



**SISTEMA DE GENERACIÓN ELECTRICO APARTIR DE LA ENERGÍA
CINETICA DEL DESPLAZAMIENTO DE UN VEHICULO EN LA VÍA.**

WILMER ALONSO MONTES CHAVARRIA

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE ELECTRICA
MEDELLÍN
AÑO 2024**

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO

Docente Asesor

SERGIO ANDRES ESTRADA MESA

ANDRES FELIPE ROMERO MAYA

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE ELECTRICA

MEDELLÍN

2024

Introducción.

En la actualidad, la búsqueda de fuentes de energía renovable y sostenible se ha convertido en una prioridad global para combatir los efectos adversos del cambio climático y reducir la dependencia de los combustibles fósiles, esta transición hacia alternativas más limpias no solo responde a la necesidad de proteger el medio ambiente, sino también a la creciente demanda de soluciones energéticas eficientes y económicas que puedan satisfacer las necesidades de una población en constante crecimiento, por esto surgen diversas iniciativas y tecnologías innovadoras orientadas a aprovechar fuentes de energía que hasta ahora han sido subutilizadas o ignoradas.

De acuerdo a esto se estudia el aprovechamiento de la energía cinética generada por el desplazamiento de vehículos en movimiento, se presenta como una alternativa innovadora y prometedora ya que cada día millones de vehículos se desplazan por carreteras, autopistas y calles, liberando grandes cantidades de energía cinética que en la mayoría de los casos se disipa sin ser aprovechada. Capturar y reutilizar esta energía no solo podría transformar la manera en que entendemos la movilidad, sino también abrir nuevas posibilidades en la generación de energía eléctrica de forma limpia, eficiente y sostenible.

Este proyecto tiene como objetivo desarrollar un sistema mecánico capaz de capturar y transformar la energía cinética de los vehículos en movimiento en energía mecánica, la cual será posteriormente convertida en energía eléctrica, este sistema no solo tiene el potencial de contribuir a la generación de electricidad sin emisiones de carbono, sino que también podría integrarse de manera estratégica en infraestructuras urbanas y rurales, ofreciendo una solución complementaria a las fuentes de energía convencionales.

A lo largo de este trabajo, se explorarán diversos aspectos técnicos relacionados con el diseño, implementación y optimización de esta tecnología, evaluando los materiales, mecanismos y procesos más adecuados para maximizar su eficiencia, asimismo se abordarán las implicaciones ambientales, considerando la reducción de la huella de carbono

y el impacto positivo en el desarrollo sostenible; en paralelo se analizarán los aspectos económicos de esta propuesta, incluyendo los costos de instalación, mantenimiento y operación, así como el retorno de inversión que podría esperarse al implementarse a gran escala.

El objetivo final de este estudio no es solo demostrar la viabilidad técnica y económica del sistema, sino también subrayar su potencial impacto en la industria energética y en la transición hacia un futuro más sostenible, esta propuesta busca posicionarse como un ejemplo de cómo la innovación tecnológica puede aprovechar recursos previamente ignorados, contribuyendo a la creación de un modelo energético más amigable y responsable con el planeta, con ello se espera aportar una solución concreta y factible al desafío energético global, alineada con las metas internacionales de sostenibilidad y mitigación del cambio climático.

Índice

Portada

1. Planteamiento del problema

1.1. Descripción

1.2. Formulación

2. Justificación

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

3.2. Objetivos específicos

4. Estado del arte

5. Marco teórico

5.1. Tipo de proyecto

5.2. Método

6. Metodología

6.1. Método para diseñar y construir un prototipo funcional didáctico del sistema mecánico para capturar la energía cinética de los vehículos en movimiento.

6.1.1. Metodología para investigar y seleccionar los materiales y componentes necesarios para la construcción del sistema mecánico

6.1.2. Metodología para analizar la viabilidad económica del proyecto, considerando costos de producción, mantenimiento y posibles beneficios económicos a largo plazo

7. Resultados

8. Análisis de resultados

8.1 Análisis del tiempo de retorno en una inversión a mayor escala según lo cotizado.

9. Conclusiones
10. Recomendaciones
11. Cronograma
12. Presupuesto prototipo experimentado
13. Referencias bibliográficas

Listado de figuras

Figura 1. Ilustración que presenta, a la izquierda el diseño en funcionamiento, a la derecha la ubicación donde se debe calcular el ángulo de la rampa.

Figura 2. Ilustración que presenta, las medidas con las que se debe hallar el ángulo de la rampla.

Figura 3. Ilustración que presenta, el peso y la velocidad del vehículo junto con el radio de las llantas.

Figura 4. Ilustración que presenta, el impacto y accionamiento del sistema a través de las llantas.

Figura 5. Ilustración que presenta, la geometría del sistema mecánico para calcular la fuerza

Figura 6. Ilustración que presenta, la caja multiplicadora rotacional.

Figura 7. Ilustración que presenta, Recuperación de chatarra para reutilizarla en el proyecto.

Figura 8. Ilustración que presenta, máquina de coser de pedal modificada.

Figura 9. Ilustración que presenta, compresor recuperado de pistones y tanque de almacenamiento.

Figura 10. Ilustración que presenta, motor neumático, generador dinamo y extensor de taladro.

Figura 11. Ilustración que presenta, motor neumático GLOBE RM510.

Figura 12. Ilustración que presenta, compresor neumático tipo tornillo.

Figura 13. Ilustración que presenta, Generador eléctrico AC.

Figura 14. Ilustración que presenta, Tanque de almacenamiento neumático.

Figura 15. Ilustración que presenta, Material metálico para la estructura.

Figura 16. Ilustración que presenta, el ángulo de la rampla de prototipo manual.

Figura 17. Ilustración que presenta, sistema biela-manivela.

Figura 18. Ilustración que presenta, elementos utilizados para el almacenamiento de energía.

Figura 19. Ilustración que presenta, elementos para la generación de energía eléctrica.

Figura 20. Ilustración que presenta, evidencia de la energía generada a través de luminarias.

Figura 21. Ilustración que presenta, valor generación KWh en por parte de EPM.

Listado de tablas

Tabla 1. Recursos de los materiales y elementos para la ejecución a gran escala.

Tabla 2. Cronograma

Tabla 3. Presupuesto prototipo experimentado

Glosario

(θ) = Angulo.

(K_{rot}) = energía cinética rotacional.

(I) = momento de inercia.

(ω) = velocidad angular.

(m) = masa

(r) = radio de la llanta.

(v) = velocidad lineal.

(J) = Joule unidad de medida de energía.

(Kg) = kilogramo.

(Km/h) = kilometro por hora.

(W) = trabajo

(F) = fuerza

(d) = distancia recorrida a lo largo de la rampa

(K) = energía cinética.

(P) = Potencia

(τ) = torque (fuerza rotacional)

(KW) = kilowatts

(N) = newton fuerza

(Hp) = caballos de fuerza

(Psi) = libras por pulgada (medida de presión)

Planteamiento del problema

1.1 Descripción

La generación de energía eléctrica en Colombia depende en gran medida de las centrales hidroeléctricas y termoeléctricas, con un porcentaje muy bajo proveniente de otras fuentes renovables como las fotovoltaicas y eólicas, en los sistemas de generación en centrales hidroeléctricas se logra evidenciar debilidad durante tiempos de verano y sequías, lo que plantea la necesidad de desarrollar un nuevo método de generación de energía eléctrica que no se vea afectado por los cambios climáticos.

La situación actual evidencia la falta de respaldos en otras fuentes de producción de energías renovables para suplir la continuidad del servicio, lo que hace que las centrales termoeléctricas no sean suficientes para abastecer al país, además este método de generación de energía es costoso y poco amigable con el medio ambiente.

La Asociación Colombiana de Generadores de Energía Eléctrica (Acolgen) señala que, si bien los proyectos hidroeléctricos seguirán generando energía en el futuro, el país ya contempla otras opciones como las energías renovables o térmicas debido a la complejidad que se ha generado en las hidroeléctricas en ambiente y ejecución recientemente.

1.2 Formulación

¿Cómo generar energía eléctrica que sea renovable y amigable con el medio ambiente, a partir del aprovechamiento de la energía cinética desperdiciada por los vehículos en las vías?

2. Justificación

En el desarrollo de un sistema mecánico que captura y transforma la energía cinética de los vehículos en movimiento en energía eléctrica, se haya la necesidad

urgente de encontrar fuentes de energías renovables y sostenibles para combatir el cambio climático y reducir la dependencia de combustibles fósiles, ya que en la actualidad el sector energético es uno de los principales contribuyentes a las emisiones de gases de efecto invernadero, por lo que es crucial buscar alternativas limpias y eficientes.

