



TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO

Análisis de reductor de velocidad existente en generación de energía eléctrica.

AUTORES

Mario Alexander Rojas Martínez Cod:1096233696

Eder Alexander Moya Marulanda Cod:1098665223

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA
BARRANCABERMEJA
FECHA DE PRESENTACIÓN: 29-04-2020**



TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO

Análisis de reductor de velocidad existente en generación de energía eléctrica.

AUTORES

Mario Alexander Rojas Martínez Cod:1096233696
Eder Alexander Moya Marulanda Cod:1098665223

**Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniería Electromecánica**

DIRECTOR

Juan Manuel Bayona Arenas

CODIRECTOR

Luis Omar Sarmiento Álvarez

Grupo de Investigación en ingenierías y ciencias sociales –DIANOIA

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA
BARRANCABERMEJA
FECHA DE PRESENTACIÓN: 29-04-2020**

Nota de Aceptación



Firma del director



Firma del Jurado

Barrancabermeja, 29 de Abril de 2020

DEDICATORIA

A DIOS primeramente quien nos ha dado salud y el entendimiento ya que sin el nada de esto sería posible en este proceso de aprendizaje, a nuestras familias que moralmente fortalecieron nuestro proceso educativo y siempre impulsándonos en hacer las cosas de una excelente manera, a nuestros docentes que con un gran profesionalismo compartieron muy amablemente sus conocimientos y capacidades para que hoy sean reflejados en forma de titulados.

Eder Alexander Moya Marulanda

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los docentes Luis Omar Sarmiento y Juan Manuel Bayona por su dedicación y apoyo en el transcurso de la ejecución de este proyecto, por su orientación, consejos y conocimientos que fueron de base fundamental para la culminación de nuestro ciclo profesional. Finalmente agradecemos a las Unidades Tecnológicas De Santander sede Barrancabermeja y a todos sus respetados docentes por su dedicación, les expresamos nuestra admiración por ser esa fuente de conocimiento que nos abrió las puertas para entrar en el ámbito profesional.

Eder Alexander Moya Marulanda

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO.....	10
INTRODUCCIÓN.....	11
1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	12
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	14
1.3. OBJETIVOS	15
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	15
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
1.4. ESTADO DEL ARTE / ANTECEDENTES	15
2. MARCOS REFERENCIALES	19
2.1.1. MARCO TEÓRICO	19
ROTOR	21
SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO	22
EL MÉTODO DE ENFRIAMIENTO	22
CAMBIADOR DE CALOR AIRE-AIRE	23
EXCITATRIZ	23
ESCOBILLAS.....	23
CONMUTADOR.....	24
2.1.2. MARCO CONCEPTUAL	25
2.1.3. MARCO HISTÓRICO	34
2.1.4. MARCO LEGAL	35
3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO	41
3.1. SELECCIÓN DE UN MODELO DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA CON BASE EN UN ANÁLISIS QUE INVOLUCRE CÁLCULOS DE EFICIENCIA Y ASÍ OBTENER UN PARÁMETRO DE COMPARACIÓN. ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
3.2. ANÁLISIS DE LOS COMPONENTES INVOLUCRADOS EN EL MECANISMO DE TRANSFORMACIÓN DE MOVIMIENTO POR MEDIO DE CÁLCULOS DE CARGA ESTÁTICA Y DINÁMICAS, PARA ASÍ DETERMINAR LOS ESFUERZOS MÁXIMOS GENERADOS EN EL SISTEMA. .	48
3.3. DETERMINACIÓN DE LOS COMPONENTES ELÉCTRICOS REQUERIDOS PARA EL PROCESO DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA CINÉTICA EN ENERGÍA ELÉCTRICA A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE VARIABLES DE VOLTAJE Y CORRIENTE QUE SE REQUIEREN PARA UNA SELECCIÓN ÓPTIMA.	54
4. RESULTADOS	58
5. CONCLUSIONES	59

<u>6.</u>	<u>RECOMENDACIONES</u>	<u>60</u>
<u>7.</u>	<u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	<u>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</u>
<u>8.</u>	<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	<u>61</u>
<u>9.</u>	<u>ANEXOS</u>	<u>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</u>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de Investigación **¡Error! Marcador no definido.**

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Fase 1..... **¡Error! Marcador no definido.**

RESUMEN EJECUTIVO

El desarrollo del presente trabajo de investigación se enfocó en la búsqueda de una alternativa eficiente para el aprovechamiento de la energía eléctrica generada a partir del proceso de conversión de energía cinética a energía eléctrica, dicho proceso se lleva a cabo a partir de un reductor de velocidad vial estratégicamente ubicado para tal fin, el cual posee un mecanismo de conversión de movimiento acoplado a un generador de energía eléctrica.

Para tal fin se realizó un análisis comparativo de un reductor de velocidad vial previamente establecido con uno propuesto por los autores del presente trabajo de investigación, con el fin de identificar puntos críticos de fallas que se puedan resolver con el modelo propuesto y así obtener un diseño más eficiente.

Importante mencionar que dichos reductores de velocidad vial son medidas de seguridad cada vez más usadas por las secretarías de movilidad de cada departamento en materia de prevención de accidentes de tránsito en sectores con un gran potencial de accidentalidad.

Una de las principales alternativas que se estudió para el desarrollo del presente trabajo de investigación es la utilización de un sistema electromecánico el cual se basa en la utilización de un multiplicador de velocidad con el cual se transmite a un disco de inercia que posteriormente va a un generador eléctrico y así finalmente obtener la mayor cantidad de energía.

PALABRAS CLAVE. Multiplicador, disco de inercia, generador, reductor, mecanismo.

INTRODUCCIÓN

La energía ha sido utilizada a lo largo de la historia humana para la realización de distintos trabajos, sin embargo, la manera en la que se obtiene ha ido cambiando a través del tiempo apareciendo cada vez nuevas fuentes de energía, desde las más perjudiciales, hasta las más beneficiosas con el medio ambiente. Hoy en día existen fuentes de energías renovables que provienen de recursos naturales y que son virtualmente inagotables debido a que se pueden regenerar. Esas se pueden dividir en dos tipos, la energía renovable convencional como es el caso de las grandes hidroeléctricas y la no convencional, como la energía solar, eólica, biomasa, entre otras.

Otros usos fueron la aplicación de la arquitectura solar pasiva, aprovechando el calor del sol para calentar ciertos locales y dependencias de la casa en la época, la fuerza del viento para empujar los barcos, los molinos, las mareas, como también la energía generada por la fuerza mecánica y transformada en energía eléctrica a través de un generador.

La energía alternativa en la cual se basa el proyecto, tienen que ver son la generación de energía eléctrica a partir de reductores de velocidad vial, en el que se acciona un mecanismo a través del movimiento vertical de un reductor de velocidad vial, que a su vez es transformado en movimiento rotacional por medio de un mecanismo.

Con el desarrollo del presente trabajo de investigación se busca mejorar un sistema mecatrónico que ofrece una fuente de energía la cual podrá ser usada en señalizaciones en las carreteras, estaciones de pesaje y de peaje que no cuentan con suministro de energía eléctrica.

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En las últimas décadas se ha incrementado la necesidad de herramientas que puedan dar solución al problema de la generación de energías limpias o no perjudiciales para el medio ambiente sin embargo, es muy difícil desligarse de los sistemas de generación de energía convencionales que utilizan combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas) como es el caso de los vehículos con motores de combustión interna, aunque si se pueden diseñar sistemas que aprovechen esa condición estándar para generar energía eléctrica que pueda ser usada para mejorar elementos de señalización y de seguridad vial. Es por ello que surge la necesidad de tener reductores de velocidad que cumplan con las regulaciones establecidas por la secretaria de tránsito en materia de prevención de accidentes y que a la vez generen electricidad que pueda ser usada en sistemas de seguridad que la requieran.

(Dávalos, 2014) desarrolla un trabajo en el que el sistema mecatrónico ofrece una fuente de energía que podrá ser usada en señalizaciones en las carreteras, estaciones de pesaje y de peaje que no cuentan con suministro de energía eléctrica; así como los “rompemuelles” ubicados en las zonas urbanas en el que el suministro de energía por la vía aérea resulta peligroso.

Los reductores de velocidad de generación de energía, es una de tantas formas de obtención de energías limpias existentes, teniendo una amplia aplicación en diversos campos de la ingeniería. Los sistemas han tenido gran éxito en el aprovechamiento y reducción de contaminación en el medio ambiente, actualmente en Perú y en Medellín están aplicando tecnologías alternativas de generación de energía.

Hay muchas maneras de obtener energías limpias, entre las cuales se encuentran, energía eólica, solar y mareomotriz, actualmente los métodos de obtención de energías limpias están empezando a ser aplicados para reemplazar otros tipos de generación de energías contaminantes.

Por lo pronto Barrancabermeja no cuenta con generación de energías limpias que aprovechen el tránsito vehicular.

Uno de los problemas es desaprovechar la energía cinética que generan los vehículos al transitar por las vías, ya que se ve reflejado en el paso de los vehículos sobre los reductores de velocidad que no tienen ningún tipo de mecanismo de absorción de energía.

La pregunta que orienta esta investigación es ¿Cómo realizar reingeniería a través de parámetros de diseño a un sistema de generación eléctrica por medio de un reductor de velocidad vial?

1.2. JUSTIFICACIÓN

Con el desarrollo del presente trabajo de investigación se buscaba aprovechar una condición estándar como lo es el tránsito de vehículos por vías de gran confluencia, con el propósito de implementar reductores de velocidad vial con la capacidad de generar energía eléctrica, empleando un mecanismo de absorción de energía (Baterías), acompañado de un sistema que transforma un peso en energía. Permitiendo obtener una solución para el almacenamiento de la misma instantáneamente.

Para el desarrollo del trabajo de investigación se utilizó como base un proyecto previamente establecido, en el que se propone un mejoramiento enfocado en la manera de obtener y transformar la energía por medio de dispositivos electromecánicos, que finalmente se va a someter a estudios de diseño a través del análisis de los componentes que lo conforman.

El presente trabajo propone contribuir a la innovación de un dispositivo electromecánico que se pueda aplicar para la obtención de energía que requieran realizar un estudio al diseño y almacenamiento de energía, calcular y predecir diversos fallos eléctricos y electrónicos.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar un mecanismo de conversión de energía cinética a energía eléctrica en un reductor de velocidad vial, por medio del análisis de cargas estáticas y dinámicas para verificar que el equipo puede mejorar la capacidad de obtener energía.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Seleccionar un modelo de conversión de energía con base en un análisis que involucre cálculos de eficiencia y así obtener un parámetro de comparación.
- Analizar los componentes involucrados en el mecanismo de transformación de movimiento por medio de cálculos de carga estática y dinámicas, para así determinar los esfuerzos máximos generados en el sistema.
- Determinar los componentes eléctricos requeridos para el proceso de conversión de energía cinética en energía eléctrica a través del análisis de variables de voltaje y corriente que se requieren para una selección óptima.

1.4. ESTADO DEL ARTE / ANTECEDENTES

Actualmente gran parte de la energía que consume la sociedad es de tipo no renovable, principalmente obtenida de combustibles fósiles (Petróleo, gas natural y carbón). Dichas fuentes energéticas se encuentran en un número finito de yacimientos por todo el mundo y, por lo tanto, cada tonelada consumida no se recupera de forma natural, sino que las cantidades mundiales disponibles, llamadas reservas, disminuyen día a día.

Las energías renovables son aquellas que pueden producir trabajo a partir de fuentes inagotables, por lo menos a escala humana. Así, el aprovechamiento de la radiación solar no supone un agotamiento de la radiación solar, ni una disminución día a día. (Jarauta, 2014)

Como una medida de seguridad vial, las autoridades vienen instalando reductores de velocidad, conocidos como “rompemuelles” con la intención de reducir la potencialidad de accidentes e incidentes de tránsito en los sectores de las carreteras que atraviesan las zonas urbanas y que no presentan la debida señalización.

