



DOI: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i4.2204>

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

Luis Patricio Criollo-Yanchatipan ^I
pcriollo@tecnoecuadoriano.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-3647-2918>

Ariel Alejandro Lema-Elbay ^{III}
ariel.lema17@outlook.com
<https://orcid.org/0000-0003-4653-051X>

Jairo Edison Guasumba-Maila ^I
jguasumba@tecnoecuadoriano.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-3647-2918>

Edgar Efrain Racines-¡¡Chuquitarco ^{IV}
eracines89@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-7827-523X>

Correspondencia: pcriollo@tecnoecuadoriano.edu.ec

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

- I. Magister en Educación Mención Gestión del Aprendizaje, Mediado por Tic, Docente Investigador, Instituto Superior Tecnológico, Ecuador.
- II. Magister en Diseño Mecánico, Docente Investigador, Coordinador de Carrera de Mecánica Y Electromecánica Automotriz, Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuadoriano, Ecuador.
- III. Participante Investigador, Estudiante Tecnología Superior en Mecánica Automotriz, Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuadoriano, Ecuador.
- IV. Participante Investigador, Estudiante Tecnología Superior en Mecánica Automotriz, Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuadoriano, Ecuador.

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

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.

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

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 transmitida 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

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

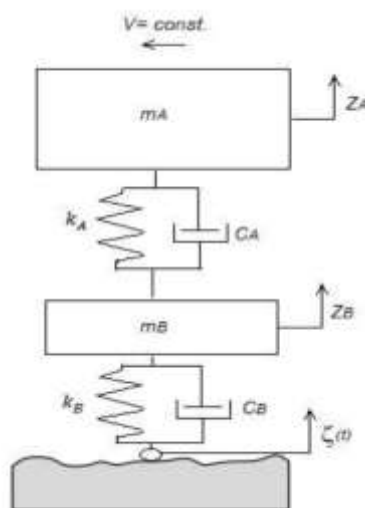
1948 por Ford en los modelos Anglia y Consul (Sandu et al., 2011). Existe varios componentes que aportan de varias formas a la operación del sistema, se utilizan los amortiguadores en un 100% en el ramo automotriz donde la función principal es absorber las reacciones producidas en las ruedas al pasar 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

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

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.

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

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

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.

Figura 2: Cuadro de valoraciones AMFE (Bosch Group, 2013)

S (Severidad) Cuan severo es el efecto de este tipo de defecto en el respectivo cliente		O (Probabilidad de Ocurrencia) Cuan probable es que el tipo de defecto examinado ocurra en el cliente		D (Probabilidad de no ser detectado) Cuan probable es que el defecto llegue al cliente	
CRITERIO	PUNTAJÓN	CRITERIO	PUNTAJÓN	CRITERIO	PUNTAJÓN
Efecto de falla muy grave - La falla puede provocar situaciones de peligro (lesiones) - No conformidades con las normas legales - Descompostura total del producto con posterior daño.	10	Ratio de falla muy alto Fallos ocurren a gran escala (>100.000 ppm o > 10%)	10	Falla será pasada a cliente sin ser detectada Descubrimiento de la falla es improbable. La fiabilidad de la detección no puede ser probada, procedimientos de prueba inciertos	10
Efecto de falla alto - Operatividad restringida del producto o partes - Gran molestia de cliente - Retrabajos o empleo de servicios	8	Ratio de falla alto Fallos ocurren muy frecuentemente (<100.000 ppm o <10%)	8	Detección mínima Descubrimiento de la falla es menos probable. La fiabilidad de la detección probablemente no puede ser probada	8
Efecto de falla moderado - Leve deterioro del producto (perceptible por el cliente) - Descontento del cliente - Servicio al cliente	5	Ratio de falla bajo Fallos ocurren ocasionalmente (<10.000 ppm o <1%)	5	Detección baja Falla es descubierta principalmente. Fiabilidad de la detección puede ser probada, procedimientos de prueba son relativamente ciertos	5
Efecto de falla bajo - Ligero deterioro óptico - Ligera molestia del cliente - Costos leves	3	Ratio de falla bajo Fallos ocurren raramente (<1.000 ppm o <0.1%)	3	Detección alta Falla es descubierta con alta probabilidad. Confirmado por varios métodos independientes	3
Efecto de falla no perceptible - Deterioro de la función solo reconocible por el técnico - Costos mínimos - Deterioro ópticamente no percibido	1	No hay acontecimientos conocidos sobre productos similares Aproximadamente no ocurre fallos	1	Detección muy alta Definitivamente la falla es descubierta	1

