Ciencias técnicas aplicadas

Artículo de investigación

***Planificación del mantenimiento mediante la determinación del número prioritario de riesgo, y el análisis de modos y efectos de fallos a los sistemas de suspensión de vehículos livianos***

***Maintenance planning by determining the priority number of risks, and the analysis of modes and effects of failures to the suspension systems of light vehicles***

***Planejamento de manutenção determinando o número de prioridade de risco, e a análise dos modos e efeitos de falhas nos sistemas de suspensão de veículos leves***

Jairo Edison Guasumba-Maila I

jguasumba@tecnoecuatoriano.edu.ec

https://orcid.org/0000-0003-3647-2918

Luis Patricio Criollo-Yanchatipan I

pcriollo@tecnoecuatoriano.edu.ec

https://orcid.org/0000-0003-3647-2918

Edgar Efrain Racines-¡¡Chuquitarco IV

eracines89@hotmail.com

https://orcid.org/0000-0001-7827-523X

Ariel Alejandro Lema-Elbay III

ariel.lema17@outlook.com

https://orcid.org/0000-0003-4653-051X

**Correspondencia:** pcriollo@tecnoecuatoriano.edu.ec

\***Recibido:** 20 de julio de 2021 \***Aceptado:** 19 de agosto de 2021 **\* Publicado:** 15 de agosto de 2021

1. Magister en Educación Mención Gestión del Aprendizaje, Mediado por Tic, Docente Investigador, Instituto Superior Tecnológico, Ecuador.
2. Magister en Diseño Mecánico, Docente Investigador, Coordinador de Carrera de Mecánica Y Electromecánica Automotriz, Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano, Ecuador.
3. Participante Investigador, Estudiante Tecnología Superior en Mecánica Automotriz, Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano, Ecuador.
4. Participante Investigador, Estudiante Tecnología Superior en Mecánica Automotriz, Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano, Ecuador.

**Resumen**

Un análisis de modos y efectos de falla es a menudo el primer paso de un estudio de confiabilidad del sistema. El objetivo de este trabajo fue caracterizar las características principales en el desempeño del sistema de suspensión pasivo y sus componentes, además revisarle los parámetros de la metodología AMFE y relacionarse a los mantenimientos para de forma efectiva poder aplicarlo en un futuro. Las herramientas que presenta el AMFE son adecuadas de forma sistemática y lógica de acuerdo con el análisis del sistema de suspensión ya que cada componente tiene su función precisa y mostrara una predicción de su operación para un futuro mantenimiento. La determinación del número prioritario de riesgo, y el análisis de modos y efectos de fallos a los sistemas sistema de suspensión estos dados por el nivel de severidad de la falla si esta ocurriera, la probabilidad de que este modo de falla ocurra, la probabilidad de no ser detectado depende del componente automotriz en el sistema de suspensión evaluado para precisar el tipo de mantenimiento a planificar.

**Palabras clave:** Vehículo; Fallos; Predicción de fallos; sistema de suspensión; AMFE.

**Abstract**

A failure modes and effects analysis is often the first step in a system reliability study. The objective of this work was to characterize the main characteristics in the performance of the passive suspension system and its components, in addition to reviewing the parameters of the AMFE methodology and relating to maintenance to effectively apply it in the future. The tools presented by the AMFE are adequate in a systematic and logical way according to the analysis of the suspension system since each component has its precise function and will show a prediction of its operation for future maintenance. The determination of the priority number of risks, and the analysis of failure modes and effects to the suspension system systems are given by the severity level of the failure if it occurs, the probability that this failure mode will occur, the probability of not being detected depends on the automotive component in the suspension system evaluated to specify the type of maintenance to be planned.

**Keywords:** Vehicle; Faults; Fault prediction; suspension system; AMFE.

**Resumo**

Uma análise de efeitos e modos de falha geralmente é a primeira etapa em um estudo de confiabilidade do sistema. O objetivo deste trabalho foi caracterizar as principais características no desempenho do sistema de suspensão passiva e seus componentes, além de revisar os parâmetros da metodologia AMFE e relativos à manutenção, a fim de aplicá-la efetivamente no futuro. As ferramentas apresentadas pelo AMFE são adequadas de forma sistemática e lógica de acordo com a análise do sistema de suspensão, pois cada componente tem sua função precisa e apresentará uma previsão do seu funcionamento para futuras manutenções. A determinação do número de prioridade do risco e a análise dos modos de falha e efeitos para os sistemas de suspensão são dados pelo nível de gravidade da falha se ocorrer, a probabilidade de que esse modo de falha ocorra, a probabilidade de não ser detectado depende do componente automotivo do sistema de suspensão avaliado para especificar o tipo de manutenção a ser planejada.