En muchas zonas urbanas el suministro eléctrico se realiza por cableado aéreo, lo que en algunas ocasiones resulta difícil e inseguro conseguir la electricidad para la señalización e iluminación diferenciada del reductor de velocidad.(Dávalos, 2014)

(Giraldo, 2017) cuyo proyecto lleva por título “Placas piezoeléctricas reducirían consumo de energía en parqueaderos de centros comerciales”, aseguró que la demanda energética mundial cada vez aumenta vertiginosamente y las fuentes convencionales de energía (no renovables) se agotan lentamente. “Por tal razón es que surgen propuestas innovadora de crear nuevas tecnologías para la generación de energía sostenible y renovable”.

El objetivo principal fue aprovechar las placas piezoeléctricas para generar energía a partir del contacto con vehículos y utilizarla en iluminación y señalizaciones. El sistema está diseñado para que la aplicación de las placas, con los dispositivos piezoeléctricos, estén acoplados o ceñidos a los reductores de velocidad ubicados en las entradas y salidas de los lugares de estacionamientos de los centros comerciales. De esa manera se podría llegar a reducir, en más de 7 millones de pesos anuales, las cuentas por pagar a las entidades que prestan el servicio.

(Prabu, 2015) en el artículo que lleva por título “Electricity Generation by Speed Breaker” argumenta que la energía que se ahorra durante el día se puede usar durante la noche para iluminar las luces de la calle. Por lo tanto, al usar el arreglo se ahorra mucha energía que se puede usar para el cumplimiento de futuras demandas. El prototipo desarrollado recolecta energía del interruptor de velocidad haciendo arreglos de engranajes y usando dispositivos electrónicos. De tal manera se pueden generar grandes cantidades de electricidad ahorrando mucho dinero y en caso de ser implementado a nivel macro sería muy beneficioso para el gobierno. El principio involucrado es la conversión de energía potencial a energía eléctrica, para tal fin existe un sistema para generar energía por conversión de la energía potencial generada por un vehículo que sube en un reductor de velocidad en energía cinética.

(Azam, 2016) en la célebre publicación titulada “Speed Breaker Power Generator” establece que es muy importante diseñar sistemas de generación de energía libre de contaminación, para tal fin describe un estudio experimental para generar electricidad mediante un reductor de velocidad generador de energía y lo considera como una de las técnicas emergentes con más potencial, en el sistema se utiliza mecanismos de piñones que funcionan de la siguiente manera; Cuando un automóvil alcanza el reductor de velocidad, la cremallera se mueve hacia abajo para generar movimiento lineal al girarlo utilizando piñones. El movimiento rotativo es transferido al generador de corriente que se almacena en baterías igual que en la tecnología de energía solar. La energía generada se puede utilizar para fines domésticos o comerciales, que estén presentes cerca del reductor de velocidad.

Por último (Ramadan, 2015) publica un trabajo que lleva por nombre “Using speed bump for power Generation – Experimental study” en dicho artículo se muestran los resultados de la implementación de un prototipo del sistema de generación de energía a través de reductores viales. Los resultados revelan que se pueden

generar potencias de aproximadamente 26.2 a 44.7 W a partir de sistema de reducción de velocidad cuando se aplican masas de 65 kg y 80 kg. Por lo tanto, una consecuencia promedio de 0.37 W / kg forma un signo prometedor para el rendimiento de dichos sistemas en aplicaciones reales. Con base en las extrapolaciones a un sistema físico real indica que se puede generar una potencia media mínima de 0,56 kW por cada vehículo que pasa.

2. MARCOS REFERENCIALES

2.1.1. Marco teórico

Análisis estructural

El análisis de resistencia del mecanismo se basa en la determinación de cargas que pueden ser de naturaleza estática o dinámica, como se ilustra a continuación.

Carga Estática:

Cuando se somete una pieza dúctil con un concentrador de esfuerzos a una carga estática, es posible que el punto de mayor esfuerzo, en las vecindades de la discontinuidad, alcance el esfuerzo de fluencia; por lo tanto, habrá flujo plástico. Las partes del material que alcanzan el valor de la resistencia de fluencia fluyen plásticamente, produciendo cambios en la microestructura que, a su vez, producen el fenómeno de endurecimiento por deformación. El material que está “lejos” de la discontinuidad no alcanza la fluencia; se podría decir que la pieza no falla, ya que a simple vista no tendrá deformación apreciable. (Vanegas, 2018)

Carga Dinámica:

Cuando una carga se aplica en un período relativamente corto recibe el nombre de “carga dinámica”, la misma puede tomar muchas formas, algunas cargas se aplican y suprimen de modo repentino, son las cargas de impacto, otras actúan por períodos más prolongados de tiempo y varían de intensidad, son las denominadas cargas fluctuantes. Las cargas de impacto se producen cuando dos objetos colisionan, o cuando un objeto cae sobre otro. Las cargas fluctuantes en general son producidas por maquinaria rotatoria, tránsito pedestre o vehicular, ráfagas de viento, olas marinas, sismos. (Ferrando, 2014)

Las cargas dinámicas se distinguen de las estáticas por el hecho de originar modificaciones tanto en la magnitud de las tensiones como en las deformaciones a que dan lugar, afectando también la forma y límite de rotura de los materiales.

Las cargas dinámicas producidas por el impacto de un cuerpo en movimiento pueden originar en la estructura efectos vibratorios. Si la carga dinámica se repite en forma periódica, y la frecuencia coincide con el período de vibración del elemento, que puede entrar en resonancia. Cuando ocurre se originan deformaciones tan grandes que conducen al colapso de la estructura. (Ferrando, 2014)

Alternador

El alternador es un dispositivo que consiste en una espira que gira en el campo magnético de un imán permanente. Todo generador de corriente eléctrica en el cual la inducción es producida por un imán permanente, se llama magneto (González, 1971). Que se usa con frecuencia para el encendido de pequeños motores de gasolina, lanchas de motor.

González (1971) dice que la salida del alternador se puede incrementar aumentando el número de vueltas en la armadura o aumentando la intensidad del campo magnético. Los campos magnéticos de los grandes generadores se logran mediante enormes electroimanes; en los generadores de corriente alterna son ordinariamente alimentados con corriente directa proveniente de un generador auxiliar.

Partes de un generador de corriente alterna.

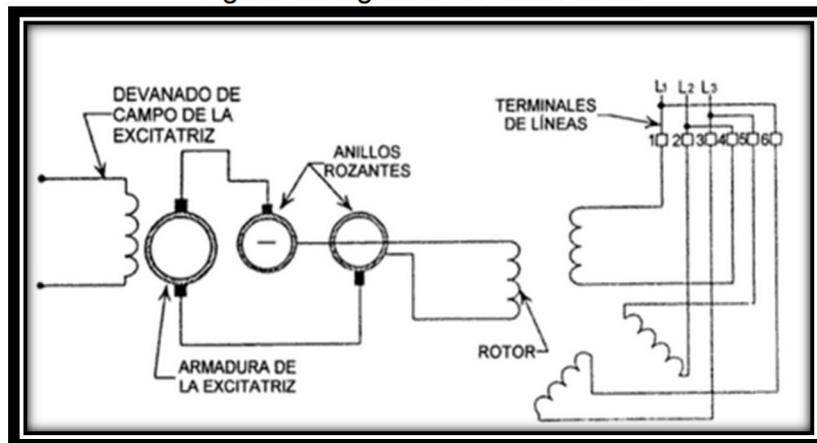
- Estator
- Rotor
- Sistema de enfriamiento

- Excitatriz
- Escobillas
- Conmutador

Estator

González (1971) plantea que el inductor es la parte fija de la maquina rotativa, encargada de generar el campo magnético mediante un devanado alimentado mediante corriente continua y los elementos más importantes a considerar como parte de los componentes del estator de un generador de corriente alterna con: sistemas de conexión en estrella, sistema de conexión de delta.

Figura 1: Diagrama conexión delta.



Fuente: HARPER, Enríquez. El libro practico de los generadores, trasformadores y motores eléctricos. México: limusa, 2004, p. 21.

Rotor

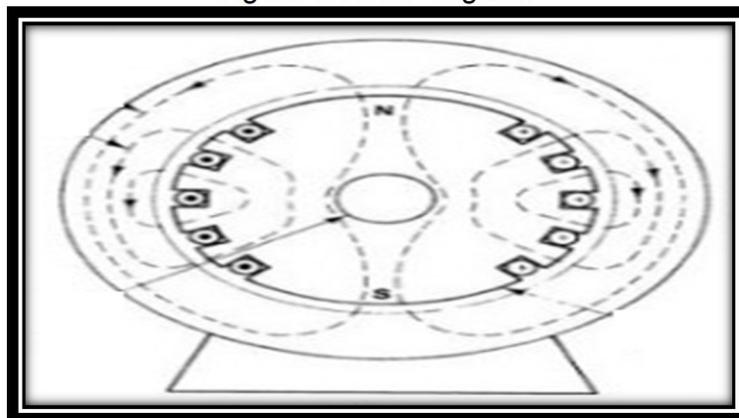
Para producir el campo magnético sobre el rotor se utiliza polos que consisten en paquetes de laminaciones de hierro magnético (para reducir las llamadas corriente circulares) con conductores de cobre arrollados alrededor del hierro, los polos están excitados por una corriente directa (Enriquez, 2004). Los polos del rotor se arreglan por pares localizados o separados 180° , desde el punto de vista constructivo, los

rotor se construyen del tipo de polos salientes (baja velocidad) o rotor cilíndrico (alta velocidad) y el rotor se encuentra alojadas las bobinas del devanado de campo que inducen voltaje en el devanado de armadura, en donde se encuentran las bobinas que determinan si el generador es monofásico o trifásico.

Sistemas de enfriamiento

“Los tipos de enfriamiento normalmente usados en los generadores de alterna son los de aire enfriado, aire-agua con cambiador de calor y el de agua cambiador de calor” (Enriquez, 2004, pág. 28).

Figura 1. Rotor angular.



Fuente: HARPER, Enríquez. El libro practico de los generadores, trasformadores y motores eléctricos. México: limusa. 2004, p. 22.

El método de enfriamiento

Los generadores que usan el método de enfriamiento, toman el aire del exterior a la temperatura ambiente como medio de enfriamiento, el aire se circula a través del estator y el rotor por medio de impulsores en ambos extremos del rotor. “El aire caliente se extrae por la parte de atrás del generador para complementar el ciclo, es decir circula una sola vez” (Enriquez, 2004, pág. 29).

Cambiador de calor aire-aire

Un generador con un intercambiador de calor aire-aire es diferente de uno del tipo con enfriamiento natural que el intercambiador de calor constantemente recircula el mismo aire a través del estator, el método tiene además la ventaja de que conserva limpios los aislantes, ya que el aire se cambia constantemente y se elimina la necesidad de los filtros de aire en el sistema (Enriquez, 2004, pág. 29).

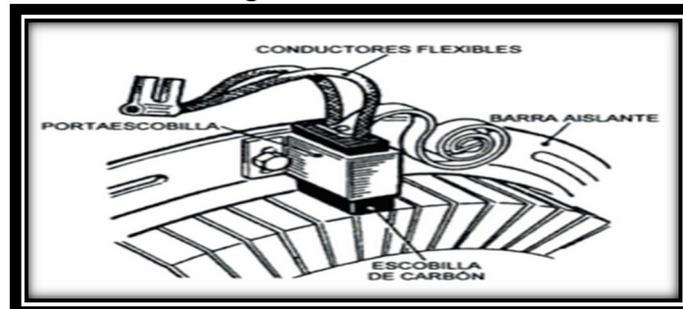
Excitatriz

Donald Fink (1981) indica que los pequeños grupos electrógenos o plantas de emergencia usan sistemas de excitación a base de pequeños generadores de corriente directa acoplados directamente al eje del generador, los pequeños generadores de corriente directa en realizada generan corriente alterna y la rectifican por medio de un conmutador sobre el que se deslizan las escobillas.

