



Evolución de los amortiguadores para vehículos. Una revisión sistemática

Evolution of shock absorbers for vehicles. A systematic review

Evolução dos amortecedores para veículos. Uma revisão sistemática

Yanis Emilio Alvarado-Soshina ^I
yanisemilio@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-2035-1559>

Marco Vinicio Cando-Galeas ^{II}
marcocando1997@outlook.com
<https://orcid.org/0000-0001-6973-8423>

Luis Patricio Criollo-Yanchatipan ^{III}
pcriollo@tecnocuecuadoriano.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-3647-2918>

Christian Patricio Cabascango-Camuendo ^{IV}
ccabascango@istte.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-4927-0832>

Correspondencia: yanisemilio@gmail.com

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Revisión

***Recibido:** 20 de febrero de 2022 ***Aceptado:** 18 de marzo de 2022 * **Publicado:** 01 abril de 2022

- I. Participante Investigador, Estudiante Tecnología Superior en Mecánica Automotriz, Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano, Quito, Ecuador.
- II. Participante Investigador, Estudiante Tecnología Superior en Mecánica Automotriz, Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano, Quito, Ecuador.
- III. Magister en Educación Mención Gestión del Aprendizaje, Mediado por Tic, Docente investigador, Docente Investigador, Instituto Superior Tecnológico, Quito, Ecuador.
- IV. MSc. Diseño Mecánico Mención en Fabricación de Autopartes de Vehículos, Coordinador del Departamento de Investigación y Desarrollo I + D, Quito, Ecuador.

Resumen

El trabajo de investigación, tiene el propósito de desarrollar de manera sistemática la evolución de los amortiguadores para vehículos, a través de la realización de una investigación de tipo documental y exploratorio, donde se puede destacar que hasta los actuales momentos se emplea en la industria automotriz 2 tipos de amortiguadores hidráulico, los monotubos y los bitubos, en diferentes sistemas de suspensión, aun y cuando estos tipos de amortiguadores tienen subdivisiones como los llamados presurizados y los atmosféricos. Asimismo, estos componentes no escapan de los cambios que se están solicitando en el mundo a nivel de consumo de energía de los vehículos, reducción el consumo de combustibles fósiles, diseño de vehículos eléctricos, entre otros. Por lo que se han llevado a cabo un gran número de investigaciones donde se han desarrollado sistemas de recuperar energía de estos componentes. Paralelamente se ha demostrado que al actualizar y mejorar los componentes de los sistemas de suspensión se mejora la seguridad y confort en los vehículos.

Palabras claves: amortiguadores; sistemas de suspensión; vehículos.

Abstract

The research work has the purpose of systematically developing the evolution of shock absorbers for vehicles, through the realization of a documentary and exploratory investigation, where it can be highlighted that until now it is used in the automotive industry. There are 2 types of hydraulic shock absorbers, monotubes and twin tubes, in different suspension systems, even though these types of shock absorbers have subdivisions such as the so-called pressurized and atmospheric ones. Likewise, these components do not escape the changes that are being requested in the world at the level of energy consumption of vehicles, reduction of fossil fuel consumption, design of electric vehicles, among others. Therefore, a large number of investigations have been carried out where systems for recovering energy from these components have been developed. At the same time, it has been shown that updating and improving the components of the suspension systems improves safety and comfort in vehicles.

Keywords: shock absorbers; suspension systems; vehicles.

Resumo

O trabalho de investigação tem por finalidade desenvolver sistematicamente a evolução dos amortecedores para veículos, através da realização de uma investigação documental e exploratória, onde se pode destacar que até agora é utilizado na indústria automóvel. Existem 2 tipos de choques hidráulicos amortecedores, monotubos e tubos duplos, em diferentes sistemas de suspensão, embora esses tipos de amortecedores tenham subdivisões como os chamados pressurizados e atmosféricos. Da mesma forma, esses componentes não escapam às mudanças que estão sendo solicitadas no mundo ao nível do consumo de energia dos veículos, redução do consumo de combustíveis fósseis, design de veículos elétricos, entre outros. Portanto, um grande número de investigações tem sido realizado onde foram desenvolvidos sistemas de recuperação de energia desses componentes. Ao mesmo tempo, foi demonstrado que atualizar e melhorar os componentes dos sistemas de suspensão melhora a segurança e o conforto dos veículos.