**Palavras-chave:** Vehicle; Falhas; Previsão de falha; sistema de suspensão; FMEA.

**Introducción**

El mundo del automóvil y las tecnologías avanzan a un ritmo vertiginoso. Se están invirtiendo muchos recursos en la evolución de las tecnologías que tienen en cuenta la seguridad, la conducción y la comodidad de los pasajeros (Kokane & Bagavathi Sivakumar, 2019). Por otro lado, los sistemas de suspensión, además de abordar la calidad del viaje, abordarían otros requisitos asociados, como seguridad en tránsito, facilidad de carga / descarga, tiempo de tránsito reducido, manejo reducido, etc. Los requisitos específicos para la inspección, el mantenimiento, la reparación y los costos del ciclo de vida de los sistemas (Singh et al., 1994). Por un lado, aísla el chasis de las irregularidades del terreno, reduciendo así la fuerza trasmitida al conductor. Por otro lado, regula el movimiento vertical de la rueda y asegura el contacto entre el neumático y el terreno para mantener la maniobrabilidad de la dirección y evitar daños al vehículo o al camino. La suspensión pasiva requiere un compromiso para satisfacer estas características, pues el confort requiere una suspensión suave mientras una buena maniobrabilidad la proporciona una rigidez intermedia (Ezeta et al., 2013).

Uno de los diseños más comunes hoy en día es la suspensión delantera McPherson, fue descrita por primera vez en una patente de Fiat en 1926, diseñada a finales de los años cuarenta y aplicado en 1948 por Ford en los modelos Anglia y Consul (Sandu et al., 2011). Existe varios componentes que aportan de varias formas a la operación del sistema, se utilizan los amortiguadores en un 100% en el ramo automotriz donde la función principal es absorber las reacciones producidas en las ruedas al pasar sobre las irregularidades del terreno evitando que se transmitan a la carrocería, asegurando de esta forma la estabilidad del automóvil, la comodidad del conductor y la direccionalidad del automóvil (Vega et al., 2018). Estos dispositivos se dividen en dos tipos: amortiguadores pasivos y activos. La evolución de los amortiguadores desde el inicio del diseño de estos componentes hasta la actualidad se busca aprovechar la energía provoca por las oscilaciones de su trabajo normal en su viaje y así aportar en la operación de nuestro vehículo en la actualidad (Nandish et al., 2019). Además, Berote et al. (2015) indica que, con el fin de que sea seguro y confortable como un coche convencional, debe ser alto y cerrado, pero debido a que por naturaleza una estructura alta y angosta tiende al vuelco o derrape, es necesario inclinarlo hacia el interior de la curva, esto con la finalidad de compensar el momento generado por la fuerza lateral (Maldonado-Páez et al., 2020). Además, el diseño de esta implica satisfacer los dos criterios en conflicto de comodidad de conducción y manejo del vehículo con la restricción en el recorrido de la suspensión (Kumar et al., 2021). Es necesario considerar todos los componentes de la suspensión con el fin de diferenciar sus posibles fallos en el sistema en el viaje, para esto se plante el modelo de la figura 1, el sistema de suspensión está constituido por varias partes como brazo de control, muñón de dirección, rótulas, resortes, amortiguadores (amortiguadores), brazo de control y buje. Estas piezas se utilizan de diversas formas para formar diferentes tipos de suspensiones.

Para estructuras mecánicas bajo duras condiciones operativas, un método de monitoreo estructural es una herramienta prometedora para reducir los riesgos y los costos de mantenimiento. Con el rápido desarrollo de técnicas avanzadas de detección y análisis de datos, se ha realizado un esfuerzo de investigación masivo para monitorear el estado estructural a partir de señales de vibración en los sistemas de suspensión (H. Luo et al., 2018). También se diseña un sistema a prueba de fallas basado en RFID en el ensamblaje de amortiguadores de automóviles (Qian, 2019). Por último se revisa la metodología que se aplicará el AMFE debido a las características del problema en relación a fallas del sistema, donde los beneficios generales del uso de esta metodología son minimizar el costo de mantenimiento, reduce el consumo de tiempo para corregir fallas, acentúa la prevención del problema, mejora la calidad y confiabilidad del vehículo (Izaguirre Neira & Párraga Velásquez, 2017). En este artículo se analiza el sistema de suspensión desde su estructura para el análisis de fallo aplicando la metodología AMFE y los diferentes sistemas de mantenimiento que se aplican en la actualidad a través de la norma internacional.

