



ING. AUTOMOTRIZ

Trabajo integración curricular previa a la obtención del título de Ingeniero en Automotriz

AUTORES:

George Frank Guerrero Cedeño
Emilio José Benalcázar Logroño

TUTOR:

Ing. Fabricio Corrales

Análisis de esfuerzos de un sistema de dirección mecánica
en comparación con un sistema de dirección electrónica

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **George Frank Guerrero Cedeño y Emilio José Benalcázar Logroño**, declaramos bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, su reglamento y demás disposiciones legales.



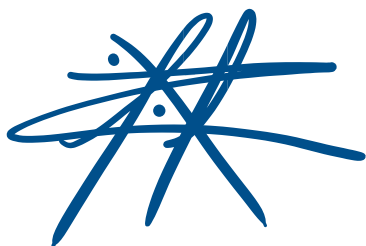
George Guerrero



Emilio Benalcázar

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, **Ing. Fabricio Corrales**, certifico que conozco a los autores del presente trabajo, siendo el responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping, stylized strokes that form a complex, abstract shape.

Firma profesor

Dedicatoria

A mis padres que siempre me han brindado su apoyo incondicional, mis hermanos que siempre han sido mis mejores amigos, y a mi perro Simón que me entiende y apoya en todo momento.

Guerrero Cedeño George Frank

Dedicatoria

A mi mamá, mi papá y mi hermana, personas que me apoyaron en todo este camino, me dieron el tiempo y me apoyaron en cada paso que di; a mi perrita Luna, que es parte de la maravillosa familia que me ayudó a alcanzar cada una de mis metas.

Benalcázar Logroño Emilio José

Agradecimiento

Agradezco a mis padres que me han enseñado a esforzarme por lograr todos mis objetivos, a mis hermanos y Simón por su apoyo incondicional, a los profesores por compartir su conocimiento y experiencia y a mis amigos por compartir una de las mejores etapas de la vida.

Guerrero Cedeño George Frank

Agradecimiento

A mi papá, mamá, hermana y perrita. Además de mis abuelos por siempre tenerme presente en cada una de sus oraciones, a mis compañeros que significaron una parte importante en este camino. Y para finalizar a la persona que estuvo conmigo en los buenos y malos momentos que pase para llegar a cumplir esta importante meta.

Benalcázar Logroño Emilio José

Análisis de esfuerzos de un sistema de dirección mecánica en comparación con un sistema de dirección electrónica

Stress analysis of a mechanical steering system compared to an electronic steering system

George Frank Guerrero Cedeño¹, Emilio José Benalcázar Logroño²
^{1,2} Universidad Internacional del Ecuador

e-mail¹: geguerreroce@uide.edu.ec
e-mail²: embenalcazarlo@uide.edu.ec

Resumen

Introducción: La electrónica automotriz ha avanzado en gran medida durante las últimas décadas, de tal modo que ha permitido el desarrollo de sistemas de asistencia al conductor y de seguridad avanzada y, al mismo tiempo, ha mejorado la eficiencia energética de los vehículos y reducido las emisiones contaminantes. Uno de los sistemas más importantes en un vehículo es la dirección, al ser responsable de la estabilidad y la seguridad del vehículo durante su operación. **Marco teórico:** un sistema de dirección electrónica EPS (*Electronic Power Steering*) se basa en sensores y actuadores eléctricos que permiten controlar la dirección del automóvil de manera más eficiente, este tipo de sistemas presentan diferentes ventajas en términos de seguridad, tiempo de respuesta, y confort en la conducción, a su vez presenta desventajas como el costo del sistema EPS, y posibles fallas en el sistema eléctrico. Por otra parte, el sistema de dirección mecánica presenta menor costo de implementación y de reparación, sin embargo, ya que no existe una asistencia externa, el conductor requiere mayor esfuerzo para conducir el vehículo. **Materiales:** Camioneta Datsun 1000 1971, dirección mecánica, dirección electrónica, temporizador, medidor de newtons. **Métodos:** Se implementó un método experimental comparativo deductivo, en el cual se compararon de manera experimental el esfuerzo generado en el volante y el tiempo de reacción en cada uno de los sistemas de dirección, para determinar el porcentaje de mejora en términos de eficiencia y confort. **Conclusiones:** Los EPS ofrecen mejor eficiencia y mayor precisión en la conducción, debido a la gran capacidad que tienen para ajustar automáticamente la asistencia de dirección en función a las variables del entorno, tales como la velocidad. Se determinó que existe una mayor asistencia del motor eléctrico cuando el vehículo se encuentra estacionado y se necesita girar completamente hacia un lado, al tener una asistencia desde 46,74 N hasta 113 N, lo que significa una asistencia de hasta 123 % y ello se traduce en un mejor confort y menor fatiga para el conductor.

Palabras clave: Análisis, EPS, Eficiencia, Seguridad, Confort.

Abstract

Introduction: Automotive electronics has advanced greatly during the last decades, in such a way that it has allowed the development of driver assistance systems and advanced safety and, at the same time, has improved the energy efficiency of vehicles and reduced the polluting emissions. One of the most important systems in a vehicle is the steering, being responsible for the stability and safety of the vehicle during its operation.

Theoretical framework: an electronic steering system EPS (Electronic Power Steering) is based on sensors and electric actuators that allow the direction of the car to be controlled more efficiently, this type of system has different advantages in terms of safety, response time, and driving comfort, in turn, has disadvantages such as the cost of the EPS system, and possible failures in the electrical system. On the other hand, the mechanical steering system presents a lower implementation and repair cost, however, since there is no external assistance, the driver requires more effort to drive the vehicle. **Materials:** 1971 Datsun 1000 pickup, mechanical steering, electronic power steering, timer, newton meter.

Methods: A deductive comparative experimental method was implemented, in which the effort generated in the steering wheel and the reaction time in each of the steering systems were compared experimentally, to determine the percentage of improvement in terms of efficiency and comfort. **Conclusions:** EPS offer better efficiency and greater precision in driving, due to the great capacity they must automatically adjust steering assistance based on environmental variables, such as speed. It was determined that there is greater assistance from the electric motor when the vehicle is parked and it is necessary to turn completely to one side, having an assistance from 46.74 N to 113 N, which means an assistance of up to 123% and this translates into better comfort and less fatigue for the driver.