Escobillas

Son dos piezas de forma rectangular de grafito y es el elemento que está en contacto eléctrico con el colector. Las escobillas se sitúan en una porta escobillas, el cual por medio de un resorte ayuda a un buen contacto con el colector de delgas. Al girar el rotor, las escobillas van rozando con el colector y permitiendo la conexión eléctrica del inducido con la fuente de alimentación. Con el tiempo de uso se van desgatando por lo que requiere de un mantenimiento. Además, es la conmutación se produce una serie de chispas. (Enriquez, 2004, pág. 30)

Figura 2. Escobillas.



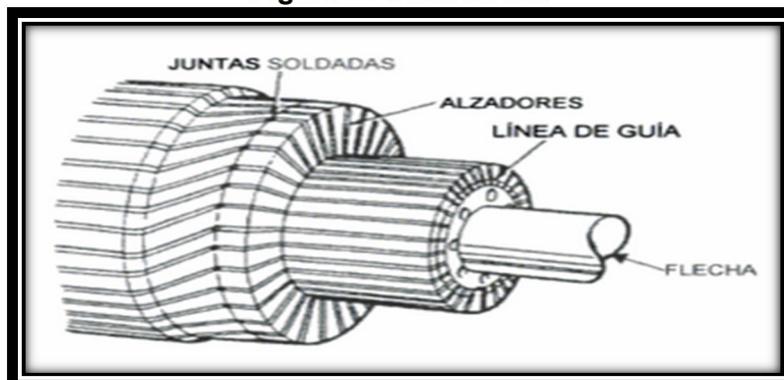
Fuente: HARPER, Enríquez. El libro practico de los generadores, trasformadores y motores eléctricos.

México: limusa. 2004, p. 30.

Conmutador

El conmutador simple de dos segmentos, asegura aislados del eje de armadura y también entre sí (Kosow, 1993). Cada segmento conductor del conmutador está conectado, respectivamente, a un lado de la espira. Ya que tanto el lado de la espira como el segmento del conmutador están fijos mecánicamente al mismo eje, la acción de la rotación mecánica es invertir la espira de la armadura y las conexiones con el circuito exterior estacionario en el mismo instante en el que se invierte la FEM inducida en el lado de la espira, es decir, cuando el lado de la espira se mueve bajo un polo de signo contrario.

Figura 3. Conmutador.



Fuente: HARPER, Enríquez. El libro practico de los generadores, trasformadores y motores eléctricos. México: limusa. 2004, p. 31

2.1.2. Marco conceptual

Uno de los principales elementos a considerar en el desarrollo del presente trabajo de grado son las transmisiones de movimiento, por tal razón se presentan los aspectos teóricos más relevantes.

2.1.2.1 Transmisión por correas planas

Las transmisiones por correas planas se realizan mediante fricción y debido a que la unión entre ejes no es rígida, sino flexible, se producen pérdidas por deformación. La relación de velocidades no es exacta y es dependiente de la potencia transmitida debido al deslizamiento producido entre la correa y las poleas. El rendimiento se encuentra comprendido entre un 85 a un 98%.(Ferrando, 2014)

Existen dos tipos de correas mayormente referenciadas a la transmisión: correas planas y correas trapezoidales.

Una de las propiedades más relevantes de las transmisiones de velocidad es la relación de transmisión (i) que se define como la relación que existe entre la velocidad de la polea salida (n_2) y la polea de entrada (n_1).

Por un lado, las correas planas se emplean entre arboles paralelos y árboles cruzados, estando las relaciones de transmisión (i) en $i \leq 6$ en accionamientos abiertos y $i \leq 15$ en accionamientos con rodillos tensores. El uso se aplica principalmente en requerimientos de velocidad elevada y debido al deslizamiento el rendimiento oscila alrededor del 85%.

Figura 2: Correas planas



Fuente: tomado de <https://www.indiamart.com/proddetail/nylon-flat-belts-1356224497.html>

Por el otro lado, las correas trapezoidales aseguran una capacidad de transmisión hasta tres veces superior a las correas planas para una misma fuerza de tensión arrancando además con mayor suavidad y no teniendo prácticamente deslizamiento.

El uso suele limitarse a ejes paralelos con relaciones de transmisión $i \leq 10$ y un rango de velocidades se encuentra entre 2 y 50 m/s. El rendimiento que suelen alcanzar las correas es muy alto, cerca del 98% pero disminuirá fácilmente si no se comprueba periódicamente la tensión de la misma.(Ferrando, 2014).

Figura 3: correas trapezoidales



Fuente: tomado de <https://sites.google.com/site/sergio1mecatronica/home/transmision-de-movimientos/5poleas-y-correas>

Entre las ventajas se encuentran:

- Funcionamiento silencioso.
- Absorción elástica de los choques, y protección contra sobrecargas.
- Bajos requerimientos y coste reducido en la alineación con los ejes.

Sus inconvenientes más notables son:

- Relativa sensibilidad al ambiente.
- Duración bastante limitada.
- Producen sobrecarga en los cojinetes debido a la precarga previo.
- Relación de transmisión inexacta, que produce un deslizamiento que puede alternar entre el 1 y el 3%.
- Requerimiento de espacio.

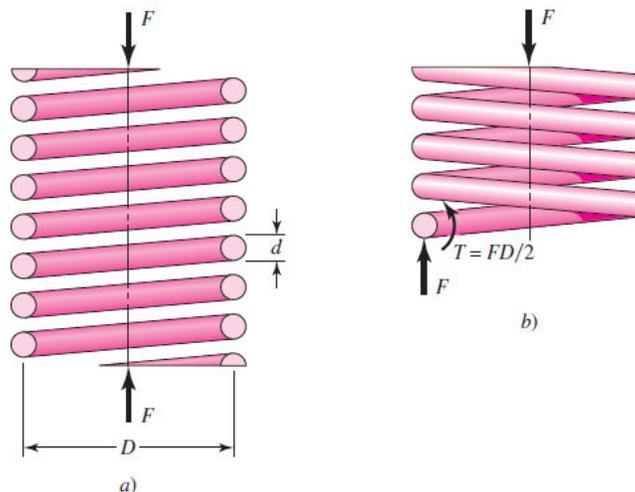
Para este proyecto se desestimó el uso de este mecanismo debido a la necesidad de optimización de los espacios y a la necesidad de una mayor precisión.(Calatayud, 2015)

Resortes mecánicos.

Los resortes mecánicos son componentes esenciales en el diseño de cualquier sistema electromecánico donde se requiera aislar las vibraciones mecánicas y para el caso del sistema de reducción de velocidad vial con es la excepción.

A continuación, se muestran las ecuaciones requeridas para la selección de resortes mecánicos.

Figura 4: Resortes Mecánicos



Fuente: Vanegas, L. v. (2018). *Diseño de elementos de maquinas*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.

$$\tau_{max} = \frac{T r}{J} + \frac{F}{A} \quad (1)$$

Dónde:

τ_{max} = esfuerzo cortante

T = torque que genera la carga

r = radio del resorte

F = carga aplicada

A = area del seccion transversal del resorte

J = momento polar de inercia

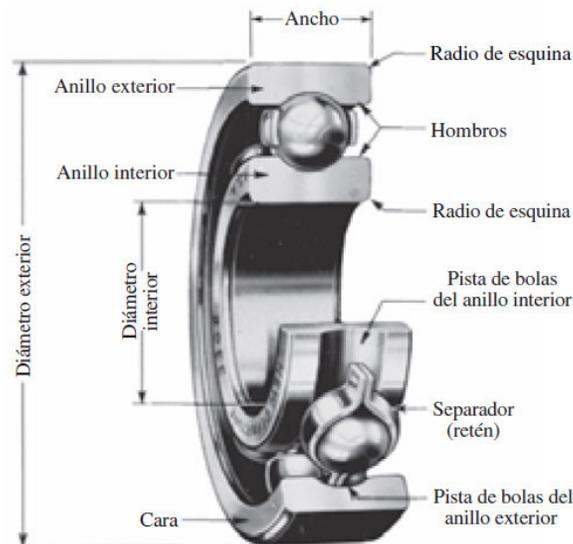
En la ecuación (1) se muestra el esfuerzo que se genera en un resorte cuando actúa una carga sobre él, dicha carga puede ser dinámica o estática estableciendo con ello, la principal propiedad que tiene un resorte, y es la resistencia que presenta cuando es sometido a una carga.

Cojinetes

Los cojinetes se fabrican para soportar cargas radiales puras, cargas de empuje puras o una combinación de ellas. La nomenclatura de un cojinete de bolas se ilustra en la figura 5, en la que también se muestran las cuatro partes esenciales de un

cojinete. Dichas partes son: el anillo exterior, el anillo interior, las bolas o elementos rodantes y el separador. En los cojinetes baratos, algunas veces se omite el separador, a pesar de que realiza la importante función de aislar los elementos de manera que no ocurra contacto de rozamiento entre ellos (Budynas, 2016).

Figura 5: Cojinete de Bolas



Fuente: Vanegas, L. v. (2018). *Diseño de elementos de maquinas*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.

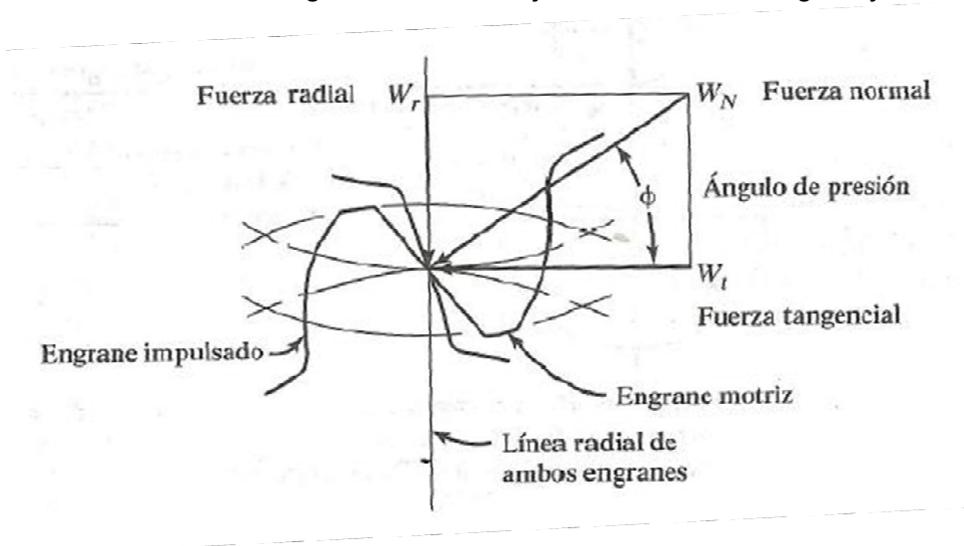
Fuerza sobre los ejes

En un eje se instalan dispositivos tales como engranes, poleas, rodamientos, cuñas, quienes ejercen fuerzas y por ende torques sobre el eje. A continuación, se presentan el modelo matemático que permitirá determinar las fuerzas aplicadas por los elementos sobre el eje.

Engranes rectos. “La fuerza ejercida sobre un diente de engrane, durante la transmisión de potencia, actúa en dirección normal (perpendicular) al perfil de involuta del diente” (Robert L. Mott, 2000). Conviene en el análisis de los ejes,

considerar los componentes rectangulares de esta fuerza (radial y tangencial) tal como puede apreciarse en la figura 6.

Figura 6: Fuerzas ejercidas sobre un engranaje



Fuente: Mott, R. (2006). Diseño de elementos de máquinas, cuarta edición. México: Prentice Hall.

La potencia en el sistema internacional utiliza la expresión $P = T * w$; dónde:

P = potencia en Watt (W).

T = torsor en metro-Newton ($m * N$).

w = velocidad angular en radian/segundo (r/s).

