



Uso e importancia de las suspensiones hidroneumáticas en vehículos de carga

Use and importance of hydropneumatic suspensions in cargo vehicles

Utilização e importância das suspensões hidropneumáticas em veículos de carga

Tobias Elíceo Cueva Cevallos ^I
tobias.cueva190@ist17dejulio.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-5984-1283>

Marcelo Guevara ^{II}
mguevara@ist17dejulio.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-1205-9099>

Javier Rosalino Tello Guzmán ^{III}
jtello@ist17dejulio.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-9200-8477>

Correspondencia: tobias.cueva190@ist17dejulio.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 23 de julio de 2022 * **Aceptado:** 12 de agosto de 2022 * **Publicado:** 15 de septiembre de 2022

- I. Instituto Superior Tecnológico 17 de julio, Urcuqui, Ecuador.
- II. Instituto Superior Tecnológico 17 de julio, Urcuqui, Ecuador.
- III. Instituto Superior Tecnológico 17 de julio, Urcuqui, Ecuador.

Resumen

En busca de mejorar el confort en la conducción, así como la seguridad en el manejo en las cambiantes condiciones del terreno, el sistema de suspensión juega un papel destacado, en función del tipo de sistema de suspensión que este instalado en el vehículo, el peso de la carga puede incluir en el comportamiento de este, y por lo tanto en rendimiento y respuesta a las condiciones del entorno, es por ello que en este trabajo de investigación se plantea como propósito evaluar la importancia y el uso de los sistemas de suspensión hidroneumáticos en los vehículos de carga, puesto que estos sistemas como se demostrara de manera conceptual en este trabajo, permite mejorar significativamente el comportamiento del vehículo en diferentes condiciones, la metodología empleada se enmarca en desarrollar una investigación teórica básica de tipo documental y descriptiva, basando en la revisión de literatura científica.

Palabras Clave: suspensión hidroneumática; vehículos de carga; aplicaciones.

Abstract

In search of improving driving comfort, as well as driving safety in changing terrain conditions, the suspension system plays an important role, depending on the type of suspension system that is installed in the vehicle, the weight of the load can include in its behavior, and therefore in performance and response to environmental conditions, that is why in this research work the purpose is to evaluate the importance and use of hydropneumatic suspension systems in cargo vehicles, since these systems, as demonstrated conceptually in this work, allow to significantly improve the behavior of the vehicle in different conditions, the methodology used is framed in developing a basic theoretical research of documentary and descriptive type, based on the review of scientific literature.

Keywords: hydropneumatic suspension; cargo vehicles; Applications.

Resumo

Em busca de melhorar o conforto de condução, bem como a segurança de condução em condições de terreno variáveis, o sistema de suspensão desempenha um papel importante, dependendo do tipo de sistema de suspensão que está instalado no veículo, o peso da carga pode incluir no seu comportamento, e, portanto, no desempenho e resposta às condições ambientais, por isso neste trabalho de pesquisa o objetivo é avaliar a importância e uso de sistemas de suspensão

hidropneumática em veículos de carga, uma vez que esses sistemas, conforme demonstrado conceitualmente neste trabalho, permitem melhorar significativamente a comportamento do veículo em diferentes condições, a metodologia utilizada está enquadrada no desenvolvimento de uma pesquisa teórica básica do tipo documental e descritiva, baseada na revisão da literatura científica.

Palavras-chave: suspensão hidropneumática; veículos de carga; Formulários.

Introducción

Los vehículos de carga terrestre cumplen el propósito de trasladar mercancías, materias primas, productos y demás, de un lugar a otro, el tipo de vehículo requerido dependerá de la cantidad, tipo, peso de la carga, y la distancia a recorrer, sin embargo, en cualquier caso, la conducción y maniobrabilidad del vehículo debe ser segura, y comfortable.

En consecuencia, los vehículos deben operar de manera consistente y con las mismas prestaciones en los distintos ambientes y terrenos por lo que estos, deben de contar con un sistema provea seguridad activa y a su vez aportar confort, permitiendo absorber las irregularidades del camino. Es aquí donde el sistema de suspensión cumple con esto requerimientos, y del mismo modo garantiza el contacto de los neumáticos con el pavimento (Cáceres, 2021).