El aprovechamiento de la energía cinética generada por el desplazamiento de vehículos en movimiento se presenta como una opción innovadora y prometedora, ya que permite convertir una forma de energía que de otra manera se desperdiciaría en una fuente útil y renovable, al desarrollar un sistema mecánico para capturar esta energía y transformarla en electricidad, se contribuiría significativamente a la generación de electricidad limpia y sostenible.

Además, al explorar los aspectos técnicos, ambientales y económicos relacionados con esta tecnología a lo largo del proyecto, se podrá evaluar su viabilidad y potencial impacto en la industria energética, esto permitirá determinar si esta alternativa puede ser implementada a gran escala para impulsar la transición hacia un sistema energético más sostenible y respetuoso con el medio ambiente.

El Ministerio de Energía y Minas crea una base al Decreto Ley 106-83 del Congreso de la República, determinando que entre sus funciones esta estudiar y fomentar el uso de las fuentes nuevas y renovables de energía, y promover el aprovechamiento racional y adecuado de las energías alternativas.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Diseñar un sistema mecánico capaz de capturar y transformar la energía cinética de vehículos al pasar sobre una rampla, la cual será convertida posteriormente en energía eléctrica.

3.2 Objetivos específicos

- Diseñar y construir un prototipo funcional didáctico del sistema mecánico para capturar la energía cinética de los vehículos en movimiento.
- Investigar y seleccionar los materiales y componentes necesarios para la construcción del sistema mecánico.
- Analizar la viabilidad económica del proyecto, considerando costos de producción, mantenimiento y posibles beneficios económicos a largo plazo.

4. Estado del arte

La búsqueda de fuentes de energía renovable y sostenible ha cobrado gran relevancia en las últimas décadas, impulsada por la necesidad de mitigar el cambio climático y reducir la dependencia de combustibles fósiles, donde el aprovechamiento de la energía cinética generada por el desplazamiento de vehículos se ha convertido en un área de investigación activa y prometedora, a continuación se presenta un estado del arte sobre las tecnologías y metodologías actuales relacionadas con la captura y conversión de energía cinética generada por vehículos.

Una de las tecnologías más conocidas son los sistemas piezoeléctricos: Estos dispositivos convierten la presión mecánica en electricidad, se ha implementado en pavimentos que generan electricidad cuando los vehículos pasan sobre ellos, en investigaciones como las realizadas por Kymissis et al. (2008) han demostrado su viabilidad en entornos urbanos.

En el año 2016 también fue presentada en Francia la primera carretera solar, en la vía que conduce a un pequeño pueblo de Normandía, Tourouvre-au-Perche que tiene un

kilómetro de distancia y está compuesta por 2 800 m² de paneles solares, Estos paneles a su vez están cubiertos de una resina fabricada con láminas de silicio capaces de resistir el peso de más de 2 000 autos diarios y asegurar la adherencia de sus neumáticos sin sacrificar la eficiencia energética, es bueno advertir que esta vía es considerada una prueba piloto, y además esta generación no aprovecha directamente la energía cinética de los vehículos, pero si aprovecha el espacio de las vías para evitar mayor deforestación de los bosques.

También se encontró la compañía turca Devici Tech, que lleva tiempo trabajando en el desarrollo de una turbina a la que han bautizado como Enlil que genera energía limpia con el tráfico de vehículos, sus creadores afirman que cada una de esas turbinas es capaz de generar un kilovatio de electricidad a la hora, lo cual representa una cantidad de energía suficiente para abastecer dos hogares durante todo el día, estos ingenieros colocaron sus dispositivos en los separadores de carreteras y vías en Estambul donde la circulación de vehículos es intensa, en especial aquellas por las que transitan autobuses, camiones y otros grandes automóviles. El aire provocado por el paso de estos vehículos y también el natural, mueve las aspas de estas turbinas y lo transforman en energía eléctrica.

Estas tecnologías no explotan directamente la energía cinética de los vehículos, la propuesta de sistema de generación eléctrico apartir de la energía cinetica del desplazamiento de un vehiculo en la vía, utiliza rampas móviles que maximizan la captación de energía sin alterar significativamente la infraestructura vial.

5. Marco Teórico.

La creciente preocupación por el cambio climático y la crisis energética global ha impulsado una búsqueda activa de fuentes de energía renovables y sostenibles, las cuales permitan reducir tanto las emisiones de gases de efecto invernadero como la dependencia de los combustibles fósiles, es por esto que el aprovechamiento de energías renovables no convencionales, como la energía cinética de los vehículos en movimiento, se presenta como una alternativa innovadora y viable para contribuir a una matriz energética más limpia.

- **Energía Cinética y su Aprovechamiento**

La energía cinética es la energía que posee un objeto debido a su movimiento, en el caso de los vehículos en tránsito representa un recurso inexplorado con gran potencial para la generación de electricidad. En términos generales, la energía cinética (EC) se calcula con la fórmula:

$EC = 1/2 mv^2$, donde m representa la masa del objeto en movimiento y v su velocidad. Esta energía, que

tradicionalmente se disipa en forma de calor o ruido al interactuar con el entorno, puede ser capturada mediante dispositivos diseñados para convertir la fuerza generada por el peso y el movimiento de los vehículos en energía mecánica, que luego es susceptible de transformación en energía eléctrica.

- **Principios de Transformación de Energía Mecánica a Eléctrica**

La conversión de energía mecánica en eléctrica es una de las bases de muchos sistemas de generación energética, Para este proyecto se ha planteado un sistema mecánico que aprovecha la presión generada por el paso de los vehículos sobre una superficie especialmente diseñada, mediante el uso de mecanismos como rampas móviles, cigüeñales y sistemas de transmisión de energía, se logra transformar el movimiento lineal en rotacional, permitiendo su acoplamiento con un generador eléctrico.

Este enfoque se basa en principios de la mecánica aplicada, donde la eficiencia del sistema dependerá en gran medida de la optimización de cada uno de sus componentes, con el fin de minimizar las pérdidas energéticas y maximizar la producción de electricidad, adicionalmente se estudian métodos de almacenamiento de la energía generada, ya que, dependiendo de las necesidades, esta puede ser almacenada en baterías o utilizada de forma inmediata.

- **Sistemas Neumáticos en la Captura de Energía**

Los sistemas neumáticos juegan un rol clave en el almacenamiento y control de la energía generada, en este proyecto el diseño incluye el uso de compresores que permiten almacenar la energía cinética convertida en energía neumática, la cual puede ser utilizada posteriormente para accionar un generador eléctrico. La neumática aplicada al contexto de generación eléctrica permite un almacenamiento seguro y eficiente, destacándose por su gran capacidad y eficiencia al no tener límites de ciclos de carga y descarga como lo son las baterías tradicionales de plomo y litio.

5.1. Tipo de proyecto

Este tipo de proyecto implica la exploración de nuevas tecnologías y enfoques para abordar desafíos específicos, como la captura y transformación de energía cinética de vehículos en movimiento en energía eléctrica. En este caso, el proyecto se centraría en el diseño, desarrollo y prueba de un sistema mecánico innovador para aprovechar la energía cinética de los vehículos en movimiento sobre las vías.

5.1.1. Investigación y análisis: Se comienza investigando sobre el comportamiento de la energía cinética en el desplazamiento de los vehículos, y demás comportamiento físicos en su desplazamiento, analiza estudios previos, posibles desafíos técnicos, ambientales y económicos.

5.1.2 Diseño del sistema mecánico: Se desarrolla un diseño detallado del sistema mecánico que capturará la energía cinética de los vehículos y la convertirá en energía eléctrica, considerando aspectos como la eficiencia, la seguridad y la escalabilidad del sistema.

5.1.3. Pruebas y prototipo: Se construirá un prototipo del sistema mecánico para realiza pruebas y evaluar su funcionamiento y eficacia, se ajusta el diseño según sea necesario para optimizar su rendimiento.

5.1.4. Evaluación técnica, ambiental y económica: Se realizará un análisis exhaustivo de los aspectos técnicos, ambientales y económicos del proyecto, evaluando la viabilidad del sistema en términos de costos, impacto ambiental y beneficios potenciales.

5.1.5. Implementación y seguimiento: Una vez que hayas completado las etapas anteriores con éxito, se implementara el sistema a mayor escala si es posible, realizar un seguimiento continuo para monitorear su desempeño y realizar mejoras si es necesario.

