

**Licenciatura:** Ingeniería Mecánica.

**Nombre del Proyecto de Integración (PI).** Modelado y simulación de la dinámica de un sistema de aceleración regenerativa.

**Modalidad:** Proyecto de Investigación

**Versión:** Primera

**Trimestre Lectivo:** 24I

**Datos de los alumnos:**

**Nombre.** Sebastián Guzmán Pérez - 2193000978

**Correo electrónico.** al2193000978@azc.uam.mx

**Firma.** \_\_\_\_\_



**Nombre.** Santiago Dávila Pons - 2183080820

**Correo electrónico.** al2183080820@azc.uam.mx

**Firma.** \_\_\_\_\_



**Datos del asesor y del co-asesor:**

**Nombre.** Dr. Francisco Beltrán Carbajal

**Categoría.** Titular

**Departamento de adscripción.** Energía

**Teléfono.** (55) 5318-9000

**Correo electrónico.** fbeltran@azc.uam.mx

**Firma.** \_\_\_\_\_

**Nombre.** M en C. Joel Méndez Ubaldo

**Categoría.** Ayudante

**Teléfono.** (55) 3969 1330

**Correo electrónico.** jmu@azc.uam.mx

**Firma.** \_\_\_\_\_

Fecha: 26/04/2024

En caso de que el Comité de Estudios de la Licenciatura en Ingeniería Mecánica apruebe la realización de la presente propuesta, otorgamos nuestra autorización para su publicación en la página de la División de Ciencias Básicas e Ingeniería.

X

---

Sebastián Guzmán Pérez

X

---

Santiago Dávila Pons

X

---

Dr. Francisco Beltrán Carbajal

X

---

M en C. Joel Méndez Ubaldo

## 1. Introducción.

En el contexto actual, caracterizado por los desafíos ambientales y energéticos, la industria automotriz al igual que muchas otras, se enfrenta a la necesidad de desarrollar tecnologías innovadoras que ayuden a mejorar la eficiencia energética [1].

Por eso, a medida que avanza este desarrollo tecnológico, la industria automotriz se centra más en vehículos híbridos y eléctricos, para disminuir la huella ambiental y el uso de combustible.

Una tecnología que presenta un gran territorio por explorar es el sistema de aceleración regenerativa. Este sistema pretende convertir la energía cinética que genera un vehículo durante la marcha y el movimiento rotacional en energía eléctrica aprovechable mediante un generador. La energía mecánica aprovechada para esta conversión se obtiene directamente del engranaje dentro del diferencial, cuyo movimiento rotacional está relacionado con la velocidad y aceleración del vehículo. Para implementar el Sistema de Aceleración Regenerativa (SAR), se requiere realizar modificaciones al diferencial para integrar el generador y el alternador.

Se sugiere aprovechar el movimiento rotacional de la corona del diferencial de vehículos como una como parte del sistema que ayudará a convertir la energía cinética en energía eléctrica mediante un generador. La Figura 01 ilustra con claridad algunas de las piezas del diferencial, incluyendo la corona, que es la que proporciona el movimiento rotacional necesario para este proceso.