Keywords: analysis, EPS, efficiency, safety, comfort.

Introducción

En la industria automotriz, la evolución tecnológica ha sido constante, dando lugar a mejoras significativas en diversos componentes y sistemas de los vehículos. Uno de los sistemas fundamentales para el funcionamiento seguro y eficiente de un automóvil es el sistema de dirección. Tradicionalmente, los vehículos han utilizado sistemas de dirección mecánica, pero en los últimos años, los avances en la electrónica y la automatización han dado lugar a la adopción creciente de sistemas de dirección electrónica.

El sistema de dirección es crucial para la maniobrabilidad y el control de un vehículo, y su eficiencia y seguridad son de suma importancia. La transición de sistemas de dirección mecánica a electrónica plantea interrogantes sobre cómo estas dos tecnologías se comparan en términos de rendimiento, eficiencia y esfuerzos requeridos para operar el sistema. En este contexto, la fundamentación del problema para el presente artículo científico se basa en la necesidad de comprender y evaluar objetivamente las diferencias en los esfuerzos requeridos en la operación de un sistema de dirección mecánica en comparación con un sistema de dirección electrónica.

En la actualidad, la mayoría de los vehículos eléctricos utilizan una dirección electrónica asistida (EPS) en lugar de una dirección hidráulica o mecánica convencional. La EPS permite una mejor precisión y control sobre el sistema de dirección y, asimismo, es más eficiente en términos de consumo de energía, si se compara con los sistemas de dirección convencionales. La dirección electrónica utiliza energía eléctrica para ayudar al conductor a girar el volante, a diferencia de los sistemas de dirección convencionales, que

dependen del esfuerzo físico del ocupante. Este sistema ofrece numerosos beneficios, como reducir el esfuerzo requerido para girar el volante, brindar una respuesta suave y precisa, adaptarse a diferentes condiciones de conducción y mejorar el confort del ocupante del vehículo. La mejor descripción para este novedoso sistema es que es una tecnología avanzada que mejora la seguridad, el confort y facilita el manejo de los vehículos de esta época (Elhofy et al., 2023). Por lo tanto, el objetivo general del presente estudio es demostrar cómo mejora en términos de eficiencia energética un sistema EPS en una camioneta Datsun 1000, en comparación con un sistema de dirección mecánica. Por otra parte, determinar el porcentaje de mejora en el confort en la conducción presente en el vehículo, la disminución porcentual del tiempo de reacción del sistema EPS implementado en la camioneta Datsun 1000 a fin de que tenga más confianza para realizar maniobras en situaciones críticas.

Como menciona Hassan et al. (2012) La dirección electrónica reemplaza el sistema de dirección mecánica tradicional, el cual funciona mediante la unión de piezas mecánicas entre el volante y las ruedas del vehículo, a través de un sistema que implementa sensores y un controlador electrónico para controlar la cantidad de asistencia necesaria en la conducción; lo descrito permite una mayor precisión y un menor tiempo de respuesta por parte de la dirección en situaciones críticas, así como la capacidad de ajustar la dirección en función de las condiciones de la carretera y la velocidad del vehículo. Ahora bien, este sistema de dirección se puede integrar con otros sistemas de seguridad del vehículo, como el control de estabilidad electrónico o el control de tracción, dado que ambos proporcionan una mejora en la seguridad y el control direccional. Tal integración brinda una comunicación fluida entre los diferentes sistemas, por lo que desarrolla una respuesta completa del vehículo en situaciones de emergencia y, de esa manera, ofrece un mayor nivel de seguridad para el ocupante.

En consonancia con lo anterior, Guobiao et al. (2012) en su publicación destaca que la dirección electrónica es un componente clave para mejorar la seguridad, la eficiencia y el confort en la conducción de vehículos, en vista que brinda una respuesta más rápida y precisa, en comparación con los sistemas de dirección tradicionales. A su vez destaca que comparado con otros sistemas de dirección asistidas, el sistema EPS es más amigable con el medio ambiente y ahorra más energía, esto gracias a la incorporación de diferentes sensores y actuadores que permiten la reducción de energía adicional para la operación de la dirección es un argumento que sustenta la comparativa que se lleva a cabo y apoya el análisis realizado en este trabajo, lo cual permite afirmar que la dirección tradicional (mecánica) ha sido superada significativamente por la dirección electrónica

A pesar de que la dirección electro asistida brinde una mejor seguridad, se debe tomar en cuenta que no sustituye la responsabilidad del conductor. Cabe recalcar que la dirección estudiada reduce significativamente el esfuerzo requerido por parte del conductor al girar el volante, lo que brinda una experiencia de conducción más cómoda y menos agobiante. A diferencia de los sistemas de dirección mecánica, que dependen del esfuerzo físico del conductor para girar las ruedas delanteras, la dirección electrónica utiliza un motor eléctrico para proporcionar asistencia en el movimiento del volante.

El análisis de este sistema supone la mejora que existe en temas de consumo energético, confort y seguridad, elementos que son relevantes al momento de conducir un vehículo. De ese modo, se tienen en cuenta cuáles son las ventajas y desventajas de tener este sistema de dirección electrónica y por qué el ocupante debe optar por adquirir un vehículo con esta nueva tecnología. Igualmente, es evidente que, al momento de

mejorar la seguridad, no se deja de lado la responsabilidad del conductor, quien se encuentra en el segundo puesto para salvaguardar la vida de los ocupantes y de sí mismo.

Marco teórico

Seguridad activa

La seguridad activa implica todos los elementos necesarios para evitar los accidentes de tránsito y los factores que influyen en esta son: la seguridad en la circulación y el confort del conductor.

Seguridad en la circulación

La seguridad en la circulación contiene todos los elementos que componen al vehículo y su diseño. En este caso, el diseño de la columna de dirección mecánica, al momento de una colisión, transfiere el choque al conductor y produce graves lesiones, mientras que el diseño de la columna de dirección electro asistida, durante una colisión, absorbe la mayoría del choque y, así, reduce significativamente el impacto en el conductor (Mecánico Automotriz, 2016).

