UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA FRECUENCIA DE OSCILACIÓN, AMPLITUD DE VIBRACIÓN Y COEFICIENTE DE AMORTIGUAMIENTO ENTRE EL SISTEMA DE SUSPENSIÓN TRASERA ORIGINAL Y UNA SUSPENSIÓN TRASERA TIPO PUSH ROD CATEGORÍA M1 UTILIZANDO MATLAB

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero Automotriz

AUTOR: DAVID SEBASTIAN MAZA PEÑA

TUTOR: JUAN PABLO TAMAYO BENAVIDES

Quito - Ecuador

2025

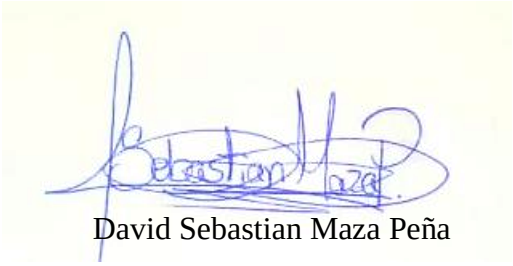
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, David Sebastian Maza Peña con documento de identificación N°1718239138 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 25 de febrero de 2025

Atentamente,



David Sebastian Maza Peña
1718239138

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Yo, David Sebastian Maza Peña con documento de identificación No.1718239138, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derecho patrimonial en virtud de que soy autor del Proyecto Técnico: "Análisis comparativo de la frecuencia de oscilación, amplitud de vibración y coeficiente de amortiguamiento entre el sistema de suspensión trasera original y una suspensión trasera tipo push rod categoría M1 utilizando Matlab", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de Ingenieros Automotrices, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que realizo la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana

Quito, 25 de febrero de 2025

Atentamente.

David Sebastian Maza Peña

1718239138

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Juan Pablo Tamayo Benavides con documento de identificación N° 1714824156, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA FRECUENCIA DE OSCILACIÓN, AMPLITUD DE VIBRACIÓN Y COEFICIENTE DE AMORTIGUAMIENTO ENTRE EL SISTEMA DE SUSPENSIÓN TRASERA ORIGINAL Y UNA SUSPENSIÓN TRASERA TIPO PUSH ROD CATEGORÍA M1 UTILIZANDO MATLAB, realizado por David Sebastian Maza Peña con documento de identificación N° 1718239138, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción: Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 25 de febrero de 2025

Atentamente,

Ing. Juan Pablo Tamayo Benavides M.Sc.
1714824156

DEDICATORIA

Dedico el presente proyecto a mis padres Myriam del Roció Peña Méndez y Raúl Efraín Maza Vargas quienes siempre estuvieron a mi lado apoyándome ante toda adversidad y siempre me brindaron su amor, comprensión y apoyo en todo momento; a mi hermano Santiago Maza que siempre me supo apoyar de diferentes maneras cuando más lo necesitaba; a Katherine por su constante apoyo y nunca permitir que me rindiera, además recordarles que son el principal motor de mi vida ya que gracias a su esfuerzo por una educación he cumplido una meta de mi vida, nunca me dejaron solo cuando más los necesitaba.

La vida no es perfecta, pero tiene momentos únicos que me convirtieron en profesional, quiero recordar a mis amigos que me vieron crecer como profesional.

Finalmente, agradezco a la Institución que me formo, brindándome la herramienta para sobresalir en la vida.

Maza Peña David Sebastian

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a Dios y a la Virgen del Quinche por la vida que me han otorgado, junto con las adversidades diferentes que se me han presentado y no me han dejado solo para poder levantarme.

Agradezco a mis Padres Myriam del Roció Peña Méndez y Raúl Efraín Maza Vargas junto con mi hermano Santiago Raúl Maza Peña y a mis abuelitos Abigail Méndez, Julio Peña quienes siempre me han sabido guiar mi camino profesional junto con su apoyo incondicional.

A mis amigos Alex, Jonathan, Michael, Miguel, Poleth con quienes eh llegado a compartir varios momentos de experiencias de vida, asi como profesionales.