En el mismo orden de idea, los vehículos al estar sujeto a las condiciones topográficas, los cambios de velocidad tanto al avanzar como en el momento del frenado, así como, los cambios de dirección que realiza el conductor al maniobrar, las condiciones orográficas y climáticas en el lugar donde este conduciendo, son factores que influye en su comportamiento, lo que, a su vez somete al sistema de suspensión a grandes exigencia que afecta el comportamiento dinámico del vehículo (Arzola y Castro-Torres, 2019).

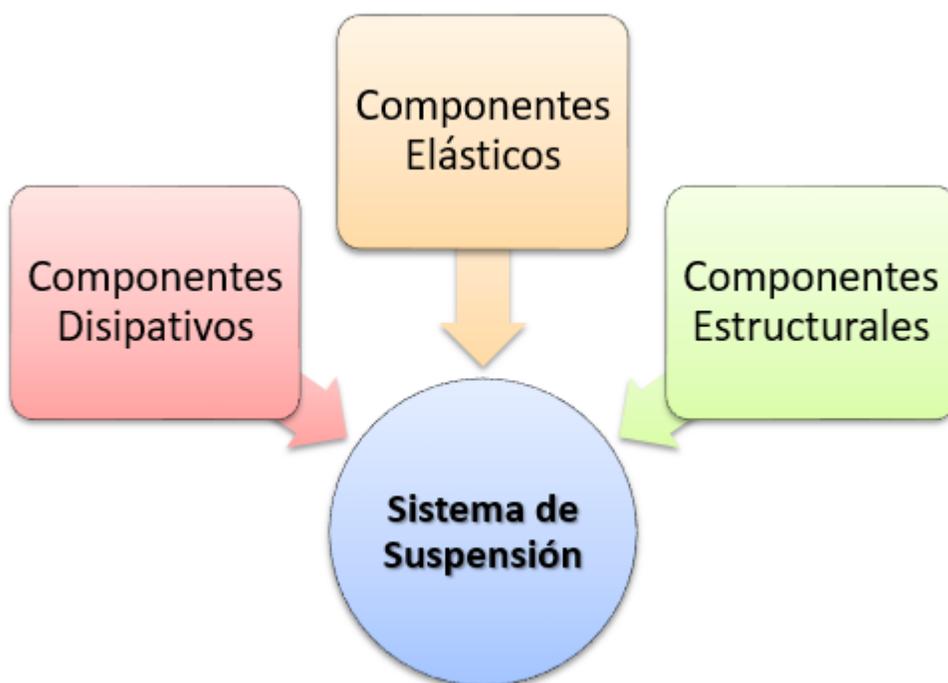
Es por ello, que el sistema de suspensión es uno de los sietes sistemas principales de un vehículo, puesto que está diseñado para garantizar el contacto de los neumáticos con la calzada y mitigando las oscilaciones presentes en el vehículo tales como: empuje, cabeceo, bamboleo, las cuales son provocadas principalmente por: irregularidades de la carretera, acción de masas giratorias (motor y transmisión) y acciones aerodinámicas (Cáceres, 2021).

En el mismo orden de idea, la suspensión tiene como propósito absorber la mayor cantidad de energía en forma de vibraciones, provocada por las irregularidades del terreno. Por lo que el sistema cuenta con un medio elástico entre los neumáticos y el bastidor, que se deformará debido al propio

peso del vehículo y a su vez, absorberá energía debido a la inercia producida al elevarse o descender por las irregularidades de la calzada, y se liberará al momento que regrese a la posición inicial. Igualmente, el sistema de suspensión está compuesto principalmente por 3 componentes o elementos, ver figura 1, los cuales son: el componente flexible o elástico que lo constituye las ballestas, muelles helicoidales, las barras de torsión, y el cojín neumático, siendo su función es absorber la energía producida por las irregularidades del terreno. El componente disipativo que lo constituye los amortiguadores, y se encargan de controlar los rebotes que generan los elementos elásticos. Por último, el componente estructural o de guía, los cual lo constituyen elementos tales como las barras estabilizadoras, tirantes de reacción o barras transversales (Limiñana, 2021).

