

Diseño conceptual de un generador de energía mediante reductores de velocidad vehicular: parte mecánica

Álvaro Sánchez Rodríguez

Instituto Tecnológico de Celaya
alvaro.sanchez@itcelaya.edu.mx

Alejandro Jerusalén Muñoz García

Instituto Tecnológico de Celaya
muga_84@hotmail.com

Raúl Lesso Arroyo

Instituto Tecnológico de Celaya
raul.lesso@itcelaya.edu.mx

Ramón Rodríguez Castro

Instituto Tecnológico de Celaya
ramon.rodriguez@itcelaya.edu.mx

Karla Anhel Camarillo Gómez

Instituto Tecnológico de Celaya
karla.camarillo@itcelaya.edu.mx

Carlos Rafael Aguilar Nájera

Instituto Tecnológico de Celaya
rafael.aguilar@itcelaya.edu.mx

RESUMEN

Se presenta el diseño conceptual de un dispositivo electromecánico para captar la energía disponible en el flujo vehicular y transformarla en energía eléctrica. Como inicio se consideró una metodología de diseño general para obtener la propia a este trabajo, en la etapa del análisis de las alternativas se utilizó la metodología TRIZ que considera los requerimientos establecidos, posteriormente se diseñó el dispositivo mecánico auxiliados por ingeniería asistida por computadora CAD-CAE, seguido de la simulación de las partes con el propósito de reducir tiempos de implementación y la posibilidad de

evitar errores en la construcción del prototipo y para estimar la potencia eléctrica a generar. Se logró obtener un prototipo virtual que satisface el principio de funcionamiento del sistema.

INTRODUCCIÓN

Uno de los temas referentes de la actualidad mundial durante los últimos años ha sido el mercado energético. La generación, distribución y consumo de energía son asuntos de suma importancia, económica y social, abarcando desde el entorno local hasta el mundial. Lo anterior plantea un gran desafío para la sociedad y crea una excelente base para generar investigación y desarrollo de tecnologías en el área de las energías renovables no convencionales (ERNC), ya que abren una puerta hacia nuevas soluciones, que en su conjunto, pueden ayudar a satisfacer la creciente demanda de energía, aprovechando de manera eficiente y limpia el potencial energético de la zona en que se sitúa la necesidad (el mar, eólico, solar, etc.).

La generación de electricidad a partir del flujo vehicular es escasa comparada con otras fuentes de energía renovable no convencional (ERNC), tales como la energía solar y la eólica. El desarrollo de esta tecnología ha estado limitado a prototipos y proyectos que se encuentran aún en etapa de diseño. Por lo tanto, lo que se propone a través de este trabajo es el desarrollo de un reductor de velocidad (“tope”) que aproveche el peso de los vehículos y lo transforme en energía eléctrica.

La metodología a desarrollar tendrá que ver con romper la linealidad del pensamiento con el cual se ha venido trabajando y desarrollando el proyecto, para esto se plantea la

posibilidad de obtener soluciones aplicables al dispositivo a través del uso del método TRIZ y su matriz de contradicción, el cual es un método que trabaja netamente con las variables típicas que surgen al momento de iniciar y desarrollar una invención. Por otro lado, el diseño y la ingeniería asistidos por computadora permiten reducir los tiempos de implementación y las posibilidades de error en la construcción del prototipo físico.

REVISIÓN

A través de los años se han propuesto métodos y aparatos para generar energía eléctrica. Por lo general, las formas convencionales de energía, por ejemplo, el viento, el agua, la energía solar, nuclear, o la fuerza del vapor producido por la quema de combustibles convencionales como el carbón, petróleo y gas, se han utilizado para mover los generadores que producen energía eléctrica. La mayoría de estas fuentes de energía sufren de desventajas: requieren de elevadas inversiones de capital, algunas se limitan en cuanto a las cantidades disponibles y otras han creado problemas ecológicos, además se desconoce cómo manejar determinadas fuentes de energía y disponer de sus desechos en forma segura.

Esto ha provocado un gran interés en la extracción de energía procedente de diversas fuentes. Un tema apasionante está en relación a la posibilidad de obtener energía a partir del flujo vehicular, pues da paso a la siempre cautivante imaginación del hombre y a la audacia del ingenio ante este desafío, que sin duda, supone una enorme importancia para el futuro energético de la humanidad.