Para terminar, quiero agradecer a la institución la cual me ha facilitado el uso de equipos y medios tecnológicos para culminar mi carrera profesional, a mi tutor Juan Pablo Tamayo Benavides y mi cotutor Diego Duque quienes gracias a sus conocimientos me permitieron realizar y finalizar el presente proyecto, y al Ingeniero Ángel Paucar director de la carrera, quien atreves de cada ciclo me ha ayudado en diferentes problemas suscitados a lo largo de mi formación, a mis docentes y colegas, por todos los conocimientos, experiencias y oportunidades que me ha brindado para culminar con mi carrera.

Les agradezco infinitamente son mi razón de seguir adelante y darme la oportunidad de crecer en lo profesional y como humano.

Maza Peña David Sebastian

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN 1
ABSTRACT 2
INTRODUCCIÓN 3
PROBLEMA 4
Delimitación del problema 4
Objetivo General. 5
Objetivos Específicos. 5
Marco Teórico 5
CAPÍTULO 1 9
CONDICIONES GENERALES PARA EFECTUAR PRUEBAS EN VEHICULOS 9
1.1 Descripción de la suspensión original 9
1.2 Normativas y regulaciones para efectuar pruebas en vehículos y componentes 9
1.2.1. Elementos mínimos de seguridad Reglamento RTE INEN 034 4R 10
1.2.2. Altura de los dispositivos de iluminación NTE INEN 1155:2009 11
1.2.3. Condiciones Generales para pruebas en vehículos 11
CAPÍTULO 2 20
METODOLOGÍA DE PRUEBA APLICADA 20
2.1. Equipos de medición y magnitudes físicas a medir 20
2.1.1. PHYPHOX (Physical Phone Experiments): 20
2.1.2. MATLAB 20
2.2. Suspensión Estándar 21
2.3. Suspensión Push rod 22
2.4. Número de pruebas 23
2.5. Condiciones generales de prueba 24
CAPÍTULO 3 29
VALIDACIÓN DE LOS REQUISITOS PARA EFECTUAR PRUEBAS DE SUSPENSIÓN EN VEHÍCULOS 29

3.1. Verificación de la altura de los elementos de iluminación posterior 29
3.2. Verificación de los nuevos elementos de suspensión 30
3.3. Verificación de condiciones de prueba 32
CAPÍTULO 4 35
ANÁLISIS DE LA SUSPENSIÓN 35
CONCLUSIONES 41
RECOMENDACIONES 43
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS. 44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Parámetros de suspensión 21
Figura 2.2 Suspensión push rod para Fiat Uno 23
Figura 2.3 Condiciones ambientales 25
Figura 2.4 Parámetro de Combustible en escáner 26
Figura 3.1 Medición de altura 29
Figura 3.2 Suspensión push rod para Fiat Uno 32
Figura 3.3 Calles C.Q y Azuay 33
Figura 4.1 D.C.L para el análisis del sistema de suspensión escenario 1 35
Figura 4.2 Datos obtenidos de Suspensión Estándar 37
Figura 4.3 Datos obtenidos de Suspensión Trasera Push Rod 38
Figura 4.4 D.C.L para el análisis del sistema de suspensión Escenario 2 40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Condiciones ambientales de prueba. 12
Tabla 2 Condiciones de prueba del vehículo 13
Tabla 3 Rendimiento del sistema mecánico 14
Tabla 4 Tren motriz 15
Tabla 5 Rangos típicos de cambio de marcha 16
Tabla 6 Condiciones de la pista de pruebas 16
Tabla 7 Fricción superficial 17
Tabla 8 Secciones curvas: 18
Tabla 9 Zonas de prueba dinámicas 18

Tabla 10 Muestra de condiciones de prueba del Vehículo 28
Tabla 11 Altura antes y después 30
Tabla 12 Antes y después del templado para la corrección de camber (Ruiz Estrada, 2024) 31
Tabla 13 Dimensiones de suspensión gecko Street 31
Tabla 14 Condiciones reales de pruebas del vehículo 34
Tabla 15 Rangos de suspensiones establecidos 36

RESUMEN

Este estudio presenta el análisis de una suspensión tipo push rod para vehículos de categoría M1, empleando Matlab como herramienta principal de simulación y cálculo. Se aborda el diseño y evaluación dinámica del sistema, centrándose en parámetros fundamentales como la frecuencia de oscilación, la amplitud de vibración y el coeficiente de amortiguamiento. Estas variables son esenciales para optimizar la suspensión y minimizar las vibraciones durante el funcionamiento del vehículo.