Seguridad pasiva

La seguridad pasiva abarca a todos los sistemas del vehículo que permiten absorber la mayor cantidad del impacto en caso de colisión, para salvaguardar la integridad de los ocupantes. A fin de reducir el impacto que sufren los ocupantes en el choque, se implementan carrocerías deformables, sistemas de airbag, cristales de seguridad, entre otros.

Dirección mecánica

El sistema de dirección mecánica es uno de los sistemas más antiguos y ampliamente utilizados en los vehículos. Funciona como una interfaz entre el piloto y el vehículo, cuya misión es guiar al vehículo por la trayectoria deseada, durante la conducción el conductor gira el volante y, a su vez, el movimiento se transmite mediante la columna de dirección hacia el mecanismo de dirección, el cual convierte el giro en un movimiento lineal que gira las ruedas delanteras.

Ventajas de la dirección mecánica

Este sistema de dirección tiene como ventaja principal un menor costo de fabricación e implementación, gracias a la simplicidad de su sistema; por otra parte, se destaca el hecho de que no depende de componentes electrónicos para su funcionamiento.

Desventajas de la dirección mecánica

Este tipo de sistemas de dirección presenta ciertas desventajas, tales como un mayor esfuerzo físico requerido para girar el volante, lo que se debe a que no tienen ninguna clase de asistencia externa; por ende, el conductor está obligado a elevar su esfuerzo físico para mover el vehículo. Además, este esfuerzo mayor reduce considerablemente la precisión y el tiempo de respuesta del sistema de dirección, lo cual,

en situaciones críticas como maniobras a altas velocidades, aumenta el tiempo de reacción y, por lo tanto, incrementa el riesgo de sufrir algún tipo de accidente automovilístico. La última desventaja de este sistema de dirección es que no se puede ajustar a las diferentes condiciones de conducción, lo que se refleja en el confort del conductor, pues el esfuerzo considerable que se requiere para mover el vehículo aumenta la fatiga.

Dirección electrónica

El sistema de dirección electrónica (EPS) trabaja en función de la velocidad del vehículo. En caso de que aumente la velocidad de conducción, el módulo de control electrónico desconecta el embrague del motor eléctrico, de manera que la dirección se acciona de manualmente. Este tipo de sistema tiene grandes ventajas, en contraste con un sistema tradicional (Calvo y Miravete, 2012).

Ventajas de la dirección electrónica:

La ventaja de la implementación de la dirección electrónica a nuestro vehículo prueba (DATSUN 1000), radica principalmente en que existe una mejora significativa de la experiencia de conducción, Debido a que los vehículos antiguos generalmente están equipados con sistemas de dirección mecánica los cuales obligan a que el ocupante tenga que brindar un mayor esfuerzo físico al girar el volante, especialmente a bajas velocidades o en maniobras que comúnmente realizan. Al actualizar a una dirección eléctrica asistida, se reduce considerablemente la fuerza necesaria para maniobrar el vehículo, lo que hace que sea mucho más fácil y cómodo conducir, especialmente en entornos urbanos o en largos trayectos. Además, la dirección eléctrica también puede mejorar la precisión y la respuesta del volante, lo que aumenta la seguridad y el control del conductor sobre el automóvil. Esta actualización no solo hace que la conducción sea más agradable, sino que también puede prolongar la vida útil del sistema de dirección del vehículo antiguo al reducir el desgaste y la tensión en los componentes mecánicos. Por último, la dirección electrónica es más eficiente energéticamente que la dirección mecánica, puesto que no requiere la potencia mecánica adicional necesaria para controlar las ruedas en la dirección correcta.

Desventajas de la dirección electrónica

Como tenemos conocimiento este sistema brinda al ocupante diferentes ventajas, pero al igual que todo sistema eléctrico, nos presenta diversas desventajas que valen la pena tomarlas en cuenta. Una de las mayores desventajas corresponde al costo de reparación y mantenimiento, ya que en caso de una avería o problema en un sistema EPS, las reparaciones de los componentes llegan a ser más costosas a comparación de un sistema de dirección mecánica, ya que el sistema EPS está constituido por componentes electrónicos, los cuales requieren un diagnóstico computarizado. Además, dado que la dirección electrónica depende de componentes electrónicos y sensores, existe la posibilidad de que surjan problemas electrónicos que afecten su funcionamiento. Fallos en los sensores, problemas en los circuitos eléctricos o incluso fallos en la programación podrían dar lugar a problemas de dirección.

Volante telescópico

La columna y el volante de dirección se consideran elementos peligrosos. De tal forma, para evitar que el conductor impacte con el volante y todo el mecanismo se

desplace hacia el interior del habitáculo, se hace uso del “volante de gran sección frontal”. Con el propósito de que disminuya el retroceso de la columna de dirección, se fabrica con una estructura telescópica, para lo cual un sector de esta se ranura longitudinalmente, de manera que pierde sus propiedades de rigidez estructural respecto a las cargas de compresión. Cabe destacar que este sistema es utilizado por Ford, General Motors y Fiat. (Mecánico Automotriz, 2016).

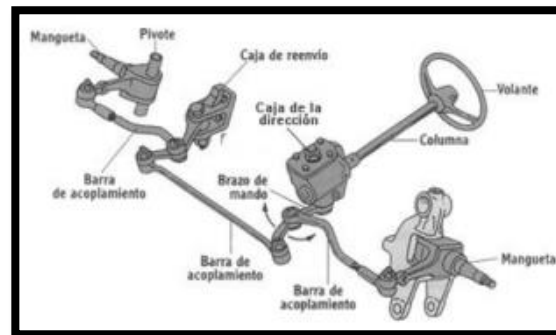
Materiales y metodología

Sistema de dirección mecánica Datsun 1000 1971

El primer sistema que se empleó para el estudio corresponde a un sistema de dirección mecánica del vehículo de prueba (Datsun 1000), el cual viene de fábrica y está conformado por un mecanismo de dirección de tornillo sinfín y tuerca, barras de acoplamiento y una columna rígida de dirección que no permite ningún tipo de ajuste y no tiene ningún tipo de estructura deformable en caso de impacto frontal; esto perjudica considerablemente la seguridad pasiva del vehículo. A continuación, en la Figura 1, se muestra el sistema de dirección STOCK que se utilizó en el análisis.