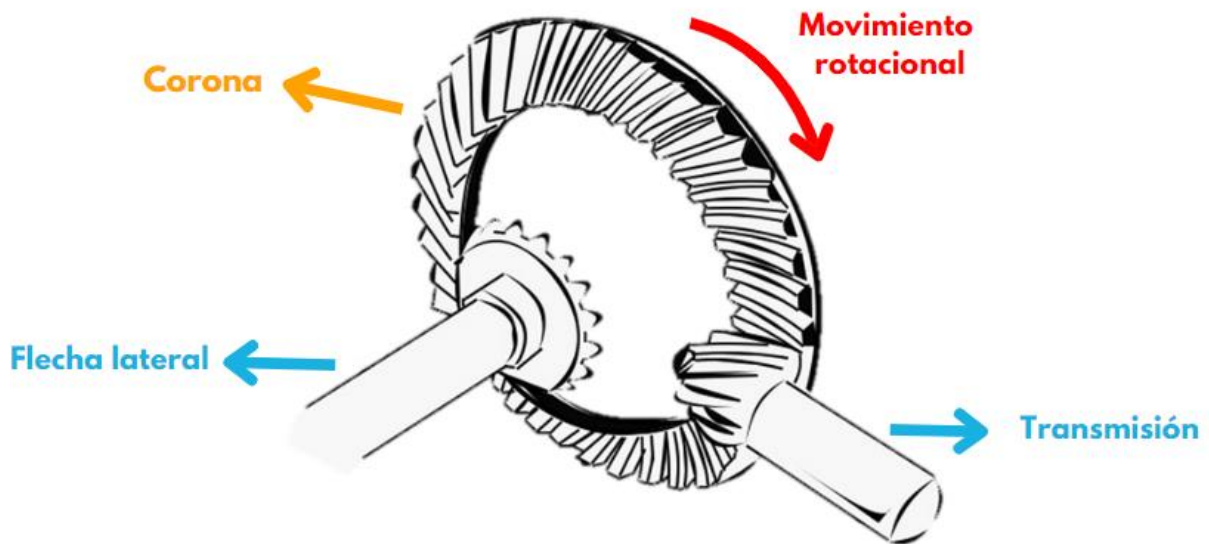


Figura 1. Partes de un diferencial [2]

## 2. Antecedentes.

Cuando un vehículo incrementa su velocidad se produce energía cinética que generalmente se disipa y no se aprovecha posteriormente [3]. Por ello es factible considerar un sistema que capture esta energía durante la aceleración evitando la pérdida de energía.

Existen sistemas de recuperación de energía que utilizan un principio similar, los sistemas de frenos regenerativos o KERS (Kinetic Energy Recovery System) son sistemas que recuperan la energía cinética que se pierde durante la desaceleración o el frenado de un vehículo y que a su vez es redirigida para proporcionar un impulso adicional al vehículo en momentos de aceleración o para almacenarla para su uso posterior [4].

En los vehículos de combustión interna, también encontramos un sistema similar en el que un alternador se encarga de producir electricidad para cargar la batería y alimentar los sistemas eléctricos mientras el motor está en funcionamiento. Este alternador, movido por el motor de combustión, genera corriente alterna a través de un mecanismo de arrastre, generalmente conectado mediante una correa al giro del motor [5]. Por lo que este sistema se puede llegar a tomar como referencia para el desarrollo de un sistema que genere energía a partir de un movimiento mecánico.

La recolección del sistema se dará gracias a un movimiento rotacional que será proporcionado por un diferencial, el cual es un componente mecánico en el eje motriz de los vehículos que permite que las ruedas giren a diferentes velocidades mientras se transmite la potencia del motor [6]. Es posible plantear el sistema aquí debido a su funcionamiento mediante un conjunto de engranajes que distribuyen la potencia de manera variable a cada rueda, permitiendo giros diferenciales para adaptarse a las condiciones de manejo.

Tras la recolección en baterías de litio, se almacena esa energía, ya que las baterías de litio son conocidas por su alta densidad de energía, larga vida útil y baja tasa de autodescarga, lo que las convierte en una opción popular para varias aplicaciones, desde dispositivos electrónicos portátiles hasta vehículos eléctricos. La carga y descarga de las baterías de litio implican procesos químicos que almacenan y liberan energía a través de un electrodo positivo (llamado cátodo de litio) y un electrodo negativo (compuesto por un ánodo de carbono). Durante la descarga, los iones de litio se mueven del ánodo al cátodo, generando una corriente eléctrica que puede alimentar dispositivos eléctricos. Este proceso se repite en ciclos de carga y descarga, lo que permite que la batería de litio se recargue y se utilice repetidamente. [7].

Los avances en electrónica de potencia y control de motores han permitido el desarrollo de sistemas más eficientes y precisos para la implementación de la aceleración regenerativa. La capacidad de gestionar de manera eficaz la conversión y el almacenamiento de energía eléctrica es fundamental para el éxito de esta tecnología. Anteriormente se realizó un proyecto acerca de un esquema de control de un sistema de frenado regenerativo perteneciente a vehículos híbridos, sistema que tiene como objetivo a su vez la recolección de energía, por lo que el análisis realizado y las ecuaciones del comportamiento dinámico del vehículo pueden ser de ayuda y tomadas como referencia para realizar las propias del nuevo sistema y para la regulación de este [8].