La digitalización del proceso no solo facilita la obtención de una geometría de la suspensión precisa para el sistema de suspensión, sino que también permite analizar su comportamiento bajo dos escenarios de acuerdo con la física del sistema masa resorte en vibraciones forzadas amortiguadas. Esto asegura que se identifiquen las configuraciones más efectivas para mejorar la estabilidad y el confort.

Las pruebas incluyen un análisis tanto teórico como práctico, evaluando el rendimiento del sistema antes y después de implementar ajustes, lo que garantiza que los resultados sean aplicables a escenarios reales. Finalmente, se adjuntan los cálculos realizados durante el análisis, proporcionando una base técnica sólida para validar el desempeño de la suspensión. Estos cálculos han sido verificados en estudios previos de vehículos de pasajeros de categoría M1, confirmando la utilidad del enfoque presentado en este trabajo.

Palabras Claves: Amplitud de vibración, coeficiente de amortiguamiento, frecuencia de oscilación, geometría de la suspensión.

ABSTRACT

This study presents the analysis of a push rod suspension for M1 category vehicles, using Matlab as the main simulation and calculation tool. The design and dynamic evaluation of the system is addressed, focusing on fundamental parameters such as oscillation frequency, vibration amplitude and damping coefficient. These variables are essential to optimize the suspension and minimize vibrations during vehicle operation.

The digitalization of the process not only facilitates obtaining an accurate suspension geometry for the suspension system, but also allows its behavior to be analyzed under two scenarios according to the physics of the mass-spring system in damped forced vibrations. This ensures that the most effective configurations are identified to improve stability and comfort.

The tests include both theoretical and practical analysis, evaluating the performance of the system before and after implementing adjustments, ensuring that the results are applicable to real scenarios. Finally, the calculations performed during the analysis are attached, providing a solid technical basis to validate the suspension performance. These calculations have been verified in previous studies of M1 category passenger vehicles, confirming the usefulness of the approach presented in this work.

Keywords: Vibration amplitude, damping coefficient, oscillation frequency, suspension geometry.

INTRODUCCIÓN

El sistema de suspensión de un vehículo cumple un rol fundamental para proporcionar seguridad, estabilidad y confort durante la conducción (Milliken & Milliken, 2002). Una adecuada suspensión absorbe las irregularidades del camino, manteniendo contacto de las ruedas y evitando movimientos indeseados de la carrocería (Smith, 2015). Con el paso del tiempo, los sistemas de suspensión se deterioran y pierden eficacia al realizar modificaciones y mejoras a estos sistemas puede traer beneficios en términos de desempeño (Brown & Wilson, 2018).

El Fiat Uno 2007, es reconocido por su diseño compacto y eficiencia en consumo de combustible (González, 2010), por lo tanto, ha sido objeto de interés para la sociedad. La suspensión posterior, en particular, ha sido identificada el área potencial para mejoras significativas en términos de manejo, estabilidad y respuesta en situaciones de conducción variadas (Rodríguez, 2019).

El sistema push rod no es estándar en un Fiat Uno 2007. Este tipo de suspensión se usa principalmente en vehículos de competición y de alto rendimiento (Martínez, 2016). En un sistema push rod, la fuerza del movimiento de la rueda se transmite a través de una barra de empuje (push rod) a un balancín, que a su vez actúa sobre el conjunto muelle-amortiguador. Esto permite mayor control sobre la geometría de la suspensión y la distribución del peso (Davis & Lee, 2020).

Es importante notar que un Fiat Uno 2007 de fábrica no vendría equipado con un sistema push rod (Fernández, 2018). De manera que, al implementar tal sistema en este modelo requeriría modificaciones significativas en la parte posterior del vehículo por lo que, generalmente son aceptables para tener un mejor desempeño de esta manera se justifica el uso del vehículo de manera cotidiana. (López, 2019).

PROBLEMA

Este estudio tiene como objeto llevar a cabo un análisis comparativo entre el sistema de suspensión trasero original y un sistema de suspensión trasero tipo push rod en un vehículo de categoría M1 (González et al., 2023). La motivación detrás de este análisis surge de la hipótesis de que, el sistema de suspensión push rod podría ofrecer mejoras significativas respecto al sistema de suspensión trasero original (López, 2024).

