el programa CATIA si con el material elegido y conocer el comportamiento mecánico del conjunto con los 45 kg definidos al inicio de problema, y a partir de los resultados se determinó que los desplazamientos son mínimos inclusive cuando los 45 kg se aplican a una sola pieza.

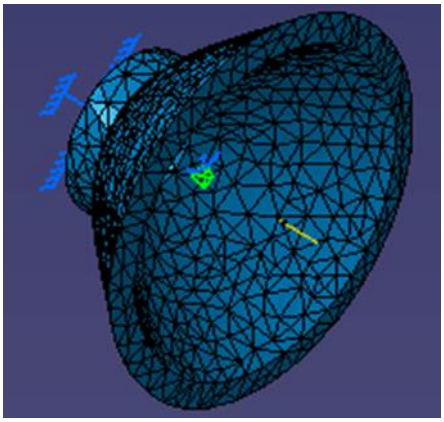


Figura 50 Mallado de la carcasa.

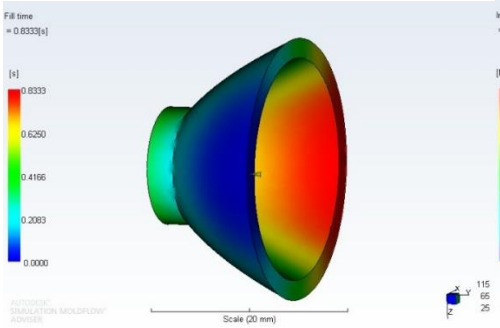
En los resultados se ve en color rojo que el reflector se desplaza aproximadamente 0.571 mm, y que el desplazamiento es mínimo no tendría ningún un efecto en el material y el diseño .Por otra parte, en el análisis de esfuerzos de von Mises se observa que no hay esfuerzos que puedan afectar al material, sólo hay un punto en rojo en el centro que equivale a 1.38e+007 N/m2.

Figura 51Desplazamientos en la carcasa.

Figura 52Esfuerzos de von Mises en la carcasa.

Para manufacturar la pieza con acetal el procesos más conveniente era inyección de plástico, para este proceso se era necesario diseñar y manufacturar un molde.

Para este proceso, se usó MoldFlow Adviser para hacer los análisis del tiempo de llenado de la pieza considerando que el punto de inyección se encontraba en la orilla del diámetro externo de la carcasa, así como los defectos que se podrían presentar en ella, la calidad final, la presión de inyección, la certeza del llenado, entre otros aspectos.



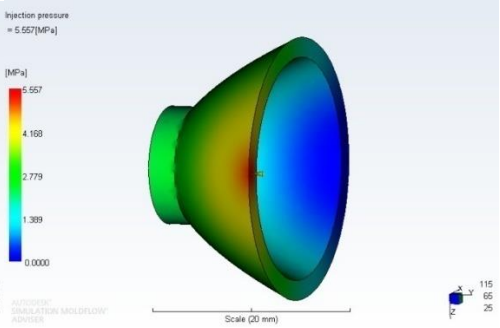
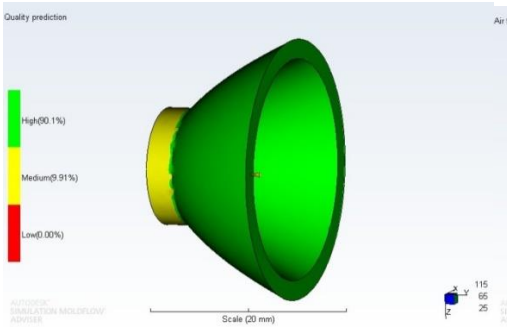


Figura 53Presión de inyección Figura 54Tiempo de llenado



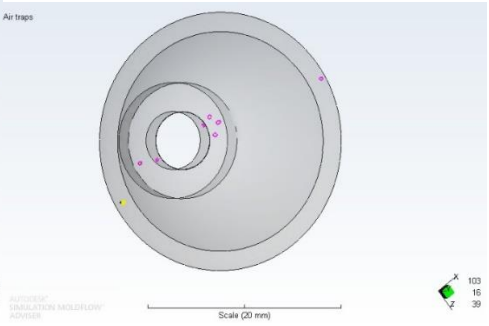


Figura 55 Aire atrapado *Figura 56Predicción de calidad*

Diseño de herramienta

Para el molde se tienen dos placas de 125 [mm] por 102 [mm] con un espesor de 25 mm, en donde una de las placas tendría las cavidades y la otra tendría los corazones para formar la carcasa, se decidió que el molde estaría diseñado para inyectar dos piezas por colada, por lo que se tienen dos cavidades y dos corazones. Por otra parte se pensó en tener dos pernos guías en extremos opuestos de esquinas del molde para mantener cerrado el molde durante la colada.

Originalmente se pensó en maquinar la placa de las cavidades, sin embargo, resultó más fácil hacer insertos de cavidades para después fijarlos en la placa, que a su vez contendría el canal de alimentación y las venas de inyección.

Se hizo una ruta de trabajo para los moldes como para los corazones de la herramienta.

Tabla 19Ruta de trabajo de manufactura de molde

Pasos	Descripción	Maquinaria	Herramienta
1	Escuadrar placas 25x101.6x127mm	Centro de Maquinado	Corona de inserto octagonal 3"
2	Barrenado de corazones, hembras y pernos de registro	Centro de Maquinado	Broca 28mm, cortador de 3/8" de carburo. Broca de 9mm y Rima de 3/8"
3	Maquinado de cavidades y corazones	Torno CNC	Porta-herramientas inserto WNMG, Barra 3/8" DCMT, porta-tronzado 4mm. Broca 5/16"
4	Barrenos para fijación de cavidades y corazones	Taladro de Banco	Broca 5/32". Machuelo 3/16"
5	Maquinado para colada de molde	Taladro de Banco	Broca 1/4"
6	Maquinado Venas de inyección	Centro de Maquinado	Cortador de bola 5/32"
7	Maquinado Venas de entrada al molde	Manual	Lima triangular(Lima de joyero)
8	Maquinado y ajuste de perno guía a 3/8. Cabecear en un extremo y redondear	Torno Paralelo	Porta-inserto, Lima

Posteriormente se realizó el conformado de las piezas manualmente. El proceso fue sencillo, el cual consistía en sujetar el molde en la máquina de inyección manual. El orificio donde entraría debía quedar exactamente debajo de la boquilla y para asegurar esto, se utilizaron maderas para centrar el molde.