En el sistema inglés, la potencia se determina mediante la expresión:

$$P = \frac{T * W}{63000} \quad (2)$$

Dónde:

P = Potencia en caballo de potencia (hp).

T = torsor en pulgada-libra.

w = velocidad angular en rpm.

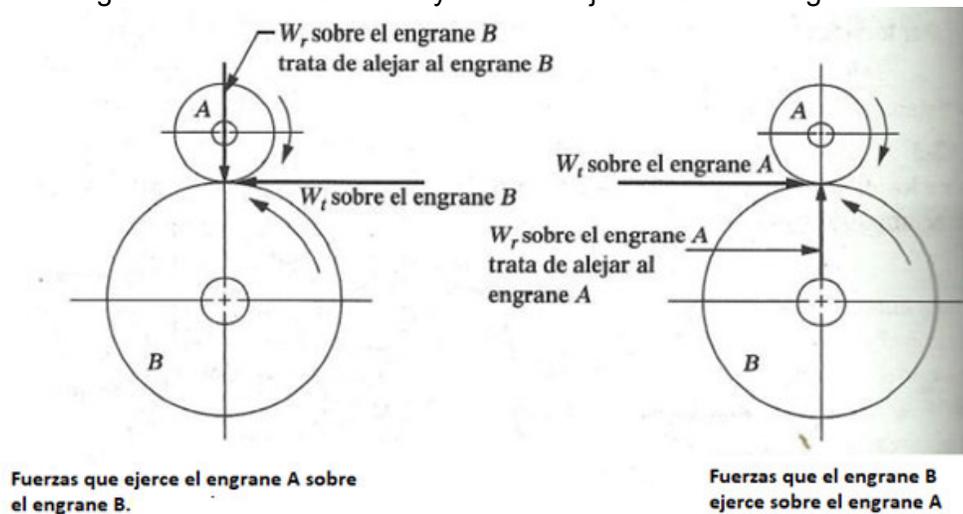
Las fuerzas sobre el diente de un engrane son tangenciales y radiales. La magnitud de la fuerza tangencial se determina a partir del tursor aplicado y cuyo valor es $T = f_t \frac{D}{2}$ en la figura 6 se observa el comportamiento de las fuerzas radiales y tangenciales ejercidas entre los engranes. (Robert L. Mott, 2000)

Entonces, la fuerza tangencial es: $F_t = \frac{2T}{D}$

La magnitud de la fuerza radial se determina como: $F_r = F_t * \tan \phi$

Donde ϕ es el angulo de presión. Los ángulos de presión típicos en los engranes son: $14\frac{1}{2}^\circ$, 20° y 25°

Figura 7: fuerzas de acción y reacción ejercidas entre engranes



Fuente: Mott, R. (2006). Diseño de elementos de máquinas, cuarta edición. México: Prentice Hall.

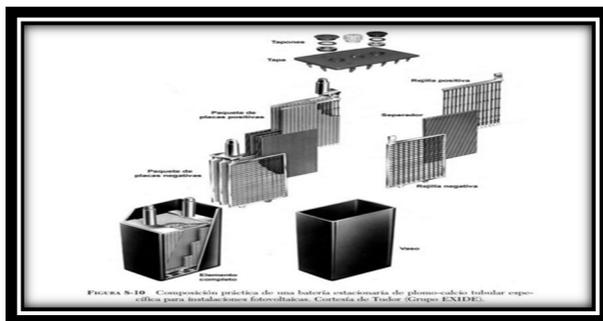
Batería

La batería es un dispositivo que convierte la energía química contenida en los materiales activos, en energía eléctrica por medio de reacciones electroquímicas

de oxidación y reducción. El nombre batería, proviene del hecho de que los dispositivos básicos donde dichas reacciones tienen lugar (elementos, celdas o vasos) suelen aplicarse en combinaciones (normalmente en serie) de varios dispositivos iguales para obtener determinada tensión y capacidad. De ahí también el nombre de (pila). (Martinez G, 2006)

Las baterías pueden clasificarse atendiendo a muy distintos aspectos, siendo interesante resaltar antes que ningún otro el de la posibilidad de recarga. Se llaman baterías primarias las que no admiten recarga eléctrica y son desechadas una vez agotado el material activo. Se llaman baterías secundarias las que si admiten recarga eléctrica gracias a la reversibilidad de las reacciones electroquímicas que las fundamentan. (Martinez G, 2006)

Figura 2. Diagrama de baterías



Fuente: MARTINEZ G, Salvador. Electrónica de potencia. Componentes. Topología y equipos. Madrid: Thomson Ediciones paraninfo. 2006. p. 279.

El concepto de generación de energía eléctrica a través de un reductor de velocidad vial, se basa en la absorción de energía cinética y potencial de un vehículo mientras la rueda sobre dicho reductor de velocidad. A diferencia de los baches de velocidad convencionales como lo define la institución de ingenieros de transporte (Zumin. T, 2013), el concepto es basado en el movimiento lineal de un bache reductor de

velocidad, que al entrar en contacto con un vehículo genera un movimiento de carrera el cual retorna el cual se convierte en movimiento rotacional a través de un mecanismo que transfiere el movimiento a un generador de energía eléctrica.

El concepto de la fase de desarrollo es descrito en el siguiente flujograma, el diseño conceptual del tipo de sistemas se basa principalmente en 4 diferentes módulos, dentro de los cuales la dinámica del vehículo, velocidad del bache regulación de energía y almacenamiento de la energía.

Esquema de un recolector de energía de un bache

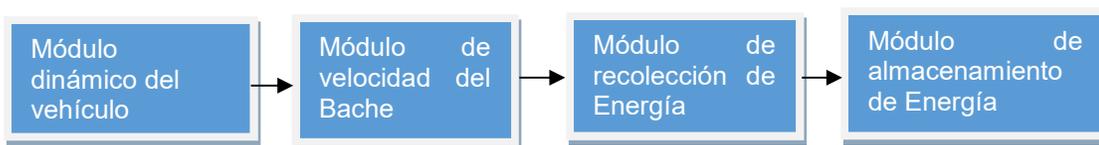
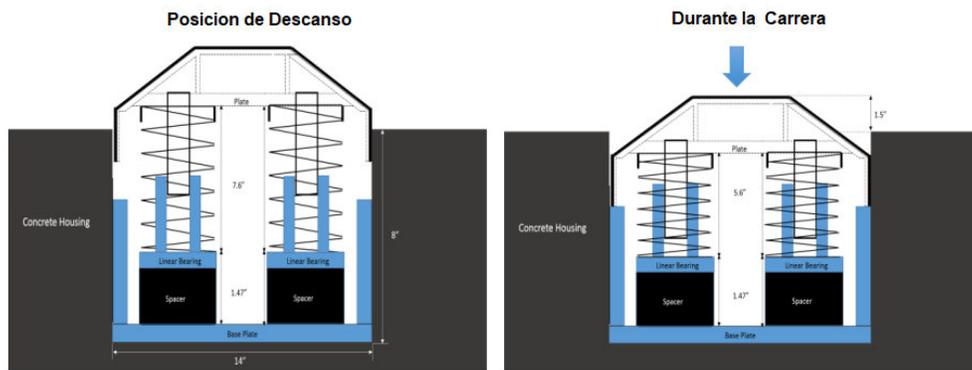


Figura 8: Movimiento de un bache de velocidad

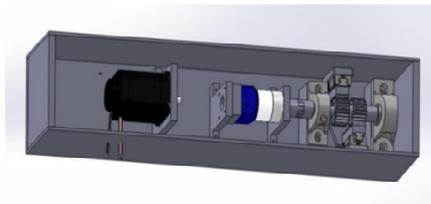


Fuente: Tomado de, Lei Zuo, Diseño modelamiento y pruebas de un bache electromecánico generador de energía, 2016.

Módulo de generación de energía.

El módulo de generación de energía se compone de varios elementos críticos tales como engranajes, caja reductora, generador, acoples, rodamientos y lo más importante un embrague que ayuda a rectificar el movimiento del eje.

Figura 9: módulo de generación de energía.



Fuente: Tomado de, Lei Zuo, Diseño modelamiento y pruebas de un bache electromecánico generador de energía, 2016.

2.1.3. Marco histórico

El trascendental descubrimiento de Alessandro Volta en 1800 marco el primer hito de la era eléctrica. Volta encontró que, alternando disco de metales diferentes, separados por trozos de papel humedecidos con ácido, podía originar un flujo continuo de electricidad. La pila de volta, o batería, proporcionaba un flujo continuo de carga eléctrica que permitió a los experimentadores explorar las propiedades de la electricidad de manera repetible y científica. (Rosa, 1991).

En 1820, el físico danés Hans Chritian observó que una brújula magnética resultaba influida por la condición de la corriente por un hilo. Los experimentos de Oersted demostraban que las corrientes eléctricas producen campos magnéticos, y por primera vez, se puso en evidencia que había una relación entre electricidad y el magnetismo. En 1825 André Marie Ampere había formulado las relaciones cuantitativas involucradas y fue también el primero en darse cuenta de la diferencia existente entre tensiones y corriente eléctrica. (Rosa, 1991)

Los primeros investigadores se encontraron con la paradoja de que, si bien la electricidad producía magnetismo, el magnetismo no parecía producir electricidad.

Sin embargo, en 1831, Michael Faraday encontró que un campo magnético variable producía en verdad flujo de electricidad, efecto que descubrió por la misma época *Joseph Henry*. El descubrimiento por Faraday de la inducción magnética proporciono el impulso para el desarrollo inicial del generador eléctrico y telégrafo. (Catany V, 2008)

Gustav Robert Kirchhoff había formulado las leyes que rigen el comportamiento de los circuitos eléctricos. En 1873, tras muchos años de estudios, James maxwell público un trabajo clásico electricista and magnetismo, en el cual se unificaba todo los que se sabía de la electricidad mediante un sistema de relaciones que se conocen hoy en día con el nombre de ecuaciones de maxwell, el predijo las ondas electromagnéticas. (Loaza., 2008)

Michael Faraday 1831, encontró que un campo magnético variable producía en verdad un flujo de electricidad, efecto que descubrió por la misma época en verdad un flujo de electricidad efecto que descubrió por la misma época *Joseph Henry*. El descubrimiento por Faraday de la inducción magnética proporcionó el impulso para el desarrollo inicial del generador eléctrico.

2.1.4. Marco Legal

2.1.4.1 Normatividad vigente

Mediante Resolución 1050 de 5 de Mayo de 2004, el Ministerio de Transporte adoptó "el Manual de Señalización Vial. Dispositivos para la regulación del tránsito en calles, carreteras y ciclo rutas de Colombia, de conformidad con los artículos 5, 113,115 y el parágrafo del artículo 101 de la Ley 769 de 6 de Agosto de 2002" (Transporte, 2004).

Resaltos

Las ondulaciones transversales a la vía, conocidas como resaltos, se constituyen en el elemento más coercitivo para obtener una reducción de velocidad y aumentando la seguridad de las franjas de circulación de peatones, intersecciones, etc.

Cuando sea necesario hacer más drástica la restricción de reducir la velocidad o mantenerla a lo largo de un tramo de vía, se deberán construir varios resaltos en serie o combinar este tipo de dispositivos con otros reductores de velocidad.