La pregunta fundamental que guía esta investigación es: ¿Proporciona el sistema push rod un rendimiento superior al sistema de suspensión tradicional en términos de manejo, estabilidad y confort de conducción? (Sánchez, 2023). Para responder a esta pregunta, se examinarán parámetros clave de cada configuración, incluyendo:

1. Respuesta de la suspensión de acuerdo con la superficie de terreno (Torres, 2022)
2. Capacidad de absorción de impactos (Fernández & Pérez, 2023) calculando las oscilaciones generadas por el sistema de suspensión.
3. Control de la carrocería durante maniobras dinámicas (Morales, 2024)

Un aspecto crucial de este estudio es la evaluación del rendimiento de ambos sistemas de suspensión bajo condiciones específicas de la pista de pruebas (Jiménez et al., 2023). Es importante destacar que, debido a la falta de una normativa específica para pruebas de sistemas de suspensión, se ha optado por un enfoque que verifica el buen estado general de la suspensión como punto de partida para las comparaciones (Ruiz, 2022).

Delimitación del problema. –

El problema se centra en la validación entre el sistema de suspensión trasera original y un sistema Push Rod para vehículos de categoría M1, la consecuencia de esta delimitación es la falta de espacio físico de la suspensión de la parte posterior del vehículo, junto con la recopilación de datos se puede evidenciar que la nueva suspensión mejora la capacidad de absorción de las irregularidades de la vía. La intervención propuesta consiste en realizar una investigación contemplada por una evaluación de frecuencia de oscilación, amplitud de vibración y coeficiente de amortiguamiento mediante una instrumentación especializada y procesamiento computarizado con MATLAB por lo que se recopilan diferentes protocolos de pruebas para ser efectuadas a distintos sistemas del vehículo montados en la carrocería.

Objetivo General.

Analizar comparativamente la frecuencia de oscilación, amplitud de vibración y coeficiente de amortiguamiento entre el sistema de suspensión trasera original y una suspensión trasera tipo push rod para un vehículo de categoría M1 utilizando MATLAB.

Objetivos Específicos.

- Recopilar información acerca de pruebas de suspensión y desempeño del vehículo.
- Revisar normativas acerca de pruebas para el desempeño en el sistema de suspensión.
- Realizar las pruebas destinadas a probar el confort de conducción con la suspensión original y modificada.
- Recolectar los datos de los dos tipos de suspensión para ser procesados por el programa que permita aplicar los principios de teoría de control.
- Analizar los datos obtenidos en ambas condiciones de pruebas para establecer si existe una mejora en el confort de conducción.

Marco Teórico

El desarrollo y la optimización de sistemas de suspensión en vehículos implican un análisis detallado de múltiples variables y sus interacciones. Para abordar esta complejidad, las técnicas estadísticas avanzadas, como el diseño factorial, son herramientas esenciales que han demostrado su eficacia en el ámbito de la ingeniería automotriz. Este enfoque permite a los profesionales del área analizar de manera estructurada cómo distintos factores influyen en el rendimiento general del sistema de suspensión (Montgomery, 2017).

En particular, el diseño factorial 2^k, se ha consolidado como una metodología clave. Este método considera un número k de variables, cada una evaluada en dos niveles, usualmente definidos como "alto" y "bajo" o "+1" y "-1". Tal configuración facilita no solo la identificación de los efectos individuales de cada factor, sino también el análisis de las interacciones que puedan surgir entre ellos. Esto es especialmente valioso porque permite detectar combinaciones de factores cuyos efectos podrían pasar desapercibidos si se estudiasen de manera aislada (Box et al., 2005).

Cuando se aplica al diseño de suspensiones, el diseño factorial ^k ayuda a los ingenieros a estudiar cómo interactúan parámetros como la rigidez de los resortes, las características de los amortiguadores o la geometría de la suspensión. Estas interacciones influyen

directamente en aspectos críticos del desempeño del vehículo, como la estabilidad, la calidad de marcha, la maniobrabilidad y la absorción de impactos (Sorniotti et al., 2015).

El uso de esta técnica también refuerza la robustez estadística del análisis. Mediante la incorporación de repeticiones en los experimentos, es posible reducir el impacto de la variabilidad experimental y calcular márgenes de error más precisos, lo que aumenta la confianza en los resultados obtenidos (Gillespie, 1992).