Diagram

Description automatically generated**Figura 1:** Modelo de suspensión de un cuarto de vehículo (Adaptada de Lozia y Zdanowicz, 2016; Sandu et al., 2011)

**Metodología AMFE**

Según Méndez (2008), un paso crucial para que el sistema o producto sea confiable sería hacer preguntas en la fase de desarrollo como: ¿Qué podría fallar con esta pieza? ¿Qué tan probable es que falle este componente? ¿Qué tan severo sería el fallo de esta pieza para el cliente? El análisis de efectos y modos de falla es una de las técnicas más ampliamente utilizadas para enumerar los posibles modos mediante los cuales los componentes puedan fallar (Izaguirre Neira & Párraga Velásquez, 2017)

En la actualidad, esta metodología determina los modos de falla de los componentes de un sistema, el impacto y frecuencia con que se presentan, este es un método sistemático para detectar y corregir defectos del sistema antes de que falle. El modo de fallo significa que un componente no satisface o no funciona a la especificación o no se obtiene lo que se espera de él. Por tanto, es una desviación de una función o especificación (Peña, 2020). El efecto de fallo está relacionado con los efectos del modo de fallo y ligado al procedimiento AMFE, las fallas son priorizadas de acuerdo con qué tan serias son sus consecuencias, qué tan frecuentes ocurren y qué tan fácilmente pueden ser detectadas. Por cada modo de falla el AMFE usa: La severidad de la falla si esta ocurriera, ejemplo: impacto en el siguiente proceso, indicio de falla, etc.; La probabilidad de que este modo de falla ocurra; La medición en sitio para detectar cualquier falla antes que hubiera un impacto, ejemplo: impactó en el siguiente proceso, o falla. En la figura 2 se muestra las valoraciones AMFE de la puntuación necesaria en los campos de severidad, ocurrencia y detección. Además, la tabla 1 se aprecia el formato en el cual se debe obtendrá un documento de fácil seguimiento y revisión adaptado a las condiciones de mantenimiento de nuestro sistema de suspensión.

Table

Description automatically generated**Figura 2:** Cuadro de valoraciones AMFE (Bosch Group, 2013)

**Tabla 1**: Diagrama de trabajo AMFE para mantenimiento

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| SISTEMA DE SUSPENSIÓN | | | | | | | | | | | |
| COMPONENTE | **FUNCIÓN ESPECÍFICA DEL COMPONENTE** | **FALLO** | **CAUSA DE FALLO** | **EFECTO DE FALLO** | **VALORACIÓN** | | | | **RECOMENDACIÓN** | **Tipo De**  **Mantenimiento** |
| **F** | **G** | **D** | **NPR** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

**Tipos de mantenimientos**

Timeline

Description automatically generated with low confidence

**Figura 3:** Tipos de mantenimiento programado vs. No programado (Sexto, 2017; Peña, 2020)

Un plan de mantenimiento adecuado debe posibilitar la consecución de estos objetivos garantizando la disponibilidad de los vehículos, disminuyendo las averías imprevistas, aumentando la fiabilidad, permitiendo la optimización de los recursos y en definitiva reduciendo los costes y contribuyendo a la eficiencia global de la empresa sin descuidar el importante aspecto de la conservación del medio ambiente. Los mantenimientos surgen a partir de la creación de máquinas, equipos, sistemas o instalaciones que requieran ser tratadas por profesionales para mejorar su rendimiento y alargar la vida de los equipos o sistemas (Guasumba-Maila et al., 2021), en la figura 3 se aprecia la clasificación de mantenimientos según la norma europea EN 13306: 2017.

**AMFE aplicado al sistema de suspensión automotriz**

El sistema de suspensión defectuoso no puede proporcionar aislamiento de las irregularidades del suelo y producirá vibraciones. Como se mencionó las frecuencias afectan el comportamiento del sistema. Solo si se produce una falla importante en las suspensiones, el usuario notará anomalías en la conducción, la comodidad y la facilidad. El sistema de dirección también se verá afectada por una mala suspensión. Como cada parte de la suspensión crea diferentes problemas en caso de falla, algunas fallas pueden volverse graves durante el período de inatención o se producen fallas en varias partes. La Tabla 2 muestra algunos tipos de falla de suspensión (Kokane & Bagavathi Sivakumar, 2019).