Palavras-chave: amortecedores; sistemas de suspensão; veículos.

Introducción

Los primeros vehículos automotrices, carecían de cualquier sistema de suspensión, solos los neumáticos se encargaban de disminuir y/o adsorber el movimiento producto de las discontinuidades del camino, esto debido a que las primeras unidades eran lentas y pesadas. A medida que los vehículos evolucionaban diseñándose y fabricándose más ligeros y rápidos, los ingenieros y diseñadores se percataron que era necesario un sistema de suspensión, puesto que era necesario para mejorar la seguridad y estabilidad del vehículo ya que se podría perder tracción y estabilidad, asimismo mejoraban la experiencia de los pasajeros en cuando a comodidad y transporte de la carga Caisaguano et al. (2020)

En ese mismo orden de idea, se puede decir que el sistema de suspensión inicia en el propio neumático, puesto que es capaz de disimular las irregularidades más pequeñas del camino, producto de a su propia naturaleza elástica, y finaliza en el asiento, último eslabón de la cadena camino-pasajero, como lo comenta Cancino (2017) y Chacón (2010)

Asimismo, a ser el neumático el único elemento del vehículo en contacto con el terreno, en consecuencia, es el único componente o parte del vehículo en transmitir el movimiento del motor y por ende del vehículo al suelo, logrando así el movimiento, por lo que se infiere que el principal

objetivo del sistema de suspensión es encargarse de mantener el contacto entre el neumático y el suelo. Y como objetivo secundario, proporcionar la máxima comodidad posible a los pasajeros y a la carga transportada, como expresan Fernandez (2012) y (Pérez, 2011)

Además, el sistema de suspensión al estar sometida a un nivel tan alto de exigencia, está siendo estudiado continuamente, realizando mejoras, ya que de este sistema depende fundamentalmente el comportamiento dinámico del vehículo.

El sistema de suspensión de un vehículo es el sistema donde se unen o confluyen los conceptos de masa suspendida y masa no suspendida. Se puede entender como la masa suspendida como los elementos o partes del vehículo cuyo peso es soportado por el chasis o bastidor del vehículo (grupo motriz, carrocería, pasajeros, etc.). Mientras que la masa no suspendida comprende los elementos que están permanentemente en contacto con el suelo, es decir, demás componentes no soportados por el bastidor o chasis (neumáticos, elementos estructurales de la suspensión, frenos, etc.) Martín (2016) y Arzola y Castro (2019)

De ese modo, podría decirse de manera resumida que las principales funciones del sistema de suspensión de un vehículo es soportar el peso del chasis y todos los componentes y sistemas, absorber las sacudidas de marcha, permitir al conductor dirigir el vehículo eficientemente y proporcionar confort y seguridad a sus ocupantes, Fernandez (2012), Martín (2016) y Cancino (2017). Cuando este sistema trabaja correctamente, se ejecutan cuatro tareas básicas:

- Mantener el contacto de los neumáticos con el suelo y la altura de marcha.
- Soportar el peso del vehículo.
- Reducir los saltos del vehículo en el camino y mantener el control.
- Mantener las ruedas alineadas.