Este enfoque también permite evaluar la consistencia de los resultados bajo diferentes condiciones, una consideración especialmente importante en sistemas de suspensión, donde los cambios en las condiciones operativas pueden afectar significativamente el rendimiento (Milliken & Milliken, 1995).

A pesar de su eficacia, el diseño factorial 2^k puede ser exigente en términos computacionales, especialmente cuando el número de factores es elevado. Para abordar esta limitación, se pueden emplear alternativas como los diseños factoriales fraccionados o los métodos de superficie de respuesta, los cuales optimizan el análisis sin comprometer la calidad de los resultados (Wu & Hamada, 2011).

De esta manera, el uso del diseño factorial en la optimización de sistemas de suspensión vehicular representa un enfoque sofisticado y metódico para abordar la complejidad inherente a este proceso de ingeniería. Al permitir la evaluación sistemática de múltiples factores y sus interacciones, junto con la implementación de repeticiones para aumentar la confiabilidad, este método proporciona a los ingenieros automotrices una herramienta poderosa para desarrollar sistemas de suspensión que ofrezcan un rendimiento óptimo bajo una amplia gama de condiciones de operación.

Para el desarrollo del presente trabajo se consideran los siguientes factores de interés:

Frecuencia de oscilación: Es el número de ciclos completados que realiza un sistema oscilante en un segundo. Su magnitud es en Hertzios (Hz)

$$f = \left(\frac{1}{2\pi}\right) * \sqrt{\frac{k}{m}} \qquad \text{Ec. (1)}$$

donde,

f= frecuencia de oscilación

k= constante de rigidez del resorte

m= masa del sistema

π= 3.1416 (constante)

La Ecuación 1 establece la relación entre la frecuencia de oscilación de un sistema y sus propiedades físicas, como la constante de rigidez del resorte (k) y la masa del sistema (m). A medida que la rigidez del resorte aumenta, la frecuencia de oscilación también incrementa, indicando que un resorte más rígido oscila más rápido.

Coeficiente de amortiguamiento: Es una función que sirve para medir la capacidad que tiene el sistema para poder disipar la energía y reducir la amplitud de las oscilaciones con el tiempo. Está representada por la letra ζ y se clasifica de la siguiente manera:

- Subamortiguado (ζ < 1): El sistema oscila mientras la amplitud disminuye gradualmente.
- Críticamente amortiguado (ζ = 1): El sistema regresa al equilibrio sin oscilar, en el menor tiempo posible.
- Sobreamortiguado (ζ > 1): El sistema regresa al equilibrio sin oscilar, pero más lentamente que en el caso crítico.

La ecuación para determinar el coeficiente de amortiguamiento es:

$$\zeta = c/(2 * \sqrt{(K * m)}) \qquad \text{Ec. (2)}$$

donde,

$\zeta = 0$ o 1

c= coeficiente de Amortiguamiento

k= constante de rigidez del resorte

m= masa del sistema

La ecuación 2 describe la relación entre las propiedades físicas del sistema y su capacidad de disipar energía. Permite la clasificación del comportamiento en el sistema de las categorías presentadas

Amplitud de vibración: Esta función permite verificar la máxima desviación de un sistema oscilante respecto a su posición de equilibrio, tiene varias magnitudes: unidades de longitud (metros, milímetros) o ángulos (grados, radianes) dependiendo del tipo de oscilación y la configuración se obtendrán los siguientes criterios:

En un sistema no amortiguado, la amplitud es constante, a diferencia de un sistema amortiguado, en el cual la amplitud disminuye con el tiempo debido a la disipación de energía.

$$A = \frac{k}{m} * x \qquad \text{Ec. (3)}$$

donde:
A=amplitud de vibración
k= constante de rigidez del resorte
m= masa del sistema
x= desplazamiento

La Ecuación (3) establece que la amplitud de vibración (A) es directamente proporcional a la constante de rigidez del resorte (k) y al desplazamiento (x), mientras que es inversamente proporcional a la masa del sistema (m). Esto significa que, a mayor rigidez del resorte o mayor desplazamiento, la amplitud de vibración será mayor, mientras que un incremento en la masa del sistema reducirá dicha amplitud.