El componente del sistema de suspensión pivota sobre un buje de goma que se comprime entre un manguito metálico interior y exterior (Duffy, 2014). Cuando se realinea el sistema de dirección de un vehículo, el buje comienza a separarse de sus manguitos de metal a medida que la goma comienza a torcerse dentro del manguito, se desarrolla un exceso de espacio en el sistema de suspensión que a su vez causa cambios en la dirección y la geometría de la suspensión (Modak et al., 2008)

**Tabla 2:** Fallos primarios de suspensión y motivos asociados a ellos (Kokane & Bagavathi Sivakumar, 2019)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Parte de la suspensión | Síntomas de falla | Motivo principal |
| Amortiguador (amortiguadores) | Rebote y sacudidas en los golpes | El líquido del amortiguador comenzó a gotear  Choques gastados |
| Resortes | Una o más esquinas están bajas  Ruido de chasquido sobre golpes | Desgaste, pandeo o rotura de primavera |
| Articulaciones esféricas | Chirridos y crujidos  ruido en las curvas | Rotura de rótula, desgaste |
| Brazos de control | Clunk y traqueteos | Curva del brazo de control |
| Bujes de goma | Problemas de conducción y manejo de dirección imprecisa | Desgaste |
| Puntales | Rebota, balancea y sacude  Desalineación de camber / caster | Puntales desgastados  Puntal doblado |
| Tuercas y tornillos | Exceso de vibración y ruido  Vibraciones en la dirección | Montaje suelto de tuercas y  tornillos |
| Tirantes Vehículo | tirando hacia un lado,  desgaste desigual de los neumáticos, vibraciones,  problema de dirección y manejo  problema | Desgaste de la barra de acoplamiento |

La detección temprana de fallas en el sistema de suspensión y su clasificación no solo reduce el costo de mantenimiento, sino que agrega comodidad y seguridad. Se han discutido enfoques para detectar fallas en la suspensión (Kokane & Bagavathi Sivakumar, 2019). La suspensión tiene como función mantener en todo momento la llanta pegada al terreno, aislar las perturbaciones del camino, soportar el peso estático del vehículo y brindarle al conductor unas condiciones de maniobrabilidad buenas al momento de acelerar, frenar y girar (Navarro Torrado et al., 2018), todo esto influye en el desgaste del sistema y hay que detenerse para el análisis de los componentes, aquí la metodología AMFE aporta de manera sistemática a dar seguimiento a los fallos para un adecuado tratamiento del sistema y alargar la vida útil del mismo, en base al mantenimiento.

El sistema de suspensión demuestra ser más eficiente que otro tipo de sistemas de suspensión, absorbe más golpes con alta precisión, funcione de manera eficiente con un menor costo de mantenimiento (Nandish et al., 2019). Es importante prever los cambios necesarios y potenciales fallas en el sistema derivados de la operación, para lograr esto se aborda la metodología AMFE donde los criterios de severidad, probabilidad de ocurrencia, probabilidad de no ser detectado se aplican para identificar el grado de complejidad del fallo y ubicarse en la escala correcta de la ponderación de riesgo del AMFE para nuestro sistema de suspensión. Esto deriva como se muestra en la tabla 3 a una serie de actividades sugeridas, las cuales muestran el tipo de prioridad y el tipo de mantenimiento a realizar y esto aportara para planificar de acuerdo con el componente.

Por ejemplo, el amortiguador, es un dispositivo que absorbe energía, utilizado normalmente para disminuir las oscilaciones no deseadas de un movimiento periódico o para absorber energía proveniente de golpes o impactos. Se menciona el fallo como el muelle constante, que aumenta cuando se pasa un tope de control de velocidad, su causa de fallo: los amortiguadores no oponen resistencia al movimiento del resorte; y a causa de esto, el muelleo es excesivo, pronunciado y constante, el efecto de fallo: es el manejo inadecuado y peligroso, daño en los demás componentes de la suspensión. En base a la ponderación de la metodología AMFE donde los criterios de severidad, probabilidad de ocurrencia, probabilidad de no ser detectado muestran un valor de 45, pues se propone la recomendación que para este caso es cambiar los amortiguadores, ya que para que esta falla se produzca deben estar prácticamente inservibles. Esto sugiere un tipo de mantenimiento denominado Mantenimiento Correctivo; Correctivo Inmediato según la norma EN 13306: 2017, todo esto aporta a un seguimiento adecuado y reducción de costos por mantenimiento en nuestros vehículos.