Figura 1

Esquema de la dirección mecánica de la Datsun 1000

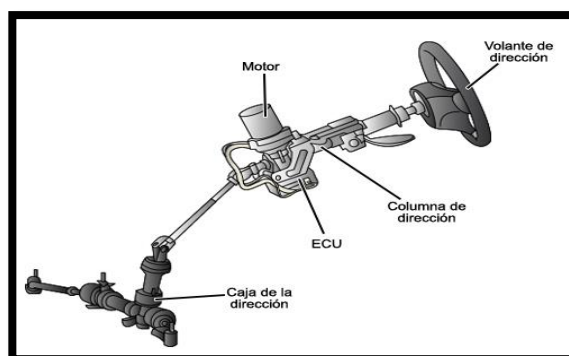


Dirección electro asistida Chevrolet BEAT 2019

El segundo sistema de dirección corresponde a un sistema EPS de un Chevrolet Beat del año 2019, el cual se encuentra implementado al vehículo de prueba (Datsun 1000). Este sistema está conformado por un motor eléctrico, un módulo y sensores de posición del volante y torque, los cuales se encuentran integrados en la columna de dirección; también contiene un mecanismo de tornillo sinfín con cremallera, lo que le hace un sistema más eficiente y práctico, debido a la menor cantidad de piezas, en contraste con otros sistemas. A diferencia del sistema de dirección mecánica mencionado, este sistema EPS presenta una columna de dirección con una estructura con bridas (uniones), lo que le permite tener una columna más flexible que, en caso de un impacto frontal, absorbe la mayor cantidad del golpe y salvaguarda la integridad del conductor.

Figura 2

Esquema de la dirección electrónica Chevrolet BEAT 2019



Cronómetro

Se utilizó un cronómetro digital de precisión para medir el tiempo que toma girar el volante para llegar al fin del recorrido de las llantas en ambos sistemas de dirección (mecánica y electrónica), y a través de esta información conocer la variación que existe entre ambos sistemas, para determinar el tiempo de respuesta de cada uno de los sistemas en situaciones críticas de conducción. El rango de calibración de este equipo de medición corresponde a 0.01 segundos de resolución.

Figura 3

Equipo de medición (cronometro digital)



Medidor de newtons

Se hizo uso de un medidor de fuerza o newtons digital para obtener la información de la cantidad de esfuerzo requerido para mover los dos sistemas de dirección analizados en diferentes circunstancias, tales como parquear el vehículo, conducir a diferentes velocidades y con el vehículo detenido; con esto, se buscó conocer la cantidad de asistencia generada por el sistema EPS en diferentes situaciones y así determinar la mejora en términos de eficiencia y confort que existe entre el sistema de dirección electrónica con respecto al sistema de dirección mecánica. El equipo de medición se encuentra calibrado bajo la norma ANSI/NCSL Z540-1, el cual cumple con una tolerancia de 5g en el rango de 0kg a 10 kg y de 10g de tolerancia en el rango de 10kg a 50kg. (KEYSIGHT)

Figura 4

Equipo de medición (medidor de newtons)



Normativa ISO 26262

La Norma ISO 26262 es un estándar internacional que garantiza la seguridad funcional de los sistemas electrónicos en vehículos. Fue publicada por la ISO en 2011 y es ampliamente aceptada en la industria automotriz. El propósito principal de esta norma es establecer un método sistemático para identificar y reducir los riesgos asociados con la seguridad en los sistemas electrónicos de los automóviles. Es de señalar que la seguridad funcional se refiere a la capacidad de un sistema para funcionar correctamente en situaciones peligrosas o durante fallos, al tiempo que se minimizan las lesiones y los daños.

De igual manera, esta norma proporciona un marco detallado para el desarrollo de productos seguros en la industria automotriz. Se aplica a todas las etapas del ciclo de vida de los sistemas electrónicos de los vehículos, desde la concepción hasta la producción, el mantenimiento y el desmontaje.

Método experimental comparativo deductivo

El estudio se llevó a cabo mediante un enfoque comparativo, tomando en cuenta que se analizaron y compararon el sistema de dirección mecánica y el sistema de dirección electrónica en una camioneta Datsun 1000 EV de 1971. Una vez conocidos las

características de cada uno de los sistemas se definieron las variables que mayor impacto tienen en el análisis, las cuales corresponden al esfuerzo generado en el volante y al tiempo de reacción. Estas variables se analizarán en las siguientes situaciones:

1. El esfuerzo (Kgf) generado en el volante parqueando en paralelo.
2. El esfuerzo (Kgf) generado en el volante en conducción (10km-40km)
3. El esfuerzo (Kgf) generado en el volante con respecto al ángulo de giro del volante.
4. El tiempo que tomaba cada sistema en girar a la mitad del recorrido
5. El tiempo que tomaba cada sistema en girar a recorrido completo.

También se analizó la relación de desmultiplicación del mecanismo de dirección en cada uno de los sistemas de dirección para determinar la reducción del esfuerzo en el volante y el tiempo de giro en cada uno de estos sistemas.

Con los datos obtenidos en cada una de las pruebas se implementó un análisis de varianza simple (ANOVA) para determinar la varianza y desviación de los datos obtenidos en cada uno de los conjuntos analizados, estos datos tienen como máximo un 5% de variación para ser verdaderos, por otra parte, si los valores sobrepasan este valor significa que los datos obtenidos en las pruebas son erróneos.

Resultados y discusión

Las variables independientes analizadas corresponden al ángulo de giro del volante, la velocidad de conducción, y el parqueo en paralelo. Por otra parte, las variables dependientes corresponden al esfuerzo de giro de volante en diferentes situaciones: vehículo estacionado, vehículo en conducción de 10km/h - 40km/h, y el tiempo de giro del volante.