5.2.Método

5.2.3. Captación de Energía Cinética en Vías Principales

En las vías principales, como autopistas y vías regionales de las ciudades principales, se puede aprovechar el recurso primario de la gran cantidad de vehículos que circulan diariamente para obtener una fuerza mecánica, para captar esta energía cinética de manera eficiente y sin causar inconvenientes, se propone el siguiente método:

5.2.4. Diseño Ergonómico de la Rampla: Se instalará una rampla con un diseño ergonómico en las vías principales, esta rampla permitirá que los vehículos pasen sobre ella sin causar ruido ni daños mecánicos tanto en los vehículos como en el sistema captador de energía cinética.

5.2.5. Sistema Mecánico de Captación: El sistema de captación de energía cinética estará compuesto por un conjunto de elementos mecánicos, adaptados para convertir la energía cinética en energía mecánica rotacional, este sistema constará de:

- **Bielas y Manivelas:** Estos componentes se encargarán de transmitir el movimiento generado por el paso de los vehículos.
- **Polea Tipo Volante de Inercia:** Esta polea integrada con un multiplicador rotacional, permitirá almacenar la energía mecánica de manera eficiente.

5.2.6. Conversión a Energía Neumática: La energía mecánica almacenada será utilizada para accionar compresores de aire, convirtiéndola en energía neumática, esta energía neumática es una fuente renovable y respetuosa con el medio ambiente, siendo segura y útil para una variedad de procesos.

5.2.7. Uso en Motores Neumáticos y Generadores Eléctricos: La energía neumática generada se utilizará para alimentar motores neumáticos robustos, los cuales estarán acoplados a generadores eléctricos. Estos generadores convertirán la energía neumática en energía eléctrica.

5.2.8. Conexión en Serie para Mayor Eficiencia: Todo el proceso se conectará en varias series para generar la cantidad necesaria de energía eléctrica, asegurando así un suministro constante y confiable.

6. Metodología

Se diseñó un prototipo a gran escala de modo esquemático y matemático, y se construye un prototipo funcional didáctico del sistema mecánico, para simular la captación de la

energía cinética de los vehículos en movimiento.

Este proyecto se fundamenta en la necesidad actual de buscar fuentes de energía renovable y sostenible para abordar el cambio climático y disminuir la dependencia de combustibles fósiles, donde se busca el aprovechamiento de la energía cinética generada por el movimiento de vehículos lo cual se presenta como una alternativa innovadora y prometedora.

El objetivo principal es desarrollar un sistema mecánico que pueda capturar y convertir esta energía cinética en electricidad de manera eficiente y limpia, a lo largo de este estudio se analizarán aspectos técnicos, ambientales y económicos para evaluar la viabilidad y el impacto potencial de esta tecnología en la industria energética, con el fin de contribuir a la transición hacia un sistema energético más sostenible y respetuoso con el medio ambiente.

6.1 Método para diseñar y construir un prototipo funcional didáctico del sistema mecánico para capturar la energía cinética de los vehículos en movimiento.

Calculo del Angulo de la Rampla.

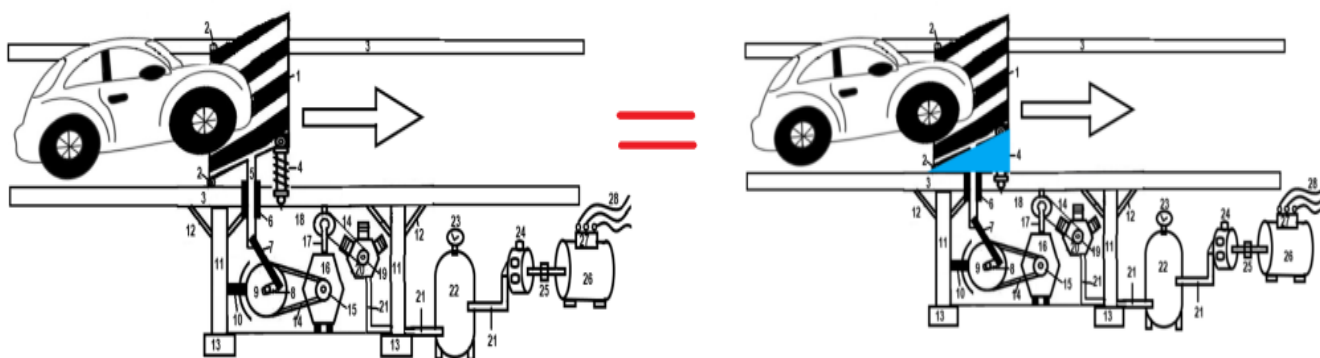


Figura 1. Ilustración que presenta, a la izquierda el diseño en funcionamiento, a la derecha la ubicación donde se debe calcular el ángulo de la rampla.

Fuente: Autor.

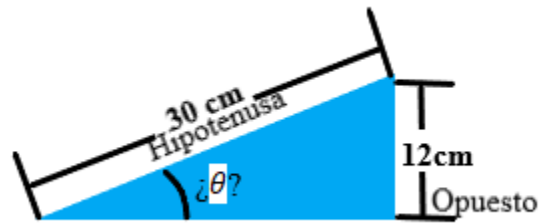


Figura 2. Ilustración que presenta, las medidas con las que se debe hallar el ángulo de la rampla.

Fuente: Autor

Para calcular el ángulo de una rampla con una altura de 12 cm y una hipotenusa de 30 cm, podemos usar la función trigonométrica seno. La fórmula es:

$$\sin(\theta) = \frac{\text{opuesto}}{\text{hipotenusa}}$$

Donde:

El lado opuesto es la altura de la rampla (12 cm).

La hipotenusa es la longitud de la rampla (30 cm).

Entonces:

$$\sin(\theta) = \frac{12}{30} = 0.4$$

Para encontrar el ángulo (θ), usamos la función inversa del seno (arcsin):

$$\theta = \arcsin(0.4) \approx 23.58^\circ$$

Calculo de la Energía Cinética Rotacional que Genera un Vehículo en Movimiento, Simulando que se genera en las llantas de un vehículo que pesa 1000kg desplazándose a y a velocidad de 60km/h, donde la llanta tiene un radio de 0.30m, teniendo en cuenta que el peso de las llantas es el peso del vehículo que son 1000kg.

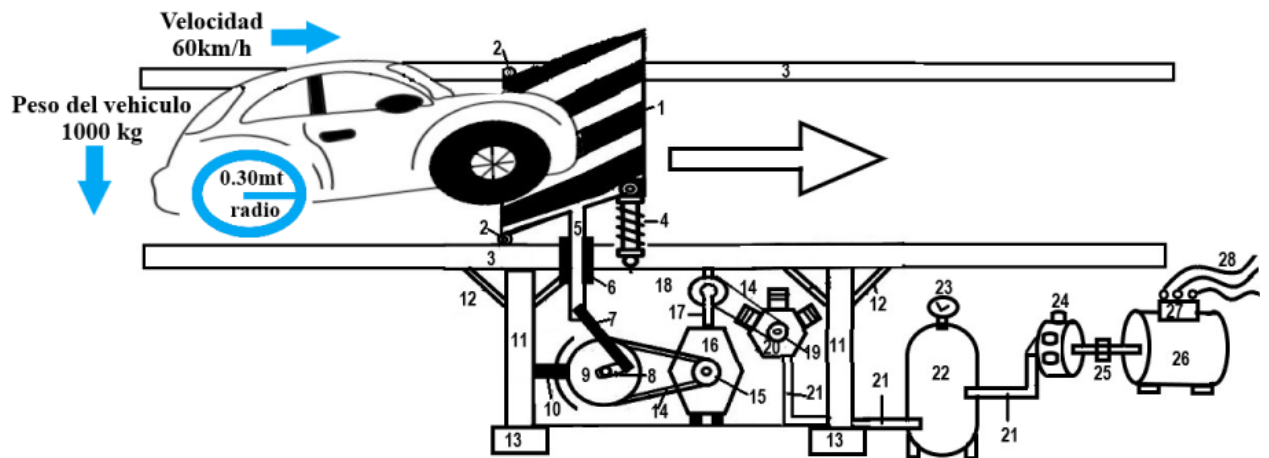


Figura 3. Ilustración que presenta, el peso y la velocidad del vehículo junto con el radio de las llantas.

Fuente: Autor.