**Tabla 3:** Aplicación del AMFE en los parámetros del sistema de suspensión de acuerdo con el mantenimiento

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| COMPONENTES | FUNCIÓN ESPECÍFICA DEL COMPONENTE | FALLO | CAUSA DEL FALLO | EFECTO DEL FALLO | VALORACIÓN | | | | RECOMENDACIÓN | TIPO DE MANTENIMIENTO |
| F | G | D | NPR |  |  |
| Amortiguadores | Es un dispositivo que absorbe energía, utilizado normalmente para disminuir las  oscilaciones no deseadas de un  movimiento periódico o para  absorber energía proveniente de  golpes o impactos. | Muelleo constante, que aumenta cuando se pasa  un tope de control de  velocidad (Alexandru C. y Alexandru, 2011) | Los amortiguadores no oponen resistencia al movimiento del resorte; y a causa de esto, el muelleo es excesivo, pronunciado y constante | Manejo inadecuado y peligroso, daño en los demás componentes de la suspensión. | 3 | 5 | 3 | 45 | Cambia los  amortiguadores, ya que para que esta falla se produzca deben estar prácticamente inservibles. | Mantenimiento Correctivo; Correctivo Inmediato |
| Fugas en el amortiguador (Heißing, y Ersoy, 2010) | Junta del vástago desgastadas por el largo funcionamiento.  Juntas del vástago desgastadas por condiciones de utilización severas.  Juntas del vástago desgastadas por presencia de arena o suciedad. | Pérdida de la fuerza amortiguadora. | 7 | 6 | 3 | 126 | Realizar el mantenimiento respectivo al componente, identificar la fuga y corregirla, caso contrario reemplazar el componente. | Mantenimiento Correctivo; Correctivo Inmediato.  Mantenimiento Preventivo; Mantenimiento basado en condición. |
|  | Roturas en el componente (Heißing, y Ersoy, 2010) | Vástago doblado Excesiva tensión (producida en un impacto o accidente) | Amortiguador Bloqueado, e incapacidad de producir la amortiguación | 3 | 8 | 2 | 48 | Cambiar el componente, o el conjunto si es  necesario. | Mantenimiento Correctivo; Correctivo Inmediato |
|  | Ruidos en el amortiguador (Lee et al., 1995) | Par de apriete  insuficiente  Holgura entre el casquillo y el final de la rosca | Aplastamiento de las roscas | 5 | 4 | 5 | 100 | Realizar el mantenimiento de los componentes afectados y reemplazar si es necesario. | Mantenimiento Correctivo; Correctivo Inmediato o diferido. |
| Rótulas | Son elementos de unión que posibilitan el giro de las piezas en varias direcciones. | Desgaste del componente (Heißing, y Ersoy, 2010) | Corrosión y desgaste por la inserción de agua al componente por un  guardapolvo en mal estado | Dificultad para una correcta alineación de las ruedas, desgaste  en los neumáticos | 5 | 4 | 5 | 100 | Cambiar el guardapolvo, y la rótula si esta se encuentra desgastada. | Mantenimiento Correctivo; Correctivo diferido (Puede ser programado) |
| Excesiva fricción  del componente (Sharp y Crolla, 1987) | Falta de  Lubricación | Rechinidos en la suspensión, y desgaste de los componentes | 4 | 3 | 4 | 48 | Lubricar las rótulas de articulación. | Mantenimiento Preventivo; Mantenimiento basado en condición. |
| Barra estabilizadora | Es un componente que proporciona rigidez a la carrocería, especialmente cuando se circula por curvas. Esto ayuda a mantener las cuatro ruedas firmemente en el suelo y a reducir la torsión de la carrocería, lo que podría provocar vuelcos o una pérdida de control. | Barra estabilizadora dañada, o eslabones en mal estado (Bouazara et al., 2016) | El vehículo carece de  barra estabilizadora; o se  dañó, al ser golpeado por un objeto que había en el camino. | Vibración excesiva del volante de dirección, cuando se circula a velocidades de carretera | 3 | 5 | 4 | 60 | Instalar la barra estabilizadora, si el vehículo carece de ella; o reemplazarla, si el automóvil se dañó por el golpe. | Mantenimiento Correctivo:  Correctivo diferido (Puede ser programado |
| Bujes | Es el componente que ayuda a evitar o minimizar las vibraciones, el desgaste, o los ruidos, se suelen añadir materiales flexibles como la goma o el poliuretano en sus instalaciones. | Caucho o goma del buje roto parcialmente o fisurado (Vicente, 2018) | A medida que la goma comienza a torcerse dentro del manguito, se desarrolla un exceso de espacio en el sistema de suspensión | Provoca cambios en la geometría de la dirección y la suspensión. | 5 | 6 | 4 | 120 | Se recomienda verificar la condición del buje si es necesario reemplazarlo ya que este componente no hay como arreglarlo. | Mantenimiento Correctivo; Correctivo Inmediato.  Mantenimiento Preventivo; Mantenimiento basado en condición. |
