

CARACTERIZACIÓN DE UN NEUMÁTICO DE MOTOCICLETA ELÉCTRICA, EL CUAL EMPLEA MATERIALES PIEZO-ELÉCTRICOS PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y SU ALMACENAMIENTO

Aurora Aparicio Castillo

*ESIME Unidad Azcapotzalco, Instituto Politécnico Nacional
aaparicioc@gmail.com*

Hugo Armando Guerra Calva

*ESIME Unidad Azcapotzalco, Instituto Politécnico Nacional
hugo.guerra.calva@hotmail.com*

Ramón Rodríguez Luna

*ESIME Unidad Azcapotzalco, Instituto Politécnico Nacional
lunaa3019@gmail.com*

Abstract

This project aims to build on the basis of previously acquired knowledge, testing, information gathering and analysis, the redesign of a tire with piezoelectric materials, which is an innovative, visionary product for obtaining electricity from the pressure fluctuations that exist in the contact trace of the tire, thus betting on a form of clean energy to improve the quality of the environment, this design is focused on electric-hybrid vehicles. To fulfill the main objective, it is proposed to carry out research on the vulcanization process, rubber background, background of piezoelectric materials, background of electric motorcycles, as well as the main applications in which piezoelectric sensors are used for the generation of energy and storage of this. The characterization of the piezoelectric materials will be carried out in order to know their behavior from different forces applied with the help of a prototype, the analysis of the forces to which the tire is subjected and its physical behavior in relation to these forces. The interactions between the characterization of the piezoelectric discs and the behavior of the tire will be analyzed to propose a general design of this product, leaving the bases for a continuous improvement of the same.

Palabras clave: neumático, materiales piezoeléctricos, obtención de energía eléctrica, fluctuaciones de presión, energía limpia.

Los avances tecnológicos de los países desarrollados apuntan cada vez más a la innovación de tecnologías e implementación de éstas para la producción de energías alternativas, trayendo como consecuencia no sólo un cuidado hacia el medio ambiente,

sino también ponerse a la vanguardia y ser pioneros en estos campos, dando así mayores beneficios económicos en el producto interno bruto (PIB).

Desarrollar este proyecto ayudará a cimentar una base para innovaciones

referentes a la producción de energía a través de materiales piezoeléctricos, enfocado hacia el sector de la industria automotriz.

1. PROPUESTA DE DISEÑO ANÁLISIS FUNCIONAL

El análisis funcional es una metodología analítica que consiste en el establecimiento de las propuestas a través de la identificación y ordenamiento de las funciones productivas, describiendo de manera precisa el funcionamiento desde su propósito principal hasta las contribuciones individuales requeridas para su cumplimiento.

“En esta metodología, se va desglosando el propósito principal en funciones, bajo una relación de resultado-causa donde cada función debe delimitarse y separarse de su contexto laboral concreto”. (Quesada Martínez, 2003).

En el análisis funcional realizado (ver Figura 1), se utilizó como base principal el objetivo de este proyecto; el cual es caracterizar un neumático, en el cual han sido colocados sensores de materiales piezoeléctricos en su interior y que será capaz de generar energía eléctrica con su propio movimiento y que contará con una etapa para el almacenamiento de la misma. Se realizó una división en dos funciones, la generación de energía y el almacenamiento de ésta, para esos aspectos se proponen varias soluciones en el esquema, las cuales serán desarrolladas.