Existen varias patentes de dispositivos utilizados para captar este tipo de energía y actualmente está siendo probado uno de ellos en Inglaterra [1]. Estos dispositivos tienen como principal concepto el hecho de captar el peso de los vehículos en movimiento, convertirlo en energía cinética rotacional y posteriormente en energía eléctrica [2]-[5]. Algunos utilizan un sistema hidráulico [6] y otros un sistema neumático [7,8].

Además para conocer estas patentes relacionadas con este tipo de tecnología se utilizaron los distintos motores de búsqueda de las oficinas de patentes más importantes del mundo, las cuales se detallan a continuación:

- Bases de datos Oficina Europea de patentes [9].
- Base de datos Oficina de patentes de los Estados Unidos [10].
- Base de datos de la oficina de propiedad industrial del Reino Unido [11].

En varios de los sistemas, desde hace tiempo se reconoce que la energía potencial contenida en los vehículos en movimiento se puede convertir en energía cinética para generar energía eléctrica, por medio de sistemas que implican medios neumáticos, hidráulicos o mecanismos que requieren de muchas partes complicadas, además la eficiencia de la mayoría de estos sistemas ha resultado ser relativamente baja debido a las pérdidas por fricción.

En 1976 Le Van propone un aparato para generar energía eléctrica mediante la utilización del peso de los vehículos en movimiento. Esto se lograba mediante la construcción de una plataforma móvil sobre la calzada, la cual se desplazaba verticalmente con el peso de los vehículos que transitaban sobre ella, luego mediante

un mecanismo de engranes este desplazamiento se convertía en movimiento giratorio, el cual se aprovechaba para impulsar un generador eléctrico [2].

En este mismo año Arthur B. Chiappetti propone un dispositivo que consistía de un tambor que se extendía ligeramente por encima de la superficie de la carretera, el tambor era impulsado debido a la fricción que se generaba entre los neumáticos y el tambor al paso de los vehículos. El tambor estaba conectado al volante inercial y a un generador, produciendo de esta forma energía eléctrica [3].

En 1990 Asim K. propone un sistema que utilizaba un conjunto de ruedas, las cuales se hacían girar bajo tierra, cada una de ellas estaba equipada con un mecanismo para recibir y transmitir impulsos gravitacionales de par por el paso de vehículos, los cuales mantenían las ruedas en movimiento. El mecanismo utilizado para aplicar los pulsos de torsión consistía en una plataforma inclinada, una varilla cilíndrica hueca dispuesta verticalmente y una zapata fijada al extremo inferior de la barra vertical por una bisagra. Además, un eslabonamiento de acero que conectaba la plataforma y la parte inferior de la zapata se usaba para el posicionamiento inicial de la misma. La plataforma se mantenía en su posición inicial por medio de un muelle. La electricidad se generaba aprovechando el giro de cada rueda en combinación con un sistema de engranaje adecuado, los cuales actuaban como fuerza motriz de un alternador [4].

Posteriormente en 1977 Le Van incorpora una cámara flexible en la carretera, la cual podía ser fácilmente deformada con los vehículos que transitaban sobre la misma. Dentro de esta cámara se encontraba confinado un fluido incompresible. Operativamente asociado a la cámara se encontraba un pistón. La disposición era tal

que el desplazamiento del fluido confinado dentro de la cámara le producía un desplazamiento correspondiente al émbolo del pistón. Conectado con el pistón estaba un eje de transmisión, el cual a su vez estaba conectado a un embrague unidireccional y a un generador eléctrico. De esta manera, el paso periódico de vehículos sobre la cámara flexible mantenía el giro de un generador eléctrico [6].

En 2001 Juan Runner propone un dispositivo para generar aire a presión, el cual se utilizaba para impulsar una turbina acoplada a un generador y de esta manera producir energía eléctrica. El dispositivo consistía en una plataforma inclinada, pivotada en uno de sus extremos y del lado opuesto contaba con una cremallera, la cual impulsaba a un engrane que estaba acoplado a un motor neumático, así mediante el paso sucesivo de vehículos sobre la plataforma se generaba aire, el cual se almacenaba en un tanque. Finalmente este aire almacenado era liberado controladamente para mover a una turbina, la cual impulsaba al generador eléctrico.