Para calcular la energía cinética rotacional de las llantas de un vehículo, necesitamos usar la fórmula de la energía cinética rotacional:

$$K_{\text{rot}} = \frac{1}{2} I \omega^2$$

Primero, calculamos el momento de inercia (I) de una llanta. Para una rueda, el momento de inercia se puede aproximar como el de un cilindro sólido:

$$I = \frac{1}{2} m r^2$$

Dado que el peso total del vehículo es 1000 kg y asumimos que se distribuye uniformemente entre las cuatro llantas, la masa de cada llanta es:

$$m = \frac{1000 \text{ kg}}{4} = 250 \text{ kg}$$

El radio de cada llanta es $(r = 0.30 \text{ m})^2$.

Entonces, el momento de inercia de una llanta es:

$$I = \frac{1}{2} \times 250 \text{ kg} \times (0.30 \text{ m})^2 = 11.25 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Ahora, necesitamos calcular la velocidad angular (ω). La velocidad angular se relaciona con la velocidad lineal (v) por la fórmula:

$$\omega = \frac{v}{r}$$

La velocidad del vehículo es 60 km/h, que convertimos a metros por segundo:

$$v = 60 \text{ km/h} \times \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 16.67 \text{ m/s}$$

Entonces, la velocidad angular es:

$$\omega = \frac{16.67 \text{ m/s}}{0.30 \text{ m}} = 55.57 \text{ rad/s}$$

Finalmente, calculamos la energía cinética rotacional:

$$K_{\text{rot}} = \frac{1}{2} \times 11.25 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \times (55.57 \text{ rad/s})^2 = 17,378.5 \text{ J}$$

Dado que son dos llantas por accionamiento del sistema al pasar la parte delantera del vehículo, y luego las dos llantas traseras. la energía cinética rotacional total por accionamiento es:

$$K_{\text{rot total por accionamiento}} = 2 \times 17,378.5 \text{ J} = 34757 \text{ J}$$

calculo de la fuerza que acciona el sistema de la fuerza que recibe la rampla móvil por el impacto de las llantas del vehículo. Para calcular la fuerza que recibe la rampa, necesitamos considerar varios factores, incluyendo la energía cinética de las llantas y la geometría de la

rampa.

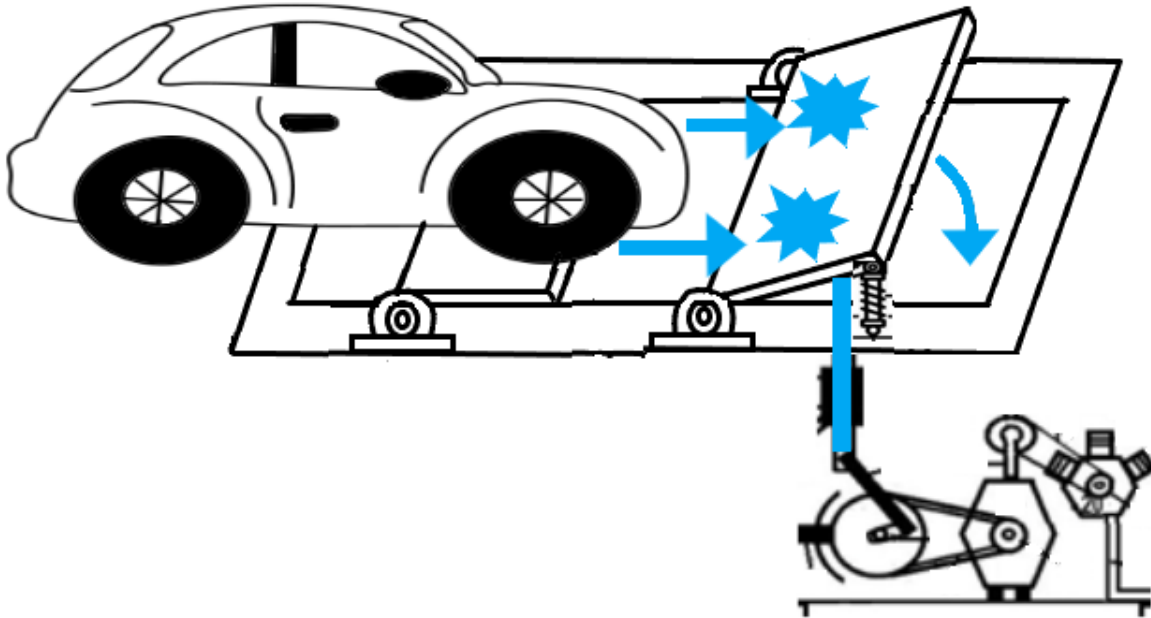


Figura 4. Ilustración que presenta, el impacto y accionamiento del sistema a través de las llantas.

Fuente: Autor.

Primero, calculemos la pendiente de la rampa usando el ángulo dado:

$$\sin(\theta) = \frac{\text{altura}}{\text{hipotenusa}} = \frac{12 \text{ cm}}{30 \text{ cm}} = 0.4$$

El ángulo de inclinación es aproximadamente 23.58 grados, lo cual coincide con el valor dado.

La energía cinética (K_{rot}) de las llantas es 34757 J. Cuando las llantas impactan la rampa, parte de esta energía se convierte en trabajo contra la fuerza de fricción y la fuerza normal de la rampa.

Para simplificar, se asume que toda la energía cinética se convierte en trabajo para subir la rampa. La fuerza necesaria para subir la rampa se puede calcular usando la fórmula del trabajo:

$$W = F \cdot d \cdot \cos(\theta)$$

Donde:

$$F = \frac{W}{d \cdot \cos(\theta)}$$

Sustituyendo los valores:

$$F = \frac{34757 \text{ J}}{0.3 \text{ m} \cdot \cos(23.58^\circ)}$$

Calculando:

$$F \approx \frac{34757}{0.3 \cdot 0.917} \approx 126,500 \text{ N}$$

Por lo tanto, la fuerza que recibe la rampa es aproximadamente 126,500 N.

calculo de la fuerza de salida de un sistema biela-manivela. Podemos usar la fórmula de la relación de transmisión de fuerzas en este tipo de mecanismos. La fórmula general es:

$$F_{\text{salida}} = F_{\text{entrada}} \times \left(\frac{L_{\text{biela}}}{L_{\text{manivela}}} \right) \times \cos(\theta)$$

- F_{entrada} es la fuerza aplicada (126,500 N)
- L_{biela} es la longitud de la biela (30 cm = 0,3 m).
- L_{manivela} es la longitud de la manivela (12 cm = 0,12 m).
- θ es el ángulo (10 grados).

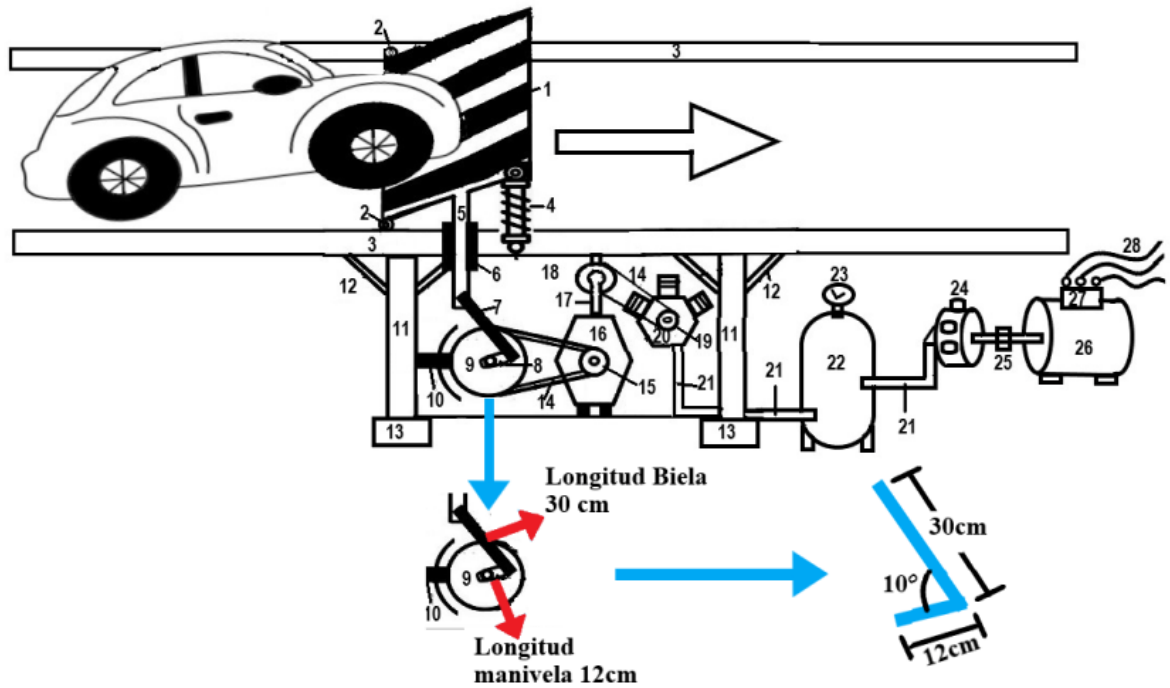


Figura 5. Ilustración que presenta, la geometría del sistema mecánico para calcular la fuerza.