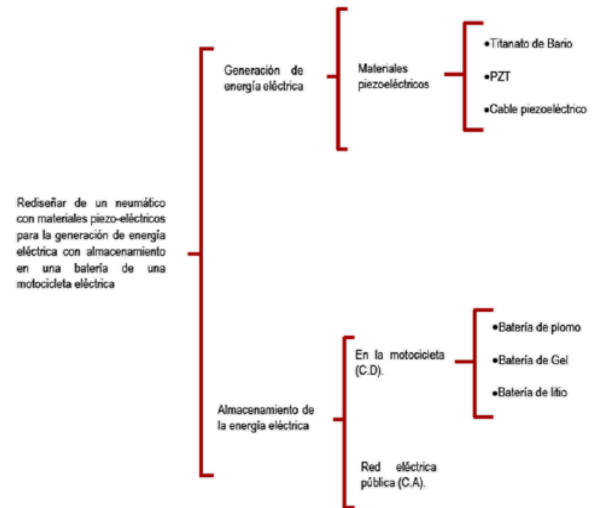


Figura 1. Diagrama Funcional SELECCIÓN DE MATERIALES PIEZOELÉCTRICOS

Para realizar la caracterización del comportamiento de un neumático, en el cual se colocaran los sensores piezoeléctricos, es necesario primero realizar una comparación entre los piezoeléctricos más utilizados comercialmente y en base a las mismas seleccionar los más adecuados a nuestra aplicación, los resultados obtenidos de la investigación se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Tabla comparativa de materiales piezoeléctricos. Fuente: Elaboración Propia, basado en Elizondo Garza y F.J. Cupich

PROPIEDADES \ MATERIALES	PZT-5J	Niobato de Potasio Sodio	Titanato de Bario
Intensidad eléctrica	0.01 mA	No se obtuvieron datos	No se obtuvieron datos
Temperatura de Curie	240 C	250 - 280 C	120 C
Voltaje Generado = constante de tensión piezoeléctrica	1 – 60 V para cada Newton aplicado con dimensión de 1 m (Disminuyendo la dimensión de la cerámica o aumentado a fuerza, el módulo aumenta)	No se obtuvieron datos	3.2-3.5 V cuando el tamaño es de 7 – 15 Nm
Eficiencia = Coeficiente de acoplamiento	Kp= 0.63	Kp= 0.130	Kp= 0.44
Costo	0.25 Dólares x Oblea	US \$ 50-100 x Unidad (como materia prima)	US \$ 5-15 x Kg (como materia prima)

En esta tabla se compararon los materiales piezoeléctricos contemplados para el proyecto, resultando seleccionado el PZT por sus características y propiedades.

SELECCIÓN DEL NEUMÁTICO

De acuerdo con las necesidades del proyecto se consideran 3 tipos de neumáticos correspondientes a las motocicletas Zero DSR ZF13.0, Enérgica Ego 2016 e Italika Voltium.

Del análisis realizado resulta seleccionada la motocicleta marca Italika, modelo Voltium, debido a características como el peso, el tamaño de los neumáticos, batería y motor, las cuales facilitan el trabajo respecto a las otras dos propuestas.

Para realizar el diseño, se considera el neumático 120/70 R12 (Ver figura 2), el cual es utilizado en la motocicleta Voltium, este cuenta con las siguientes características:

- Ancho: 120 mm
- Serie del neumático: 70% La relación entre la altura del flanco y la anchura de la sección del neumático.
- Construcción interna del neumático: Radial (Esto significa que los cables textiles de la carcasa atraviesan el neumático de un reborde denominado también "talón")
- Diámetro interno del neumático: 12 pulgadas (altura de la llanta). (Michelin, 2018)



Figura 2. Neumático 120/70 R12 Fuente: www.michelin.es

Para un diseño más detallado del neumático se realizó la investigación de la composición de éste, especificando las partes que lo integran.

La composición de la goma varía en un mismo neumático. Cada material tiene propiedades muy diferentes cuyas confecciones exigen una gran precisión. Cada componente se diseña meticulosamente para conseguir la flexibilidad, la resistencia y el agarre. También se utilizan gran cantidad de cables metálicos y sintéticos, el principal material de construcción utilizado es Caucho estireno-butadieno, abreviado SBR (del inglés Styrene-Butadiene Rubber) es un elastómero sintético obtenido mediante la polimerización de una mezcla de monómeros: estireno y butadieno. Estos componentes se muestran representados por números en la figura 3 y son descritos a continuación.