Figura 57 Colocación del molde

Posteriormente se colocaron los pelets de polipropileno en la tolva de la máquina, los cuales eran de color trasparentes.

Figura 58Tolva con Polipropileno.

Para inyectar el plástico se hizo girar la estrella de la máquina que hacia bajar un usillo el cual a su vez empuja el plástico caliente y fuera introducido en el molde. Este proceso debía de ser algo rápido, ya que el plástico se enfría muy rápido y puede que no lleve todas las cavidades del molde.

Figura 59Inyección del material.

El proceso se repitió varias veces hasta llegar a 55 piezas, pero también se usó acetal color negro, ya que daba un acabado de brillo el cual ayudaba de disipar más luz. Finalmente se pintaron las piezas de color cromo para que ayudara a la luz a disiparse, esto se hizo para los dos tipos de plásticos que se utilizaron y en el caso de poliacetal, a pesar de que fueron pintadas de cromo, ayudaba más a la luz a dispersarse.

Figura 60 Piezas finales de POM y PP.

Figura 61 Carcasa de POM.

Figura 62 Carcasas de PP y POM cromadas.

4.9. Ensamble

Con todos los elementos y las partes manufacturadas que conformarían la baldosa, el siguiente paso era hacer un ensamble para llegar al prototipo final. Se dividieron en subensambles para conformar un ensamble final como se muestra en la tabla 20.

Tabla 20 División de ensambles

Ensambles		Elementos
Prototipo final	Subensamble 1 (Encapsulado del circuito)	Tubo de PVC
		LED piraña
		Cono reflector
		Base de LED
		Base del tubo
		Corcho
		Sensor piezoeléctrico
	Subensamble 2	Base superior
		Subensamble 1
		Bases intermedias
		Base Inferior

Subensamble 1 (Encapsulado de circuito)

Este subensamble está compuesto por lo los elementos mostrados en la tabla 9, los cuales fueron manufacturados o comprados.

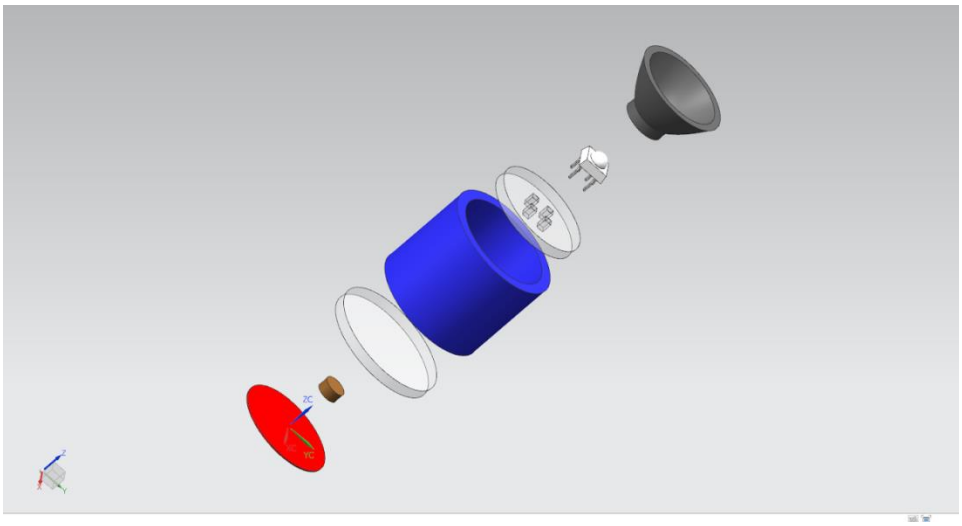


Figura 63 Explosión ensamble 1 (encapsulado de circuito)

Se pegó la base del tubo al tubo de PVC con silicón frio, se observó que la base del tubo necesitaba un orificio para que los cables del sensor pudieran atravesar y llegar directamente al LED. Se hizo un barreno a todas las bases de acrílico de ⅛ pulgadas de diámetro el cual no estaba al centro de las bases del tubo.

Posteriormente el corcho de 5 x 5 x 6 mm fue pegado con silicón frio a la base del tubo del tal forma que quedara al centro, se dejó secar durante cinco minutos para que se pudiese manipular los elementos acoplados.

Se soldaron los dos cables al LED, de tal forma que uno estuviera soldado a 45 grados del otro esto para el ajuste del LED. El LED se colocó de tal forma que las patitas atravesaran cada uno de los orificios cuadrados de la base del LED, las dos patitas que no fueron soldadas se doblaron de tal forma que el LED no se pudiera mover.

La base del LED se colocó dentro del tubo del PVC donde se acoplaría de forma ajustada, en algún caso se usó una gota de silicón frio para evitar que se movieran.

Se unió en el centro del sensor, con cinta doble, el corcho evitando que los cables del sensor obstruyeran, los cuales se guardaron dentro del tubo de PVC.

Por último se sobre puso e reflector sobre el LED de tal forma que se ajustara sobre el orificio inferior del reflector.

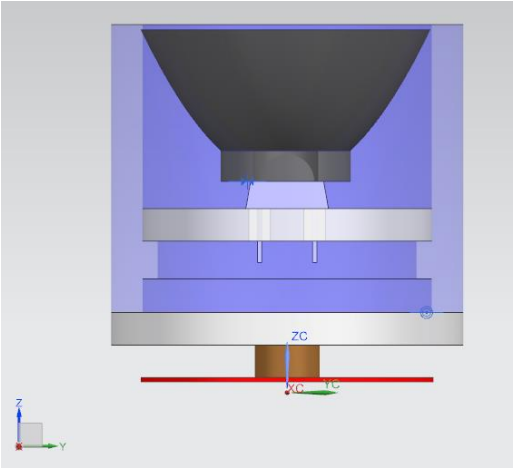


Figura 64 Ensamble 1 (encapsulado de circuito)

Subensamble 2

El ensamble está compuesto por placa superior, subensamble 1, placas intermedias y placa inferior.

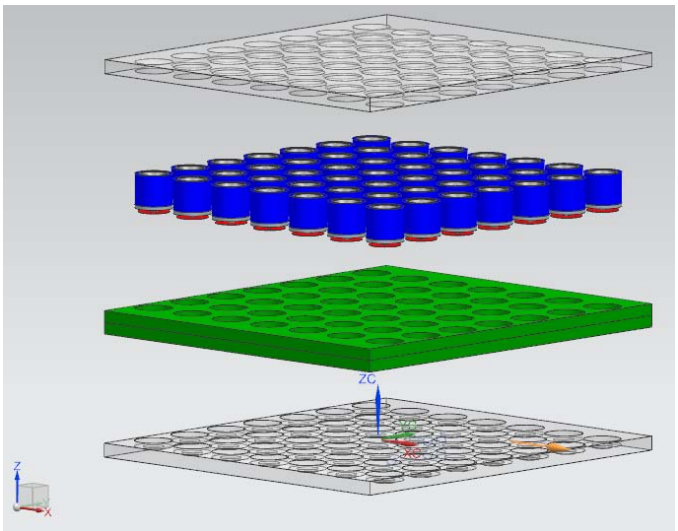


Figura 65 Explosión de subensamble 2

La placa superior se giró 180° de forma que los barrenos estuviera en la parte superior, esto para que se mas fácil el ensamble. Posteriormente se acoplaron los tubos de PVC del subensamble 1 en los barrenos de la placa superior.

Las placas de foamy se insertaron de forma perpendicular a la cara de la base del tubo de PVC, cada orificio iba acoplado a un tubo de PVC. El ajuste de las placas de foamy con los tubos ES de apriete, ya que el diámetro de los barrenos de las palcas de foamy son más pequeños que el diámetro de los tubos de PVC. Finalmente se sobrepuso la placa inferior sobre el encapsulado, por lo tanto cada sensor piezoeléctrico tiene un barrenos de la placa inferior donde se apoya.

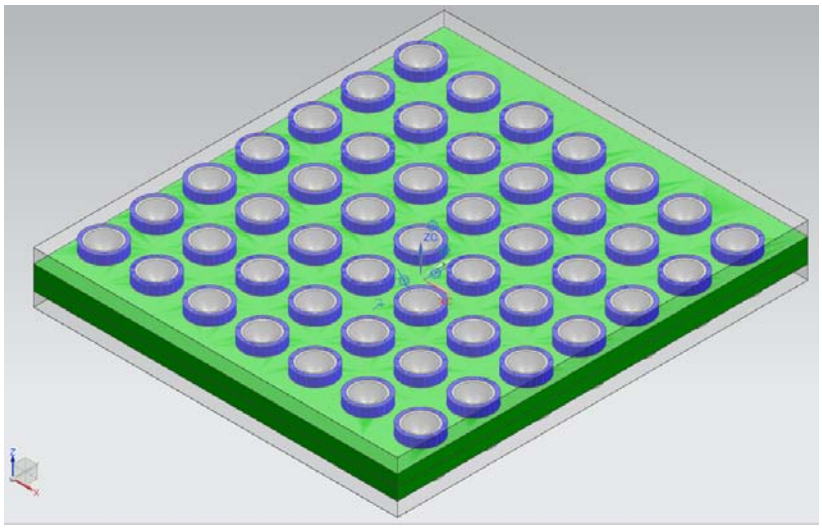


Figura 66 Isometrico de subensamble 2

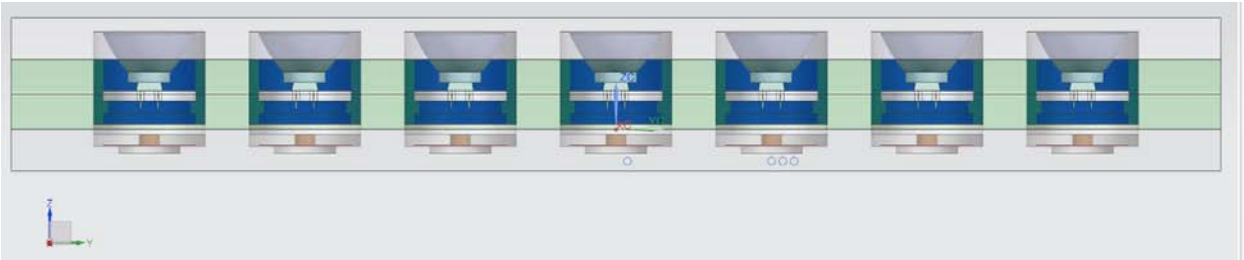


Figura 67 Vista lateral subensamble 2

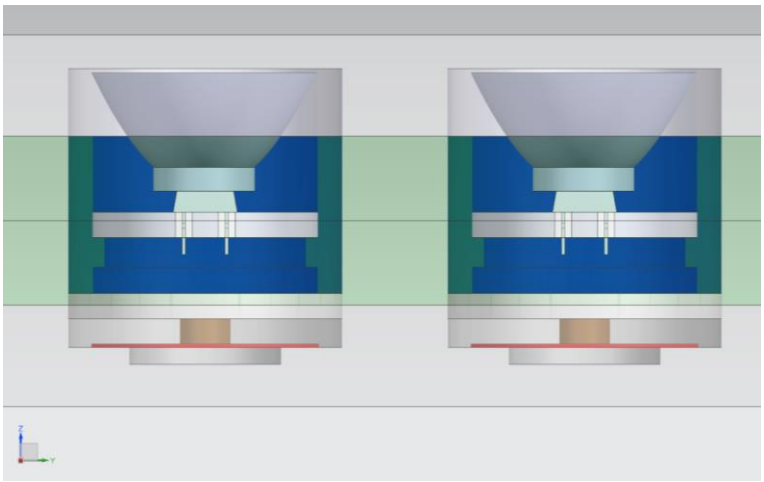


Figura 68 Vista lateral subensamble 1 y subensamble 2

4.10. Prototipo final

El ensamble del prototipo final se diseñó de tal forma que la baldosa estuviera contenida en el suelo, de tal forma que la superficie base superior estuviese a nivel del piso. Para

las pruebas de calibración no fue necesario empotrarlo en el suelo, sólo se sobrepuso como se muestra en la figura 68.

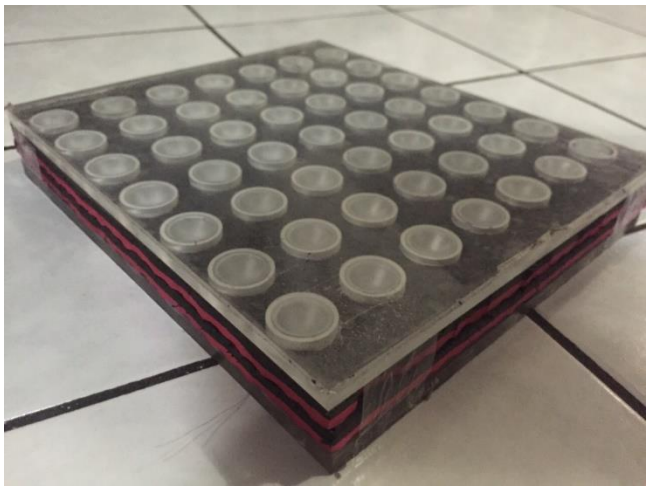


Figura 69 Prototipo final

4.11. Pruebas

Para realizar las pruebas de la funcionalidad del prototipo final, se propuso instalarla en un lugar donde el flujo de gente sea constante, con la finalidad de que fuera probada por varias personas.

La baldosa se instaló en el pasillo que se encuentra debajo del edificio J de la facultad de ingeniería, en este lugar el flujo de gente a determinada hora es constante. Para hacer las pruebas se colocó exactamente en un punto donde era forzoso pisarla, con ayuda de señalamientos que fueron colocados cuatro metros antes de la baldosa para que al momento de pasar sobre la baldosa fuera una pisada. Varias personas se detuvieron para brincar sobre ella o dar una pisada más fuerte y ver el efecto que tenían los leds al usar más fuerza.

Figura 70 Prueba de marcha sobre baldosa

Se grabó en todo momento la prueba con la finalidad de observar el comportamiento del prototipo final. Posteriormente se hizo una prueba en el Laboratorio de Biomecánica para

conocer la cantidad de voltaje que se generaba un sensor al momento de pisar el prototipo. Para realizar esta prueba se decidió soldar dos cables directamente en las terminales de los leds, tomando las lecturas de voltaje en dos secciones diferentes del prototipo. La primera sección está en el centro del prototipo y la segunda sección está en una de las esquinas del prototipo.

Para poder tomar las medidas de voltajes de cada uno de los leds, se usó un osciloscopio ya que la señal generada por el sensor era un pico de voltaje y el osciloscopio era capaz de medirlo de forma más detallada a comparación de un multímetro el cual su velocidad de respuesta era muy lenta.

Para la pruebas se hizo pasar a una persona caminando varias veces sobre el prototipo mientras se veía la señal en el osciloscopio. Se hicieron tres mediciones:

- Voltaje del LED central
- Voltaje del LED de la esquina
- Voltaje del LED central y LED de la esquina

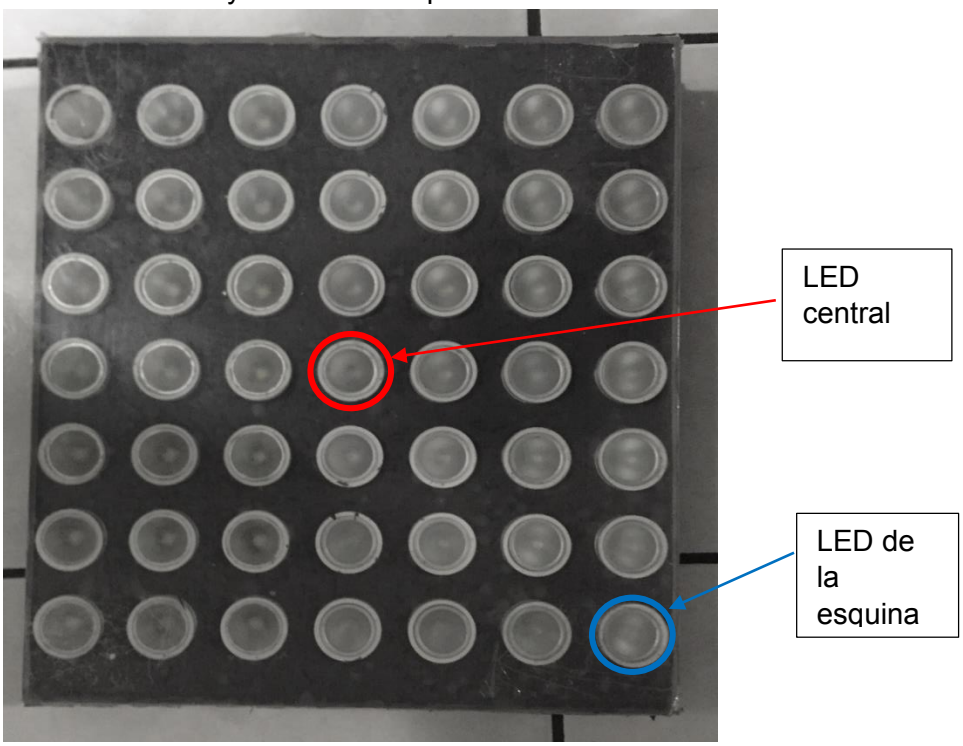


Figura 71 Localización de leds de prueba

Para la prueba siguiente en el laboratorio, se simuló un flujo de gente denso en un intervalo de tiempo, ya que en las pruebas que se realizaron en el edificio J el flujo de gente era moderado. Se decidió que una persona brincara sobre la baldosa y así tomar las mediciones del osciloscopio, igualmente se tomaron tres mediciones.

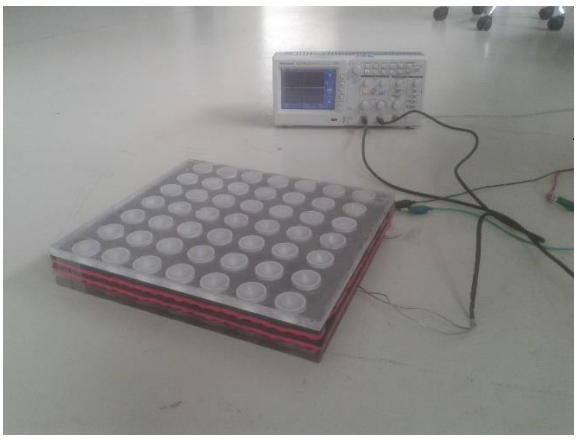


Figura 72 Prueba en laboratorio con osciloscopio

Figura 73 Prueba de marcha laboratorio

4.12. Costos

COSTOS DE PROTOTIPO FINAL

	Concepto	Unidad	P. Unitario	Op.	Cantidad	Importe

MANUFACTURAR BALDOSA DE 310 X 350 X 50 MM CONSTITUIDO POR TRES CAPAS SEGÚN EL DISEÑO Y ESPECIFICCIONES: FOAMY Y ACRILICO CON ENCAPSULADOS DE TUBOS DE PVC

		unidad	costo		rendimiento	
MATERIALES						
	ACRILICO 350 X 350 X 12 MM	PZA	$200.00	*	2.000	$400.00
	ACRILICO 300 X 300 X 6 MM	PZA	$50.00	*	1.000	$50.00
	FOAMY	PZA	$689.00	*	0.200	$137.80
	COPLES DE PVC	PZA	$1.75	*	49.000	$85.75
	SENSORES PIEZOELECTRICOS	PZA	$13.00	*	49.000	$637.00
	ROLLO SOLDADURA DE PLOMO	PZA	$450.00	*	0.100	$45.00
	LED TIPO PIRAÑA	PZA	$10.80	*	49.000	$529.20
	ROLLO CABLE 22	PZA	$220.00	*	0.050	$11.00
	SILICON LIQUIDO	PZA	$36.90		0.900	$33.21
	CINTA ADHESIVA DOBLE CARA	PZA	$43.86		0.100	$4.39
SUBTOTAL:	**MATERIALES**					**$1933.35**
MANO DE OBRA						
	PERSONAL DE ENSAMBLADO	JOR	$850.00	*	0.900	$765.00
SUBTOTAL:	**MANO DE OBRA**					**$765.00**
INGENIERIA						
	DISEÑO DE INGENIERIA	JOR	$1,250.00	*	4.000	$5000.00
SUBTOTAL:	**INGENIERIA**					**$5000.00**
EQUIPO Y HERRAMIENTA						
	MAQUINA VMC 300	HOR	$830.00	*	2.000	$1660.00
	CORTADOR VERTICAL 10 MM	HOR	$15.00	*	2.000	$30.00
	HERRAMIENTA MENOR	%	$14.19	*	0.030	$0.43
SUBTOTAL:	**EQUIPO Y HERRAMIENTA**					**$1690.43**
	Costo Directo:					**$ 9,388.772**

RESDISEÑO DE CONO REFLECTOR PARA EL ENCAMPSULADO DE CIRCUITO CON MATERIAL ACETAL, DIMENSIONES: DIAMETRO SUPERIOR 26.7 MM, DIAMTERO INFERIOR 12 MM Y LONGITUD 14 MM

MATERIALES						
	ALUMINIO	TON	$27,685.77	*	0.020	$553.72
	ACETAL MOLIDO	KG	$4.50	*	1.500	$6.75
	PINTURA AEROSOL PLATEADA	PZA	$61.90	*	1.000	$61.90
SUBTOTAL:	**MATERIALES**					**$622.37**

MANO DE OBRA						
	CUADRILLA DE 5 PERSONAS	JOR	$500.00	*	1.000	$500.00
SUBTOTAL:	**MANO DE OBRA**					**$500.00**
INGENIERIA						
	DISEÑO DE INGENIERIA	JOR	$800.00	*	2.000	$1600.00
SUBTOTAL:	**INGENIERIA**					**$1600.00**
EQUIPO Y HERRAMIENTA						
	MAQUINA VMC	HOR	$830.00	*	1.000	$830.00
	TORNO CNC	HOR	$830.00	*	1.000	$830.00
	HERRAMIENTAS DE CORTE	HOR	$550.00	*	2.000	$1100.00
	HERRAMIENTA MENOR	%	$14.19	*	0.030	$0.43
SUBTOTAL:	**EQUIPO Y HERRAMIENTA**					**$2760.43**
	Costo Directo:					**$5482.79**
	TOTAL					**$ 14,871.56**

5. Resultados

De las pruebas realizadas se obtuvieron distintos resultados, se observó que los LEDs de la baldosa encendían dependiendo del lugar y la intensidad con que fuera la pisada, esto está ligado al peso de cada persona que prueba el prototipo. Con las mediciones que se hicieron se observó que el voltaje no era menor a 18 volts y no era mayor a 23 volts, por lo tanto el funcionamiento del sensor piezoeléctrico está entre 18 y 23 volts.

En el siguiente gráfico se puede observar el número de personas las cuales fueron noventa y uno, que generaron los diferentes voltajes dentro del intervalo de funcionamiento.

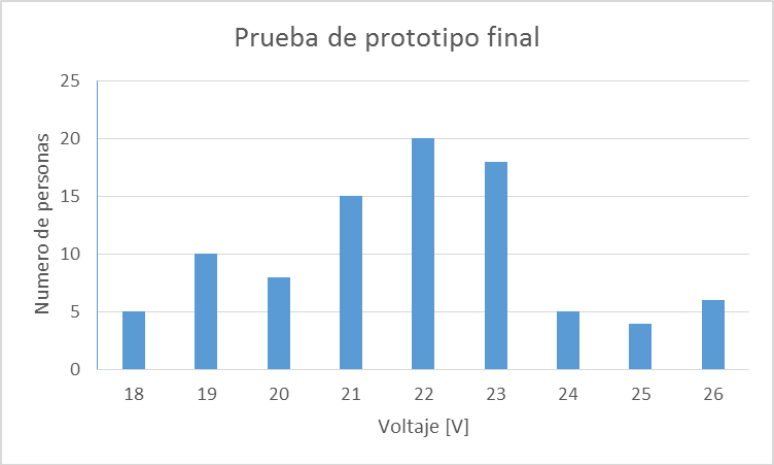


Figura 74 Grafico prueba prototipo final

Con los datos anteriores se obtuvieron el promedio, la media y moda

Tabla 21 Resultados

Promedio	21.813
Media	21.847
Moda	22

Para la segunda mediciones, la cual fue en el laboratorio, se obtuvieron una serie de gráficos las cuales resultan de la excitación de sensor durante la pisada. Como se realizaron varias mediciones, se obtuvieron distintos gráficos.

- LED central

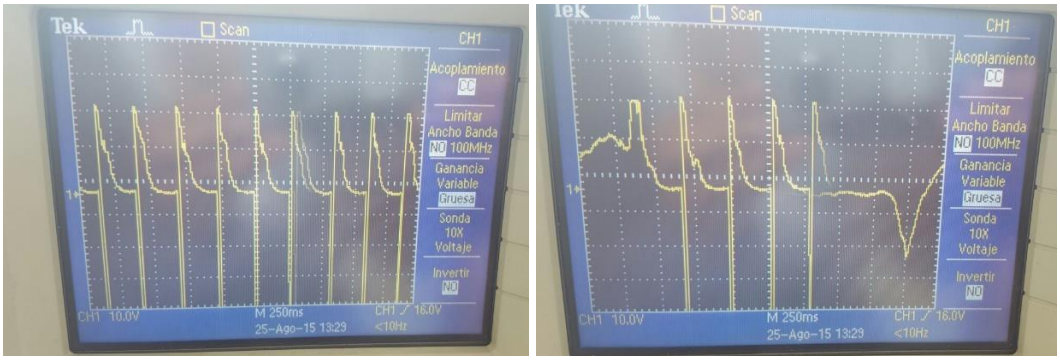


Figura 75 Grafica LED central voltaje máximo 22 volts

- LED de la esquina

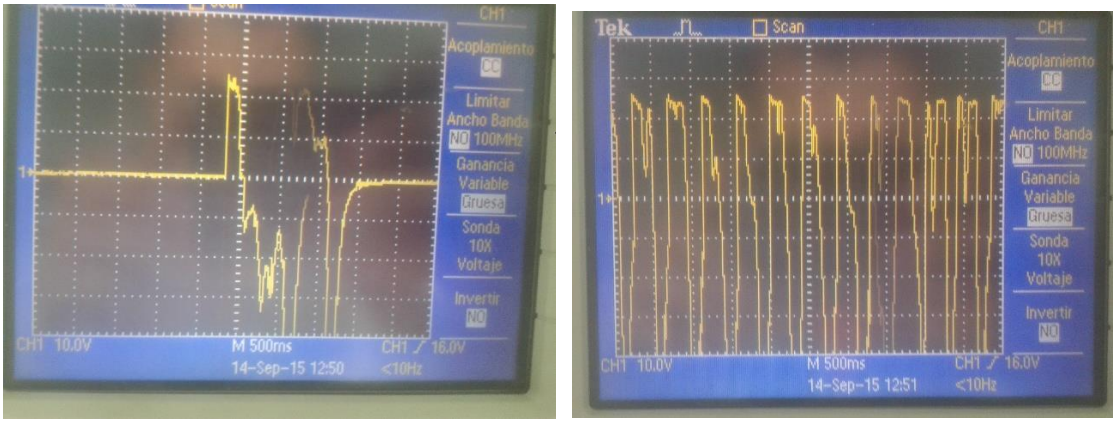


Figura 76 voltaje máximo izquierda 22 volts y voltaje máximo derecha 26 volts

- LED central (amarillo) y LED de la esquina (azul)

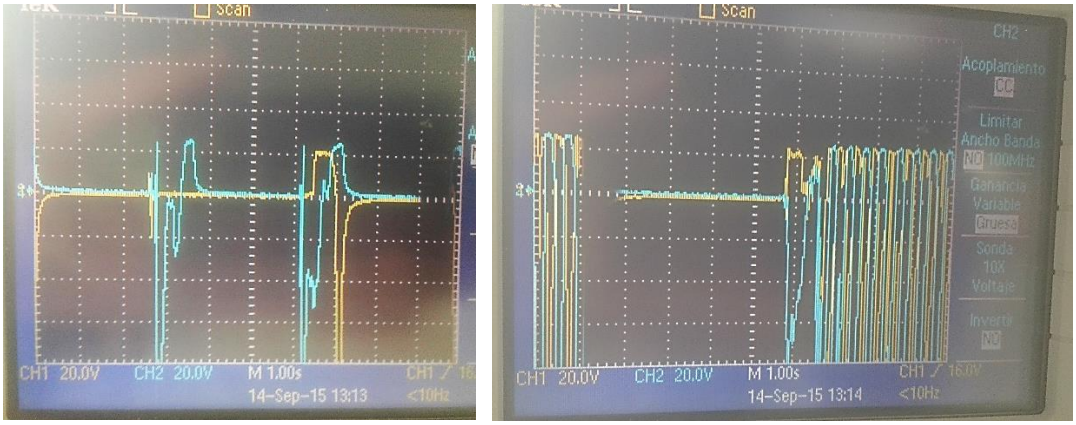


Figura 77 Voltaje máximo izquierda 22 volts y voltaje máximo derecha 26 volts

5.1. Discusión de resultados

Como se puede observar en la primera figura 73, los valores están en un rango de 18 a 25 volts, con estos valores es suficiente que los leds se prendan y llegan a una iluminación óptima. Por otra parte los valores más se repetidos están en el intervalos de 21 a 23 volts en donde 22 volts es el más repetido, esto se debe a que las la forma con que se excita el sensor el cual se flexiona de una misma forma en la mayoría de las pisadas. Se puede decir, que los valores fuera del intervalo de 21 a 23 volts, fueron personas con un peso menor o personas con un peso mayor por lo tanto el sensor se flexiona de manera diferente.

Para las pruebas realizadas en el laboratorio, en la figura 74, 75 y 76 se observa claramente el pico que genera el led al momento de ser flexionado. Igualmente que la prueba pasada, los voltajes que se mas se repiten están entre 21 y 23 volts, esto sucede para los dos leds, ya que la línea azul como al amarilla sus picos llegan a los mismos voltaje y su comportamiento es similar, con esto se puede decir la excitación es parecida en todos los sensores de la baldosa.

Para los gráficos que muestran a la persona saltando sobre la baldosa, se puede observar que son varios picos de igual magnitud los cuales son consecutivos. Esto quiere decir que la velocidad de reacción del sensor para flexionarse y regresar a su estado normal es ideal para un flujo de gente denso, por lo que es capaz de producir un pico de voltaje por cada pisada.

6. Conclusiones

Cuando se inició el proceso de investigación sobre la generación de energía limpia, se tenían diferentes ideas acerca de cómo solucionar el problema al cual, como corredor, algún día me enfrente en el Bosque de Tlalpan, en las primeras horas del día la iluminación en la pista central del bosque es escasa, lo que provoca accidentes. La idea de desarrollar pisos generadores de energía surge gracias al estilo de vida que presentan hoy en día las personas que realizan actividades físicas al aire libre como correr. Cada día y a cada momento el ser humano genera con sus movimientos energía mecánica, que bien podría ser transformada y aprovechada para satisfacer el consumo diario de energía de las personas.

Como estudiantes de ingeniería las primeras ideas que surgieron, fueron aquellas que incluían innovación y desarrollo de tecnologías capaces de ser sostenibles y sustentables. Un piso generador de energía fue una idea que permitía que la energía generada por los corredores fuese aprovechada para su beneficio, al poder iluminar en tiempo real el camino por donde corrían, así se podría evitar la colocación de un sistema de iluminación que estuviera conectado a la red eléctrica del país.

El objetivo que se planteó para este trabajo se cumplió al cien por ciento, dado que se logró la manufactura de una baldosa, la cual utilizando el efecto piezoeléctrico generó energía eléctrica para encender un arreglo de dispositivos leds, cuando el usuario requiere iluminación.

El costo total del prototipo funcional de la baldosa fue de 14,871.56 pesos, este costo no cumple con el requerimiento planteado de 1500. Esto se debe al poco conocimiento que se tenía al principio de los costos de manufactura y también el tipo de manufactura que se necesitaba para el diseño planteado. Sin embargo, los costos asociados al prototipo se podrían reducir, encontrar alguna manera de utilizar otro tipo de máquina que no sea el centro de maquinado y lograr que con menos dinero producir más.

Para pode cumplir con el objetivo y hacer uso del efecto piezoeléctrico, se hizo la búsqueda de tecnologías que utilizaran este principio. Se encontró que en el Instituto de Energías Renovables (IER) una persona trabajaba en algo parecido, pero al tratar de contactarlo no hubo respuesta sobre su trabajo. Se decidió buscar otro tipo de tecnología que utilizara el principio de efecto piezoeléctrico de alguna manera a pesar de que no fuera para generar energía. El resultado de la búsqueda encontramos que los buzzer usan el efecto piezoeléctrico de cierta forma para producir un sonido, se nos ocurrió usarlo de forma inversa, de tal forma que al momento de flexionarlo, en sus terminales se generaría una diferencia de potencial.