### **3. Justificación.**

Actualmente, aunque existen sistemas que aprovechan el principio de recuperación de energía, como los alternadores en vehículos, aún no se aplica algo similar en vehículos que no usen solo combustión interna. Por lo tanto, se propone un sistema que recupere la energía cinética del vehículo durante su aceleración y marcha, en lugar de depender únicamente del frenado como el sistema KERS.

### **4. Objetivos.**

#### **Objetivo general.**

Modelar y simular un sistema para la recolección de la energía cinética generada por el proceso de aceleración de un vehículo híbrido o eléctrico.

#### **Objetivos particulares.**

Obtener el modelo matemático que describa el comportamiento dinámico del sistema.

Modelar el sistema 3D en base al modelo matemático previamente obtenido.

Simular el comportamiento del modelo y evaluar su rendimiento.

Seleccionar un sistema de control de acuerdo con las necesidades de regulación del sistema según el modelo matemático.

### **5. Metodología.**

#### ***Fase I: Descripción del sistema***

Se llevará a cabo una revisión de la literatura existente relacionada con la recuperación y conversión de energía cinética, sistemas de aceleración regenerativa y temas afines con la finalidad de identificar vacíos en el conocimiento y establecer una sólida base para la investigación conociendo más a fondo los sistemas ya existentes, su comportamiento, rendimiento y funcionalidad.

#### ***Fase II: Obtención del modelo dinámico y simulación del comportamiento***

##### ***Obtención del modelo matemático***

Se desarrollarán las ecuaciones necesarias para describir el fenómeno dinámico y cinético del movimiento mecánico, así como la conversión de energía.

##### ***Modelo del sistema en 3D***

Con un software de diseño asistido por computadora (CAD) y con ayuda de las ecuaciones obtenidas en el modelo matemático se modelarán las piezas del sistema.

##### ***Desarrollo de programas de simulación***

Se simulará el comportamiento dinámico del modelo y de sus componentes mecánicos del sistema de aceleración regenerativa.

### ***Selección e implementación de técnicas de regulación del sistema***

Seleccionar el sistema de control que más aplique en este sistema considerando su comportamiento dinámico.

### ***Fase III: Interpretación y discusión de resultados***

Se interpretarán los resultados en el contexto de la literatura existente y se discutirán sus implicaciones para la integración y rendimiento del sistema de aceleración regenerativa en vehículos.

### ***Fase IV: Elaboración de informe***

Se elaborará un informe estructurado que documente los hallazgos, resultados, conclusiones y recomendaciones del estudio identificando las limitaciones de este. El informe se redactará de manera clara, concisa y siguiendo un formato adecuado para la presentación de resultados.

## **6. Normatividad.**

**IEC 62133 y IEC 60086-4.** Esta norma establece los requisitos de seguridad con los que se debe contar en cuanto a las baterías de litio usadas en dispositivos electrónicos, incluidos los vehículos eléctricos [9].

**IEC 6100-4.** Esta norma abarca los parámetros para la evaluación de calidad del suministro eléctrico de manera fiable y comparable, establece procedimientos de medición que definen la precisión, el ancho de banda y los parámetros mínimos necesarios. Esto elimina la incertidumbre en la selección de instrumentos, garantizando una evaluación precisa de la calidad eléctrica [109].

**NMX-J-678-ANCE-2020.** Se enfoca en asegurar la conexión segura entre el equipo de alimentación del vehículo eléctrico y el vehículo, detallando métodos de prueba para garantizar la seguridad eléctrica, electromagnética y ambiental [11].

## 7. Cronograma de actividades.

UEA para la(s) que se solicita(n) autorización.

- Proyecto de Integración en Ingeniería Mecánica I.