Figura 3: Partes De un Neumático Fuente: www.michelin.es

1. Revestimiento de goma interior. Es una capa de caucho sintético estanca al aire. Esta capa se encuentra en el interior del neumático y hace la función de cámara de aire. (Michelin, 2018)

2. Carcasa. La carcasa es una estructura flexible formada por hilos (textiles o de acero) embutidos en goma, que forman arcos rectos y se enrollan en el aro del talón del neumático. Sobre la carcasa se colocan el resto de lonas y capas de goma que conforman.

3. Zona baja. Tiene el papel de transmitir el par motor (potencia del vehículo) en la aceleración y en la frenada de la llanta hacia la zona de contacto con el suelo.

4. Aro de talón. Es la parte de la cubierta que se fija y ajusta a la llanta. Está formado por un cable de acero inextensible, de forma y proporción variable según la dimensión y tipo de neumático, en él se enrolla la lona carcasa.

5. Flanco. El flanco es la zona comprendida entre la banda de rodadura y los talones de la cubierta. El flanco representa la altura de la cubierta.

6 y 7. Lonas de cima. Están constituidas por cables metálicos revestidos de goma. Se posicionan sobre la carcasa formando un cinturón que garantiza la resistencia mecánica del neumático a la velocidad y a la fuerza centrífuga. Las lonas que forman el cinturón se cruzan oblicuamente y se pegan una encima de la otra. El cruce de sus hilos con los de la carcasa forma triángulos indeformables, que garantizan la rigidez de la cima. Estas capas, que rodean toda la cima del neumático formando un cinturón, desempeñan un papel muy complejo, tienen que ser lo bastante rígidas en el sentido circunferencial del neumático para no extenderse bajo el efecto del centrifugado y para controlar perfectamente el diámetro del neumático, independientemente de las condiciones de uso, también tienen que ser rígidas en sentido transversal para resistir a los esfuerzos de deriva. Pero también tienen que ser muy flexibles en sentido vertical para "pasar los obstáculos". (Michelin, 2018)

8. Banda de rodadura. La banda de rodadura es la parte del neumático que está en contacto con el suelo y está formada por una capa de goma en la que se realizan una serie de ranuras que dan origen al dibujo o escultura.

SELECCIÓN DE BATERÍA

Las baterías de litio son baterías de tamaño reducido, ligeras, seguras, que acumulan grandes cantidades de energía por tamaño y peso, con un alto voltaje por celda, sin efecto memoria, de forma que la primera carga no tiene nada que ver con su duración, y de descarga lineal

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL NEUMÁTICO EN SOLIDWORKS.

Para el diseño de este proyecto, se optó por hacer un estudio por separado de la parte mecánica del neumático, atendiendo las fuerzas que actúan sobre él debido a diferentes factores y la parte electrónica correspondiente a los sensores piezoeléctricos, la caracterización de estos y los arreglos necesarios para mejorar la respuesta de los sensores, de esta manera se facilitará el proceso de análisis y diseño del proyecto.

Para la propuesta de colocación de los sensores piezoeléctricos en el neumático, se realizó una investigación del comportamiento de diversas secciones a fin de establecer los puntos adecuados donde se colocarían los materiales, en este caso los discos piezoeléctricos, se propone que estos vayan colocados dentro del neumático en una especie de capa de recubrimiento, de tal manera que estén conectados en serie y se mantengan en una posición segura, sin que el desgaste del neumático afecte directamente al material.

Como se vio en el aparatado anterior, el neumático está conformado por distintas capas, se propone que los materiales piezoeléctricos estén ubicados en la carcasa del neumático, esto con la finalidad de que no se dañe la estructura interna de las capas cercanas a la huella de contacto.

A continuación, se muestra un apartado gráfico de la propuesta de diseño y los distintos componentes que se integraron en el

mismo, desde la conformación de las capas hasta la inserción de los discos piezoeléctricos como posible solución. Cabe destacar que el rin fue diseñado tomando en cuenta las medidas del neumático (12 in) y con un patrón utilizado comúnmente en motocicletas, el cual no afecta el desempeño de la llanta.



Figura 4. Imagen de Propuesta de neumático y Vista isométrica del diseño en SolidWorks.



Figura 5. Vista de la lona de cima del neumático.