| Junta homocinética | Este componente consta de seis bolas enjauladas en un ensamble capaz de transmitir el movimiento desde un núcleo interior hasta la carcasa exterior. Esto hace la función de rótula, que permite cambiar el ángulo del eje que llega hasta la rueda. | Picadura en las bolas o núcleo de la junta homocinética (Tey et al., 2014) | Este fallo se debe al desgaste o picadura de las bolas o el núcleo de la junta homocinética debido a la falta de lubricante entre estos componentes debido a la escasez del lubricante o la fuga de la grasa por un guardapolvo roto | Ruidos al momento de tomar una curva muy cerrada | 3 | 4 | 6 | 72 | Realizar el mantenimiento respectivo al componente, identificar el problema de la falta de lubricación y solucionarlo colocando un nuevo guardapolvo o añadiendo lubricante a la junta homocinética o caso contrario reemplazar el componente debido a la picadura excesiva del componente. | Mantenimiento Correctivo; Correctivo Inmediato.  Mantenimiento Preventivo; Mantenimiento basado en condición. |
| semieje o palier | Este componente transmite el movimiento desde la junta trípode hasta la junta homocinética | Levemente torcido (Sharp y Crolla, 1987) | Este fallo se debe al golpe muy fuerte que sufrió el vehículo en su neumático y este golpe fue muy duro para lograr torcer levemente  al palier | Vibraciones en el volante del vehículo | 3 | 3 | 3 | 27 | Verificar si el semieje este torcido. A simple vista es imposible esto se lo debe realizar en un torno | Mantenimiento Correctivo; Correctivo Inmediato. |
| Rodamientos | Este componente es un tipo de [cojinete](https://es.wikipedia.org/wiki/Cojinete) ,el cual es un [elemento mecánico](https://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%A1quina) que reduce la [fricción](https://es.wikipedia.org/wiki/Fricci%C3%B3n) entre un [eje](https://es.wikipedia.org/wiki/Eje_(mec%C3%A1nica)) y las piezas conectadas a este por medio de una rodadura, que le sirve de apoyo y facilita su desplazamiento. | Rodamiento de la manzana sin lubricación o lubricación defectuosa (Lee et al., 1995) | Esto sucede cuando la grasa debido al uso pierde sus propiedades lubricantes y ya no lubrica como  lo debe hacer | Se escucha un ruido extraño muy parecido a un ronquido en la llanta al momento de estar en movimiento | 7 | 6 | 3 | 126 | Verificar el rodamiento extrayendo la araña del vehículo posteriormente se procederá a rotar la manzana con la mano y escuchar el ruido | Mantenimiento Correctivo;  Correctivo Inmediato. |
|  | Rodamiento de la base del amortiguador sin lubricación (Sharp y Crolla, 1987) | Esto sucede cuando no se le da la importancia a este componente al momento de realizar el mantenimiento al amortiguador | Ruidos extraños en las bases del amortiguador al momento de girar la dirección y también la dirección se vuelve dura | 2 | 4 | 6 | 48 | Se recomienda extraer este componente y darle el mantenimiento adecuado lavado y cambiando de grasa o en su defecto reemplazarlo por un rodamiento nuevo | Mantenimiento Preventivo; Mantenimiento basado en condición. |
| Espiral del amortiguador | Este componente es el encargado de soportar el peso de la carrocería y las demás partes del auto | Espirales perdiendo sus propiedades de amortiguación (Smith y Swift, 2016) | Esto sucede cuando el espiral pierde sus propiedades y ya no amortigua, ya no se expande con la fuerza necesaria para  poder soportan al vehículo | Al momento que el vehículo pasa por un desnivel este ya no amortigua los golpes, por ende, hay golpes muy fuertes en la suspensión | 3 | 6 | 4 | 72 | Se recomienda sustituir el espiral por el más adecuado para que realice la función de absorber los golpes al momento de circular por vías en mal estado | Mantenimiento Correctivo; Correctivo Inmediato. |
| Ballestas | Están compuestos por una serie de láminas metálicas de largo diferente colocadas en forma superpuesta | Ruptura de ballestas (Heißing, y Ersoy, 2010) | sobrecarga del vehículo o es debido a que el conductor no conduce atento a las incidencias de la vía | No se produce la adecuada amortiguación del vehículo y en algunos casos el vehículo queda sin poder realizar ninguna acción | 1 | 5 | 4 | 20 | Se recomienda dejar el vehículo estático y recurrir de inmediato a un taller de reparación automotriz, ya que si no se lo hace este podrá generar más problemas en el sistema de suspensión | Mantenimiento Correctivo; Correctivo Inmediato |
| Barras de torsión | Es un elemento, utilizado en vehículos de carga liviana y pesada, formado por una barra de acero que va sujeta en uno de sus lados a un punto fijo en el bastidor mientras que el otro extremo es móvil; ésta como su nombre lo dice trabaja torsión. | La barra de torsión está doblada (Lee et al., 1995) | Se pueden dañar por los accidentes que son comunes en carreteras de  segundo o tercer orden ya que al rebote genera exceso de esfuerzos | Dirección inestable, incluyendo sacudidas o balanceos durante los viajes | 2 | 5 | 5 | 50 | No conducir en este estado ya que puede ser perjudicial para el conductor al tener inestabilidad al conducir y  podría producir algún accidente. | Mantenimiento Correctivo; Correctivo Inmediato |