Además, también es necesario que cumplan con otras funciones no menos importantes, como son:

- Transmitir las fuerzas de aceleración y de frenada entre los ejes y el bastidor.
- Resistir el par motor y de frenada
- Resistir los efectos de las curvas

Por lo antes expuesto para que el sistema de suspensión evite que las oscilaciones, saltos, vibraciones etc., se transmitan a los pasajeros o la carga. El sistema debe de contar con un conjunto de uniones elásticas bien elaboradas lo que conforman el sistema. Pérez (2011) así como Cancino (2017) y Chacón (2010), el sistema de suspensión está compuesto básicamente por tres tipos de elementos:

Elementos elásticos o flexibles: asegurar la adaptación a las irregularidades del terreno, así como, impedir que las oscilaciones del terreno lleguen a la carrocería en forma de golpes, además de maximizan el contacto con la carretera adaptándose a las condiciones del terreno. Cancino (2017) y Arzola y Castro (2019) esto se logra ya que estos elementos permiten transformar la energía cinética en energía elástica. Entre los componentes elásticos podemos nombrar los neumáticos, las ballestas, el muelle helicoidal, barra torsional, cojín neumático, entre otros.

Elementos de amortiguación: neutralizan las oscilaciones de la masa suspendida que son producidas por los elementos elásticos o flexibles al adaptarse a las irregularidades del terreno.

Otros elementos: tales como los brazos de suspensión o bieletas que son parte complementaria del sistema de suspensión.

De los elementos del sistema de suspensión el amortiguador cumple un papel importante, ya que transforman la energía cinética producida en el vehículo en calorífica, existen varios tipos de amortiguadores. Para ampliar con más detalle, el vehículo junto con sus neumáticos constituye un sistema que está vibrando, el cual necesita de amortiguadores con el fin de prevenir la resonancia, disminuir las respuestas de sobresalto y facilitar su control. Se han desarrollado diversos tipos de amortiguadores a través de la historia los cuales se clasifican de la siguiente manera:

1. Amortiguadores de fricción seca con elementos sólidos.
 - a. Amortiguadores de tijera.
 - b. Amortiguadores tipo snubber
2. Amortiguadores hidráulicos
 - a. Amortiguadores tipo lever-arm.
 - b. Amortiguadores telescópicos.

Los amortiguadores de fricción seca fueron desarrollados a principios del siglo XX y actualmente no se usan. En estos amortiguadores, la efectividad de la disipación de energía dependía de la fricción entre las placas de las cuales están compuestos. La fricción entre estas placas puede modificarse mediante tornillos, los cuales pueden presionar más o menos las placas, según se quiera (León, 2014).

Bajo un principio similar funciona el amortiguador tipo snubber, el cual tenía como ventaja un menor costo de producción. En muchas ocasiones se seleccionaba este amortiguador a pesar de tener un menor desempeño que el amortiguador de tijera León (2014) y Cancino (2017)

Los amortiguadores hidráulicos son lo que actualmente se emplea en la industria Arzola y Castro (2019) y Fernandez (2012) y existen 2 tipos los bitubos y los monotubos.

Los amortiguadores telescópicos bitubo son los más usados en la actualidad, dividiéndose a su vez en amortiguadores bitubo no presurizados o atmosféricos, y los presurizados, los amortiguadores bitubo consta de 2 cámara, la interior y las de reserva. Por otro lado, los amortiguadores monotubo el diseño y construcción de este tipo de amortiguador fue después de los amortiguadores bitubo, y se emplearon inicialmente en vehículos de competición, sin embargo, ultimadamente se están utilizando en vehículos utilitarios.

En todos los casos, en los amortiguadores hidráulicos se usa un fluido (aceite o gas) que se encarga de adsorber las oscilaciones a que está sometido el vehículo.