Tabla 1

Relación de desmultiplicación

Sistemas dirección	Desmultiplicación
Mecánica	14:1
Electrónica	10,67:1
Reducción porcentual	23,81 %

Nota: Se tomaron los datos de relación de desmultiplicación del ángulo de giro del volante con respecto al ángulo de giro de las ruedas en cada uno de los sistemas de dirección y se obtuvo que la dirección mecánica tiene una desmultiplicación de 14:1 y el sistema de dirección electrónica de 10,67:1.

Tabla 2

Esfuerzo generado en el volante con respecto al ángulo de giro de las ruedas

Ángulo de giro	Mecánica (N)	Electrónica (N)	Mejora porcentual
90°	54,98505 N	22,6611 N	59 %
180°	107,8119 N	35,6103 N	67 %
360°	112,7169 N	36,0027 N	68 %
Mitad de Recorrido	123,7041 N	36,4932 N	70 %
Recorrido Completo	238,5792 N	67,1985 N	72%

Nota: Se realizaron pruebas del esfuerzo generado con respecto a diferentes ángulos de giro del volante en cada uno de los sistemas, para conocer la fuerza aplicada requerida (N) y determinar el porcentaje de mejora en el sistema de dirección electrónica.

Figura 5

Esfuerzo del volante con respecto al ángulo de giro

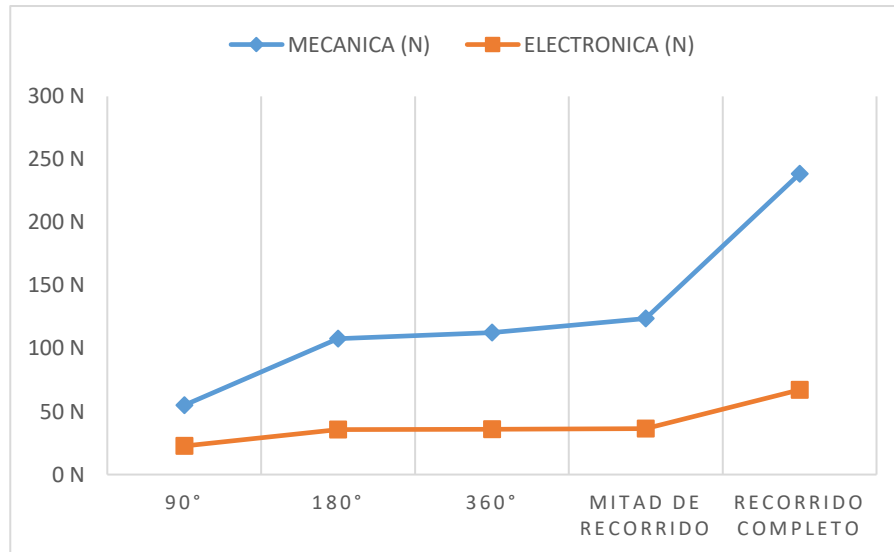
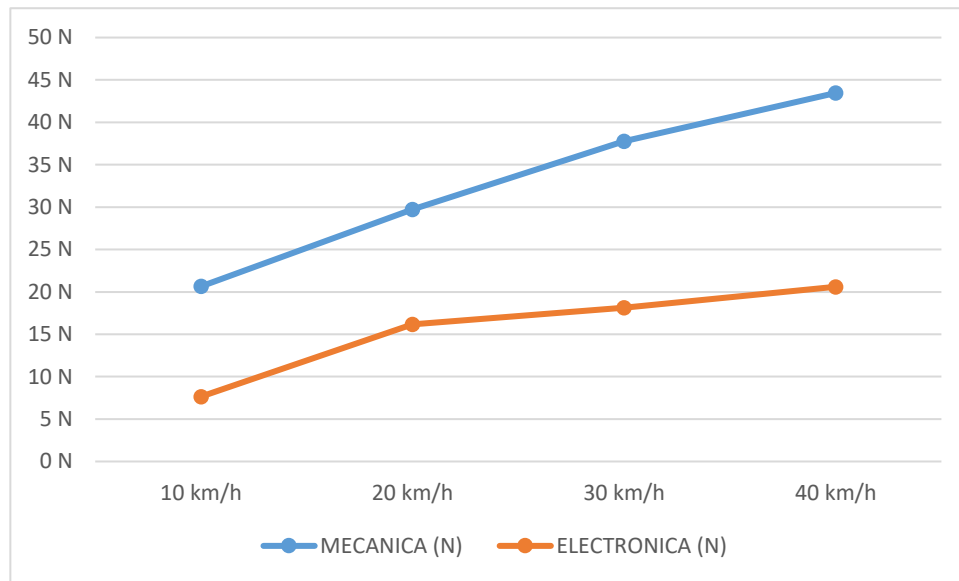


Tabla 3*Esfuerzo del volante conduciendo*

Velocidad km/h	Mecánica (N)	Electrónica (N)	Mejora porcentual
10 km/h	20,65005 N	7,6518 N	63 %
20 km/h	29,7243 N	16,1865 N	46 %
30 km/h	37,7685 N	18,1485 N	52 %
40 km/h	43,4583 N	20,601 N	53 %

Nota: Se realizaron pruebas de esfuerzo a diferentes velocidades de conducción en ambos sistemas de dirección para determinar el porcentaje de reducción de esfuerzo, tomando en cuenta una velocidad mínima de 10km/h y una máxima de 40km/h, esto debido a la zona donde se realizaron las pruebas.

Figura 6*Esfuerzo del volante en la conducción***Tabla 4***Parqueo en paralelo*

Acciones de parqueo en paralelo	Mecánica (N)	Electrónica (N)	Mejora porcentual
Acción 1	24,60348 N	7,3575 N	70 %
Acción 2	48,18672 N	13,4397 N	72 %
Acción 3	24,74082 N	7,22016 N	71 %
Promedio	32,51034 N	9,33912 N	71 %

Nota: Se realizaron pruebas de parqueo en paralelo, ya que esta situación es una de las que mayor impacto tiene el sistema de dirección electrónica, el parqueo en paralelo tiene 3 movimientos básicos, en los cuales se tomaron el esfuerzo generado para determinar la reducción promedio del esfuerzo en el sistema de dirección electrónica.