Figura 1

Componentes del sistema de suspensión



Autor: propia a partir de (Limiñana, 2021)

Asimismo, el sistema de suspensión además de su función principal, también cumple con otras funciones tales como: transmitir la aceleración, resistir el frenado, soportar el peso del vehículo, presentar estabilidad en curvas (Bancayan, 2020).

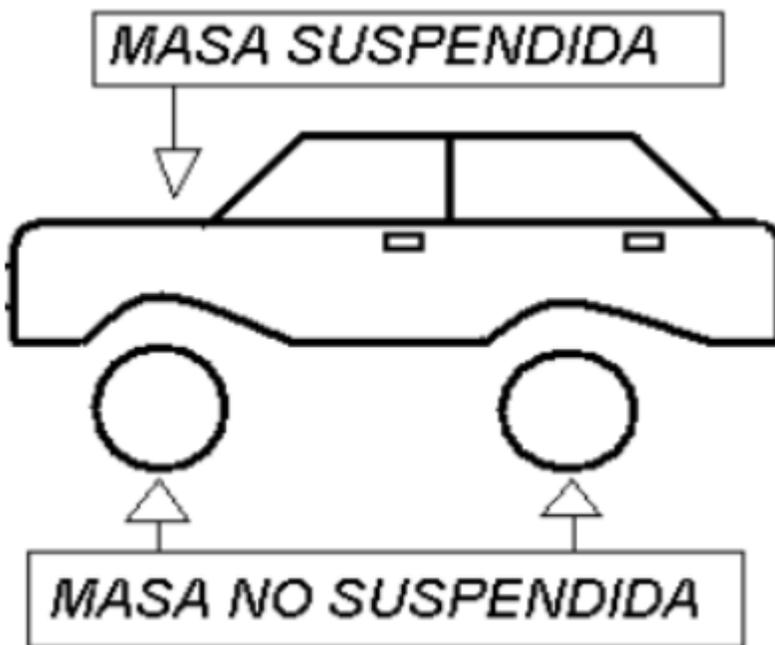
En consecuencia. Se puede resumir que la función del sistema de suspensión es soportar el peso de bastidor, todos los elementos y componentes del vehículo, así como el peso de los ocupantes y la

carga, además de facilitar la conducción, del mismo modo, proporcionar confort y seguridad a sus ocupantes y la carga. De igual modo, el sistema de suspensión mantiene unidas las masa suspendida y masa no suspendida, ver figura 2. El correcto funcionamiento del sistema de suspensión realiza las siguientes tareas (Alvarado-Soshina et al., 2022):

- Mantener el contacto de los neumáticos y la calzada, así como la altura de marcha.
- Disminuir los saltos del vehículo por las irregularidades del camino y mantener el control.
- Conservar las ruedas alineadas
-

Figura 2

Función del sistema de suspensión, para sujetar la masa suspendida de la no suspendida



Fuente: (Puyol y Velásquez, 2019)

En este sentido, las suspensiones hidroneumáticas, gracias a su diseño compacto y flexibilidad, se a implementado en vehículos comerciales de carretera y todoterreno, su rigidez neumática no lineal y amortiguación hidráulica pueden proporcionar una mayor atenuación de las vibraciones producto de las irregularidad del terreno, bajo grandes variaciones de carga útil, y a la vez permite un mejor rendimiento en el manejo a través de interconexiones de ejes cruzados o intervenciones de control electrónicos (Yin et al., 2018)

Por consiguiente, el propósito de este trabajo de investigación es evaluar el uso y la importancia que tiene los sistemas de suspensión hidroneumática en vehículos de carga, centrado los objetivo en describir de manera teórica y documental los beneficios que presenta este tipo de suspensión en el transporte de carga. Por lo que se produjo una minuciosa revisión en la literatura científica consiguiendo plasmar los basamentos generales de la importancia y empleo de las suspensiones hidroneumáticas.

Metodología

Con el objetivo de evaluar el uso y la importancia del sistema de suspensión hidroneumática en los vehículos de carga, se plantea una metodología que permita exponer de manera clara y con rigor académico las características más resaltantes de las suspensiones hidroneumáticas, por lo que esta investigación se considera como una investigación descriptiva, y a su vez, no experimental ya que no se pretende en ningún caso manipular variables (Hernández et al., 2014).