Finalmente en 2010 Chang propone un sistema en el cual el peso de los vehículos en movimiento se utilizaba para comprimir a un fluido dentro de una cámara. Este fluido comprimido se liberaba para mover a una turbina, la que a su vez impulsaba a un generador, y de esta manera producir energía eléctrica [8].

En 1980 Santiago Martínez propone un sistema compuesto por una plataforma pivotada en un extremo y del lado opuesto contenía una estructura semicircular con balancines, los cuales servían para impulsar a una turbina. La turbina era colocada en un eje común al de un generador. Así mediante esta disposición de elementos se generaba energía eléctrica con el paso sucesivo de vehículos [13].

METODOLOGÍA

Para el desarrollo del proyecto fue necesario utilizar una gran variedad de herramientas, todas ellas se resumen en la metodología aplicada, la cual sirvió como guía durante la investigación y facilitó el proceso de diseño. El diagrama que se muestra en la figura 1, representa una secuencia de procesos por niveles, cada nivel significó la realización de tareas distintas, partiendo de la identificación de una necesidad hasta llegar a los resultados.

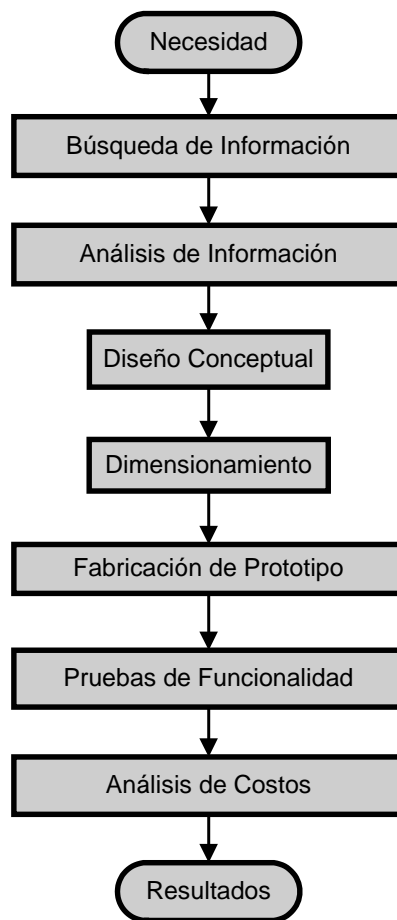


Figura 1. Metodología para el diseño conceptual

Necesidad

El punto de partida de este proyecto fue la necesidad de desarrollar un sistema de alimentación eléctrica para el elevador de un puente peatonal que funcionara mediante energías alternativas.

Búsqueda de información

Se consultaron diferentes fuentes de información para la documentación entre las más comunes están los libros de consulta en bibliotecas, tesis, páginas Web, revistas de divulgación científica, memorias de congresos, instituciones, etc. La documentación respectiva de éste proyecto se presenta en los primeros dos capítulos de este trabajo.

Análisis de información

Posteriormente, el análisis de las referencias da como resultado datos cualitativos y cuantitativos relacionados con los requerimientos y necesidades del diseño conceptual. Esta es una actividad primordial en la metodología, ya que depende del siguiente punto dentro del desarrollo de las alternativas. Una vez reconocida la necesidad se establecen los requerimientos, que consisten en una lista de los que se desea lograr. En esta fase no importante si las ideas propuestas son o no factibles, solo reflejan una manera de resolver el problema por parte del diseñador. Para el diseño se tienen los siguientes requerimientos:

- Simplicidad.
- Resistencia a distintos tipos de cargas.

- Alta capacidad de generación de energía.
- Mantenimiento accesible.

Diseño conceptual del mecanismo

Para el diseño conceptual se usó la metodología TRIZ y los requerimientos obtenidos del análisis de la información, se propusieron alternativas del mecanismo de manera fundamentada e inicialmente se elige una de ellas mediante la aplicación de la matriz de decisión.

La primera alternativa consta de un reductor de velocidad soportado mediante un sistema de resortes, los cuales sirven para almacenar en forma de energía potencial el peso de los vehículos, la cual luego se liberará y se transformará en energía cinética rotacional por medio del mecanismo de cremallera piñón colocado al centro del reductor de velocidad, el movimiento se amplifica mediante un sistema de engranes e impulsa al generador eléctrico, acoplado a un volante inercial, ver figura 2.