Figura 7

Esfuerzo del volante en parqueo en paralelo

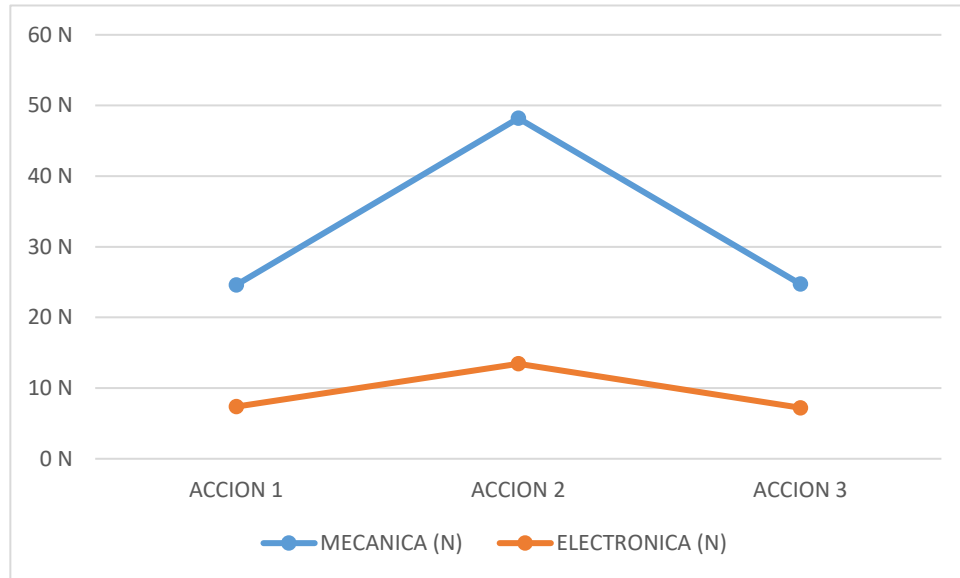


Tabla 5

Tiempo en giro del volante a medio y completo recorrido

Promedio	Mecánica	Electrónica	Mejora porcentual
Mitad recorrido	6,4185 seg	1,5577 seg	76 %
Recorrido completo	12,033 seg	2,585 seg	79 %

Nota: Se realizaron pruebas del tiempo de giro del volante para la mitad del recorrido y para el recorrido completo, para determinar la reducción porcentual del tiempo de reacción y maniobrabilidad por parte del conductor. Para estas pruebas se realizaron 10 pruebas con diferentes personas para determinar el promedio de tiempo de giro en cada uno de los sistemas.