Figura 6. Vista seccionada de la carcasa del neumático

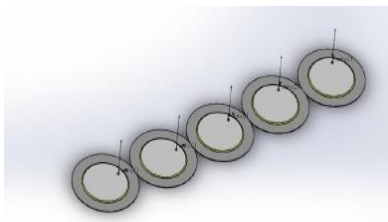


Figura 7. Diseño de los discos piezoeléctricos en SolidWorks.

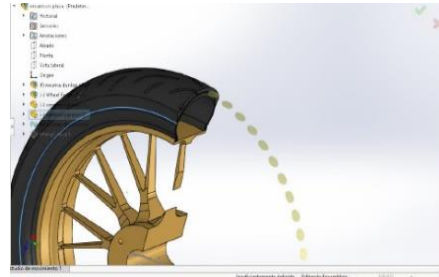


Figura 8. Posición de los discos piezoeléctricos en Vista seccionada de SolidWorks



Figura 9. Propuesta de colocación de los discos piezoeléctricos en SolidWorks.

2. ELABORACIÓN DE PROTOTIPO PARA CARACTERIZACIÓN DE SENSORES PIEZOELECTRICOS

Con el propósito de analizar el comportamiento de los sensores a emplear se elabora un prototipo, el cual consiste en colocar cinco sensores piezoeléctricos conectados en serie, los cuales permiten medir el voltaje y la corriente. Los sensores serán colocados dentro de dos placas de madera, acomodadas para que una persona pueda ejercer la fuerza necesaria de su peso y pueda deformar los cerámicos para la producción de energía. Esto nos servirá para poder tener datos que muestren cómo se van a comportar los sensores dentro del neumático y así poder determinar la eficiencia del proyecto.

En la figura 10 se puede apreciar el inicio del prototipo, empezando con el trazado de un contorno de una bota marcada en una hoja de madera MDF con un espesor de 12 mm,

dicho molde será la base donde irán colocados los piezoeléctricos.



Figura 10. Trazo de la circunferencia de la bota en una superficie de madera

Se remarcó el contorno para mejor visualización y facilitar el corte en la superficie de madera, la herramienta que se utilizó fue una caladora para realizar el corte de la hoja.



Figura 11. Trazo de la suela a lápiz en la madera.

En la figura 12 se ve el corte de la hoja de madera una vez terminado, se puede apreciar que tiene la forma de la huella de un zapato y es ahí donde irán colocados los sensores piezoeléctricos.



Figura 12 Base terminada

Para poder colocar los piezoeléctricos en la base de madera, se realizó el trazo con un compás de circunferencias, lo que permite tener los orificios del tamaño adecuado a los cerámicos, posteriormente con un taladro y broca plana (*spade bit 1 in*) se realizaron los agujeros sin perforar completamente la base de madera, como se muestra en la figura 13.



Figura 13 Circunferencias realizadas con un compás en la base de madera para colocar los sensores.

En la figura 14 se muestra el lugar en dónde van colocados los piezoeléctricos y se observa la base realizada, ya con las múltiples circunferencias para la colocación de los mismos.

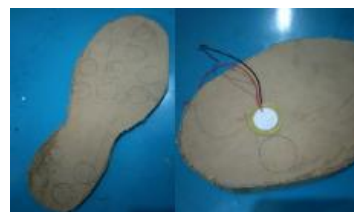


Figura 14 Total de circunferencias trazadas en la base.

Para la elaboración de la tapa se utilizó madera mdf de 3mm, para lo cual, se realizó un trazo cuyo contorno coincidía con el mostrado en la figura 14, se procedió al corte con la caladora y se hizo una comparación con la base para asegurar que embonara correctamente, esto se muestra en la figura 15



Figura 15 Realización de la tapa con madera más delgada

Con ayuda de la broca plana y el taladro se realizaron 12 agujeros para colocar los piezoeléctricos deseados, para posteriormente observar su funcionamiento en serie y/o en paralelo.