Fuente: Autor.

Primero, convertimos el ángulo a radianes:

$$\theta = 10^\circ \times \left(\frac{\pi}{180}\right) \approx 0.1745$$

Ahora, aplicamos la fórmula:

$$F_{\text{salida}} = 126,500 \text{ N} \times \left(\frac{0.3 \text{ m}}{0.12 \text{ m}}\right) \times \cos(0.1745)$$

Calculamos cada parte:

- Relación de longitudes:

$$\frac{0.3}{0.12} = 2.5$$

- Coseno del ángulo:

$$\cos(0.1745) \approx 0.9999$$

Finalmente, multiplicamos todo:

$$F_{\text{salida}} = 126,500 \times 2.5 \times 0.9999 \approx 316,218 \text{ N}$$

Por lo tanto, la fuerza de salida del sistema de biela-manivela sería aproximadamente 316,218 N

- **Sistema multiplicador**

Sistema multiplicador rotacional, es importante entender que el multiplicador afecta la velocidad de rotación, pero no necesariamente la fuerza directamente, pero si asumimos que el multiplicador mantiene la potencia constante, podemos usar la relación entre torque, velocidad angular y potencia.

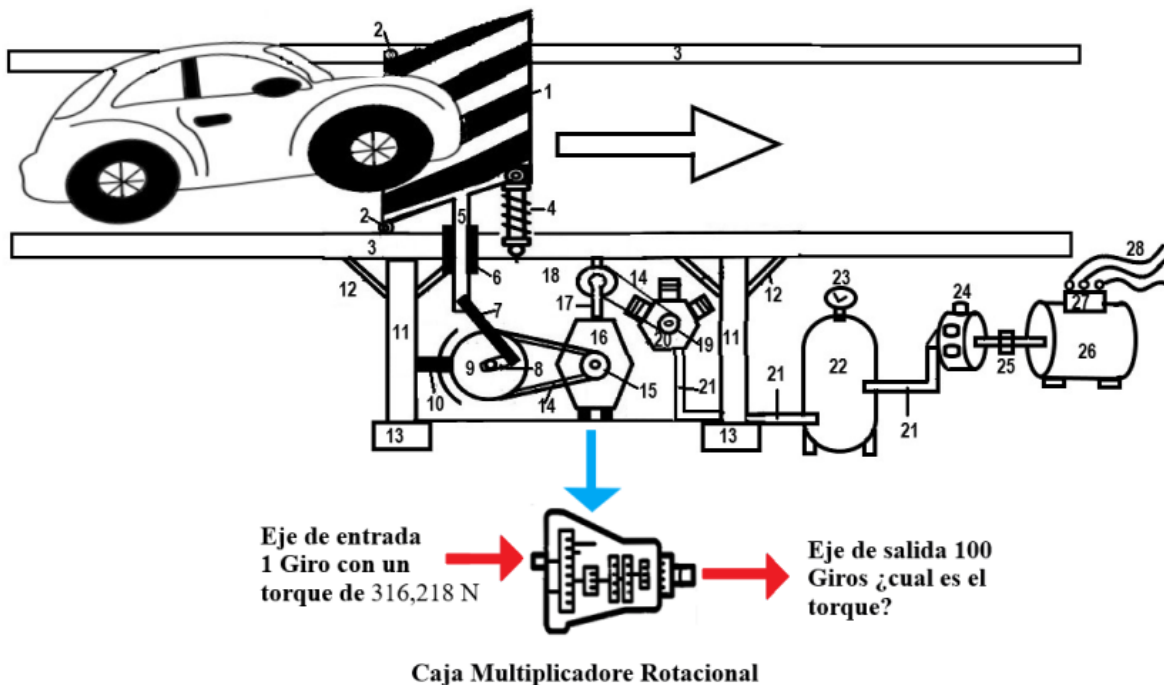


Figura 6. Ilustración que presenta, la caja multiplicadora rotacional.

Fuente. Autor.

La potencia (P) se puede expresar como:

$$P = \tau \cdot \omega$$

Si el multiplicador aumenta la velocidad angular (ω) por un factor de 100, y la potencia

(P) se mantiene constante, el torque (τ) se reducirá por el mismo factor.

Dado que la fuerza inicial es 316,218 N, y suponiendo que esta fuerza se aplica en un radio (r) constante, el torque inicial (τ_1) es:

$$\tau_1 = 316,218 \text{ N} \cdot r$$

Después de aplicar el multiplicador de 100, el nuevo torque (τ_2) será:

$$\tau_2 = \frac{\tau_1}{100} = \frac{316,218 \text{ N} \cdot r}{100} = 3,162.18 \text{ N} \cdot r$$

Por lo tanto, la fuerza efectiva después de aplicar el multiplicador será 3,162.18 N, asumiendo que el radio (r) no cambia.

6.1.1. Metodología para investigar y seleccionar los materiales y componentes necesarios para la construcción del sistema mecánico.

Para el desarrollo del proyecto, se ha optado por la búsqueda de materiales reciclados provenientes de chatarrerías, como ángulos metálicos y tuberías, así como maderas reutilizables. Estos materiales serán aprovechados para la construcción de la estructura que simulará las vías del sistema.



Figura 7. Ilustración que presenta, Recuperación de chatarra para reutilizarla en el proyecto.

Fuente: <https://www.elchattarero.com/espana-lider-en-reciclaje/>

Además, se ha recuperado una máquina de coser de pedal antigua, a la cual se le ha invertido su sistema mecánico para adaptarla como rampa y simulador de captación de energía cinética de los vehículos, este mecanismo transformará la fuerza generada por el desplazamiento de los vehículos en energía mecánica lineal a través del aplastamiento, la cual mediante un sistema biela-manivela se convertirá en energía mecánica rotacional.



Figura 8. Ilustración que presenta, máquina de coser de pedal modificada.

Fuente. Autor

Una vez obtenida la energía mecánica rotacional, se utilizará para accionar un compresor de aire recuperado y reconstruido, con el objetivo de transformar y almacenar dicha energía en un tanque neumático también recuperado, que originalmente iba a ser desechado en un taller.



Figura 9. Ilustración que presenta, compresor recuperado de pistones y tanque de almacenamiento.

Fuente. Autor

Asimismo, se ha incorporado un motor neumático recuperado de un monta-llantas, el

cual se ha adaptado a una extensión de mandril de taladro para conectarlo a un generador dinamo, este generador se le instalan cables para conducir la energía generada, lo que permitirá alimentar varias bombillas pequeñas de 12 voltios, mostrando así la energía generada en el sistema.

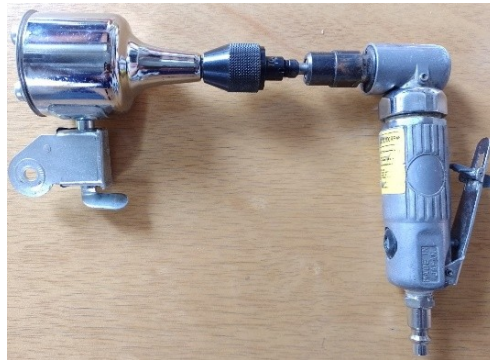


Figura 10. Ilustración que presenta, motor neumático, generador dinamo y extensor de taladro.

Fuente. Autor

6.1.2. Metodología para analizar la viabilidad económica del proyecto, considerando costos de producción, mantenimiento y posibles beneficios económicos a largo plazo.

La viabilidad económica del prototipo ha demostrado ser favorable, dado que fue construido íntegramente con materiales reciclados, lo cual permitió mantener los costos bajos al tratarse de un modelo demostrativo.

Para evaluar la producción de energía a mayor escala, se realizó una investigación exhaustiva sobre posibles proveedores de componentes fundamentales para la construcción de esta invención, en este proceso se identificaron diversas empresas que proporcionaron información detallada sobre precios, capacidades y requisitos de mantenimiento de cada componente, de acuerdo con las horas de operación. Con esta

información, se desarrolló un análisis que permitió estimar la inversión inicial y proyectar el retorno de inversión en un contexto específico como el de Colombia.