De igual modo, se espera conseguir como resultado un marco conceptual y general sobre el uso de este tipo de suspensiones por lo que esta investigación al mismo tiempo se considera como una investigación teórica básica (Mejías, 2005)

En el mismo orden de idea, considerando que la información mostrada en esta investigación, las bases teóricas expuesta en este trabajo son obtenidas mediante un análisis sistemático de trabajos con interés académico, relacionados con los sistemas de suspensión hidroneumática, los cuales se consideraron los que provenían de revistas indexadas, así como, trabajo de grados a nivel de pregrado, maestrías y doctorados de instituciones universitarias. Por lo cual este trabajo además de ser de tipo descriptivo, teórico básico también es considerado documental (Bernal, 2010).

Se usaron como herramienta para la búsqueda de la información, buscadores webs enfocados en artículos científicos y repositorios académicos, tales como Google académico, MDPI, Springer, Resarchgate, usando las palabras claves, vehículos de carga, suspensión hidroneumática, suspensiones, diseño de suspensiones.

Resultados y discusión

El sistema de suspensión es uno de los componentes más importante de los vehículos, puesto que este es el garante de mantener la estabilidad del vehículo en los diferentes terrenos, y a su vez

mantener el confort de los ocupantes y la carga, existe diferentes tipos o clases de suspensión, entre los cuales se tienen la suspensión pasiva, la suspensión semiactiva y la activa (Yang et al., 2021) Asimismo, se puede entender que la suspensión pasiva se caracteriza por mantener constantes los valores de amortiguación, es decir de ninguna manera se puede modificar sus prestaciones en función de las condiciones de la carretera y carga del vehículo (Limiñana, 2021)

En el mismo orden de idea, la suspensión pasiva también se puede considerar como suspensión mecánica, cuyo comportamiento esta asociado con sus componentes y esto se ven afectado o influenciado por el aumento de la carga del vehículo, puesto que esta produce la deflexión estática del elemento elástico (muelles helicoidales, por ejemplo), reduciendo significativamente el rango de carrera del resorte, provocando eventualmente golpes del neumático con la masa suspendida del vehículo. El rango completo de deflexión del resorte es la suma de la deflexión estática y la deflexión dinámica (Paredes y Silva, 2019)

Asimismo, las suspensiones pasivas no son capaces de hacer frente a todas las exigencias a las que se somete los vehículos. Por lo que, Actualmente, las tendencias en el desarrollo de los sistemas de suspensión de los vehículos se encuentra los sistemas de suspensión semiactiva, activa y adaptativa que permiten ajustar los parámetros de suspensión a las condiciones específicas de la carretera y al estilo de conducción (Kwon et al., 2020)

Igualmente, los parámetros estructurales de la suspensión pasiva, de ningún modo se pueden modificar o ajusta, por lo que no considera el desempeño dinámico. Por otro lado, la suspensión controlable es decir la suspensión semiactiva y la suspensión activa, se logra adecuar la amortiguación o la rigidez del sistema de acuerdo con las condiciones de la carretera, obtener un óptimo desempeño en la conducción (Bancayan, 2020)

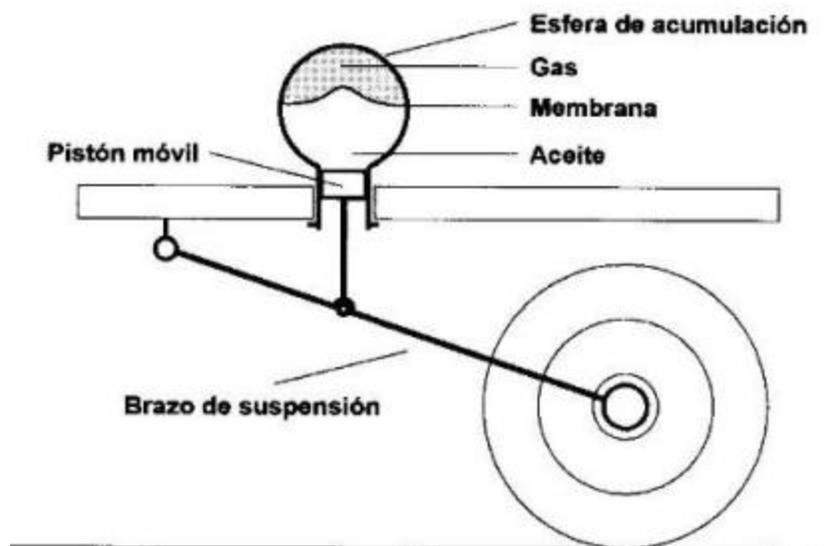
En efecto, existe sistemas de suspensión donde los componentes del sistema difieren con respecto a los sistemas de suspensión convencionales, dado que, no utilizan componente elástico (muelles o ballestas) y así como una variación de los componentes disipativos (amortiguador), ver figura 3. Estos componentes son sustituidos por sistemas hidráulicos y/o neumáticos que cumplen la función de los amortiguadores y los muelles, al mismo tiempo, a través de dispositivos electrónicos permiten modificar su comportamiento por lo que se consideran sistemas de suspensión activa.