Figura 16 Base del prototipo con los agujeros correspondientes, listo para colocarle los piezoeléctricos

En la figura 17 se observa el ensamble del prototipo, colocando los discos piezoeléctricos en la base de madera de mayor espesor.



Figura 17 Base del prototipo con los piezoeléctricos colocados.

Por último, a la tapa se le colocaron las circunferencias de madera, de tal forma que

al sobreponer la base quedarán concéntricas a los piezoeléctricos logrando que estos se deformen simultáneamente al aplicar presión sobre la misma y así obtener la mayor eficiencia en la generación de energía.



Figura 18. Tapa del prototipo con círculos de madera.

Para realizar las pruebas se sometió el prototipo a una fuerza igual al peso de una persona adulta multiplicada por la gravedad de la tierra.

$$F = 85\text{kg} * 9.81\text{m/s}^2 = 833.85\text{N}$$

Se realizaron múltiples pruebas conectando los piezoeléctricos tanto en serio como en paralelo, esto con el objetivo de establecer cual arreglo nos sería más útil para implementarlo posteriormente en la llanta, lo cual se hará considerando los voltajes y amperajes arrojados en las 15 pruebas realizadas tanto en paralelo como en serie.



Figura 19. Prototipo en prueba conectado en serio mostrando valor de 32.17 volts

Tabla 2. Resultados voltaje, amperaje en piezoeléctricos para LTC 3588-1

Numero de prueba	Voltaje AC generado serie	Voltaje AC generado en paralelo	Voltaje CD usando LTC 3588-1
1	29.69	13.4	3.3
2	40.37	12.56	3.3
3	20.28	13.72	3.3
4	28.97	11.15	3.3
5	21.4	8.64	3.3
6	60.67	12.46	3.3
7	44.4	10.7	3.3
8	55.8	13.83	3.3
9	28.54	14.1	3.3
10	30.32	11.63	3.3
11	32.17	13.47	3.3
12	47.7	10.7	3.3
13	66.6	12.87	3.3
14	60.3	9.94	3.3
15	38.6	13.7	3.3

En la tabla 2, se pueden observar los resultados de 15 pruebas a las que fue sometido el prototipo en el cual, los piezoeléctricos fueron conectados tanto en serie como en paralelo para medir el voltaje generado, así también se realizó la medición del voltaje usando el circuito LTC 3588-1

Para las pruebas de medición de intensidad de corriente se utilizó el circuito LTC 3588-1, el cual fue conectado en forma típica de acuerdo al datasheet, el cual nos dice que a la salida se tendrá una intensidad de corriente de 100 mA con un voltaje estable de 3.3 V

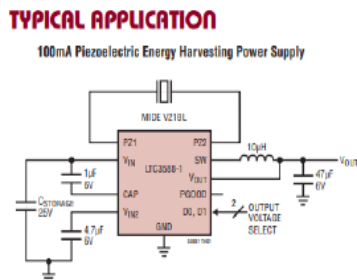


Figura 20. Circuito LTC 3588-1 conectado de forma típica Fuente: Fotografía sacada del datasheet del LTC 3588-1.

En la práctica la intensidad de corriente que nos arrojaba no es constante a 100 mA si

no que varía dependiendo de la continuidad con la que se deforman los piezoeléctricos, las mediciones varían entre los 0.3 mA a los 60 mA, lo cual es un rango muy amplio pero aceptable para las pruebas, ya que en el neumático estaría sometido a fuerzas contantes, las cuales lograrían deformar los piezoeléctricos de manera que estos produzcan un voltaje y corriente estable.

ALMACENAMIENTO DE LA ENERGÍA GENERADA POR EL ARREGLO PIEZOELÉCTRICO

Existen dos posibilidades en cuanto al uso y almacenamiento que se puede dar por el voltaje generado por el arreglo de sensores piezoeléctricos.

1. Que el voltaje de corriente alterna generado por los sensores se inyecte a la red eléctrica pública para lo cual se describe el siguiente circuito: a la salida del arreglo de los piezoeléctricos se introduce a un inversor, el cual convierte de corriente alterna a corriente directa, luego la energía llega a un convertidor dc-dc, éste regula y amplifica el voltaje necesario para alimentar la batería, por último llega a un inversor para regresarla a corriente alterna y de esta forma esté lista para la red eléctrica pública.