**Conclusiones y recomendaciones**

En este artículo presentamos las aplicación y análisis del sistema de suspensión, además se ha desarrollado un sistema donde se pueda determinar cuáles son los elementos que tienen mayor problemática en el sistema de suspensión y además interpretar cuales serían los elementos más propensos al daño que se podrían suceder en un vehículo, así como darle la sugerencia de tratamiento y mantenimiento a cada caso.

Las mejoras propuestas apuntan a una reducción de fallos del sistema de suspensión; teniendo como consecuencia ahorro de costos de mantenimiento. Estos costos de atención dependen principalmente de la complejidad en la solución del fallo. Debido a que se tiene un estado inicial del componente y el tipo de fallo, de acuerdo con el diseño de la metodología AMFE.

La determinación del número prioritario de riesgo, y el análisis de modos y efectos de fallos a los sistemas de suspensión estos dados por el nivel de severidad de la falla si esta ocurriera, la probabilidad de que este modo de falla ocurra, la probabilidad de no ser detectado depende del componente automotriz evaluado para precisar el tipo de mantenimiento a planificar esto como medio de aporte al seguimiento de la vida útil del vehículo.

**Referencias**

1. Duffy, J. E. (2014). Modern Automotive Technology, 8th Edition. In Modern Automotive Technology, 8th Edition. https://doi.org/10.4271/1619603705
2. Ezeta, J. H., Mandow, A., & Cerezo, A. G. (2013). Los sistemas de suspension activa y semiactiva: Una revision. RIAI - Revista Iberoamericana de Automatica e Informatica Industrial, 10(2), 121–132. https://doi.org/10.1016/j.riai.2013.03.002
3. Izaguirre Neira, J. G., & Párraga Velásquez, M. del R. (2017). Aplicación de las metodologías 8D y AMFE para reducir fallos en una fábrica de refrigeradoras. Industrial Data, 20(2), 61. https://doi.org/10.15381/idata.v20i2.13954
4. Kokane, P., & Bagavathi Sivakumar, P. (2019). Online Model for Suspension Faults Diagnostics Using IoT and Analytics. Advances in Intelligent Systems and Computing, 870, 145–154. https://doi.org/10.1007/978-981-13-2673-8\_17
5. Kumar, S., Medhavi, A., & Kumar, R. (2021). Optimization of nonlinear passive suspension system to minimize road damage for heavy goods vehicle. International Journal of Acoustics and Vibrations, 26(1), 56–63. https://doi.org/10.20855/ijav.2020.25.11724
6. Luo, H., Huang, M., & Zhou, Z. (2018). Integration of Multi-Gaussian fitting and LSTM neural networks for health monitoring of an automotive suspension component. Journal of Sound and Vibration, 428, 87–103. https://doi.org/10.1016/j.jsv.2018.05.007
7. Maldonado-Páez, F. E., Llanes-Cedeño, E. A., Guerrón-López, G. E., & Rocha-Hoyos, J. C. (2020). Caracterización del diseño de la suspensión inclinable para vehículos de movilidad personal. Información Tecnológica, 31(3), 87–102.
8. Modak, J. P., Belkhode, P. N., Bodhankar, D., Himte, R. L., & Washimkar, P. V. (2008). Modeling and analysis of front suspension for improving vehicle ride and handling. Proceedings - 1st International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology, ICETET 2008, 731–734. https://doi.org/10.1109/ICETET.2008.136
9. Nandish, B., Muthanna, K. P., Kaveriappa, M. B., & Biddappa, P. S. (2019). Neodymium magnetic shock absorber for two wheelers automobiles. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering, 8(9 Special Issue 2), 660–662. https://doi.org/10.35940/ijitee.I1135.0789S219
10. Navarro Torrado, L., Garcia Rincon, J. G., & Rodriguez Pinzon, H. R. (2018). CONSIDERACIONES CINEMATICAS Y DINAMICAS PARA EL DESARROLLO DE CONTROL A UN SISTEMA DE SUSPENSION. REVISTA COLOMBIANA DE TECNOLOGIAS DE AVANZADA (RCTA), 1(31). https://doi.org/10.24054/16927257.v31.n31.2018.2761