En este sentido, en caso de suspensión hidroneumática o neumática, la deflexión estática no depende de la carga, por lo que el rango completo de la carga del resorte es igual a la deflexión dinámica. De ningún modo se presenta la disminución de la distancia entre la masa suspendida y

el neumático con el aumento de la carga estática, como ocurre con los sistemas de suspensión pasiva ya expuestos anteriormente (Paredes y Silva, 2019) y (Yang et al., 2021)

Figura 3.

Esquema básico de un sistema de suspensión hidroneumática



Fuente: (Limiñana, 2021)

Por consiguiente, los sistemas de suspensión hidroneumática y neumática son ampliamente empleados en vehículos de alto rendimiento, así como en camiones, tanto rígidos como articulados conocidos también como tractocamión y remolques o semirremolques, autobuses, puesto que permite un comportamiento al conducir seguro, confortable y uniforme sin considerar si se encuentra cargado o no el vehículo, disminuyendo por lo tanto los daños al asfalto de la calzada (Arce, 2019)

En el mismo orden de idea, los sistemas de suspensión hidroneumáticos, ver figura 4, al contar con varios sensores electrónicos y sistema de control, se logra dar seguimiento a través de la computadora, factores como el peso del vehículo, la velocidad, ángulo de dirección, fuerza de frenado, y la aceleración. De este modo al procesar los datos obtenidos de los sensores, la computadora envía, señales a las válvulas de control de flujo del sistema logrando que el sistema de suspensión tenga un comportamiento más rígido o más suave (Rodríguez, 2018).

Además, el sistema de suspensión hidroneumática no solamente se emplea para el transporte de carga, ni vehículos de altas prestaciones, sino también se pueden emplear en vehículos médicos, tales como las ambulancias, donde las vibraciones y la inestabilidad del vehículo en movimiento fácilmente puede producir náuseas en el paciente, y por tanto deterioro de la salud de estos, puestos que son particularmente sensible incluso a la mínima intensidad de vibración. Por lo que el rendimiento general para el paciente acostado se puede mejorar significativamente mediante la optimización de parámetros del sistema de suspensión hidroneumático (Tan et al., 2019)

De igual modo, las suspensiones hidroneumáticas son ampliamente utilizadas en los vehículos especiales equipados con orugas, puesto que deben adaptarse a terrenos difíciles, así como a cargas irregulares y manteniendo la maniobrabilidad y sin disminuir el rendimiento de conducción. Gracias a un excelente comportamiento, los vehículos con orugas pueden manejar mejor la divergencia entre la comodidad en la conducción y la estabilidad (Qin et al., 2021)

Dentro de este marco, se puede decir que el rendimiento del sistema de suspensión tiene un efecto directo en la comodidad, la estabilidad y la seguridad de conducción de un vehículo durante la conducción, lo cual es una parte importante del desarrollo de los vehículos, de igual modo, permite brindar seguridad a los ocupantes, al propio vehículo, y a la carga que traslada el camión o transporte de carga. Visto de otra forma, tanto la cabina del camión como el remolque, de ningún modo estará sometido a cualquier clase de vibraciones causadas por la carretera y/o terreno (Rodríguez, 2018)