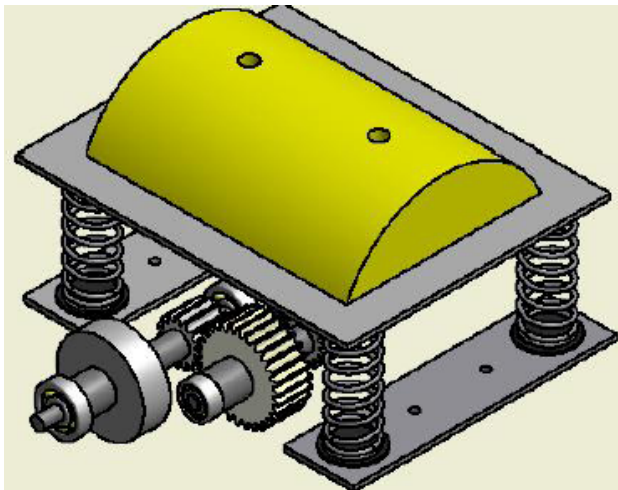


Figura 2. Alternativa 1 del mecanismo

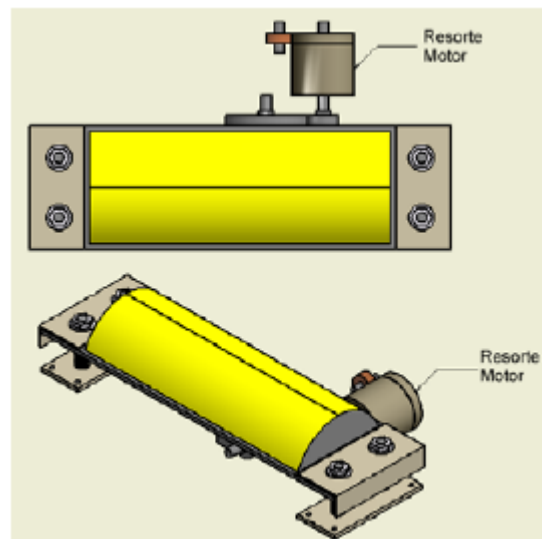


Figura 3. Alternativa 2 del mecanismo

La segunda opción coloca conjuntamente el sistema de engranes con un resorte de fuerza constante. La energía obtenida de los vehículos mediante el paso sucesivo por el reductor de velocidad, se almacena en forma de energía potencial por medio del resorte. La energía almacenada se irá liberando controladamente y de esta manera impulsará un generador eléctrico, ver figura 3.

La tercera alternativa, es un mecanismo cremallera-piñón y el sistema de engranes es activado por un cilindro neumático. La energía del peso vehicular se almacena en forma de energía potencial por medio de aire comprimido dentro de un depósito, el cual luego mediante un sistema de válvulas y tuberías se utiliza para impulsar una turbina o un motor neumático y estos a su vez impulsarán al generador eléctrico, ver figura 4.

Selección de alternativa

Las tres alternativas se evaluaron con una matriz de decisión, para ello se consideraron los siguientes parámetros: costos de fabricación, tiempo de construcción, capacidad de generación de, facilidad de mantenimiento, tamaño, materiales. La alternativa con mayor puntuación fue la 1, véase tabla 1.

Tabla 1. Matriz de decisión para selección de alternativa

		<i>Costos de fabricación</i>	<i>Tiempo de construcción</i>	<i>Capacidad de generación</i>	<i>Facilidad de mantenimiento</i>	<i>Tamaño</i>	<i>Materiales</i>	<i>Puntos</i>
Alternativas	1	10	8	5	10	9	10	52
	2	7	7	8	10	10	5	47
	3	6	10	10	9	8	7	50