(Enriquez, 2004) establece que teniendo en cuenta que los resaltos son los reductores de velocidad más restrictivos para los conductores y que incrementan los niveles de vibración y de ruido en la zona, no se recomienda el uso en sectores como:

- Carreteras y vías de alta velocidad
- Vías urbanas en donde transiten rutas de transporte público colectivo
- Vías urbanas principales (o de jerarquía superior) o calles que enlacen a éstas
- Vías urbanas con volumen vehicular diario superior a 500 vehículos
- Vías urbanas cuyo porcentaje de vehículos pesados supere el 5%
- Pendiente de la vía mayor del 8%

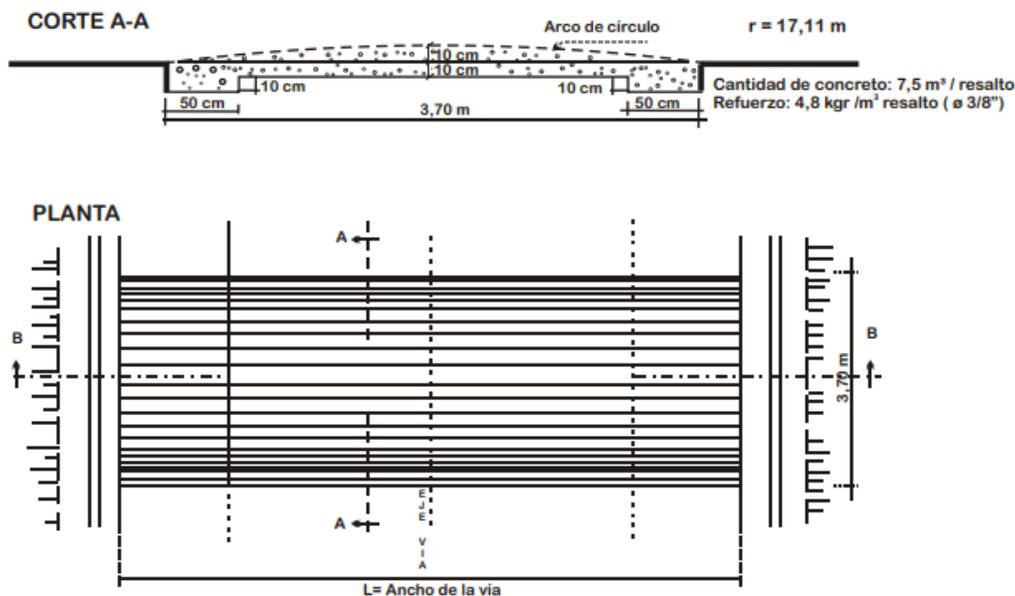
La aplicación debe obedecer rigurosamente a especificaciones técnicas de carácter constructivo, deberán estar precedidos de la señalización vertical y horizontal correspondiente y, cuando sea posible, se acompañarán de otras medidas que

induzcan al conductor a reducir gradualmente su velocidad hasta alcanzar un nivel satisfactorio (Transporte M. d., 2004).

Deberán complementarse con señales reglamentarias de velocidad (SR-30) y la presencia será advertida con la señal preventiva SP-25. Los resaltos deben ser pintados exclusivamente de color amarillo. La pintura deberá ser reflectorizada con microesferas de vidrio.

Cuando se construya un reductor de velocidad, la flecha máxima de la protuberancia o saliente sobre el plano de la superficie del pavimento será de 10 cm. y la longitud mínima a lo largo de la vía 3.70 m, tal como se muestra en la figura

Figura 10: Características de los resaltos



Fuente: Tomado de, Manual de señalización vial, Capítulo 5.

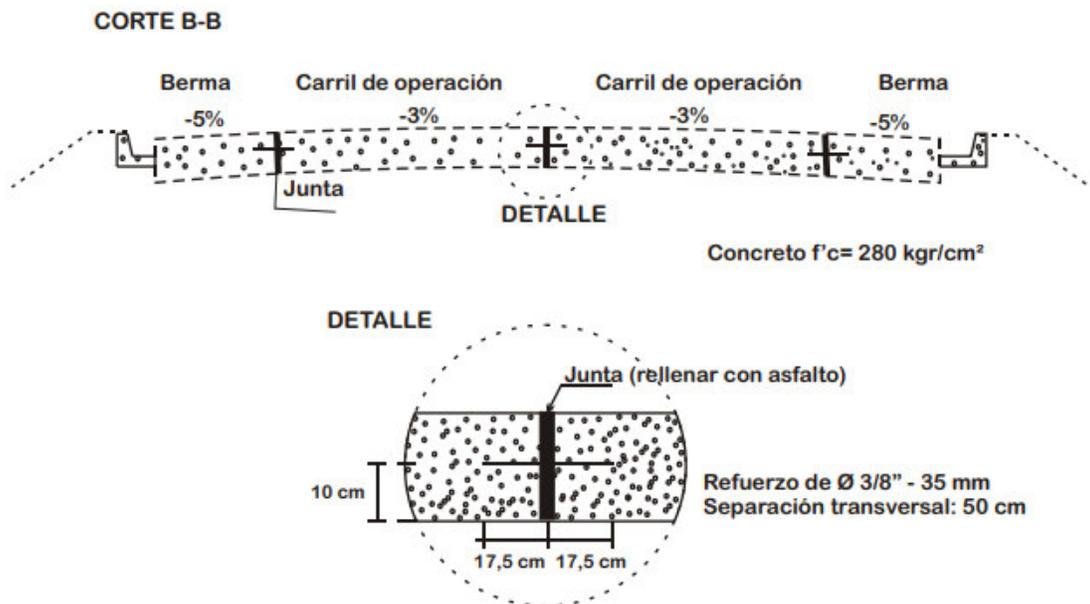
Una vez el estudio de Ingeniería de Tránsito demuestre la conveniencia de la construcción de un resalto, la entidad encargada del mantenimiento de la vía deberá autorizar la construcción. Así mismo, dicha entidad deberá verificar que se cumple

con la señalización vertical y horizontal, antes de dar al servicio el resalto, con el propósito de evitar que el dispositivo se pueda convertir en un elemento generador de accidentes de tránsito (Transporte M. d., 2002).

El uso de los resaltos se recomienda en sitios en donde se presente una alta cifra de atropellos a peatones, accidentes de vehículos que generen víctimas y/o grandes daños materiales, en sitios en los que se requiera la detención de los vehículos.

Debido al ruido y vibraciones que generan estos dispositivos, no se recomienda el uso en zonas residenciales y frente a bibliotecas, clínicas y hospitales".

Figura 11: Esquema de resalto físico



Fuente: Tomado de, Manual de señalización vial, Capítulo 5.

ARTÍCULO 110.

PARÁGRAFO 1o. Las marcas sobre el pavimento constituyen señales de tránsito horizontales. Y sus indicaciones deberán acatarse.

PARÁGRAFO 2o. Es responsabilidad de las autoridades de tránsito la colocación de las señales de tránsito en los perímetros urbanos inclusive en las vías privadas abiertas al público. Las autoridades locales no podrán ejecutar obras sobre las vías públicas sin permiso especial de las autoridades de tránsito que tendrán la responsabilidad de regular los flujos de tránsito para que no se presenten congestiones.

ARTÍCULO 115. REGLAMENTACIÓN DE LAS SEÑALES. El Ministerio de Transporte diseñará y definirá las características de las señales de tránsito, el uso, la ubicación y demás características que estime conveniente. Las señales serán de obligatorio cumplimiento para todo el territorio nacional.

PARÁGRAFO 1o. Cada organismo de tránsito responderá en su jurisdicción por la colocación y el mantenimiento de todas y cada una de las señales necesarias para un adecuado control de tránsito que serán determinadas mediante estudio que contenga las necesidades y el inventario general de la señalización en cada jurisdicción.

PARÁGRAFO 2o. En todo contrato de construcción, pavimentación o rehabilitación de una vía urbana o rural será obligatorio incluir la demarcación vial correspondiente, so pena de incurrir el responsable, en causal de mala conducta.

ARTÍCULO 120. COLOCACIÓN DE RESALTOS EN LA VÍAPÚBLICA. Los Alcaldes o las Secretarías de Tránsito donde existan podrán colocar reductores de velocidad o resaltos en las zonas que presenten alto riesgo de accidentalidad. Podrá parecer excesivo el texto copiado de las normas, pero es bueno señalar que la normatividad vigente colombiana estipula claramente las especificaciones y las competencias de las autoridades encargadas de su construcción e instalación.

A su vez el código nacional de tránsito es muy claro en las entidades responsables de la instalación, control y mantenimiento de los reductores de velocidad tal como lo describe en los artículos 110, 115, 119 y 120. (Transporte M. d., 2002)

Sin embargo, se queda corta para establecer los controles posteriores a la instalación, la verificación de resultados, y el mantenimiento requerido.

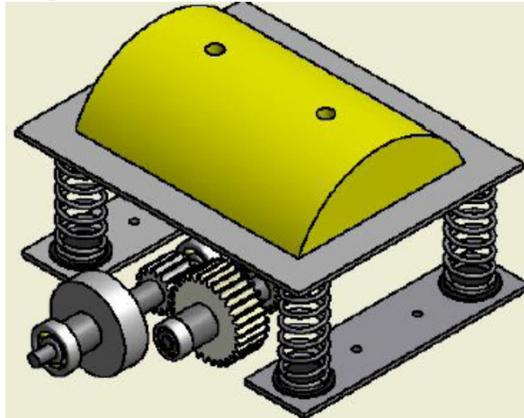
3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

Para el desarrollo del capítulo tres se requiere plantear inicialmente un criterio de selección para escoger el mecanismo a mejorar. La metodología a utilizar para tal fin se conoce con el nombre de TRIZ (*Tieoriya Riesheniya Izobrietatielskij Zadach*) la cual traduce **Teoría para Resolver Problemas de Inventiva**, dicha metodología consiste en un conjunto de herramientas que permiten abordar de manera lógica y sistemática el proceso inventivo, partiendo de un problema específico del cual se abstraen los aspectos esenciales, convirtiéndolo así en un problema abstracto que conlleva a la solución del planteamiento original.

Para la selección del mecanismo a estudiar se aplica la metodología TRIZ a tres de las familias de mecanismos más usadas para este tipo de aplicaciones, las cuales son:

Alternativa 1. 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 8.

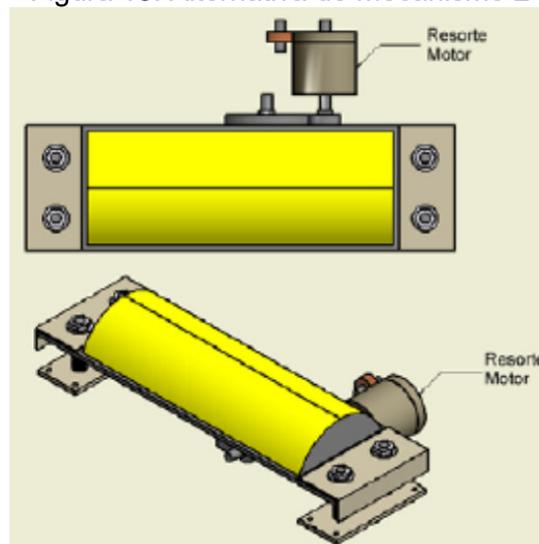
Figura 12: Alternativa de mecanismo 1



Fuente: Tomado de, Pistas educativas Año XXXIII

Alternativa 2. 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.

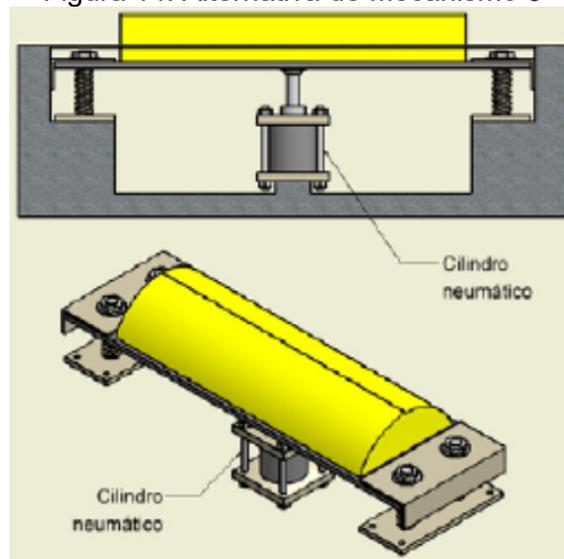
Figura 13: Alternativa de mecanismo 2



Fuente: Tomado de, Pistas educativas Año XXXIII

Alternativa 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.