CAPÍTULO 1
CONDICIONES GENERALES PARA EFECTUAR PRUEBAS EN VEHICULOS

1.1 Descripción de la suspensión original

El sistema de suspensión trasera convencional del Fiat Uno 2007 representa un diseño clave que busca equilibrar el confort y la estabilidad del vehículo (González, 2023). Este diseño se basa en un eje rígido, una solución técnica comúnmente adoptada en vehículos de esta categoría debido a su comprobada eficiencia (Rodríguez & Martínez, 2022). Su funcionamiento se fundamenta en la conexión directa entre las dos ruedas traseras mediante una estructura rígida, lo que garantiza un comportamiento coordinado y predecible del tren trasero (López, 2024).

Esta arquitectura ofrece un manejo confiable, ya que mantiene una geometría constante entre las ruedas traseras, lo que se traduce en estabilidad direccional y un control adecuado bajo diversas condiciones de manejo (Sánchez, 2023). Entre sus ventajas más destacadas se encuentra la capacidad de distribuir las cargas de manera uniforme entre ambos lados del vehículo, una característica particularmente beneficiosa al transitar por terrenos irregulares o al realizar maniobras en curvas (Fernández & Pérez, 2023). Además, su diseño mecánico relativamente sencillo ayuda a conservar una altura constante de la carrocería respecto al suelo, un aspecto esencial para optimizar el comportamiento dinámico del vehículo (Morales, 2024).

1.2 Normativas y regulaciones para efectuar pruebas en vehículos y componentes

Las pruebas de suspensión desempeñan un papel crucial en el desarrollo y evaluación de los sistemas de suspensión automotriz, siendo esenciales para garantizar la seguridad, el desempeño y la calidad general de los vehículos (Gillespie, 1992). Las normativas que rigen estas evaluaciones no se limitan a ser simples requisitos burocráticos, sino que actúan como herramientas técnicas indispensables que establecen criterios estrictos para analizar el rendimiento de diversos sistemas. Por ello, resulta fundamental para este trabajo de titulación evaluar la capacidad del sistema de suspensión para absorber vibraciones, mantener la estabilidad del vehículo, brindar confort a los ocupantes y garantizar un óptimo desempeño dinámico en variadas condiciones de uso (Wong, 2008). Estas regulaciones, elaboradas por organismos internacionales como la ISO y SAE, así como entidades gubernamentales de diferentes países, definen procedimientos normalizados que aseguran evaluaciones precisas

y comparables. Dichos procedimientos incluyen aspectos como la respuesta del sistema a distintos tipos de superficies, cargas dinámicas, frecuencias de vibración, desgaste de componentes, comportamiento en curvas, transferencia de cargas y el rendimiento en condiciones extremas de temperatura y uso (Pacejka, 2006). Estas normativas no solo establecen parámetros técnicos uniformes, sino que también contribuyen a proteger a los usuarios, minimizando riesgos asociados con fallos en la suspensión, fomentando la innovación tecnológica dentro de la industria automotriz y asegurando que los vehículos cumplan con estándares de seguridad y rendimiento que resguarden la vida de conductores, pasajeros y otros usuarios de la vía pública (Milliken & Milliken, 1995).

El Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) es un organismo público clave en la creación y actualización de normas técnicas en Ecuador. Su labor abarca la definición, desarrollo y difusión de reglamentos técnicos para garantizar la calidad y seguridad de productos y servicios en diversos sectores económicos. Además, el INEN promueve la competitividad empresarial y la protección de los consumidores mediante la adaptación de estándares internacionales a la realidad ecuatoriana. Su función en la homologación de normas facilita la inserción de productos ecuatorianos en mercados globales, potenciando la competitividad del país y promoviendo una cultura de excelencia y mejora continua.

1.2.1. Elementos mínimos de seguridad Reglamento RTE INEN 034 4R

El propósito del reglamento RTE INEN 034, en su carta revisión, define las condiciones esenciales mínimas de seguridad que deben cumplir los vehículos automotores que circulen dentro del territorio ecuatoriano.

El ámbito de aplicación del reglamento es para todos los vehículos que formen parte del parque automotor ecuatoriano, independientemente de si son importados, ensamblados o fabricados en el país.

Dentro de los requisitos del producto, en el párrafo 4.6 Suspensión se detalla que los vehículos, importados o ensamblados en el país, dispongan de un sistema de suspensión con amortiguadores en cada eje o rueda, manteniendo siempre las especificaciones técnicas del diseño del fabricante.