- Tenemos el motor neumático GLOBE RM510 motor macho placa de entrada O/PUT BSP, con una vida útil de más de 10 años realizando los mantenimientos preventivos adecuados, y con una garantía de 12 meses.



Figura 11. Ilustración que presenta, motor neumático GLOBE RM510.

Fuente. Imagen de catálogo GLOBE Airmotors.

- La empresa proveedora de compresores de aire tipo tornillo es OPPAIR Machinery Manufacturing Co. Ltd., ofrece una garantía por 2 años cada compresor donde se necesitarían 3 unidades para el desarrollo de este proyecto, estos tienen una vida útil de 10 años manteniendo sus tornillos bien lubricados y haciéndole el mantenimiento correcto a tiempo.



Figura 12. Ilustración que presenta, compresor neumático tipo tornillo.

Fuente. Imagen de catálogo OPPAIR Machinery Manufacturing.

La empresa proveedora de los generadores eléctricos de imán permanentes llamada Green energy. De acuerdo a los requisitos pedidos, presenta un generador con capacidad de 27KW de acuerdo a la potencia que subministra el motor neumático, este generador tiene una vida útil de más de 25 años.



Figura 13. Ilustración que presenta, Generador eléctrico AC.

Fuente. Imagen de catálogo de Green energy.

Para el almacenamiento de energía neumática se requieren 3 tanque de 110 galones, los cuales tienen una vida útil de más de 40 años si se tiene un buen cuidado.



Figura 14. Ilustración que presenta, Tanque de almacenamiento neumático.

Fuente. Imagen de catálogo de Fabriles.

Los otros elementos requeridos son materiales como rieles, ángulos, tubos, rodamientos y soldadura.



Figura 15. Ilustración que presenta, Material metálico para la estructura.

Fuente. Imagen de https://compraco.com.br/es/blogs/industria/teste-de-composicao-metalica-8-metodos-comprovados#google_vignette

Tabla 1.

Recursos de los materiales y elementos para la ejecución a gran escala.

Número	Nombre de elemento	Precio estimado \$
lista de		
figura		
<i>Figura 11</i>	Motor neumático GLOBE RM510	\$ 33.359.200
<i>Figura 12</i>	Compresor neumático tipo tornillo	\$620.268
<i>Figura 12</i>	Compresor neumático tipo tornillo	\$620.268
<i>Figura 12</i>	Compresor neumático tipo tornillo	\$620.268
<i>Figura 13</i>	Generador eléctrico AC 27KW	\$10.500.000
<i>Figura 14</i>	Tanque de almacenamiento neumático	\$7.800.000
<i>Figura 15</i>	Material metálico	\$4.000.000
	TOTAL	\$57'520.004

Fuente: Autor

Nota: los valores están en pesos colombianos (COP)

El valor promedio de la construcción de un proyecto a mayor escala para una capacidad de 27KW se necesitaría una suma aproximada de \$57'520.004 de pesos colombianos.

7. Resultados

Como resultado se obtuvo un cálculo matemático para la construcción un prototipo de acción manual, donde se aplica una fuerza de un humano de una altura promedio de 1.80 y 90 Kg de peso, el cual puede tener una fuerza máximo con ambas manos (como empujar o levantar un peso) alrededor de 300 a 400 Newton en condiciones de esfuerzo moderado,

para este cálculo se aplica una fuerza de 350 N como fuerza promedio aplicada manualmente.

- **Cálculo de la Fuerza que Acciona la Rampa**

Dado que esta fuerza se aplica directamente sobre la rampa, se calcula su efecto al considerar la distancia de la hipotenusa de la rampa y el ángulo de inclinación (23.58°).



Figura 16. Ilustración que presenta, el ángulo de la rampla de prototipo manual.
Fuente. Autor

- **Trabajo (W):** El trabajo realizado al desplazar un objeto en un ángulo se puede calcular con:

$$W = F * d * \text{Cos}(\theta)$$

Donde:

- $F = 350 \text{ N}$ (fuerza manual promedio)
- $d = 0.25 \text{ m}$ (hipotenusa de la rampa)
- $\theta = 23.58^\circ$

Sustituyendo los valores:

$$W = 350 * 0.25 * \text{Cos}(23.58)$$

$$W = 350 * 0.25 * 0.917 = 80.9 J$$

- **Cálculo de la Fuerza de Salida en el Sistema Biela-Manivela**

Para el sistema biela-manivela, usaremos los mismos valores de las dimensiones de la biela y manivela y el ángulo de operación.



Figura 17. Ilustración que presenta, sistema biela-manivela.
Fuente. Autor

Fuerza de Salida (F_{salida}):

$$F_{\text{salida}} = F_{\text{entrada}} \times \left(\frac{L_{\text{biela}}}{L_{\text{manivela}}} \right) \times \cos(\theta)$$

Donde:

- $F_{\text{entrada}} = 350N$
- $L_{\text{biela}} = 0.3m$
- $L_{\text{manivela}} = 0.12m$
- $\theta = 10^\circ$

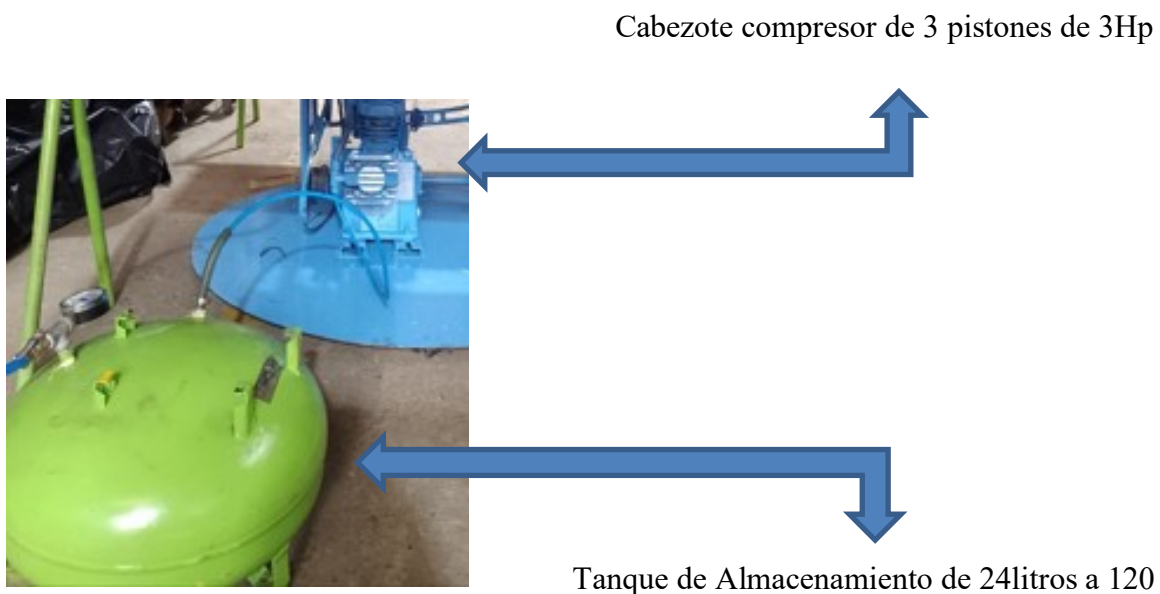
Calculando:

$$F_{\text{salida}} = 350 \times \left(\frac{0.3}{0.12}\right) \times \cos(10^\circ)$$

$$F_{\text{salida}} \approx 350 \times 2.5 \times 0.9848 = 861.2N$$

- **Sistema de almacenamiento de la energía cinética.**

Se procede a convertir la energía cinética de salida del sistema biela-manivela, en energía neumática a través de un cabezote compresor de aire a presión de pistones de 3 Hp, es de esta manera que se logra almacenar la energía captada del humano que acciono el sistema con sus manos y se almacena en un tanque de 24 litros con capacidad de presión de 120Psi.



Psi

Figura 18. Ilustración que presenta, elementos utilizados para el almacenamiento de energía. Fuente. Autor.

- **Generación de energía eléctrica.**

Se trasfiere la energía neumática almacenada a través de un conductor neumático a un motor-tul neumático de 20.000RPM, 90Psi y una potencia de 0.2Hp, para transformar la energía neumática a energía eléctrica, conectado a un generador dinamo de 12Voltios y

6Watts, a través de una extensión de mandril de taladro los cuales alimentan 4 luminarias recuperadas de bicicletas antiguas todas de 12 Voltios para verificar la generación eléctrica.