Paralelamente hay compañías que han diseñado y utilizado desde varios años amortiguador hidroneumático. Estos están compuestos por esferas metálicas llenas de gas y un fluido de trabajo (aceite), los cuales están separados por una membrana; las esferas están situadas una en cada neumático y otra central que las conecta a todas mediante un circuito hidráulico y hace la función de acumulador (Fernandez, 2012)

De la misma forma existe los amortiguadores o amortiguación neumática, este sistema de amortiguación está formado por una cámara llena de aire comprimido y un vástago que se introduce en ella presionando el gas. En este sistema se tiene la capacidad de modificar la presión interna de la cámara, de forma que se puede variar la constante de amortiguamiento del sistema. Además, como en el caso anterior, esta suspensión permite la variación de la altura del vehículo. Está formada, además del grupo amortiguador principal, de una bomba depresión o compresor, que alimenta mediante un circuito los amortiguadores y de un grupo de electroválvulas que permiten o restringe el paso del caudal de aire comprimido. (Fernandez, 2012).

Metodología

La presente investigación es descriptiva y documental, puesto que se basa en una amplia investigación acerca de la evolución de los amortiguadores que se usan en el sistema de suspensión de los vehículos, se investigó acerca de los diferentes tipos de amortiguadores, los que actualmente se está usando en el mercado, así como los avances relacionados a estos componentes, no hubo manipulación de las variables, además sirvió para comprender la ingeniería del sistema de suspensión, la importancia del objeto de análisis según la evidencia bibliográfica recolectada y

obtener información que sirva de base para investigaciones futuras que profundicen los hallazgos de esta investigación

Debido a la fuente de donde se recuperó la información, el tipo de investigación es bibliográfica, la información recolectada se basa en una revisión de fuentes primarias de estudios observacionales, longitudinales, prospectivos y retrospectivos en revistas científicas, tesis de grado de cuarto y quinto nivel. Se extrajeron los resultados más relevantes para interpretarlos; algunas fuentes secundarias dieron forma a la teoría de la investigación conforme al tema en estudio.

La información presentada en esta investigación fue recopilada por medio de diversas fuentes tanto documentales como de referencias, en repositorios y bibliotecas en línea de universidades, además tanto la información primaria como la secundaria se tomó de distintos artículos científicos, sitios web especializados en diseño e ingeniería automotriz, de esta manera se garantiza que la información recabada sea lo más fidedigna y pertinente al tema de investigación.

Criterios de selección de la información

La selección de la información se realizó con el siguiente criterio:

1. Artículos de revista arbitradas e indexada.
2. Tesis de maestría o doctorado de universidades del mundo donde se desarrolle el tema.
3. Artículos científicos donde se incluyan información acerca del sistema de suspensión de vehículos.

Estrategias de búsqueda de la información

Una vez identificado los términos del tema a desarrollar, la búsqueda de información se efectuó en bases de datos documentales y referenciales en el motor de búsqueda Google Scholar.

Resultados y discusión

Como resultado de esta investigación se puede exponer en primer lugar, los sistemas de suspensión en los vehículos automotores están conformados por diferentes elementos que entre todo ellos, transmiten confort y seguridad al vehículo. Unos de los componentes esenciales del sistema de suspensión son los amortiguadores ellos se encargan de transforman la energía cinética productos de las oscilaciones o vibraciones que se transmiten al vehículo cuando este está en marcha.

Independientemente de la clase de amortiguador estos usan un fluido gracias a las propiedades de este, permite contrarrestar los efectos de las vibraciones, usando la reología y las leyes físicas asociadas a esta ciencia Sanz et al. (2018). Avances en esta materia han permitido que actualmente

a partir de las características del fluido utilizado se logre modificar sus propiedades a través de estímulos magnéticos Masaquiza et al. (2021) y (Fernandez, 2012).