Siguiendo el caso de los vehículos especiales como los vehículos con orugas, se han realizado un conjunto de diseño de sistema de suspensión hidroneumática para el chasis de orugas de un vehículo de carretera-ferrocarril, puesto que es imprescindible que este pueda adaptarse a la superficie accidentada y desigual de la carretera junto al ferrocarril. Por lo que gracias a un sistema de modelado y una verificación experimental se ha logrado demostrar que el rendimiento de conducción del vehículo mejora notablemente, teniendo en cuenta los factores como el diámetro de la tubería de amortiguación, la longitud de la tubería de amortiguación, el volumen de gas contenido en el sistema. Concluyendo que, para este caso, es importante encontrar el diámetro óptimo de la tubería de amortiguación y el volumen de gas adecuado del cilindro hidroneumático (Qin et al., 2021).

En relación con la idea anterior, la aplicación y/o evaluación de la suspensión hidroneumáticas en vehículos de carga del tipo articulados con dirección en el bastidor, los cuales se emplean

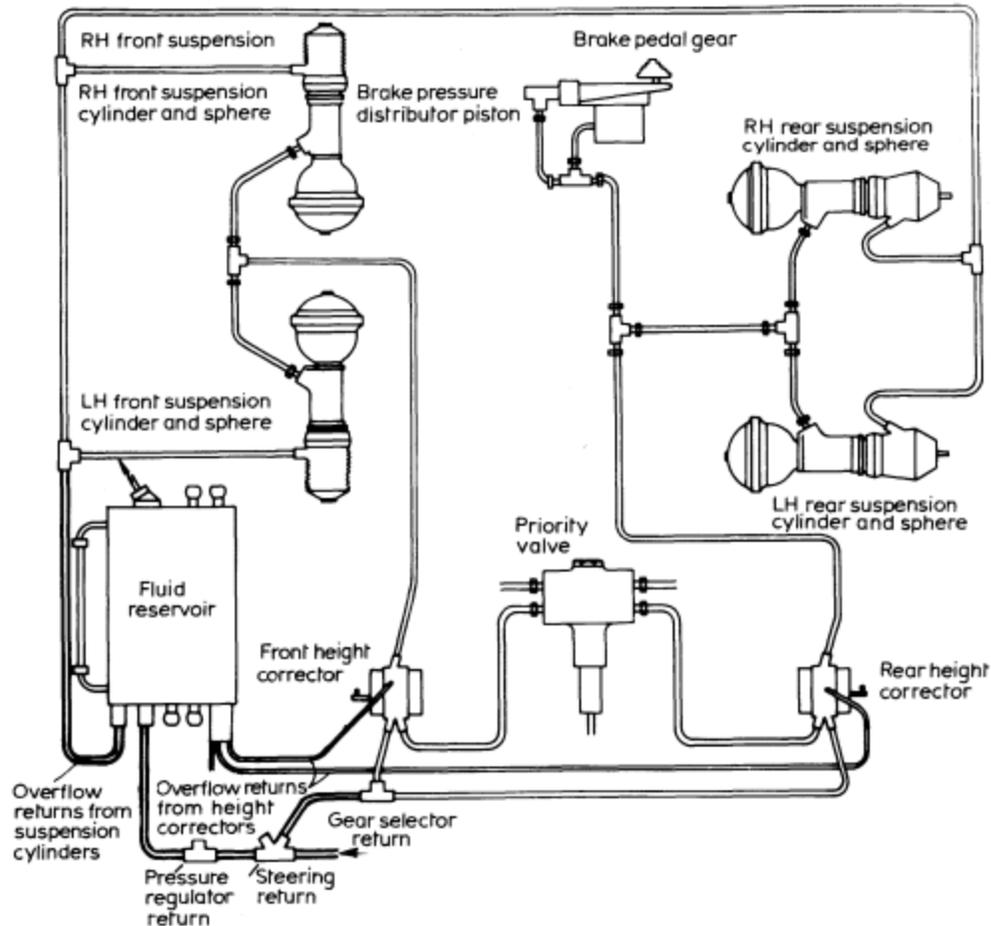
ampliamente en los sectores de la agricultura, la construcción, la silvicultura y la minería por sus mejores prestaciones de tracción y movilidad/maniobrabilidad en todoterreno. Es por ello que estos vehículos están presenta vibraciones en marcha de gran magnitud y límites de estabilidad direccional, lo que a su vez provocan una exposición considerable de los operadores a vibraciones (Rakheja et al., 2019)