Figura 8

Tiempo de giro mitad de recorrido

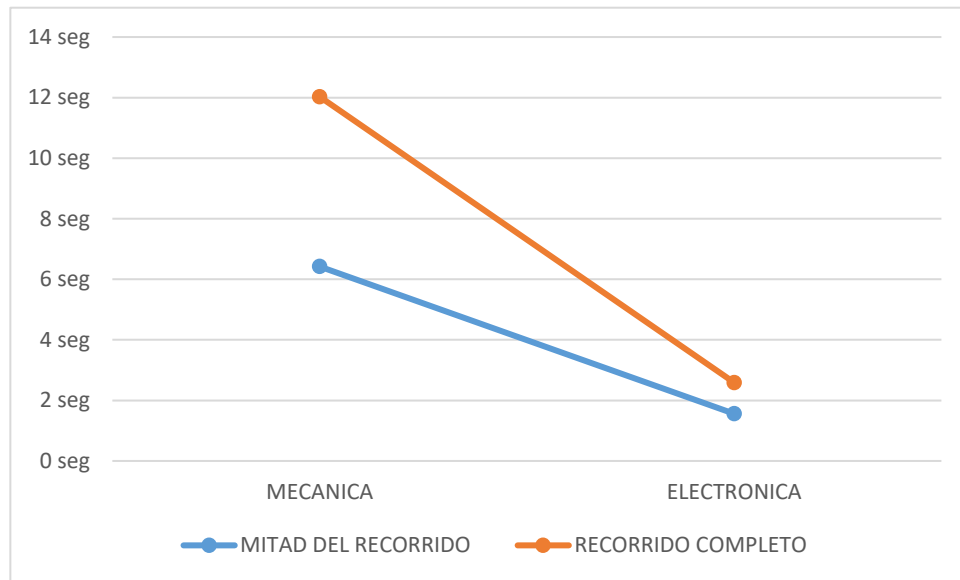


Figura 9

Resultados finales

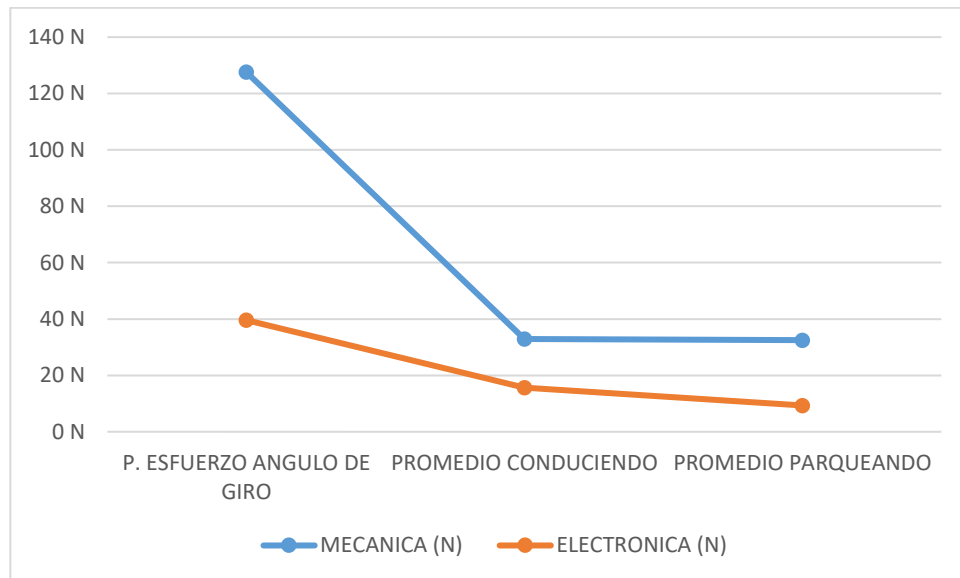


Tabla 6

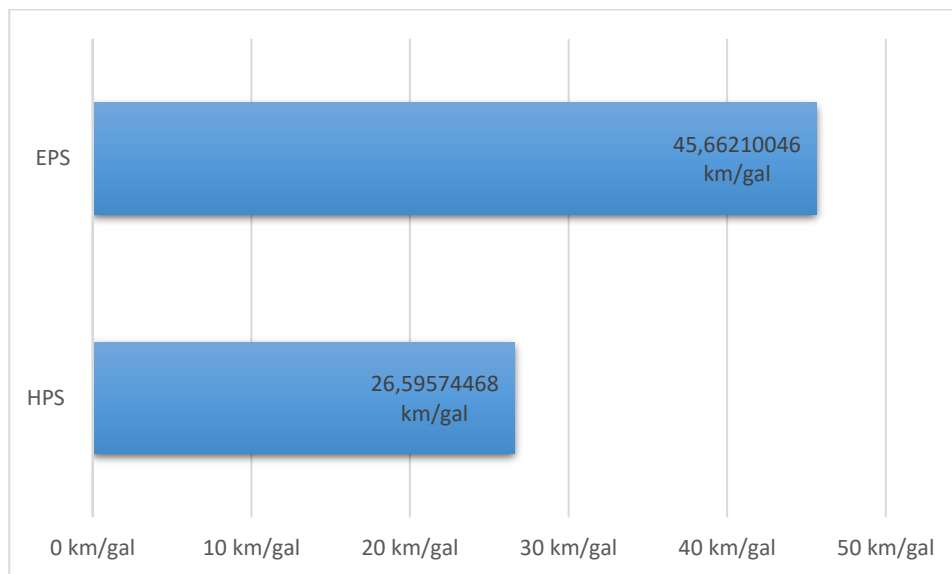
Autonomía de combustible en vehículo con HPS y EPS

Dirección Asistida	Distancia	Consumo	Consumo específico
Dirección Hidráulica (HPS)	100 km	3.76 gal	26.60 km/gal
Dirección electrónica (EPS)	100 km	2.19 gal	45.66 km/gal
Diferencia porcentual			42%

Nota: Se tomaron datos sobre la el consumo de 2 vehículos, uno con HPS y otro con EPS, para determinar el impacto que tiene sobre la autonomía del vehículo y por lo tanto determinar la eficiencia de ambos sistemas.

Figura 10

Consumo específico en HPS-EPS



Los resultados obtenidos sirven como guía referencial para futuras investigaciones relacionadas a la dirección electro asistida.

Conclusiones

Este análisis ha demostrado los beneficios que tiene la implementación de un sistema de dirección electro asistida en la camioneta Datsun 1000 en comparación con un sistema de dirección mecánica tradicional. Los resultados de esta investigación resaltan la importancia y la viabilidad de la adaptación de sistemas de dirección electroasistida en vehículos clásicos como la camioneta Datsun 1000. Estos sistemas no solo mejoran la eficiencia energética y el confort de conducción, sino que también contribuyen significativamente a la seguridad vial al reducir el tiempo de reacción en situaciones críticas.

Dentro del análisis y estudio se proporcionó que existe una mejora porcentual con respecto al esfuerzo generado en el volante con respecto al ángulo de giro, por ejemplo, mediante el estudio al girar el volante a 90, 180 y 360 grados tenemos una mejora por encima del 50% demostrando que al realizar maniobras o estacionar el vehículo brindamos al ocupante más confort y mayor satisfacción de seguridad. De igual forma estudiamos el esfuerzo del volante al conducir ya que contamos con una mejora que depende mucho de la velocidad a la que va el vehículo en nuestro caso realizamos las pruebas en una velocidad mínima de 10km y una máxima de 40km de esta forma tenemos una mejora por encima del 40% brindando un mejor estilo de manejo y mayor satisfacción del ocupante al estar delante del volante.

Igualmente, se determinó que el esfuerzo generado en el parqueo en paralelo presenta una reducción porcentual promedio del 71 % de la dirección electrónica con respecto a la dirección mecánica, lo que se traduce en un menor tiempo de parqueo y menor fatiga del conductor. Por otra parte, en las pruebas de tiempo de giro del volante se observa que existe una reducción del 76% al 79% del tiempo de reacción, por lo tanto, esta mejora en el tiempo de reacción se traduce en una conducción más segura y ágil, especialmente en situaciones de emergencia o maniobras evasivas.

En las pruebas de los sistemas de dirección asistida sobre la eficiencia energética, se determinó que el sistema EPS es un 42% mas eficiente que el sistema HPS en términos de consumo de combustible, esta diferencia porcentual se debe principalmente a la carga que representa cada uno de los sistemas de dirección al motor, ya que el sistema EPS absorbe la potencia de la batería y alternador, mientras que el sistema HPS absorbe la potencia del eje del cigüeñal a través de un sistema de transmisión mecánica.