Figura 14: Alternativa de Mecanismo 3



Fuente: Tomado de, Pistas educativas Año XXXIII

3.1. Selección de la 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, facilidad de mantenimiento, tamaño, materiales. La alternativa con mayor puntuación fue la 1 seguida de la 3, véase tabla 1.

Tabla 1: Matriz de descripción para selección de alternativa

		Costos de fabricación	Tiempo de construcción	Capacidad de generación	Facilidad de mantenimiento	Tamaño	Materiales	Total Puntos
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

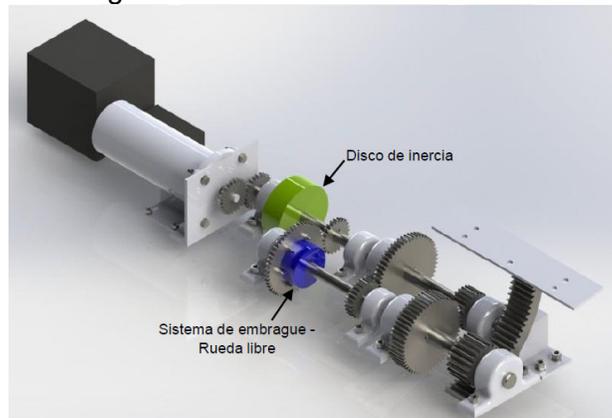
Fuente: Autor

Como se logra ver en la tabla 1 los mecanismos que tienen una mejor puntuación bajo el análisis de la metodología TRIZ son los mecanismos de piñón cremallera, lo cual indica que tienen una mayor ventaja sobre otro tipo de mecanismos. Es por esta razón que para el desarrollo del capítulo 3 se plantea un mecanismo piñón-cremallera, al cual se le realizara una identificación de características de diseño que sirvan para realizar mejoras al mecanismo.

Mecanismo de referencia:

El modelo seleccionado que sirve como mecanismo de referencia es el desarrollado por (Davilos, 2014), dicho proyecto lleva por nombre “Generación de energía eléctrica a partir del paso de vehículos por un reductor de velocidad de sección trapezoidal” y se basa en un mecanismo accionado por una cremallera en media luna que se encarga de transmitir la potencia obtenida a partir del peso del vehículo y transmitido a través de un juego de engranajes instalados en un tren de potencia, como se muestra en la figura 12.

Figura 15: Mecanismo de referencia



Fuente: Tomado de. Davilos, L. M. (2014). *Generacion de energia electrica a partir del paso de vehiculos por un reductor de velocidad de seccion trapezoidal ("rompemuelles")*. Lima: Pontificia Universidad Catolica del Peru.

Análisis del mecanismo:

Con el objetivo de tener un parámetro de comparación una vez se realice la mejora del mecanismo, se realiza un cálculo de la potencia generada en el sistema:

Características 1:

- Para los cálculos de potencia se establece una masa de un vehículo de 600 kg
- El radio de la rueda dentada en el punto de carga es de 15 mm
- La velocidad de rotación del engrane es de 37 RPM

$$Fuerza = F = mg$$

$$F = 600 \times 9.8 = 5880 \text{ N}$$

$$r = 15\text{mm}$$

Calculo de torque

$$T = r \times F(\text{Nm})$$

$$T = 1,5 \times 10^{-2} \times 5880$$

$$T = 88,2 (\text{Nm})$$

Cálculo de potencia del mecanismo

$$P = T\omega$$

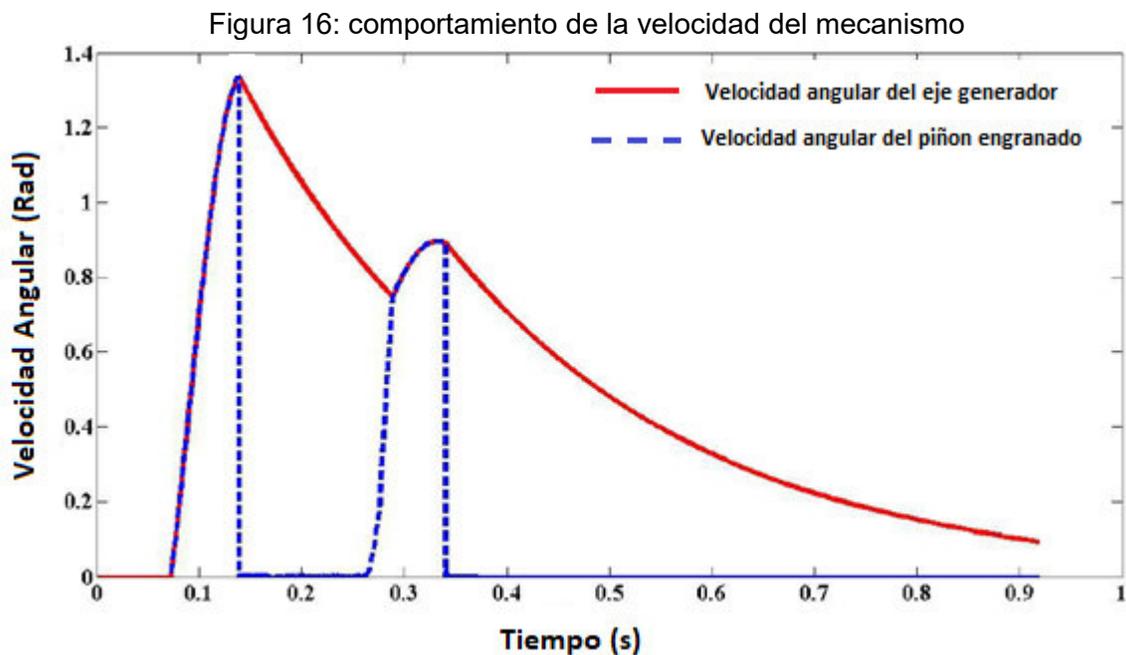
$$P = 88,2 \frac{2\pi N}{60}$$

$$P = 88,2 \times (2 \times 3.14 \times 37) / 60$$

$$P = 341,57 \text{ W}$$

$$P_{total} = 341,57 \text{ W}$$

Uno de los aspectos a mencionar con relación al resultado de la potencia, es que se genera a través de picos de potencia y no de manera sostenida, como se muestra en la grafica.



Fuente:Autor

En esta grafica se puede apreciar el comportamiento de la velocidad angular del piñon que esta engranado a la cremallera media luna el cual esta representado por las curvas de color azul, de la misma manera tambien se puede observar el comportamiento del generador acoplado a este sistema a traves de la linea de color rojo.

Como se puede observar en la grafica, la principal dificultad que puede presentar el mecanismo mostrado, son los intervalos de tiempo que dura para generar los picos de potencia.

La mejora en el diseño que se propone para aumentar el rendimiento del mecanismo en terminos de generacion de potencia, se base en la busqueda de una alternativa enfocada en disminuir los intervalos de tiempo en los picos de potencia.

Propuesta de Mejora:

La mejora que se propone al mecanismo parte de un análisis que se realiza en el libro de (Chair, 2016) que lleva por nombre “Design, Modelling, and Test of an Electromagnetic Speed Bump Energy Harvester” y se basa en un mecanismo de doble cremallera guiada, que busca generar potencia reduciendo los intervalos de los picos generados en un reductor de velocidad vial como se aprecia en la figura 17.

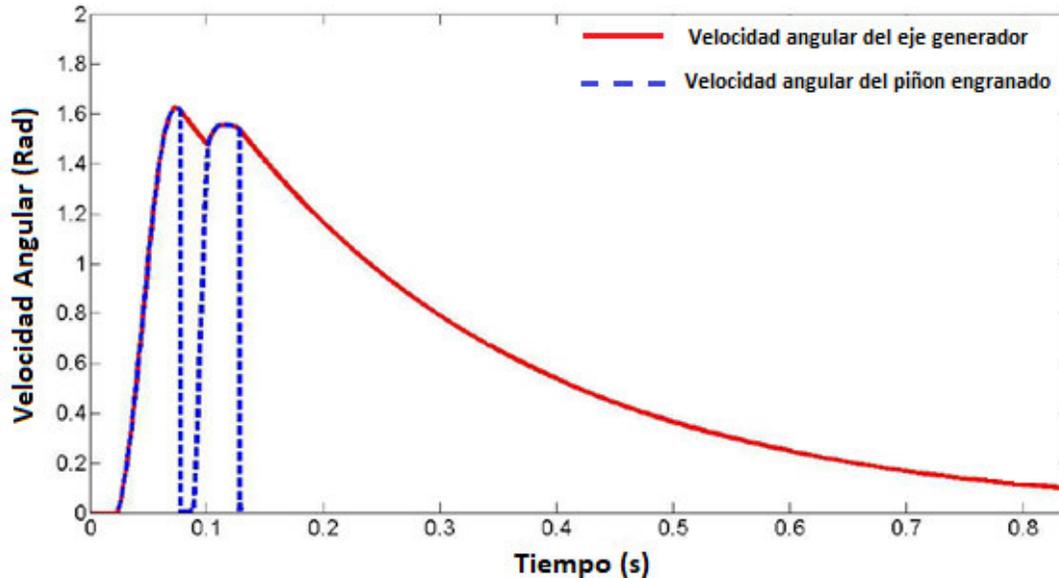
Figura 17: Mecanismo de doble cremallera



Fuente: Tomado de. Chair, L. Z. (2016). *Design, Modelling, and test of an Electromagnetic speed bump energy harvester*. Blacksburg: Prakhar Todaria.

3.1.1. Implementación de la doble cremallera

Figura 18: comportamiento de velocidad en mecanismos con doble cremallera



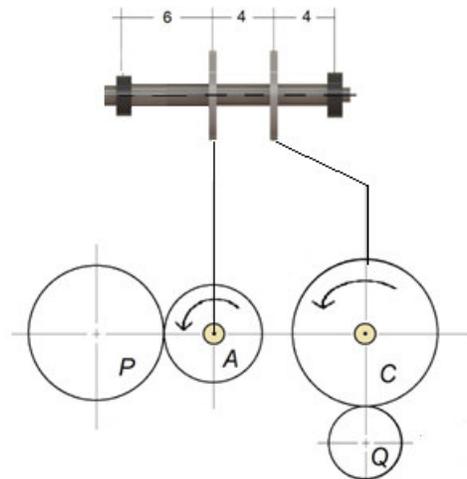
Fuente: Autor

Con la implementación de la doble cremallera se logra observar la disminución en los intervalos de los picos de potencia como se evidencia en la figura 24, permitiendo con ello realizar una mejora en el rendimiento del mecanismo de generación de energía eléctrica.

3.2. Análisis de los componentes involucrados en el mecanismo de transformación de movimiento por medio de cálculos de carga estática y dinámicas, para así determinar los esfuerzos máximos generados en el sistema.

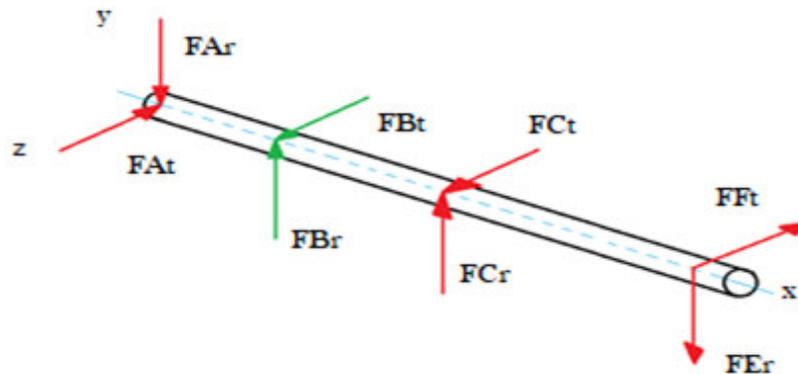
A continuación, se mostrarán los diagramas de cuerpo libre para proceder con los cálculos de esfuerzos estáticos y dinámicos generados en los ejes de las transmisiones del mecanismo.