Siguiendo lo antes planteado, se han propuesto muchos diseños de suspensiones para mejorar el rendimiento de conducción del vehículo, mientras que sus implementaciones en vehículos todoterreno se han visto limitadas, por lo que se han empleado el uso de la suspensión hidroneumática obteniendo resultados importante, como que se puede preservar los límites de la estabilidad direccional, al mismo tiempo se reduce la vibración a la que está expuesto los operadores en casi un 30%, en comparación con otros vehículos que no cuentan con este sistema (Rakheja et al., 2019)

Igualmente, con el desarrollo vehículos autónomos, y los requerimientos para los vehículos inteligentes han aumentado, por lo que un sistema de suspensión controlable muy favorable, por los que los sistemas de suspensión activa son ampliamente utilizados, por lo que Wang et al. (2018) desarrollaron una pala cargadora o payloader con suspensión hidroneumática interconectada para lograr un mejor rendimiento de conducción. Los resultados muestran que el control de los parámetros de suspensión hidroneumática sobre la base del reconocimiento del nivel de la carretera puede mejorar efectivamente las prestaciones de la pala cargadora.

Figura 4

Esquema general de un sistema de suspensión hidroneumáticas



Fuente: (Campbell, 1981)

Es conveniente explicar que, para los vehículos de transporte pesado es muy importante un diseño de suspensión adecuado en comparación a los vehículos turismo debido a que el comportamiento dinámico es bastante diferente. Debido a la alta frecuencia del manejo en condiciones de todo terreno. Igualmente, los comportamientos de cabeceo y balanceo de los vehículos pueden influir significativamente en el rendimiento (Kwon et al., 2020).

Por otro lado, la suspensión hidroneumática presenta ciertas ventajas si se compara con otros sistemas de suspensiones tales como ahorro de espacio, peso ligero y un diseño flexible debido a las características de amortiguación y resorte no lineal. No obstante, también presenta desventajas, especialmente en términos de costo y mantenimiento. Por lo que, y como se ha comentado anteriormente este sistema de suspensión es montado principalmente en vehículos especiales, como vehículos comerciales pesados o militares (Kwon et al., 2020).

Es importante comentar que el sistema de suspensión el núcleo principal es la bomba hidráulica, ver figura 4, además cuenta con un circuito hidráulico que consta de tuberías que suministra el aceite a presión y un sistema de tubería de retorno, además cuentan con varios sensores, dispositivos de control, que permite controlar y monitorear el comportamiento de la suspensión (Campbell, 1981).

Conclusión

En el marco de los expresado acerca de los sistemas de suspensión hidroneumáticas, se puede resolver que este tipo de sistema representa un avance significativo en el confort en el manejo en el transporte de carga, puesto presenta muy interesantes y significativas ventajas desde el punto de vista de la seguridad en la conducción, confort de los ocupantes y la carga, así como la adaptación del vehículo tanto a las condiciones del terreno, del mismo modo a las características de la carga. De igual manera, este tipo de sistema de suspensión es aplicable a una gran cantidad de vehículos tanto de carga, de aplicaciones especiales, y a vehículos del tipo turismo y de altas prestaciones. Además, gracias a los análisis de la hidráulica, la física y las matemáticas adecuadas juntos con sistemas de computación, se pueden obtener datos que permiten diseñar y optimizar los sistemas de suspensión hidráulicas.

Referencias

1. Alvarado-Soshina, Y., Cando-Galeas, M., Criollo-Yanchatipan, L., & Cabascango-Camuendo, C. (2022). Evolución de los amortiguadores para vehículos. Una revisión sistemática. *Polo del conocimiento*, 7(2), 312-322. doi:10.23857/pc.v7i4.3826
2. Arce, J. (2019). Elaboración de un protocolo de servicio de mantenimiento preventivo y correctivo de los sistemas de dirección y suspensión de tractocamiones para su aplicación en los talleres de la empresa Krenco Services E.I.R.L. - Callao. Facultad de Ingeniería y Gestión, Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Villa El Salvador: Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur. Obtenido de <http://repositorio.untels.edu.pe/jspui/handle/123456789/382>
3. Arzola, N., & Castro-Torres, C. (2019). Análisis del comportamiento dinámico de una suspensión de vehículo independiente de doble horquilla. *Logos Ciencia & Tecnología*, 11(2). doi:10.22335/rlct.v11i2.641