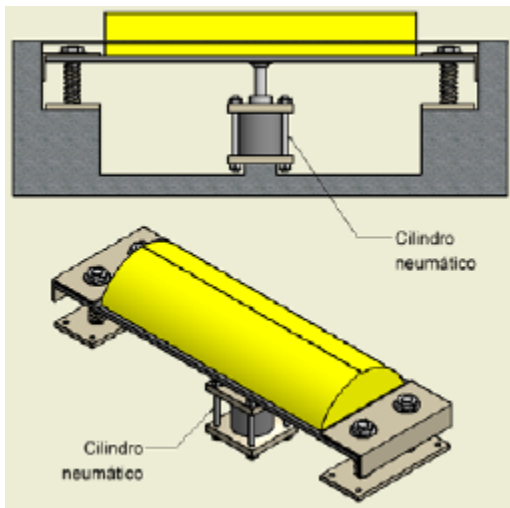


Figura 4. Alternativa 3 del mecanismo

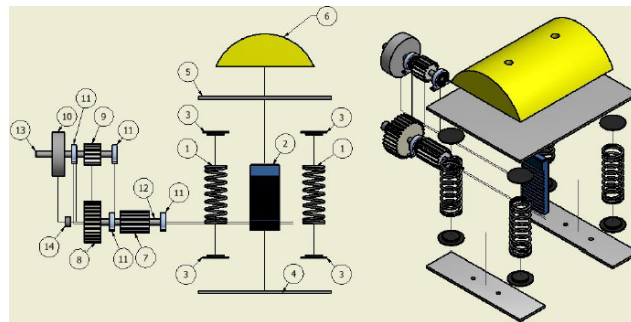


Figura 5. Alternativa 1 seleccionada

Descripción de alternativa seleccionada

El mecanismo de transformación del movimiento (transforma el movimiento lineal en rotacional), permite la captura del peso del vehículo y su conversión en energía eléctrica, ver figura 5. Para la captura de la energía potencial, se dispone de un reductor de velocidad (6) sobre una plataforma (5) la cual se encuentra soportada mediante resortes helicoidales de compresión (1) y guías (3), los cuales sirven también para la restitución de la plataforma a su posición original. En el centro, se encuentra conectada con una cremallera (2). Esta configuración permitirá capturar el peso del vehículo y transformarlo en un movimiento circular. Para la amplificación del movimiento y transmisión de potencia se utiliza un sistema de engranajes, en el cual la cremallera (2) impulsa al piñón (7), este se encuentra compartiendo el mismo eje (12) con el engrane (8) al que también se le transmite la rotación. Este engrane (8) a su vez le transmite el movimiento al piñón (9) que se encuentra sobre el eje (13), teniéndose así la etapa de amplificación de movimiento. En este eje (13) se encuentra un volante inercial (10), el cual es impulsado por el movimiento impartido a este eje (13). El volante (10) permitirá que el generador continúe girando durante un tiempo mayor aún cuando el sistema no se encuentre

en funcionamiento. Para permitir el giro en un solo sentido, se cuenta con un rodamiento con embrague (14) colocado en el engrane (8). Los ejes (12) y (13) se encuentran soportados mediante rodamientos de bolas (11). Todo el dispositivo se encuentra soportado mediante placas base (4) dentro de un alojamiento.

DISEÑO Y DESARROLLO DE PROTOTIPO

El proceso de diseño del prototipo se dividió en cuatro sistemas: sistema de captación de la energía, sistema de transmisión de la energía, sistema de conversión mecánica y sistema de almacenamiento de energía, para facilitar la construcción de ensamble y desensamble, de una manera rápida y segura.

Sistema de captación de energía

El sistema de captación de energía se compone de un reductor de velocidad, plataforma base y plataforma soporte. Para el diseño del dispositivo se consideró una carga de 1 307 Kg debida al peso de un vehículo más el de cuatro pasajeros con un peso promedio de 80 Kg dando un total de 1 627 Kg.

Sistema de transmisión de energía

En esta etapa se consideró el diseño de los resortes, se analizaron por elementos finitos, considerando la parte superior como su guía y modelado como un sistema masa-resorte.

Sistema de conversión mecánica

Se consideraron los mecanismos de cremallera-piñon, amplificador de velocidad, rodamientos para el eje principal y secundario y diseño de eje secundario.