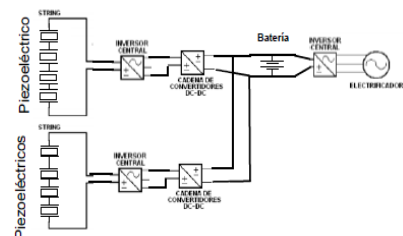


Figura 21. Representación del circuito, posibilidad 1

- Listado de componentes:
- Arreglo de piezoeléctricos
 - Inversores
 - Convertidores

- Batería

2. Con el uso del circuito integrado LTC 3588-1 se obtiene un voltaje de corriente directa, el cual se puede almacenar en una batería, siendo necesario la conexión de los sensores piezoeléctricos con el inversor, para tener una corriente directa y así poder almacenarla en la batería, para posteriormente la utilización de la misma.

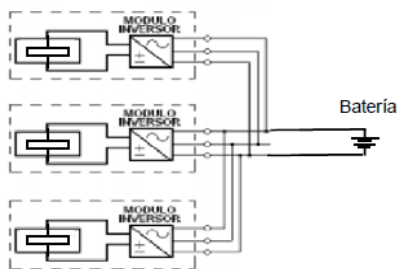


Figura 22. Representación del circuito, posibilidad 2

Listado de componentes

- Módulo piezoeléctrico
- Inversor
- Batería

CONCLUSIONES.

Al finalizar el presente proyecto, podemos concluir que es un producto ambicioso debido a la complejidad del mismo, los materiales piezoeléctricos, son elementos que están en constante evolución tecnológica debido a que sus características recientemente están siendo explotadas para el beneficio de la rama ingenieril y científica, de esta manera la caracterización que se hizo de los materiales son apenas suficientes para el acoplamiento en un modelo ideal de un neumático, en cuestión de diseño, se logró de manera eficaz el objetivo de dejar una visión de cómo podría ser el acoplamiento con un modelo ideal del neumático con base en los resultados obtenidos.

Se lograron alcanzar los objetivos estipulados los cuales principalmente van dirigidos en dejar bases sólidas para el seguimiento del proyecto, se deja abierto de tal manera que se puedan hacer mejoras continuas, por ejemplo:

- Implementar pequeños amortiguadores entre los sensores y el neumático para cuidar el material.
- Realizar un arreglo de cableado que facilite la transmisión de la energía generada.
- Utilizar sensores piezoeléctricos con mejores características, tales como, mayor eficiencia, mayor temperatura de Curie, mayor constante de tensión eléctrica. etc.
- Mejorar el modelo e implementarlo en un automóvil para obtener una mayor eficiencia, tomando como referencia los resultados obtenidos en este proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aguirre Ríos, C. (20 de junio de 2015). Noticias relevantes de la industria. Antecedentes Históricos Del Hule (Caucho) En México. Parte 2. Jalisco.
2. Antúnez González, R. (2011). Diseño y caracterización mediante el método de los elementos finitos de un transductor ultrasónico para aplicaciones médicas. Ciudad de México, México.
3. Federación, D. O. (19 de agosto de 2010). [www.dof.gob.mx](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5186580&fecha=19/04/2011). Obtenido de http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5186580&fecha=19/04/2011
4. ISO. (2011). Grupo Alianza Empresarial. Obtenido de https://www.certificacion-iso.com/n161_fabricacion-de-cameras-y-neumaticos-o-llantas/
5. Lina Castro, L. (2015). Rediseño motocicleta convencional a

- motocicleta eléctrica. Ciudad de México, México.
6. Martínez, M. (24 de mayo de 2016). 307 Rivera Maya. Juego de pelota.
 7. Obregón Sánchez, C. (junio de 2013). Análisis, diseño y caracterización de sensores piezoeléctricos ultrasónicos libres de plomo, en. Ciudad de México, México.