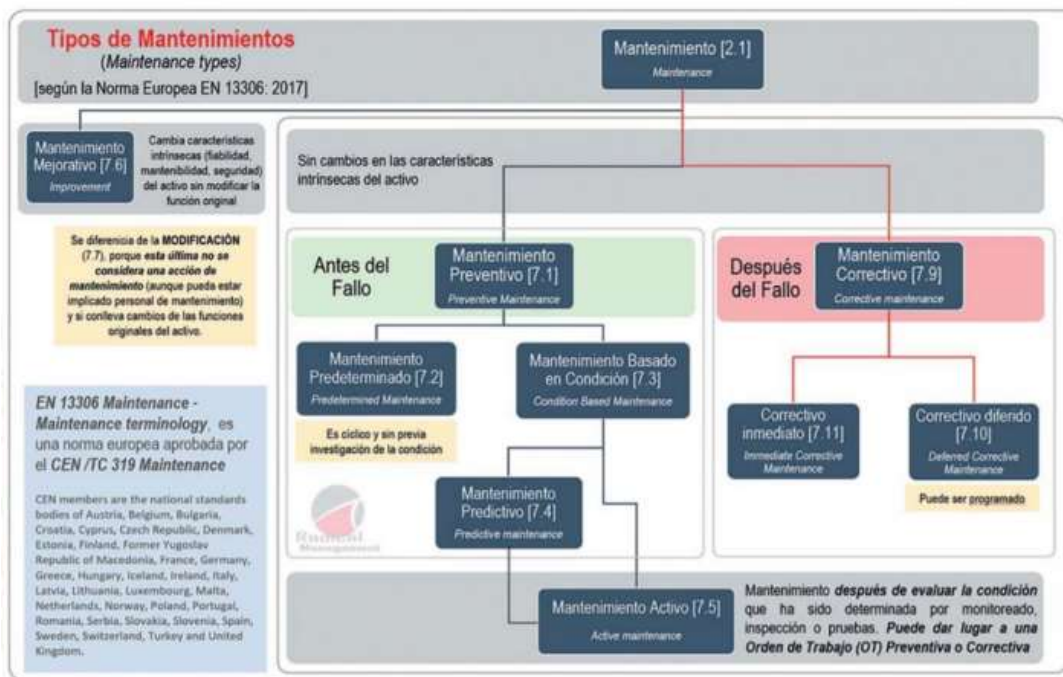
Tabla 1: Diagrama de trabajo AMFE para mantenimiento

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

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

Tipos de mantenimientos

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

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

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,

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

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 muelle 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.

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

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	GD	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 uso 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 capó 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 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.

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

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 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 alta	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	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 líquido la fuga de la grasa por un guardapolvo roto	Ruidos al momento de tomar una curva y 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.

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

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; Crisis Inmediato
-------------------	---	---	--	--	---	---	---	----	---	--

Conclusiones y recomendaciones

En este artículo presentamos la 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 cuáles 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 suspensión activa y semiactiva: Una revisión. *RIAI - Revista Iberoamericana de Automática e Informática 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>

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

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.

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

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=SvtznMOSnLs>
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://anconaaautopartes.com/reemplazar-los-bujes-del-coche/>
30. CHANGO, JOHANNA LORENA CAIZA. 2019. repositorio epoch. [En línea] 2019. <http://dspace.epoch.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)

[\(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).