Sistema eléctrico

El sistema de conversión mecánica eléctrica para el dispositivo cuenta con un generador eléctrico que permite la obtención de energía a tensión continua y constante a partir de un eje que gira a una velocidad variable. Dados estos requerimientos y las condiciones de tamaño (debe ser relativamente fácil de transportar) y ambientales de funcionamiento (humedad, corrosión, temperaturas altas) se debe optar por un sistema que no necesite de continua mantención. Dada su simplicidad y la posibilidad de un control relativamente fácil sobre la magnitud de tensión generada, el generador sincrónico trifásico.

Prototipo virtual de mecanismo generador de energía

Finalmente el modelo de prototipo virtual obtenido en CAD se muestra en la figura 6, la tabla 2 presenta cada una de sus partes en el modelo. El dispositivo permite la captura del peso del vehículo y su conversión en energía eléctrica. Para la captura de la energía potencial, se dispone de una plataforma (2) articulada en uno de sus extremos, la cual se encuentra soportada mediante resortes de torsión (7), los cuales sirven también para la restitución de la plataforma a su posición original. Por el extremo opuesto se encuentra conectada con una cremallera semicircular (1). Esta configuración permitirá capturar el peso del vehículo y transformarlo en un movimiento circular.

Tabla 2 Lista de partes

No.	Parte
1	Cremallera
2	Plataforma
3	Engrane
4	Trinquete
5	Rodamiento
6	Generador
7	Resorte de torsión
8	Eje
9	Piñón amplificador
10	Piñón

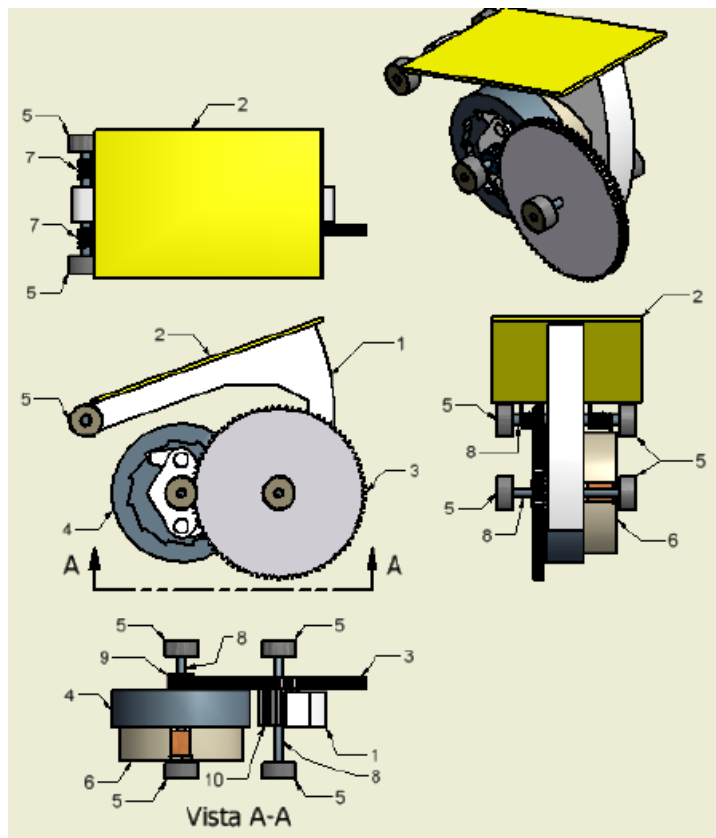


Figura 6. Modelo CAD de prototipo

Para la amplificación del movimiento y transmisión de potencia se utiliza un sistema de engranajes, en el cual la cremallera (1) impulsa al engrane (3) por medio de un piñón (10) que se encuentra justo detrás de este y que se encuentra compartiendo el mismo eje. Este engrane (3) a su vez le transmite el movimiento al mecanismo de trinquete (4) por medio de un piñón (9) acoplado al mismo. Detrás del trinquete (4) se encuentra acoplado un generador (6) compuesto por un imán permanente y una bobina, el cual está rígidamente acoplado a la estructura de soporte. Todos los ejes (8) se encuentran sobre rodamientos (5). El dispositivo se encuentra dentro de un alojamiento soportado mediante una estructura.