Referencias bibliográficas

- Advors, I. D. (2016). *Gestión de la Seguridad Vial, ISO 39001*. <https://www.intedya.com/internacional/87/consultoria-gestion-de-la-seguridad-vial-iso-39001.html>
- Ashton, N., & Skaperdas, V. (2019). Verification and Validation of OpenFOAM for High-Lift Aircraft Flows. *Journal of Aircraft*, 56(4), 1-17. <https://doi.org/10.2514/1.C034918>
- Balz, R., Nagy, I. G., Weisser, G., & Sedarsky, D. (2021). Experimental and numerical investigation of cavitation in marine Diesel injectors. *International Journal of Heat*

and Mass Transfer, 169, 1-12.
<https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2021.120933>

- Barawid, O. C., & Noguchi, N. (2011). Automatic Steering System for Electronic Robot Vehicle. *IFAC Proceedings Volumes*, 44(1), 2901-2906. <https://doi.org/10.3182/20110828-6-IT-1002.03349>
- Biçer, B. (2014). *Implementation of Transport Model into Cavitating Foam to simulate the Cavitation in Diesel Injector Nozzle*. Chalmers University.
- Calvo, J., & Miravete, A. (2012). *Mecánica del automóvil*. Editorial Reverté.
- Cao, T., He, Z., Zhou, H., Guan, W., Zhang, L., & Wang, Q. (2019). Experimental study on the effect of vortex cavitation in scaled-up diesel injector nozzles and spray characteristics. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 113, 1-24. <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2019.110016>
- Chu, L., Gao, X., Guo, J., Liu, H., Chao, L., & Shang, M. (2012). Coordinated Control of Electronic Stability Program and Active Front Steering. *Procedia Environmental Sciences*, 12, 1379-1386. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2012.01.439>
- Cristofaro, M., Edelbauer, W., Koukouvinis, P., & Gavaises, M. (2019). A numerical study on the effect of cavitation erosion in a Diesel injector. *Applied Mathematical Modelling*, 78, 200-216. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2019.09.002>
- Elhofy, M., Abdelaziz, M., Omran, I., & Abdelwahab, M. (2023). Effects of independent wheels steering system on vehicle cornering. *Ain Shams Engineering Journal*, 14(6), 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2022.102097>
- Gao, S., Sun, R., Fu, Y., & Xu, J. (2022). Simulation and application of the electric power steering system simulation platform based on Simulink. *Journal of Physics*, 2402(1), 1-9. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2402/1/012007>
- Guobiao, S., Songhui, Z., & Jun, M. (2012). *Simulation Analysis for Electric Power Steering Control System Based On Permanent Magnetism Synchronization Motor*. 2nd International Conference on Electronic & Mechanical Engineering and Information Technology (EMEIT-2012).
- Gutiérrez, M., Taco, D., & Cheranev, S. (2021). Numerical Simulation of Multi Injector Cylinder Head Engine Concept Enhancing Fuel Atomization. *SAE Technical Papers*, 1-10. <https://doi.org/10.4271/2021-24-0055>
- Hassan, M. K., Azubir, N. A., Nizam, H. M., Toha, S. F., & Ibrahim, B. S. (2012). Optimal Design of Electric Assisted Steering System (EPAS) Using GA-PID Method. *Engineering Procedia*, 41, 614-621. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.07.220>
- ISOTools. (10 de Enero de 2019). *La norma ISO 26262: Sistemas de Seguridad en Automóviles*. <https://www.isotools.us/2019/01/10/la-norma-iso-26262-sistemas-de-seguridad-en-automoviles/>
- Lindström, M. (2009). *Injector Nozzle Hole Parameters and their Influence on Real DI Diesel Performance [licentiate thesis]*. Royal Institute of Technology. <http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A159595&dswid=880>

- Livisaca, C. A. (2018). *Diseño y Construcción del Sistema de Dirección de un Vehículo de Competencia Fórmula SAE Eléctrico [trabajo de grado]*. Universidad Politécnica Salesiana. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15520>
- Mack, A., & Spruijt, M. P. (2013). Validation of OpenFoam for heavy gas dispersion applications. *Journal of Hazardous Materials*, 262, 594-516. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.08.065>
- Mecánico Automotriz. (16 de septiembre de 2016). *Manual de sistemas de seguridad activa y pasiva – Mecánicos y electrónicos*. <https://www.mecanicoautomotriz.org/1684-manual-sistemas-seguridad-activa-pasiva-mecanicos-electronicos>
- Mehrjerdian, E., Gaedke, A., Greul, R., & Bertram, T. (2010). Efficiency of Steering Torque Recommendation in Limits of Driving Dynamics: An Empirical Study. *IFAC Proceedings Volumes*, 43(7), 650-655. <https://doi.org/10.3182/20100712-3-DE-2013.00132>
- Merker, G., & R., T. (2012). *Grundlagen Verbrennungsmotoren: Funktionsweise und alternative Antriebssysteme Verbrennung, Messtechnik und Simulation*. MTZ.
- Minoiu, N., Mammar, S., Glaser, S., & Lusetti, B. (2010). Driver assistance system for lane departure avoidance by steering and differential braking. *IFAC Proceedings Volumes*, 43(7), 471-476. <https://doi.org/10.3182/20100712-3-DE-2013.00011>
- Moldovanu, D., Csato, A., & Bagameri, N. (2019). Study regarding the implementation of an Ackerman steering geometry in MATLAB. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 568(1), 1-5. <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/568/1/012092>
- Payri, R., Gimeno, J., Bracho, G., & Vaquerizo, D. (2016). Study of liquid and vapor phase behavior on Diesel sprays for heavy duty engine nozzles. *Applied Thermal Engineering*, 107, 365-378. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.06.159>
- Salvador, F. J., Martínez, J., Romero, J. -V., & Roselló, M. -D. (2013). Computational study of the cavitation phenomenon and its interaction with the turbulence developed in diesel injector nozzles by Large Eddy Simulation (LES). *Mathematical and Computer Modelling*, 57(7-8), 1656-1662. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2011.10.050>
- Salvador, F. J., Romero, J. -V., Roselló, M. -D., & Martínez, J. (2010). Validation of a code for modeling cavitation phenomena in Diesel injector nozzles. *Mathematical and Computer Modelling*, 52(7-8), 1123-1132. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2010.02.027>
- TÜV SÜD. (2023). *Automotive functional safety according to ISO 26262 - What is ISO 26262?* <https://www.tuvsud.com/en/industries/mobility-and-automotive/automotive-and-oem/iso-26262-functional-safety>
- Zhai, L., Huang, H., Sun, T., & Wang, Q. (2016). Investigation of Energy Efficient Power Coupling Steering System for Dual Motors Drive High Speed Tracked Vehicle. *Energy Procedia*, 104, 372-377. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.12.063>