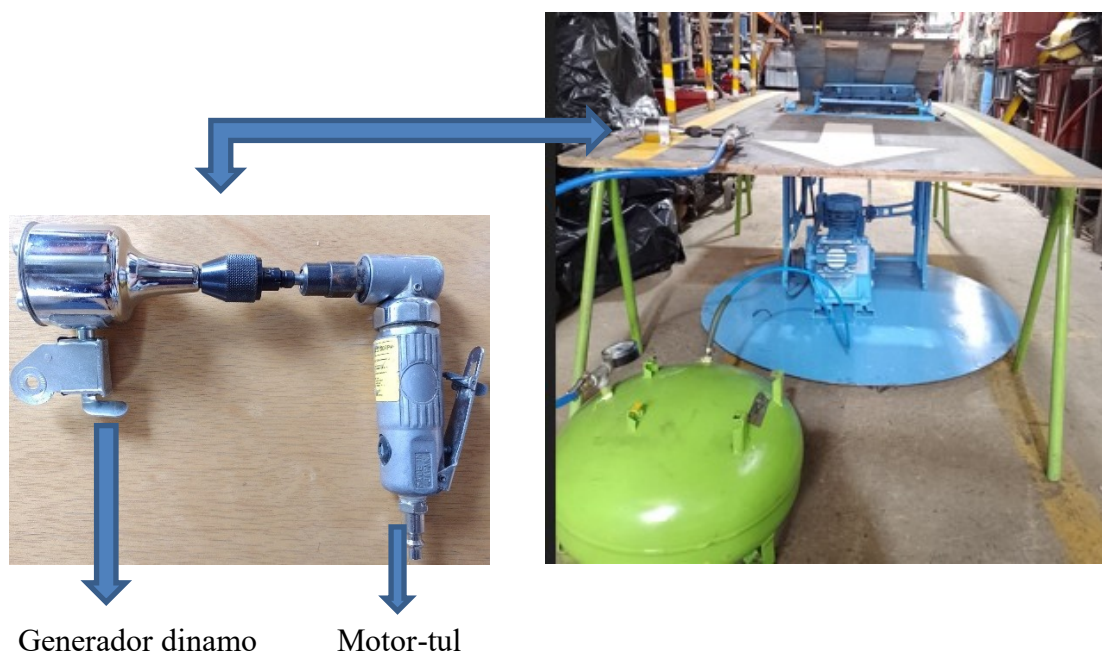


Figura 19. Ilustración que presenta, elementos para la generación de energía eléctrica.
Fuente. Autor.

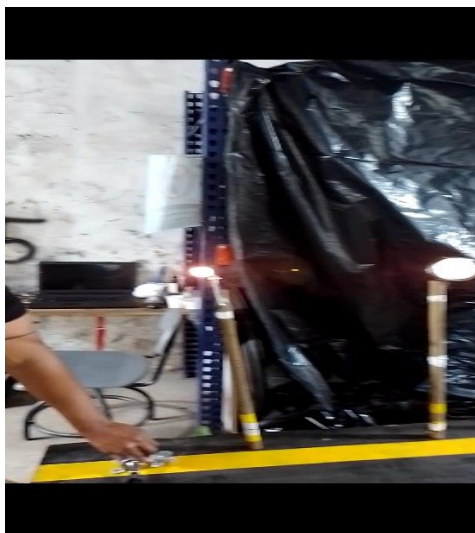


Figura 20. Ilustración que presenta, evidencia de la energía generada a través de luminarias.
Fuente. Autor.

8. Análisis de resultado

- **Energía cinética rotacional del vehículo:**

La energía cinética rotacional total generada por las llantas del vehículo es **34.757 J** considerando dos llantas delanteras y dos traseras, este cálculo es coherente con la física básica y demuestra que hay una cantidad considerable de energía disponible.

- **Limitaciones practicas:**

No toda esta energía puede ser capturada debido a pérdidas por fricción, disipación térmica y la eficiencia del sistema mecánico, Además se supone que toda la energía cinética contribuye al sistema, lo cual no es realista en la práctica.

- **Fuerza que acciona la rampa teóricamente y manualmente:**

En el cálculo teórico la fuerza que impacta la rampa es de **126.500 N**, basada en la energía cinética del vehículo y la geometría de la rampa, este valor parece elevado, pero refleja la fuerza combinada de ambas llantas delanteras en un impacto distribuido sobre la rampa. En el sistema manual la fuerza

promedio aplicado es de **350 N**, que es significativamente menor a la teórica aplicando la energía cinética de un vehículo, Esto implica que el diseño del prototipo debe ser altamente eficiente para aprovechar esta energía limitada.

- **Sistema de almacenamiento y generación eléctrica:**

En el experimento manual la energía capturada se convierte en energía neumática utilizando un cabezote compresor con un tanque de 24 litros y una capacidad de 120 PSI, este diseño es funcional, aunque la capacidad del tanque es limitada y podría agotarse rápidamente en aplicaciones continuas.

En la generación eléctrica se utiliza un motor-tul neumático para generar energía eléctrica con un generador dinamo de **12 V y 6 W**, suficiente para alimentar luminarias pequeñas, este enfoque es adecuado para aplicaciones didácticas, pero no es suficiente para alimentar dispositivos eléctricos de mayor potencia.

8.1 Análisis del tiempo de retorno en una inversión a mayor escala según lo cotizado.

Se calcula el retorno de inversión considerando una potencia de 27 kW, 12 horas diarias de operación, una inversión de \$57.520.004 colombianos, y un precio de generación de \$298,74 por kWh.

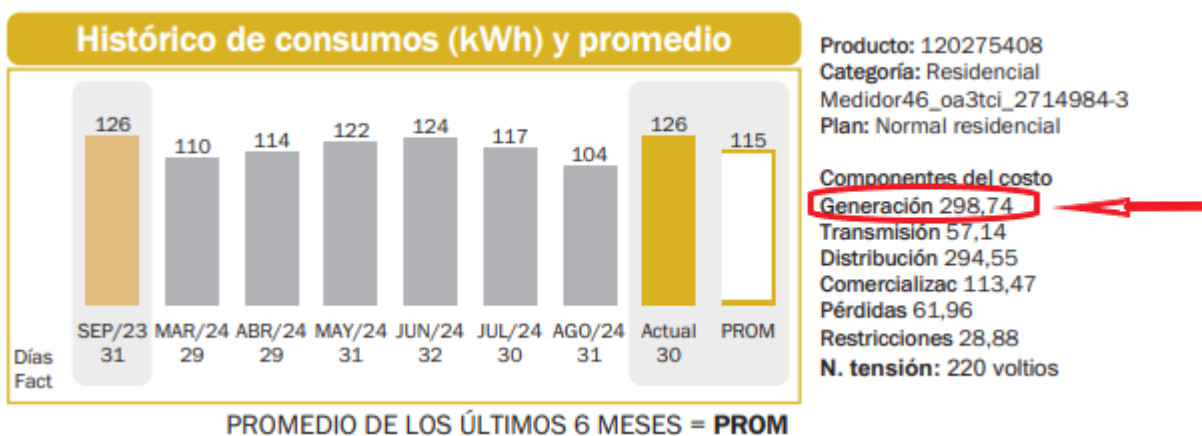


Figura 21. Ilustración que presenta, valor generación KWh en por parte de EPM.

Fuente. Imagen de catálogo factura de servicio de energía EPM.

Datos iniciales:

- Potencia del sistema: 27 kW.
- Horas diarias de operación: 12 horas.
- Precio de generación: \$298,74 COP/kWh.
- Inversión inicial: \$57.520.004 COP.

Cálculos:

Producción diaria de energía:

$$\text{Producción diaria} = \text{Potencia} * \text{horas de operación}$$

$$\text{Producción diaria} = 27\text{KW} * 12\text{horas} = 324\text{KWh}$$

Ingresos diarios:

$$\text{Ingresos diarios} = \text{Producción diaria} * \text{Precio por KWh}$$

$$\text{Ingresos diarios} = 324\text{KWh} * \$ 298.74 \text{ KWh} = \$96,417.36$$

Ingresos anuales:

$$\text{Ingresos anuales} = \text{Ingresos diarios} * 365$$

$$\text{Ingresos anuales} = \$96,417.36 * 365 \approx \$ 35,188,336.40$$

Retorno de inversión (ROI):

$$ROI = \frac{\text{Inversión inicial}}{\text{Ingresos anuales}}$$

$$ROI = \frac{\$57,520,004}{\$ 35,188,336.40} \approx 1.63 \text{ años}$$

Resultado final:

El sistema tendría un retorno de inversión (ROI) en aproximadamente 1,63 años (19,6 meses)

9. Conclusiones

- **Viabilidad técnica y económica:**

El proyecto demuestra que es posible capturar y transformar la energía cinética generada por vehículos en movimiento en energía eléctrica mediante un sistema mecánico sencillo y funcional, además el análisis económico indica que el tiempo de retorno de la inversión es favorable, lo que posiciona esta tecnología como una opción viable para aplicaciones prácticas.