CONCLUSIONES

El prototipo virtual satisface el principio de funcionamiento del sistema propuesto, ya que efectivamente al paso de los vehículos sobre el dispositivo se aprovechará su peso para generar energía eléctrica, además conserva las características principales del diseño que se propuso en primera instancia. Se diseñaron y seleccionaron todos los componentes del dispositivo que permite aprovechar las presiones generadas por el flujo vehicular para generar energía eléctrica, de tal forma que se pueda llevar a cabo su construcción, con materiales y tecnología existente en el país. El principal inconveniente de este tipo de generación es la variabilidad del recurso, que se traduce en una velocidad de rotación variable sobre el rotor de un generador eléctrico.

Las herramientas computacionales CAD fueron de gran importancia al momento de evaluar cada una de las soluciones que se plantearon dentro del desarrollo de este trabajo. El apoyo en la teoría de diseño mecánico y las modelaciones 3D, resultaron importantes al momento de tomar decisiones en la selección de piezas, materiales, mecanismos y demás elementos constituyentes del modelo puesto en consideración en este escrito. Estas herramientas con las que cuentan los ingenieros en la actualidad son de gran ayuda para el diseño, ya que permiten predecir de manera muy cercana a la realidad el comportamiento de los materiales, permitiendo un ahorro de tiempo, dinero y brindando mayor confiabilidad a los diseños.

Se realizó una revisión de las manifestaciones de energía y los métodos de extracción de aquellas aplicables en la generación de energía eléctrica. Particularmente ha sido estudiada la energía debido al flujo vehicular y las tecnologías existentes.

Para el desarrollo de este trabajo se utilizaron diferentes herramientas, de estas se destacan la metodología TRIZ, el diseño mecánico y el diseño asistido por computadora, estas tres herramientas principalmente facilitaron el desarrollo del proyecto puesto que la primera ayudó a generar ideas con un sentido amplio a resolución de problemas inventivos, la segunda fue indispensable para el dimensionamiento del dispositivo y en la selección de los materiales y la tercera permitió plasmar dichas ideas en una realidad virtual, lo cual en la actualidad se considera casi indispensable para el ahorro de tiempo en el proceso de diseño.

La matriz de decisión fue una herramienta fundamental para seleccionar la alternativa más, fácil, metódica e imparcial. Además, la alternativa seleccionada cumplió con las características básicas para aprovechar el peso de los vehículos que transitan sobre el dispositivo y transformarlo en energía eléctrica.

A partir del movimiento mecánico obtenido por este dispositivo, el cual a la vez está determinado por el flujo vehicular, se han propuesto y dimensionado los elementos mecánicos necesarios para obtener un movimiento rotatorio sin grandes fluctuaciones en un eje que puede ser acoplado a un generador eléctrico.

Finalmente se obtuvo un prototipo virtual las cuales permitieron visualizar el principio de funcionamiento de este dispositivo, pero debe contemplarse la construcción del mecanismo real para etapas futuras, con el fin de observar su comportamiento en condiciones reales de trabajo.

REFERENCIAS

- [1] Peter Huges, Electro-Kinetic Road Ramp, <http://www.hughesresearch.co.uk/>.
- [2] Le Van Wayne P., Method and Apparatus for Generating Electricity by Vehicle and Pedestrian Weight Force, 1976, patent USA 3944855.
- [3] Chiappetti Arthur B., Energy Producing System, 1980, patent USA 4239975.
- [4] Sen, Asim K., Generation of Electricity Using Gravitational Energy, 1990, patent USA 4980572.
- [5] McGee, Terrill A., Vehicle Actuated, Roadway Electrical Generator, 1986, patent USA 4614875.
- [6] Le Van Wayne P., Method and Apparatus for Utilizing Moving Traffic for Generating Electricity and to Produce Other Useful Work, 1977, patent USA 4004422.
- [7] Chang Hung-Wei, On-Road Energy Conversion and Vibration Absorber Apparatus, 2010, patent USA 2010/0072758 A1.
- [8] Runner John, Traffic-Based Energy Conversion System, 2001, patent USA 6204568 B1.
- [9] <http://ep.espacenet.com/>
- [10] <http://patft.uspto.gov/>
- [11] <http://www.ipo.gov.uk/>

[12] Córdoba, Ames Wilmer, TRIZ, la herramienta del pensamiento e innovación sistemática. Power Lines Group Perú S.A.C., 2008.

[13] Martínez Santiago. 4238687: Highway Turbine. US Patent, December 9, 1980.