4. Bancayan, J. (2020). El sistema de suspensión asistido. Facultad de Tecnología, Escuela Profesional de Electromecánica. Lima: Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.14039/5525>
5. Bernal, C. A. (2010). Metodología de la Investigación (Tercera ed.). Colombia: Prentice Hall.
6. Cáceres, K. (2021). Banco de pruebas para el diagnóstico de amortiguadores neumáticos y de fricción seca. Facultad de Ingeniería. Bucaramanga: Universidad Autónoma de Bucaramanga. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12749/14024>
7. Campbell, C. (1981). Hydropneumatic Suspension. In: Automobile Suspensions. Boston: Springer.
8. Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). Metodología de la Investigación. Mexico: McGraw Hill.
9. Kwon, K., Seo, M., Kim, H., Lee, T. H., Lee, J., & Min, S. (2020). Multi-objective optimisation of hydro-pneumatic suspension with gas-oil emulsion for heavy-duty vehicles. *Vehicle System Dynamics*, 58(7), 1146-1165. doi:10.1080/00423114.2019.1609050
10. Limiñana, Ó. (2021). Estudio, optimización y rediseño de los elementos de suspensión de un vehículo clásico para mejorar su rendimiento y estabilidad. Campus D'Alcoi. Valencia, España: Universitat Politècnica de València. Obtenido de <https://riunet.upv.es/handle/10251/169478>
11. Mejías, E. (2005). Metodología de la Investigación Científica (Primera ed.). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Unidad de Potgrado.
12. Paredes, M., & Silva, C. (2019). Análisis numérico/experimental del comportamiento mecánico a flexión de las ballestas recuperadas en frío empleadas en vehículos pesados HINO GD. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ambato: Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Carrera de Ingeniería Mecánica. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/27905>
13. Puyol, P., & Velásquez, , C. (2019). Análisis de las vibraciones generadas en la suspensión de vehículos comercializados en el Ecuador, mediante la utilización de modelos matemáticos, para evitar el estrés músculo esquelético en el conductor. Facultad de

- Mecánica, Escuela de de Ingeniería Automotriz. Riobamba: Escuela Superior Politecnica de Chimborazo. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/10131>
14. Qin, B., Zeng, R., Li, X., & Yang, J. (2021). Design and Performance Analysis of the Hydropneumatic Suspension System for a Novel Road-Rail Vehicle. *Applied sciences*, 11(5), 2221. doi:10.3390/app11052221
 15. Rakheja, S., Yin, Y., & Boileau, P.-E. (2019). Multi-performance analyses and design optimisation of hydro-pneumatic suspension system for an articulated frame-steered vehicle. *Vehicle System Dynamics*, 57(1), 108-133. doi:10.1080/00423114.2018.1453079
 16. Rodríguez, S. M. (2018). *Sistemas de suspensión neumática y oleoneumática*. Facultad de Tecnología, Escuela Profesional de Electromecánica. Lima: Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.14039/3735>
 17. Tan, B., Wu, Y., Zhang, N., Zhang, B., & Chen, Y. (2019). Improvement of ride quality for patient lying in ambulance with a new hydro-pneumatic suspension. *Advances in Mechanical Engineering*, 11(4), 1-20. doi:10.1177/1687814019837804
 18. Wang, S., Lu, Z., Liu, X., Cao, Y., & Li, X. (2018). Active control of hydropneumatic suspension parameters of wheel loaders based on road condition identification. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 15(6), 1-13. doi:10.1177/1729881418817425
 19. Yang, L., Wang, R., Ding, R., Liu, W., & Zhu, Z. (2021). Investigation on the dynamic performance of a new semi-active hydro-pneumatic inerter-based suspension system with MPC control strategy. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 154, 107569. doi:10.1016/j.ymsp.2020.107569
 20. Yin, Y., Rakheja, S., Yang, J., & Boileau, P.-E. (2018). Characterization of a hydro-pneumatic suspension strut with gas-oil emulsion. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 106, 319-333. doi:10.1016/j.ymsp.2017.12.040