Figura 19: sistema de transmisión por engranajes



Fuente: Autor

Figura 20: Diagrama de cuerpo libre



Fuente: Autor

Calculo de fuerza en B

Toando los valores del análisis previo $F_{Br} = 1321,9 \text{ Lb}$

$$F_{Br} = F_{Bt} * \tan \phi$$

Donde $\phi = \text{ángulo de presión}$

$$F_{Bt} = \frac{F_{Br}}{\tan \phi} = \frac{1321,9}{\tan 20} = 3631.89$$

$$F_{Bt} = 3631.89 \text{ lb}$$

Calculo de fuerzas en el punto C

Según (Robert L. Mott, 2000) se establece un factor de perdida de potencia de 0,1 por tanto

$$F_{Cr} = 1321,9 \text{ lb} * 0.9 = 1181.61 \text{ lb}$$

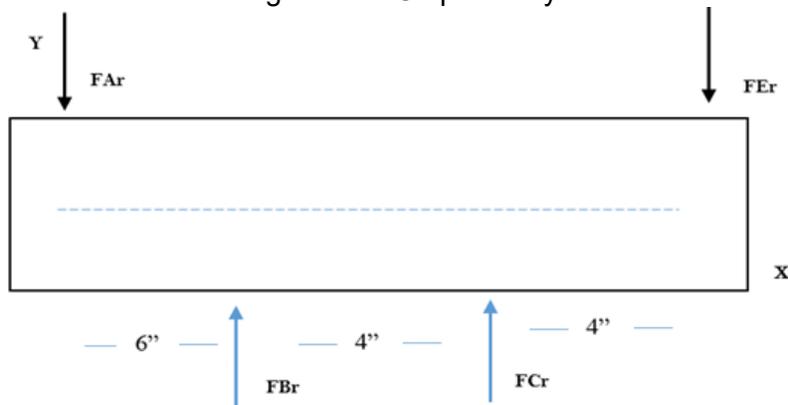
$$F_{Cr} = F_{ct} * \tan \theta$$

$$F_{ct} = \frac{F_{Cr}}{\tan \theta} = \frac{1181.61}{\tan 20}$$

$$F_{ct} = \frac{1181.61}{\tan 20} = 3246.42$$

$$F_{ct} = 3246.42 \text{ lb}$$

Figura 21:DCL plano x-y



Fuente: Autor

$$\sum \uparrow F_y (+) = 0$$

$$F_{BR} + F_{CR} - F_{AR} - F_{ER} = 0$$

$$1321,9 \text{ Lb} + 1181.61 \text{ lb} - F_{AR} - F_{ER} = 0$$

$$F_{AR} + F_{ER} = 2503,51 \text{ lb}$$

$$\sum M_A = 0$$

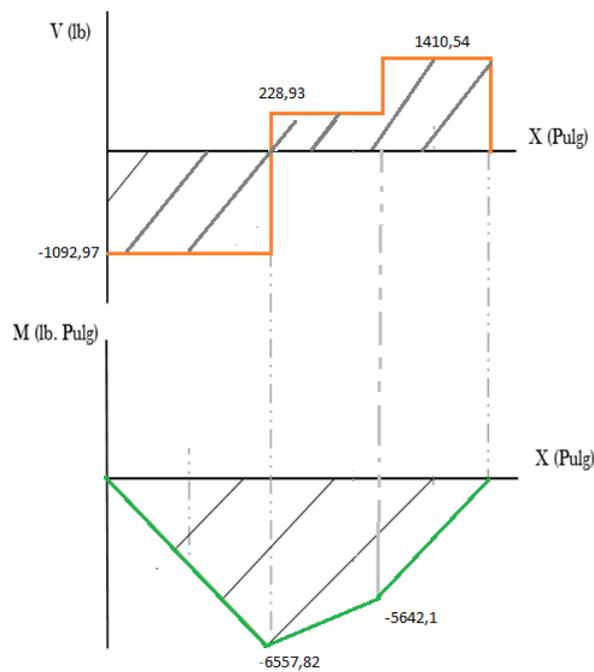
$$(F_{Br})(6") + (F_{Cr})(10") - (F_{ER})(14") = 0$$

$$(1321,9 \text{ Lb})(6") + (1181.61 \text{ lb})(10") - (F_{ER})(14") = 0$$

$$F_{ER} = 1410,53 \text{ lb}$$

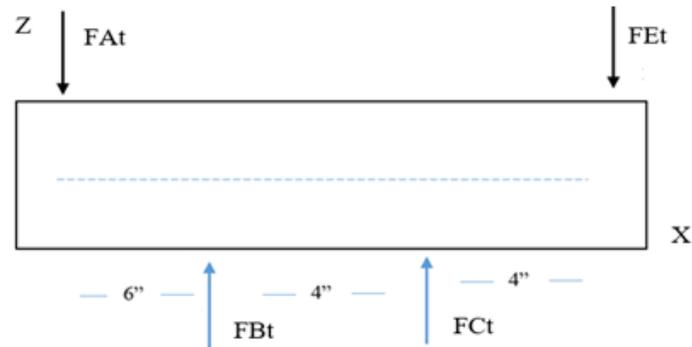
$$F_{AR} = 1092,97 \text{ lb}$$

Figura 22: diagrama cortante y flector plano x-y



Fuente: Autor

Figura 23:DCL plano z-x



Fuente: Autor

$$\Sigma \uparrow F_z(+)=0$$

$$F_{Bt} - F_{At} + F_{Ct} - F_{Et} = 0$$

$$3631,89 - F_{At} + 3246,42 - F_{Et} = 0$$

$$F_{At} + F_{Et} = 6878,31 \text{ lb}$$

$$\Sigma M_A = 0$$

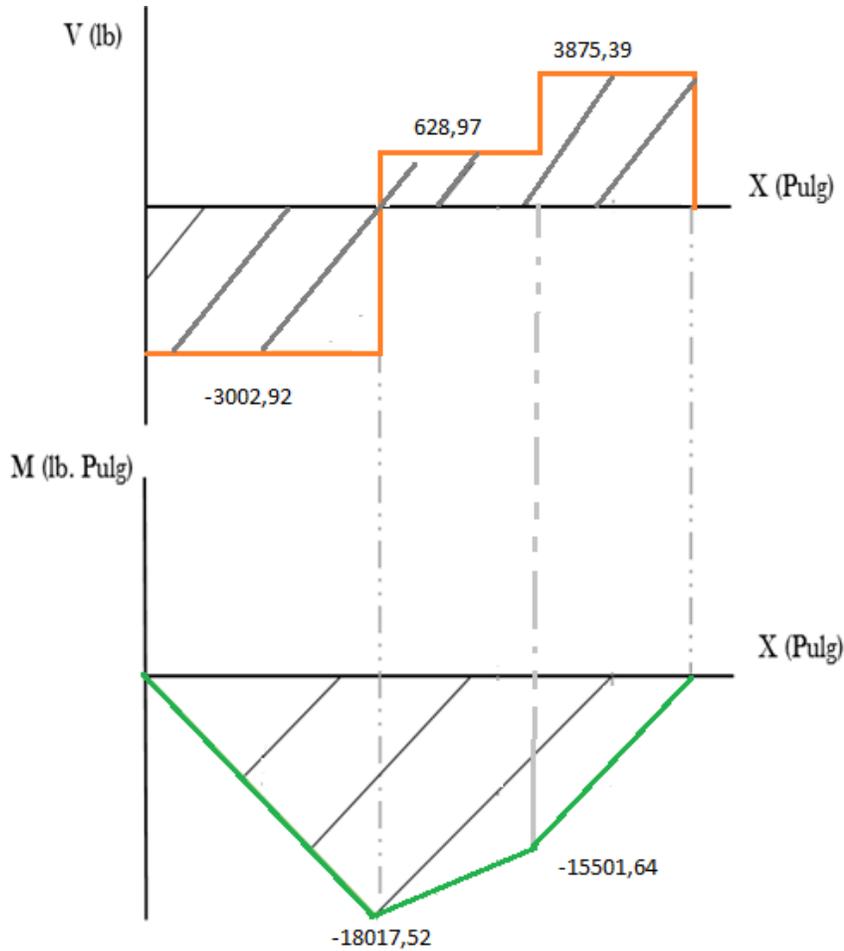
$$(F_{Bt})(6") + (F_{Ct})(10") - F_{Et}(14") = 0$$

$$(3631,89)(6") + (3246,42)(10") - (F_{Et})(14") = 0$$

$$F_{Et} = 3875,39 \text{ lb}$$

$$F_{At} = 3002,92 \text{ lb}$$

Figura 24: diagrama cortante y flector plano z-y



Fuente: Autor

Análisis de resistencia del elemento.

Con base en los resultados mostrados en los diagramas de fuerza cortante y momento flector se puede inferir que el punto crítico o de mayor esfuerzo es el **punto B**.

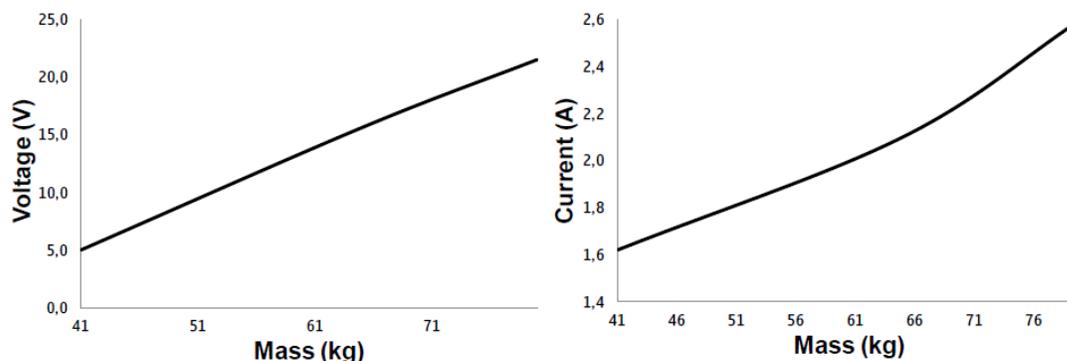
Al momento de actuar la segunda cremallera, se asume una pérdida de energía mecánica por fricción, razón por la fuerza que actúa en dicha cremallera es inferior,

razón por la cual no se realiza el cálculo estructural ya que los esfuerzos van a ser inferiores a los calculados.

3.3. Determinación de los componentes eléctricos requeridos para el proceso de conversión de energía cinética en energía eléctrica a través del análisis de variables de voltaje y corriente que se requieren para una selección óptima.

Según el artículo de (Ramadan, 2015) que lleva por nombre “Using_speed bump for power generation-Experimental study” en ese artículo el autor establece experimentalmente la relación que existe entre voltaje, corriente generada, potencia y masa en sistemas de generación de energía eléctrica a través de reductores de velocidad vial y es la que se muestra a continuación.

Figura 25: variables eléctricas según masa de vehículo.

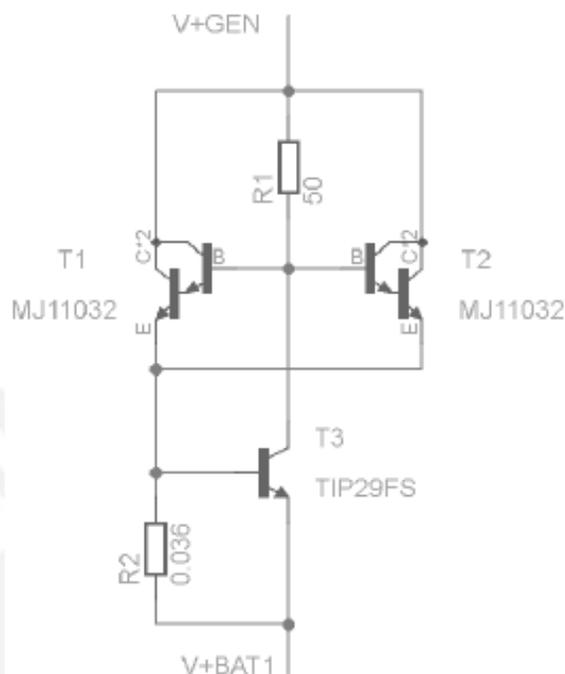


Fuente: Chair, L. Z. (2016). *Design, Modelling, and test of an Electromagnetic speed bump energy harvester*. Blacksburg: Prakhar Todaria.