Actividades – Trimestre 24P		Semana											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Obtener las ecuaciones que describan el comportamiento dinámico del sistema de aceleración.	■	■	■	■								
2	Modelar los componentes mecánicos necesarios para implementar el sistema de aceleración en base al modelo matemático.				■	■	■	■					
3	Simular el comportamiento del sistema y su distribución en el vehículo en un software CAD.							■	■	■	■		
4	Seleccionar un sistema de control que ayude a la regulación de acuerdo con las necesidades del modelo que describe el sistema.									■	■		
5	Realizar un análisis comparativo entre los resultados del modelo matemático y el comportamiento mostrado en la simulación.										■	■	
6	Validar los datos obtenidos del análisis comparativo										■	■	
7	Analizar la viabilidad de la implementación del sistema de aceleración.											■	■
8	Redactar y entregar el reporte final.	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

## 8. Entregables.

Modelo matemático de la dinámica del sistema de aceleración.

Reporte Final.

## 9. Referencias bibliográficas.

- [1] Global Energy MX, 2024, "Innovación en la Transición Energética," disponible en: <https://globalenergy.mx/noticias-especiales/innovacion-transicion-energetica/#:~:text=La%20innovaci%C3%B3n%20energ%C3%A9tica%20se refiere,distribuida%20 las redes.>
- [2] Guzmán P. S., 2024, "Figura 1 – Partes de un diferencial", - (Figura propia).
- [3] Southern Illinois University (SIU), n.d., "Vehicle Dynamics," disponible en: <https://ritzelsiu.edu/courses/302s/vehicle/vehicledynamics.htm#:~:text=Kinetic%20energy%20 is%20a%20term,yet%20tells%20a%20great%20deal.&text=This%20shows%20that%20the %20kinetic,the%20energy%20increases%20four%20times>
- [4] Sáenz Gonzalo, A., & Tresaco Vidaller, J., 2010, "KERS: Sistema para la Recuperación de la Energía Cinética perdida durante la Frenada en la Fórmula 1," Proyecto de Ingeniería en Informática, Centro Politécnico Superior, Universidad de Zaragoza, Aragón, España
- [5] Autofácil, n.d., "Alternador de Coche: ¿Cómo Funciona?," disponible en: <https://www.autofacil.es/tecnica/alternador-coche-como-funciona/61097.html>.
- [6] Motorpasion, n.d., "¿Qué es un diferencial de coche y cómo funciona? Este curioso video hace casi un siglo lo explica a la perfección," disponible en: <https://www.motorpasion.com/revision/que-diferencial-coche-como-funciona-este-curioso-video-hace-casi-siglo-explica-a-perfeccion>.
- [7] Quartux, n.d., "¿Cómo se Almacena la Energía Eléctrica en una Batería?," disponible en: <https://quartux.com/blog/como-se-almacena-la-energia-electrica-en-una-bateria/>.
- [8] García Santiago, T.N., 2021, "Evaluación de la eficiencia y efectividad del control PI para la regulación de velocidad del sistema de propulsión mecánica de un vehículo eléctrico usando un motor de inducción," Proyecto de Investigación, Universidad Autónoma Metropolitana.
- [9] Enix Power Solutions, n.d., "Certificación IEC 62133 e IEC 62619," disponible en: <https://www.enix-power-solutions.es/certificacion-iec62133-iec62619/>.
- [10] International Electrotechnical Commission (IEC), 2021, "IEC 62133:2021 - Secondary Cells and Batteries Containing Alkaline or Other Non-Acid Electrolytes - Safety Requirements for Portable Sealed Secondary Cells, and for Batteries Made from Them, for Use in Portable Applications," disponible en: <https://webstore.iec.ch/publication/65586>.
- [11] Diario Oficial de la Federación (DOF), 2020, "Texto del Decreto por el que se reforman, adicionan y derogan diversas disposiciones de la Ley de la Industria Eléctrica," disponible en: [https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5595539&fecha=25/06/2020#gsc.tab=0](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5595539&fecha=25/06/2020#gsc.tab=0).



## **10. Terminología.**

No es necesaria.

## **11. Infraestructura.**

La Universidad Autónoma Metropolitana unidad Azcapotzalco cuenta con los derechos de la Licencia estudiantil de Matlab y la Licencia estudiantil de Autodesk-Inventor, lo que permite el uso de ambas herramientas para el desarrollo del proyecto.

## **12. Asesoría complementaria.**

No es necesaria.

## **13. Publicación o difusión de los resultados.**

No se tiene intención de publicar.