Por lo antes expuesto, se ha desarrollado los amortiguadores magneto reológicos, donde a través de dispositivos de control permiten proveer una rápida respuesta a las oscilaciones del vehículo. Esto abre una nueva clasificación para los sistemas de suspensión, por lo que se pueden diferenciar según su construcción y ensamblaje, entre las que se pueden nombrar suspensiones rígidas, semi-independientes e independientes Pérez (2011) y Fernandez (2012)

En ese orden de ideas, se reconoce otro tipo de suspensión dependiendo de la forma en la que estas puedan variar su comportamiento: suspensiones pasivas puesto que no permiten la variación de su comportamiento con el vehículo en movimiento, o suspensiones activas: recurren a actuadores para mitigar los movimientos de la carrocería entre otros. o suspensiones semi-activas: permiten variar el comportamiento de los elementos de suspensión con el vehículo en movimiento Masaquiza et al. (2021); Chacón (2010) y Ghazaly y Moaaz (2014)

Los amortiguadores empleados en los sistemas de suspensión activos o inteligentes al igual que los semi-activos, el fluido que emplean es un fluido viscoso el cual necesita un voltaje de control y contienen un fluido controlable como componente fundamental. La ventaja de estos amortiguadores con respecto a los amortiguadores pasivos (amortiguadores convencionales) es que se puede controlar su viscosidad y por ende su coeficiente de amortiguamiento en conjunto con la fuerza generada Masaquiza et al. (2021).

Existen numerosas investigaciones y trabajos relacionados con el sistema de suspensión, donde a través de simulaciones, cálculos matemáticos, análisis de la física asociada a la transformación de energía, banco de pruebas Pérez (2019) y permiten desarrollar e implementar mejoras en los sistemas de suspensión.

Por otro lado, la industria automotriz está haciendo frente a grandes desafíos, implementar sistemas de fabricación ecológica, la crisis energética, el aumento del uso de diferentes tipos de energía renovable que en un largo plazo podrían reemplazar el uso de combustibles fósiles tradicionales, que dañan tanto el medio ambiente como la salud pública.

En la búsqueda de obtener energía limpia, se han enfocado en convertir la energía que de alguna forma se desecha en el entorno ambiental, en energía útil. Esta tecnología también se utiliza en el campo de la alimentación de sensores inalámbricos para evitar el uso de baterías convencionales que necesitan ser reemplazadas o recargadas periódicamente. La energía eléctrica para el

funcionamiento de este tipo de dispositivos podría obtenerse de diversas fuentes de energía disponibles en el entorno ambiental, por ejemplo, energía solar, energía térmica, mecánica energía de vibración, así como la energía eólica, la energía acústica y las olas del océano Al-Yafeai et al. (2020)

En este mismo orden de idea, las vibraciones mecánicas a través del elemento piezoeléctrico es una fuente alternativa apropiada de recolección de energía debido a su disponibilidad en muchos entornos diferentes. Como por ejemplo en los sistemas de suspensión, es por ello que actualmente existe investigaciones donde se evalúa la recuperación de energía en este sistema, tales como los trabajo de Lafarge et al. (2015), Al-Yafeai et al. (2020) y Zhen y Baifu (2019)

Por citar algunos trabajos, se ha demostrado que a través de estos dispositivos se han logrado a través de simulaciones matemáticas, comprobado con dispositivos de laboratorio, que se ha logrado medir y obtener voltajes en el orden de 19,11 V y potencia en 36,74 mW. La variación del voltaje y potencia vs. Frecuencia mostró una tendencia similar a la de la velocidad del carro. Esto se debe a la correlación directa entre la velocidad y la frecuencia Al-Yafeai et al. (2020)

Otro trabajo sobre el mismo tema concluye que los resultados numéricos confirmaron la viabilidad y eficacia del modelo propuesto al aumentar la energía eléctrica recolectada de 3 a 5 W, de 0,2 W a 10 W y de 1 a 40 W durante los movimientos del automóvil en carretera clase C. Este estudio ha mostrado resultados destacados logrando el mejor rendimiento del 32,2 % en comodidad de conducción en comparación con modelos anteriores en la literatura. Las pruebas experimentales con un prototipo de vehículo eléctrico serían títulos intrigantes para nuestro trabajo futuro Touairi y Mabrouki (2021)