Con base en las gráficas mostradas se puede establecer los rangos de voltaje y corriente en función de la masa del vehículo que pasa por el reductor de velocidad y por consiguiente seleccionar los elementos o características del circuito eléctrico.

Según recomendaciones de (Davilos, 2014) se selecciona un generador que soporta como máximo una corriente de 30 A, por razones de seguridad se decide trabajar con 20 A como máximo, para lo cual se emplea un circuito limitador de corriente. Los transistores T1 y T2 y la resistencia R2 requieren el uso de disipadores debido a la gran intensidad de corriente que transitará por éstos, el cálculo de éstos disipadores se encuentra.

Figura 26: Circuito limitador de corriente para batería



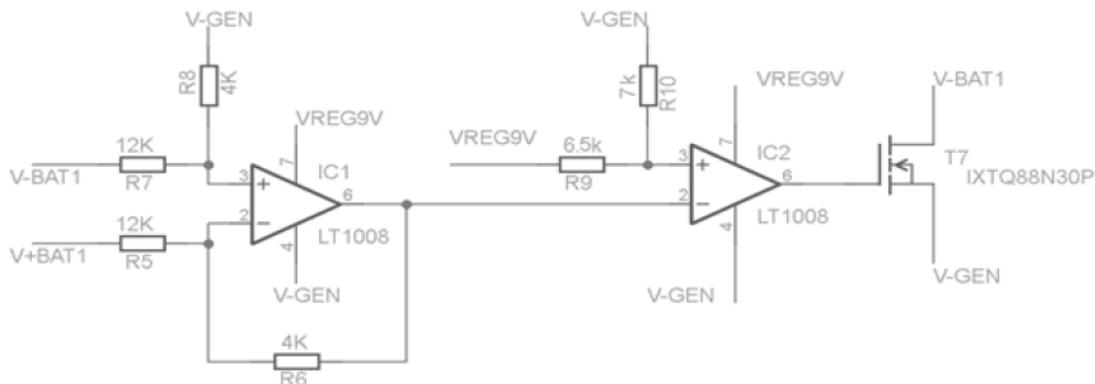
Fuente: Davilos, L. M. (2014). *Generacion de energia electrica a partir del paso de vehiculos por un reductor de velocidad de seccion trapezoidal ("rompemuelles")*. Lima: Pontificia Universidad Catolica del Peru.

La batería seleccionada es del tipo Li-Ion de 12 V y cuenta con las características del tipo LiFePo4. Esta batería no podrá ser cargada en su totalidad (máxima tensión

de carga: 14.6 V ó 3.65 V/celda), debido a que este sistema no cuenta con una fuente de alimentación permanente

En el circuito limitador de control de la batería que se muestra en la figura 27 se ha considerado el uso de un amplificador operacional (IC1) configurado como restador que tiene como función medir la tensión eléctrica entre los terminales de la batería principal. Además, se emplea otro amplificador operacional (IC2) configurado como comparador que tiene como función comparar la tensión eléctrica medida por IC1 con la tensión límite de carga seleccionado (14 V). El amplificador operacional IC2 activa un MOSFET cuando el valor medido es inferior al límite y lo desactiva en caso contrario, de esta manera se asegura que la batería solo podrá ser cargada hasta el límite seleccionado

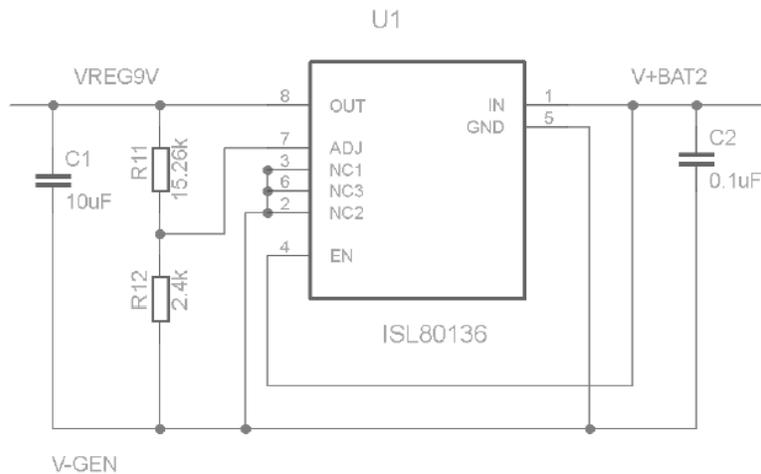
Figura 27: Circuito limitador de control de la batería



Fuente: Davilos, L. M. (2014). *Generacion de energia electrica a partir del paso de vehiculos por un reductor de velocidad de seccion trapezoidal ("rompemuelles")*. Lima: Pontificia Universidad Catolica del Peru.

En la figura 23 se muestra un Diagrama esquemático del regulador de tensión usado en el circuito de control de carga, que es esencial para mantener los niveles de voltaje en los rangos permitido por el sistema.

Figura 28: Regulador de tensión



Fuente: Davilos, L. M. (2014). *Generacion de energia electrica a partir del paso de vehiculos por un reductor de velocidad de seccion trapezoidal ("rompemuelles")*. Lima: Pontificia Universidad Catolica del Peru.

4. RESULTADOS

En el desarrollo de este proyecto se pudo llevar a cabo, basado en diferentes conceptos teórico-prácticos, trabajados durante toda la carrera, enfocado en diferentes teorías de fallas, con diagramas cortantes en el desarrollo de este plan de trabajo.

Se dan a conocer diferentes procesos en la conservación de la energía, para así poder armar una cultura en estas generaciones estudiantiles, de cómo crear nuevas técnicas que llevan a cabo un propósito interno de concientización y luego un enfoque externo que lleva a la generalización de todo un sistema de conservación por nuestros recursos.

Como se puede observar en el capítulo 3.1, el resultado de la potencia transmitida mantiene su pico máximo sin variar en magnitud, sin embargo el intervalo de tiempo de generación del pico de potencia se reduce a la mitad, generando con ello que disminuyan las oscilaciones.

5. CONCLUSIONES

Al realizar este proyecto la institución amplía su credibilidad en la ejecución de proyectos de investigación enfocados al área de diseño de máquinas como es el sistema de generación de energía a través de reductores de velocidad, de esa manera realiza un aporte a la industria de generación de energía eléctrica alternativas.

El sistema mecatrónico propuesto ofrece una fuente de energía que puede ser usada en señalizaciones en las carreteras, estaciones de pesaje y de peaje que no cuenten con suministro de energía eléctrica; así como los “rompemuelles” ubicados en las zonas urbanas en las que el suministro de energía por la vía aérea resulte peligroso.

Este sistema contribuirá a reducir la potencialidad de accidentes e incidentes de tránsito, es decir, a evitar la pérdida de vidas humanas, debido a que ofrece una alternativa de suministro eléctrico para la señalización en zonas donde no hay facilidad o disponibilidad de energía eléctrica.

6. RECOMENDACIONES

Se recomienda la ejecución de un proyecto de investigación que profundice en el cálculo de pérdidas en transmisiones de potencia de todos los tipos que existen, ya que para el desarrollo de proyectos similares a este es de vital importancia esos estudios que son escasos en tribología.

Se recomienda seguir los procesos efectuados en la investigación, en la que se estructura una serie de parámetros que fueron necesarios para dar el correcto cumplimiento de los objetivos establecidos en el proyecto. De igual forma los estudiantes tendrán la oportunidad de tomar conciencia de la importancia que tiene la aplicación de conceptos enfocados en la solución de problemas energéticos, que ayuden a mitigar el impacto que sufren nuestros ecosistemas en la generación de energía eléctrica.

La implementación de actividades teórico-práctico en las asignaturas como diseño de elementos de máquinas, estática, resistencia de materiales y maquinas eléctricas, permite al estudiantado identificar el comportamiento de los procesos efectuados actualmente, mejorar las habilidades y capacidades técnicas al momento de enfrentarse a equipos industriales

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Azam, A. (2016). *Speed Breaker Power Generator*. Pakistam: EESD.
- Budynas, R. G. (2016). *Diseño en ingeniería mecánica*. Mexico : Mc Graw Hill .
- Calatayud, S. F. (2015). *Reductor de velocidad con relacion de transmision 34,22 y par maximo a la salida de 3531 Nm*. Valencia : Universidad Politecnica de Valencia.
- Catany V. (2008). *Analisis de funcionalidad de los elementos de maquinas*. Madrid: Javier.
- Dávalos, L. M. (2014). *Generación de energía eléctrica a partir del paso de vehículos por un reductor de velocidad de sección trapezoidal*. Lima: Universidad Catolica del Peru.
- Enriquez, H. (2004). *Libro practico de los generadores, transformadores y motores electricos*. Mexico: Limusa.
- Ferrando, S. (2014). *Diseño y calculo de un reductor de velocidad con relacion de transmision 34,22 y par maximo a la salida de 3531 Nm*. Valencia: Univeersidad Politecnica de Valencia .
- Fink, D. (1981). *Manual pratico de electrecidad para ingenieros*. España: Reverte.
- Franco, D. (2015). el verdadero negocio es investigar el recurso, desarrollar la tecnología, fabricar los equipos, instalarlos y generar energía. *Energia Estrategica*, 10.
- Giraldo, J. M. (2017). Placas piezoeléctricas reducirían consumo de energía en parqueaderos de centros comerciales. *Universidad Nacional de Medellin* , 8.
- Gonzalez, V. (1971). *Fisica fundamental*. Mexico: Montosso.
- Jarauta, L. (2014). *Las nergias renovables* .Paris : Jordi Beltran .
- Kosow, I. (1991). *Maquinas electricas y transformadores*. . Mexico : Prentice-hall.
- Kosow, I. (1993). *Maquinas electricas y tansformadores*. Mexico: pretice-Hall hispanoamericana.
- Loaza. (2008). *Biomecanico y base neuromuscular de la actividad fisica*. Madrid: mikel .
- Martinez G, S. (2006). *Electronica de potencia, componentes, topologia y equipos*.Madrid: Thomson Ediciones.
- Prabu, R. (2015). *Electricity Generation by Speed Breaker*. Tamil Nadu: VMKV Engg College.

- Ramadan, M. (2015). *Using speed bump for power generation –Experimental study*. Paris : Elsevier.
- Robert L. Mott, P. (2000). *Diseño de Elementos de Maquinas* . Mexico : Pearson.
- Rodriguez, F. D. (2011). *Diagramas para Tecnologia de Materiales*. Mexico: Facultad de Estudios Superiores Cautitlan .
- Rosa, T. R. (1991). *Circuitos y señales* . Barcelona: Reverte.
- Transporte, M. d. (2002). *Codigo nacional de transito* . Bogota: Ministeria de Transporte.
- Transporte, M. d. (2004). *Manual de señalizacion. Dispositivos para la regulacion del transito en calles, carreteras y ciclorutas en Colombia* . Bogota: Ministerio de transporte.
- Vanegas, L. v. (2018). *Diseño de elementos de maquinas*. Pereira: Universidad Tecnologica de Pereira.
- Zumin. T. (2013). *Energy-harvesting shock absorber with a mechanical rectifier*. Virginia: Smart Mater.

R-DC-95

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO Y
PRÁCTICA

VERSIÓN: 01

ELABORADO POR:
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR : Asesor de planeación
FECHA APROBACION: