

**DISEÑO Y FABRICACION DE UN SISTEMA  
GENERADOR DE ELECTRICIDAD A PARTIR DE  
ENERGÍA MECÁNICA PRODUCTO DEL TRANSITO DE  
PERSONAS**

**PROPUESTA PROYECTO DE GRADO**

**JULIAN ESTEBAN DIAZ GAITAN  
ANDRES FELIPE FORERO DIAZ**

**UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE  
CALDAS  
FACULTAD TECNOLOGICA**

# Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>3</b>
<b>2. Planteamiento del Problema</b>	<b>3</b>
2.1. Estado del Arte . . . . .	3
2.2. Justificación del Problema . . . . .	4
<b>3. Objetivos</b>	<b>5</b>
3.1. Objetivo General . . . . .	5
3.2. Objetivos Específicos . . . . .	5
<b>4. Marco Teórico</b>	<b>5</b>
4.1. Ley de Hooke . . . . .	5
4.2. Generación de Energía . . . . .	6
4.3. Efecto Piezoeléctrico . . . . .	6
4.3.1. Materiales Piezoeléctricos . . . . .	7
4.3.2. Principales Propiedades . . . . .	7
4.3.3. Clasificación de los principales materiales piezoeléctricos . . . . .	8
4.3.4. Características de los subgrupos . . . . .	9
4.4. Envejecimiento del material piezoeléctrico . . . . .	9
<b>5. Metodología</b>	<b>10</b>
<b>6. Cronograma</b>	<b>11</b>
<b>7. Presupuesto y Fuentes de Financiación</b>	<b>12</b>

# Índice de cuadros

1. Ley de Hooke[2] . . . . .	5
2. Material piezoelectrico . . . . .	6
3. Propiedades Piezoeléctricas . . . . .	7
4. Histeresis Piezoeléctrica . . . . .	8
5. Clasificación piezoeléctrica . . . . .	8
6. Tasas de envejecimiento de materiales piezoeléctricos . . . . .	10
7. . . . .	11

**Resumen** El propósito del presente proyecto es diseñar un sistema generador de electricidad a partir de la energía mecánica producto del tránsito de personas y que posteriormente su funcionamiento será verificado mediante pruebas experimentales. El sistema estará compuesto por subsistemas que ayudaran en la transformación de la energía.

El primero de ellos es el sistema de transmisión, el cual se encargara de llevar de una manera eficiente la energía cinética hasta el mecanismo eléctrico. También es importante mencionar el sistema de absorción, que permitirá soportar las cargas y mantener el equilibrio del mismo. Y por último se contemplara el sistema eléctrico, el cual a través de la energía mecánica que reciba se encargara de la transformación en electricidad.

## 1. Introducción

El aprovechamiento de la energía en los últimos años se ha convertido en algo necesario, esto debido al déficit que se ha presentado en algunos países. Muchas ideas se han centrado en la utilización de fuentes de energía alternativas, ya que se realizan a través de recursos naturales y de bajo impacto ambiental.

Por otra parte, hay maneras de aprovechar la energía que de alguna forma está presente, pero no es posible su materialización a menos que se utilicen sistemas destinados para ello.

Un claro ejemplo de esta situación es la energía mecánica presente en la presión que genera una persona al caminar, este tipo de energía es posible aprovecharla por medio de un sistema que transforme la energía cinética de entrada en energía eléctrica a la salida. Por esta razón el proyecto tiene como objetivo principal diseñar un sistema generador de electricidad a partir de energía mecánica y fabricar un prototipo para su posterior aprovechamiento.

## 2. Planteamiento del Problema

El tránsito de personas por puntos estratégicos de las principales ciudades es muy grande, el desaprovechamiento de la energía que se genera producto de esto es una situación que requiere ser evaluada. De esta forma, un sistema capaz de transformar dicha acumulación de energía en una más rentable para las necesidades actuales, se convierte en una idea fundamental que surge como una necesidad para la utilización de fuentes alternativas de energía.

### 2.1. Estado del Arte

El aprovechamiento de la energía cinética producto del movimiento para luego ser

transformada en energía eléctrica fue desarrollada por un joven británico llamado Laurence Kemball-Cook hace unos años, quien con una idea innovadora utilizó unas baldosas que al ser pisadas generan electricidad.

Con el éxito de esta idea Laurence fundó la empresa pavegen, una empresa pionera en tecnología limpia que desde sus inicios ha entregado con éxito más de cien instalaciones en todos los continentes, para diversos sectores como estaciones de tren, centros comerciales, aeropuertos y espacios públicos.

El mecanismo bajo el cual funcionan las baldosas es aún desconocido pero la compañía explica que la transformación se realiza a través de materiales piezoeléctricos, que al ser sometidos a una presión generan un voltaje para luego recuperar su forma original. El diseño bajo el cual se desarrollará el presente proyecto contempla un sistema de transmisión por piñones para la transformación de la energía cinética en electricidad y su posterior aprovechamiento.

## **2.2. Justificación del Problema**

La generación de energía eléctrica a partir de energía mecánica se presenta como una opción para el aprovechamiento del gran flujo de personas concentradas en diferentes puntos. Este sistema permite transformar la fuerza generada por el apoyo de cada persona al caminar en tensión eléctrica, el valor de dicha tensión varía según la geometría, distribución y características de los subsistemas que lo integran. La tensión eléctrica como resultado de la transformación de energía mecánica funciona para la alimentación de equipos o sistemas de bajo consumo y cuenta con elementos de transmisión y generación de bajo costo.

Es por esta razón que el aprovechar la energía generada por el tránsito de las personas se convierte en una fuente de energía alternativa gratuita y eterna ya que no requiere un recurso no renovable.

### 3. Objetivos

#### 3.1. Objetivo General

Diseñar un sistema generador de electricidad a partir de energía mecánica y fabricar un prototipo para observar la factibilidad del diseño.

#### 3.2. Objetivos Específicos

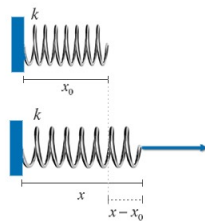
- Diseñar los parámetros de operación y distribución necesarios para el funcionamiento del sistema.
- Fabricar un prototipo a partir del diseño del sistema para la realización de pruebas experimentales.
- Validar a través de pruebas el diseño del sistema generador para diferentes tipos de generadores piezoeléctricos.

### 4. Marco Teórico

#### 4.1. Ley de Hooke

Un cuerpo se denomina elástico si al actuar una fuerza sobre él sufre una deformación, de tal forma que al dejar de aplicar la fuerza este recupera su forma original. El prototipo (macroscópico) de un cuerpo elástico lo constituye un resorte o muelle en un rango de deformaciones no demasiado grandes (rango de elasticidad). Si la deformación supera un cierto umbral (límite de elasticidad) el resorte queda permanentemente deformado.[7]

La ley de Hooke describe el comportamiento de los cuerpos elásticos frente a pequeñas deformaciones, donde  $k$  corresponde a la constante de recuperación. Por ejemplo en el caso puntual de un resorte, la fuerza requerida para elongar o comprimir este es proporcional a la cantidad de elongación o compresión  $x$ , lo anterior se describe de la siguiente forma:



Cuadro 1: Ley de Hooke[2]

Esta ley de fuerza para resortes, conocida como ley de hooke, sólo es válida en el caso limite de pequeños desplazamientos. los resortes rñgidos tienen valores grandes de k, y los resortes suaves valores pequeños.[3]

La expresion matematica de la ley de hooke es:

$$F = -k\Delta x$$

[7]

donde:

$\Delta x$ = Deformacion del resorte

$-k$ = Constante de Recuperación

## 4.2. Genereación de Energía

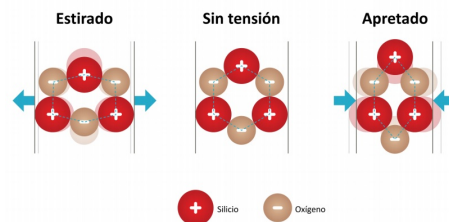
La generación de electricidad consiste simplemente en la transformación de alguna clase de energía (térmica, mecánica, química, luminosa, entre otras) en energía eléctrica.

La generación a gran escala de energía eléctrica se realiza a través de centrales eléctricas que ejecutan alguna de las trasformaciones ya mencionadas y representan la primera etapa del suministro eléctrico.[?]