Referencias

1. Al-Yafeai, D., Darabseh, T., & Mourad, A.-H. I. (2020). A State-Of-The-Art Review of Car Suspension-Based Piezoelectric Energy Harvesting Systems. *Energies* , 13 (9).
2. Arzola, N., & Castro, C. (2019). Análisis del comportamiento dinámico de una suspensión de vehículo independiente de doble horquilla. *Logos Ciencia & Tecnología* , 11 (2).
3. Caisaguano, E., Manopanta, J., Guasumba, J., & Briceño, B. (2020). Análisis dinámico de los amortiguadores automotrices de vehículos sedan, caso de estudio. *Revista Científica Dominio de las Ciencias* , 6 (5), 56 - 73.

4. Cancino, K. (2017). *Diseño de una suspensión para un vehículo automóvil Toyota Yaris 2008 basado en un amortiguador magneto reológico en la region de Puno 2015*. Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Facultad. Puno, Peru: Universidad Nacional del Altiplano.
5. Chacón, V. (2010). *Diseño de una suspensión para un vehículo automóvil basada en amortiguadores magneto - reológicos*. Departamento de Ingeniería Mecánica. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid.
6. Correa, K., & Flores, S. (2021). *Estudio comparativo de las oscilaciones de trabajo de la suspensión en sistema uniball*. Facultad de Ingeniería Mecánica Automotriz. Quito: Universidad Internacional del Ecuador.
7. Fernandez, A. (2012). *Modelos de un amortiguador magneto - reológico*. Escuela Politécnica Superior. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid.
8. Ghazaly, N., & Moaaz, A. (2014). The Future Development and Analysis of Vehicle Active Suspension System. *Journal of Mechanical and Civil Engineering* , 11 (5), 19 - 25.
9. Lafarge, B., Delebarre, C., Grondel, S., Curea, O., & Hacala, A. (2015). Analysis and Optimization of a Piezoelectric Harvester on a Car Damper. *Physics Procedia* , 70, 970 - 973.
10. León, J. (2014). *Análisis Térmico de un amortiguador por medio de CFD*. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Mecánica. Bogotá: Universidad de los Andes.
11. Martín, F. (2016). *Estudio de la dinámica vehicular, de los diferentes tipos y la homologación de sus sistema de suspensión, así como el cálculo de los parámetros fundamentales de la suspensión de un vehículo turismo de competición*. Escuela Politécnica Superior. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid.
12. Masaquiza, Á., Ballesteros, J., Miranda, O., & Rocha, J. (2021). Estudio de características e innovaciones tecnológicas del amortiguador de sistema de suspensión para vehículos. *Revista Científica Dominio de las Ciencias* , 7 (1), 702-721.
13. Pérez, A. (2011). *Desarrollo de una suspensión semi-activa en un vehículo automóvil basado en lógica fuzzy*. Departamento de Ingeniería Mecánica. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid.

14. Pérez, P. (2019). *Investigación del comportamiento y confort de la suspensión de un vehículo para un modelo de cuarto de coche (QCM), medio coche (HCM) y coche completo (FCM) usando Simuik - Matlab*. Oviedo: Universidad de Oviedo.
15. Sanz, G., Echávarri, J., Chacón, E., Herrera, I., Salmerón, A., Pérez, T., y otros. (2018). Evaluación de fricción en amortiguadores y contraste de resultados con diferentes aceites y recubrimiento DLC. *XXII Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica, Actas* (págs. 1350 - 1357). Madrid: Memorias Investigación.
16. Touairi, S., & Mabrouki, M. (2021). Control and modelling evaluation of a piezoelectric harvester system. *International Journal of Dynamics and Control volume , 9*, 1559 - 1575.
17. Zhen, T., & Baifu, J. (2019). Energy Harvesting from Vehicle Suspension System by Piezoelectric Harvester. *Mathematical Problems in Engineering , 2019*.