11. Qian, S. (2019). Design and Application of Fault Prevention System for Automobile Shock Absorber Assembly Process Based on RFID. Proceedings of 2019 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, ICMA 2019, 388–391. https://doi.org/10.1109/ICMA.2019.8816625
12. Singh, S. P., Irani, F. D., & Punwani, S. K. (1994). Truck suspension specification for automobile transport. Proceedings of the IEEE/ASME Joint Railroad Conference, 133–139. https://doi.org/10.1109/rrcon.1994.289012
13. Vega, W. H., Llanes-Cedeño, E. A., Molina, J. V., & Rocha-Hoyos, J. C. (2018). Review of the modeling and optimization characteristics for the design of the MacPherson suspension system. In Informacion Tecnologica (Vol. 29, Issue 6, pp. 221–234). https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000600221
14. Sandu, C., E. R. Andersen y S. Southward, Multibody Dynamics Modelling and System Identification of a Quarter-Car Test Rig With McPherson Strut Suspension, Veh. Syst. Dyn., 49(1-2), 153-179 (2011)
15. Berote, J., Darling, J., y Plummer, A., Lateral dynamics simulations of a three-wheeled tilting vehicle, Procee. Inst. Mech. Eng., Part D: J. of Automobile Eng., 229(3), 342-356 (2015)
16. Lozia, Z. y P. Zdanowicz, Optimization of Damping in the Passive Automotive Suspension System With Using Two QuarterCar Models, IOP Conf. Ser.: Mat. Sci. y Eng., 148, 01
17. Mendez Gamboa, M., (2008). Análisis de Confiabilidad utilizando modelos de componentes genéricos y matrices de programación de fallas (Tesis de Maestría en Ciencias). Recuperado de http:// www.cenidet.edu.mx/subaca/ web-elec/tesis\_mc/206MC\_mamg.pdf
18. Peña, Pablo Rodas. 2020. repositorio del azuay . [En línea] 2020. http://201.159.222.99/bitstream/datos/9868/1/15498.pdf.
19. Bosch Group. (Mayo, 2013). Problem Solving. Quality Management in the Bosch Group. Robert Bosch Booklet, 1, 60.
20. Sexto, L. F. (2017). Tipos de Mantenimiento ¿cuántos y cuáles son. Revista Mantenimiento en Latinoamérica. (9), 4, 14-17. Actual, T. (2 junio del 2017). You Tube. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=SvtnzMOsnLs
21. Guasumba-Maila, J. E., Garay-Cisneros, V. A., Solís-Santamaria, J. M., & Jima-Matailo, J. C. (2021). Análisis del sistema de inyección electrónica de combustible para motor de combustión interna respecto a sus fallas y mantenimiento. Polo del Conocimiento, 6(1), 603-621.
22. Alexandru, C. y P. Alexandru, A Comparative Analysis between the Vehicles Passive and Active Suspensions, Int. J. Mech., 4(5), 371-378 (2011)
23. Bouazara, M., H. Banitalebi, K. A. Ragab y H. Mrad, On the Characteristics of Automotive Low Arm-Suspension System Parts Made of Aluminum Casting Alloys, doi: 10.1080/13640461.2015.1106782, Inter. J. Cast Metal Res., 29(3), 129- 136 (2016)
24. Heißing, B. y M. Ersoy, Chassis Handbook: Fundamentals, Driving Dynamics, Components, Mechatronics, Perspectives, 1 a Ed., 70-86, Springer Science and Business Media, Berlin, Alemania (2010)
25. Lee, Y. L., M. N. Raymond y M. A. Villaire, Durability Design Process of a Vehicle Suspension Component, J. Testing Eval., 23(5), 354-363 (1995)
26. Sharp, R. S. y D. A. Crolla, Road Vehicle Suspension System Design-a Review, Veh. Syst. Dyn., 16(3), 167-192 (1987)
27. Smith, M. C. y S. J. Swift, Design of Passive Vehicle Suspensions for Maximal Least Damping Ratio, Veh. Syst. Dyn., 54(5), 568-584 (2016)
28. Tey, J.Y., R. Ramli, C.W. Kheng, S. Y. Chong y M. A. Z. Abidin, Identification of Vehicle Suspension Parameters by Design Optimization, Eng. Optim., 46(5), 669-686 (2014)
29. Vicente. (10 septiembre del 2018). Ancona Autopartes. Obtenido de https://anconaautopartes.com/reemplazar-los-bujes-del-coche/
30. CHANGO, JOHANNA LORENA CAIZA. 2019. repositorio espoch. [En línea] 2019. http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/11576/1/25T00358.pdf

©2020 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)

(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).|