- **Impacto ambiental positivo:**

Al utilizar materiales reciclados y proponer una fuente de energía limpia, el proyecto contribuye significativamente a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, alineándose con los objetivos globales de sostenibilidad.

- **Aportaciones al desarrollo tecnológico:**

El prototipo desarrollado no solo sirve como una prueba de concepto, sino que también abre nuevas oportunidades para investigaciones futuras, el enfoque en la energía cinética como recurso subutilizado representa un avance innovador en el campo de las energías renovables.

- **Limitaciones identificadas:**

Si bien el prototipo es funcional, enfrenta desafíos como la eficiencia limitada en la captación de energía y la necesidad de mayor robustez en sus componentes, estas limitaciones deben ser abordadas en etapas futuras para garantizar su éxito en aplicaciones a gran escala.

- **Potencial de escalamiento:**

Este proyecto tiene el potencial de ser implementado en carreteras y autopistas con alto tráfico vehicular, generando energía de manera sostenible. Sin embargo, su éxito dependerá de inversiones en tecnología, investigación y pruebas a gran escala.

10. Recomendaciones

Mejoras en la eficiencia del sistema:

- Optimizar los mecanismos de captación de energía para reducir las pérdidas energéticas, como la fricción y la disipación térmica. Esto puede lograrse mediante la selección de materiales de menor desgaste y la implementación de lubricantes adecuados.
- Evaluar la viabilidad de incorporar tecnologías avanzadas, como sensores inteligentes, para maximizar el aprovechamiento de la energía cinética capturada.

Escalabilidad del proyecto:

- Realizar estudios piloto en vías reales para probar el sistema a mayor escala y evaluar su impacto en condiciones prácticas, esto incluye analizar la integración con infraestructuras urbanas y rurales.
- Diseñar versiones modulares del sistema que permitan su fácil instalación en diferentes tipos de carreteras y contextos geográficos.

Sostenibilidad y mantenimiento:

- Priorizar el uso de materiales reciclados o de bajo impacto ambiental para mantener la sostenibilidad del proyecto.

- Establecer un plan de mantenimiento periódico que asegure el buen funcionamiento de los componentes críticos, como las rampas y los compresores neumáticos.

Colaboración interdisciplinaria:

- Involucrar a expertos en áreas como la ingeniería eléctrica, mecánica y neumática para abordar los desafíos técnicos y aumentar la eficiencia del sistema.
- Fomentar alianzas con entidades públicas y privadas interesadas en energías renovables para impulsar la investigación y la financiación del proyecto.

Educación y divulgación:

- Utilizar el prototipo desarrollado como herramienta didáctica en instituciones educativas para promover el interés por tecnologías de energías renovables.
- Divulgar los resultados obtenidos en congresos y revistas científicas para generar conocimiento y fomentar la innovación en este campo.

11. Cronograma

Tabla 2.
Cronograma de actividades

	Ago				Sep				Oct				Nov			
Actividades	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Actividad 1	X	X	X	X												
Actividad 2				X	X	X										
Actividad 3							X	X	X	X						
Actividad 4								X	X							

 Actividad 5

X X X X X X

Fuente: Autor.

Nota: S representa semana

Actividad 1: Diseño y construcción del prototipo funcional.

- Desarrollo del diseño mecánico inicial, incluyendo el cálculo de ángulos y fuerzas de impacto.
- Construcción del prototipo con materiales reciclados para simular la captura de energía cinética.

Actividad 2: Investigación y selección de materiales.

- Identificación y adquisición de componentes como rampas, sistemas biela-manivela, generadores y compresores.
- Utilización de materiales reciclados y adaptación de equipos como máquinas de coser y compresores antiguos.

Actividad 3: Pruebas funcionales del prototipo.

- Realización de pruebas para evaluar la eficiencia del sistema mecánico y neumático.
- Optimización del prototipo basado en resultados iniciales, incluyendo ajustes en la conversión de energía mecánica a eléctrica.

Actividad 4: Análisis técnico, económico y ambiental.

- Evaluación de la viabilidad técnica del sistema, analizando pérdidas de energía y eficiencia.
- Desarrollo de un análisis económico detallado para estimar costos, retorno de inversión y beneficios a largo plazo.

Actividad 5: Documentación y generación de resultados.

- Elaboración de informes técnicos y gráficos que evidencian el desempeño del sistema.
- Preparación de conclusiones, recomendaciones y cálculo del impacto potencial en aplicaciones a gran escala.

12. Presupuesto prototipo experimentado

Tabla 3.

Presupuesto prototipo experimentado

Marca en número según la figura	Nombre de elemento	Precio estimado \$
1	Rampla captadora de energía cinética	\$10.000
2	Cojinetes	\$40.000
3	Base horizontal	\$10.000
4	Amortiguador	\$10.000
5	Pie de biela	\$10.000
6	Guía	\$10.000
7	Biela	\$10.000
8	Manivela	\$20.000
9	Volante de inercia tipo polea	\$60.000
10	Soporte volante	\$10.000
11	Base vertical metálica	\$10.000
12	Base diagonal	\$10.000
13	Cimiento estructura	\$30.000
14	Bandas	\$60.000
15	Polea multiplicador	\$50.000
16	Caja multiplicadora de revolución	\$100.000
17	Eje de transmisión	\$10.000
18	Polea eje	\$50.000
19	Polea compresora	\$50.000
20	Cabezote compresor de aire	\$650.000
21	Conductos neumáticos	\$30.000
22	Tanque de almacenamiento neumático	\$60.000
23	Manómetro	\$20.000
24	Motor neumático	\$60.000
25	Acople motor	\$10.000
26	Generador eléctrico de imán permanente	\$60.000
27	Bornera de salida	\$0
28	Conductor eléctrico	\$10.000
	TOTAL	\$1.460.000

Fuente: Autor

Nota: los valores están en pesos colombianos (COP)

13. Referencias bibliográficas

- J. Doe y R. Smith, Mecanismos de Biela-Manivela, 2ª en., Medellín, Colombia: Editorial Técnica, 2023, pp. 45-47.
- J. Smith, *Mecánica de Máquinas*, 3rd ed. Madrid, España: Editorial Técnica, 2020.
- R. Johnson, *Fundamentos de Ingeniería Mecánica*, 2nd ed. México: McGraw-Hill, 2018.
- A. Pérez, *Dinámica de Sistemas de Máquinas*, 1st ed. Buenos Aires, Argentina: Ediciones de Ingeniería, 2019.
- Fundación Endesa. (s.f.). Materia y carga eléctrica. Recursos educativos. Endesa Educa. <https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/materia-carga-electrica#:~:text=Para%20que%20el%20movimiento%20de,positivo%20hasta%20su%20polo%20negativo>
- Boyle, R. (1985). Física, química y filosofía mecánica Robert *file:///C:/Users/b-boy/Downloads/RobertBoyleFsicaquimicayfilosofamecnica.pdf*
- Wikipedia. (s. f.). Ley de Boyle-Mariotte. En Wikipedia. https://es.wikipedia.org/wiki/Ley_de_Boyle-Mariotte
- Moreno, F. (18 febrero 2016). Energía, trabajo y potencia. Escritos científicos. <https://www.uv.es/jmarques/documentos/Energ%C3%ADa,%20trabajo%20y%20potencia.pdf>
- Sytecsa. (s.f.). Carreteras que producen energía: el futuro cercano. Sytecsa. <https://www.sytecsa.com/carreteras-que-producen-energia-el-futuro-cercano/>
- Kymissis, I. et al. (2008). "Power generation from pedestrian and vehicular traffic".
- On The Road Trends. (s.f.). Carreteras generadoras de energía limpia. On The Road Trends. Recuperado de ontheroadtrends.com/carreteras-generadoras-energia-limpia/
- Moreno Romero, F. (2016, febrero 18). *Energía, trabajo y potencia*. Recuperado de <http://www.escriitoscientificos.es>.

- Wikipedia. (2024, junio 7). *Ley de Boyle-Mariotte*. Recuperado de https://es.wikipedia.org/wiki/Ley_de_Boyle-Mariotte.
- Fundación Endesa. (2024, junio 7). *Recurso educativo sobre carga eléctrica*. Recuperado de <https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educacion/recursos/materia-carga-electrica>.