## 4.3. Efecto Piezoelectrico

Los materiales piezoelectricos son capaces de convertir la tensión mecánica en electricidad, y la electricidad en vibraciones mecánicas. El cuarzo es un ejemplo muy claro de un cristal piezoelectrico 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.[5]



Cuadro 2: Material piezoelectrico

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.

#### 4.3.1. Materiales Piezoeléctricos

Existe una infinidad de materiales piezoeléctricos disponibles en el mercado, que va desde el cuarzo, insustituible en algunas aplicaciones, hasta el ultrapasado Titanato de Bario, pasando por las diversas composiciones, del ampliamente utilizado, Zirconato Titanato de Chumbo (PZT's). Muchos de estos materiales comerciales son equivalentes entre sí, pero debido a las diferentes especificaciones de cada empresa.

#### 4.3.2. Principales Propiedades

Es importante mencionar las principales propiedades de los materiales piezoeléctricos desde un punto de vista aplicativo, para así determinar el más adecuado de acuerdo a las necesidades. Entre las propiedades se destacan:

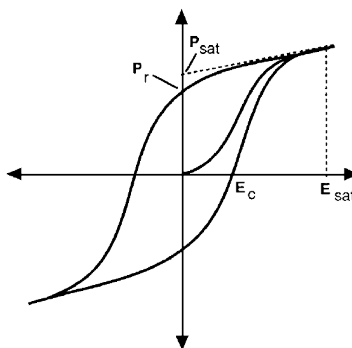
- **dij** – Constante de carga piezoeléctrica ; **Unidad:** m/V (metros/Volt) o C/N (Coulomb/Newton).
- **gij** – Constante de tensión piezoeléctrica; **Unidad:** Vm/N (Volts x metros/Newton).
- **kij** – Coeficientes de acoplamiento; **Unidad:** Adimensional.
- **Q** – Factor de calidad mecánico; **Unidad:** Adimensional.
- **Tan g** - Factor de disipación dieléctrica; **Unidad:** Adimensional.
- **TC** – Temperatura de Curie; **Unidad:** °C.

Propiedad	Navy I	Navy II	Navy III	Navy IV	Navy V	Navy VI
$K_{33}^T (\pm 12,5\%)$	1275	1725	1025	1275	2500	3250
$\text{tg}(\delta)$	$\leq 0,006$	$\leq 0,020$	$\leq 0,004$	$\leq 0,010$	$\leq 0,025$	$\leq 0,025$
$k_p (\pm 8\%)$	0,58	0,60	0,50	0,30	0,63	0,64
$d_{33} (\text{e-12 m/V}) (\pm 15\%)$	290	390	215	140	495	575
$N_p (\text{hz-m}) (\pm 8\%)$	2200	1950	2300	3150	1950	1940
$\rho (\text{g/cm}^3)$	$\geq 7,45$	$\geq 7,60$	$\geq 7,45$	$\geq 5,50$	$\geq 7,40$	$\geq 7,40$
Q	$\geq 500$	$\geq 75$	$\geq 800$	$\geq 400$	$\geq 70$	$\geq 65$
$T_C (\text{°C})$	325	350	325	115	240	65
Tipo	Hard	Soft	Hard	Soft	Soft	Soft

Cuadro 3: Propiedades Piezoeléctricas

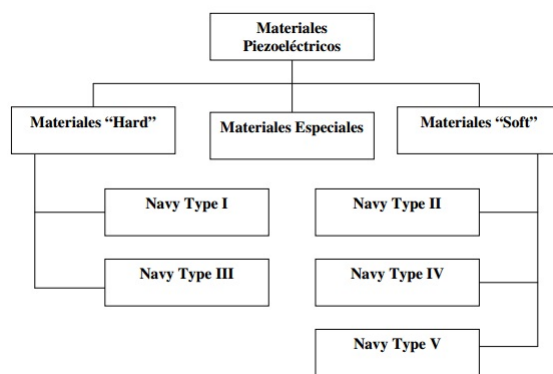
### 4.3.3. Clasificación de los principales materiales piezoeléctricos

Cuando aplicamos un campo eléctrico alternado en una cerámica piezoeléctrica y medimos la polarización inducida en función del campo, observamos el fenómeno de la histéresis ferroeléctrica, como se presenta en el cuadro 3. El área interna de esta curva corresponde a la energía disipada en la forma de calor, debido a las pérdidas mecánicas y dieléctricas[7].



Cuadro 4: Histéresis Piezoeléctrica

La principal clasificación de los materiales piezoeléctricos es basada en el área de esta curva, siendo denominados como materiales “Hard” aquellos que presentan una curva de histéresis “cerrada”, con área pequeña, y como materiales “Soft”, aquellos que presentan una curva de histéresis “abierta”, con área expresiva. Los materiales “Hard” también son denominados Materiales de Alta potencia y los “Soft” de Materiales de Alta Sensibilidad.



Cuadro 5: Clasificación piezoeléctrica [6]



#### 4.3.4. Características de los subgrupos

- **Navy Type I (“Hard”)**: Recomendado para aplicaciones de media y alta potencia en condiciones de uso continuo y repetitivo. Es capaz de generar altas amplitudes de vibración manteniendo bajas las pérdidas mecánicas y dieléctricas. -Propiedades de destaque:  $d_{33}$ ,  $\tan \delta$  e  $Q$ . -Principales aplicaciones: Sistemas de limpieza por ultrasonido y sonares. -Conocido comercialmente como: PZT4.
- **Navy Type II (“Soft”)**: Alta sensibilidad, ideal para dispositivos de transmisión y recepción de baja potencia. Presenta pérdidas dieléctricas y mecánicas que inviabilizan la excitación continua con alta intensidad. -Propiedades de destaque:  $d_{11}$ ,  $g_{15}$ ,  $N_k$  y  $TC$ . -Principales aplicaciones: Dispositivos para NDT5, hidrófonos y acelerómetros. -Conocido comercialmente como: PZT5A.
- **Navy Type III (“Hard”)**: Similar, mas menos sensible que el Navy Type I; es capaz de convertir el doble de potencia manteniendo bajas las pérdidas mecánicas y dieléctricas. Recomendado para aplicaciones de alta potencia. Propiedades de destaque: conversión de potencia máxima. Principales aplicaciones: sistemas de soldadura por ultrasonido y procesamiento de materiales. Conocido comercialmente como: PZT8.
- **Navy Type IV (“Soft”)**: Adecuado para aplicaciones de media potencia. Se ha vuelto obsoleto con la llegada de los PZT's, siendo sustituido principalmente por el Navy 5 Non Destructive Testing. 12 Type I (conforme nota de rodapié Error! Bookmark not defined., o sub-grupo Navy Type IV es constituido por BT's y no por PZT's). -Propiedad de destaque (negativo):  $TC$ . -Principales aplicaciones: manutención de equipamientos antiguos. -Conocido comercialmente como: Titanato de Bario.
- **Navy Type V (“Soft”)**: Adecuado para aplicaciones que requieren altas energías y diferencia de potencial. -Propiedades en destaque:  $d_{33}$ ,  $K_{33}$  T e  $g_{33}$ . -Principales aplicaciones: detonadores de impacto y magic clicks. -Conocido comercialmente como: PZT5J.[6]

#### 4.4. Envejecimiento del material piezoeléctrico

Podemos encontrar algunas tasas de cambio de propiedades cerámicas, estas tasas son considerablemente más elevadas si el material es utilizado en dispositivos de potencia o sometido a altos campos y deformaciones. El parámetro de mayor influencia sobre las tasas de envejecimiento es la temperatura, cuanto mayor la temperatura y más próxima de  $TC$  (Temperatura de Curie) mayores serán las tasas. Se aconseja considerar como temperatura máxima de funcionamiento 60 % de  $TC$ .

(% por década)	PZT-4	PZT-5A	PZT-5H	PZT-7A	PZT-8
$k_p$	-2,3	-0,2	-0,35	0	-2
$K_{33}^T$	-5,8	-1	-1,5	+2	-5
$N_I$	+1,5	+0,2	+0,25	-0,08	+1

Cuadro 6: Tasas de envejecimiento de materiales piezoeléctricos

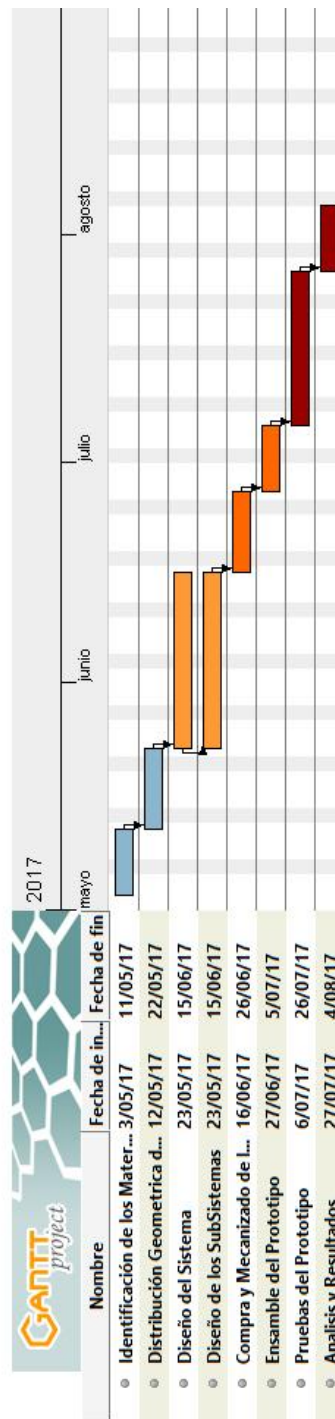
## 5. Metodología

Un sistema el cual sea capaz de soportar un flujo de personas que circulan sobre un terreno plano y sin obstáculos es la prioridad del diseño.

Como primera medida se debe realizar una búsqueda de información relacionada con las características de diferentes materiales para definir el más apropiado en el diseño del sistema. Luego de esto se definirá la distribución geométrica con la que contara el sistema, esto es de gran importancia ya que influye directamente con el rendimiento y la capacidad del mismo.

Cuando nos referimos al sistema se deben tener en cuenta los subsistemas que lo componen, como el sistema de amortiguación y el sistema de transformación de energía cinética a energía eléctrica y sus posteriores cálculos. Ya completado el diseño del sistema, se fabricara un prototipo del mismo y se realizaran diferentes pruebas, todo esto con el fin de evaluar el flujo de personas y verificar el correcto funcionamiento del diseño para el sistema.

## 6. Cronograma



Cuadro 7:

## 7. Presupuesto y Fuentes de Financiación

El presupuesto para el proyecto de investigación se encuentra alrededor de los \$ 2.000.000 mcte ya que se elaboraran pruebas con un prototipo del diseño. Para la elaboración del diseño se hará uso del programa de modelado “Nx de siemens” el cual se encuentra licenciado por parte de la universidad. Y los gastos adicionales que se presenten en el desarrollo del proyecto correrán por cuenta de los desarrolladores del mismo.

## Referencias

- [1] Ley de Hooke:Constante de Recueración de un Cuerpo Elástico. [pdf en linea]. [[https://fexposit.webs.ull.es/ife\\_b1.pdf](https://fexposit.webs.ull.es/ife_b1.pdf)].
- [2] Ley de Hooke. [pagina en linea]. [<https://www.calculadoraconvertor.com/ley-de-hooke/>]
- [3] Serway, Raymond; Fisica para Ciencia e ingenieria; Volumen uno; Quinta Edición; Mcgraw Hill; [Libro].
- [4] [pagina en linea]. [<https://www.slideshare.net/car13031994/materiales-piezoelctricos>].
- [5] [pdf en linea]. [[http://www.nisenet.org/sites/default/files/catalog/uploads/spanish/12194/electricsqueeze\\_images\\_13nov13\\_sp.pdf](http://www.nisenet.org/sites/default/files/catalog/uploads/spanish/12194/electricsqueeze_images_13nov13_sp.pdf)].
- [6] [pdf en linea].<http://www.atcp.com.br/imagenes/productos/ceramicas/articulos/Documento-3.pdf>.
- [7] [pagina en linea][[http://enciclopedia.us.es/index.php/Generaci%C3%B3n\\_de\\_energ%C3%ADa\\_el%C3%A9ctrica](http://enciclopedia.us.es/index.php/Generaci%C3%B3n_de_energ%C3%ADa_el%C3%A9ctrica)].