Durante el desarrollo del proyecto nos encontramos distintos problemas a superar como el no poder almacenar el voltaje generado por cada pisada, debido a los pocos avances y los estudios tan escasos que se tiene a cerca del almacenamiento de energía eléctrica. Se encontraron diferentes métodos, ninguno de ellos funcional debido a que la generación de energía por este medio, no es constante, presenta altos y bajos que dificultan el almacenamiento en cualquier batería o pila común conocida, así como capacitores y súper capacitores. Estuvimos seis meses investigando una manera fácil y novedosa de poder

lograr este objetivo, se concluyó que el proyecto es joven y el querer abarcar este tema implicaba mucha más experiencia, lo que conllevaba una investigación más detallada y profunda, tal vez como tema a desarrollar en un futuro como maestría.

Igualmente se presentaron problemas en la manufactura del prototipo final. Uno de estos problemas fue que las bases superior e inferior de acrílico los cuales no podían ser maquinadas en la máquina VMC 300 por las dimensiones que tenían, para resolver este problema se modificó el diseño, esto no causó ningún problema en la funcionalidad del diseño.

Para poder ensamblar el encapsulado de circuito a la placa superior fue algo difícil porque el encapsulado tenía el mismo diámetro que el barreno y el ajuste iba ser de apriete y esto causaba problemas al momento de querer separarlos para mantenimiento, por lo tanto se optó por lijar la superficie exterior el coplee del encapsulado, con esto el tipo de apriete entre el encapsulado y la placa superior seria ligero.

Como mejoras al sistema de generación de energía, podríamos generar nuestros propios sensores piezoeléctricos, diseñados de manera que se acoplaran a los objetivos y necesidades de la baldosa.

Con más tiempo de investigación el proyecto aquí presentado, podría ser una buena base para poder ser instalada dentro de las instalaciones de la facultad, y con base en eso mejorar el diseño para poder hacer de este prototipo, un dispositivo comercial, que ayude a la generación de energía limpia en el país.

En lo personal, para poder realizar este proyecto tuve que aprender a organizar mis ideas y actividades que me ayudaría a diseñar e implementar mis conocimientos, también tuve que aprender a redactar de una forma donde no le diera vueltas a las cosas y fuera directo a lo que se tenía que explicar. Por otra parte pude dividir e el trabajo con las cuestiones personales, de tal forma que lo más importante fuera resolver y desarrollar el proyecto.

Me di cuenta que no necesito que las personas me diga lo que se para creérmelo, aprendí a creer en mi y en mis conocimientos, sentir que todos las habilidades y fortalezas que poseo son más que necesario para la industria y que solo falta implementarlas. Gracias a todo eso, este trabajo se pudo realizar con resultados satisfactorios e innovadores.

Por otra parte, la facultad de ingeniería me deja con los conocimientos, habilidades y experiencias para poder desarrollarme profesionalmente en la vida laboral. También me dio un punto de vista humano en donde la convivencia y trabajo en equipo son más importantes que los géneros o las clases sociales dentro de un grupo de trabajo. Igualmente profesionalismo y sabiduría de los maestros como de las instalaciones que posee la facultad, me dieron una amplia visión de lo que es la ingeniería y que se puede trabajar en distintas áreas dentro de ella.

7. Bibliografía

Aislamientos y Estanqueidad Erica. (10 de 06 de 2015). Obtenido de http://www.erica.es/web/iir-butyl/

Beltran, R. J. (2002). Metodología mixta de selección de materiales. *Ingenieria & Desarrollo*, 33 - 51.

Calderon, R. G. (2011). *Ahorro de energia mediante iuminasion LED.* Estado de Mexico.

Calvo Peña, A. M. (29 de Junio de 2015). *Obras web*. Obtenido de http://www.obrasweb.mx/soluciones/2013/02/15/los-gobiernos-buscan-bajarle-el-costo-al-alumbrado

Castillo, A. d. (1985). *Energia solar, Diseño y dimensionamiento de instalasiones.* Monte de piedad .

Cruz, K. (12 de Septiembre de 2011). Inventan generador de energia electrica. *Ruios News*.

Ellena, S. (23 de 02 de 2012). *Pontificia Universidad Católica de Chile*. Recuperado el 23 de 02 de 2014, de Tecnologías de Almacenamiento de Energía y Factibilidad en Chile: http://web.ing.puc.cl/~power/alumno12/almacena/Celdas_Hidrogeno.html#

Fred W. Billmeyer, J. (1962). *Ciencia de los polimeros.* reverte.

Hernandez, R. I. (2014). *La energia eolica como generador de energia electrica en complejo habitacional.* Mexico.

Microgym, T. g. (09 de Septiembre de 2015). *Proyecto de autosustento y liberaxion humana*. Obtenido de https://proyectoliberaxion.wordpress.com/2012/09/12/gimnasios-generadores-de-electricidad/

Mosqueda, R. R. (2008). *Diseño de un control de iluminacion a base de LED´S via internet para una casa-habitacion .* Distrito Federal.

National Geographic. (12 de Julio de 2015). Obtenido de http://www.nationalgeographic.es/noticias/medio-ambiente/energia/baldosas-energia-pisada

nationalgeographic. (s.f.). Recuperado el 12 de 07 de 2015, de http://www.nationalgeographic.es/noticias/medio-ambiente/energia/baldosas-energia-pisadas

Rodriguez, E. M. (28 de Agosto de 2013). Mexicanos crean topes que producen energia limpia. *Milenio*.

Schlumberger Excellence in Education Develoment. (08 de 06 de 2015). Obtenido de http://www.planetseed.com/es/relatedarticle/fuentes-alternativas-de-energia-utilizadas-en-la-actualidad

SiLed. (15 de Junio de 2015). Obtenido de www.siled.com.mx

vestido, C. n. (7 de Febrero de 2012). *¿Cuánto mide México? El tamaño si importa*. Obtenido de http://www.canaive.org.mx/detalleNoticias.php?id_nota=832%3E