1.2.2. Altura de los dispositivos de iluminación NTE INEN 1155:2009

Las modificaciones en la suspensión de un vehículo pueden alterar la altura de las luces con respecto al nivel de la calzada. Por ello, para validar estas modificaciones, se debe revisar la altura de los dispositivos ópticos del vehículo. En el caso de los vehículos de categoría M1 que circulan en Ecuador, estos deben cumplir con las especificaciones de la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 1155:2009. Esta norma detalla los requisitos mínimos de alumbrado en vehículos automotores, incluyendo las dimensiones para la instalación de las luces delanteras, laterales y traseras. Según lo especificado por la norma, las luces deben colocarse a una distancia máxima de 400 mm de los extremos laterales, lo que asegura una adecuada visibilidad lateral del vehículo. Además, la normativa establece que la altura de los dispositivos de iluminación para las luces indicadoras posteriores debe estar entre 350 mm y 1500 mm desde la superficie de la calzada. Este intervalo toma en cuenta factores como la ergonomía del diseño, la visibilidad en diferentes condiciones de iluminación y las características específicas de los vehículos dentro de la categoría M1.

1.2.3. Condiciones Generales para pruebas en vehículos

La validación de pruebas para cualquier sistema vehicular requiere una metodología clara que permita interpretar correctamente los resultados. Por esta razón, es fundamental definir las condiciones en las que se realizarán los ensayos. En este contexto, se utiliza como referencia la información contenida en el Código Federal de Regulaciones (CFR 49), específicamente en el título 49, subtítulo B, capítulo 5, relacionado con la Administración Nacional de Seguridad del Tráfico en Carreteras (NHTSA) y las regulaciones federales de seguridad vehicular. De acuerdo con la Parte 571 de la CFR 49, al momento de realizar pruebas en los diversos sistemas del vehículo, las normativas destacan aspectos clave que deben considerarse, como la seguridad estructural, el rendimiento del sistema y los parámetros técnicos específicos que aseguren una evaluación integral y precisa.

Sin embargo, también se consideran aspectos relevantes de otras normativas como son:

ISO 16750-4:2010. Vehículos de carretera - Condiciones ambientales y de ensayo para equipos eléctricos y electrónicos.

IEC 60068-2-13. Ensayos ambientales.

SAE J2954, 2019. Requisitos de interoperabilidad inalámbrica y pruebas para la carga inalámbrica de vehículos eléctricos.

ISO 10767-2, 2020. Transmisiones hidráulicas - Evaluación de la generación de pulsaciones de presión en componentes y sistemas.

ASTM E1136, 2018. Especificación estándar para neumáticos de referencia en pruebas de fricción en pavimentos.

ISO 10844, 2020. Acústica - Especificaciones del banco de pruebas para medición del ruido generado por vehículos de carretera.

SAE J2971, 2019 Guía de evaluación para la exposición a campos electromagnéticos generados por vehículos híbridos y eléctrico.

UNECE R117, 2018. Reglamento Nº 117 de las Naciones Unidas: Prescripciones uniformes relativas a la homologación de neumáticos con respecto al ruido de rodadura, la adherencia en superficie mojada y la resistencia a la rodadura

ASTM E1136, 2018. Especificación estándar para neumáticos de referencia en pruebas de fricción en pavimentos.

1.2.3.1. Condiciones Ambientales

Las condiciones ambientales son fundamentales al momento de realizar ensayos en vehículos. En la Tabla 1 se indica lo que debe considerarse al momento de realizar ensayos de pruebas para homologación vehicular.

Tabla 1 Condiciones ambientales de prueba.

Condición de prueba	Rango de valores	Regulación
Temperatura ambiente	Pruebas en rangos desde 0°C (32° F) hasta 40°C (104 °F) para verificar el rendimiento del vehículo	CFR 49 Parte 571
Humedad	Evaluación de componentes entre 10% y 95% de humedad relativa	ISO 16750-4:2010
Altitud	Pruebas a diferentes niveles de presión atmosférica, desde el nivel del mar hasta alturas de 2,500 metros	SAE J2188
Velocidad del viento	La velocidad del viento no es mayor a 5 m/s (11,2 mph).	IEC 60068-2-13

1.2.3.2. Condiciones de prueba del vehículo

- Peso del vehículo

En los ensayos para homologación de sistemas y/o componentes del vehículo se pueden considerar dos condiciones:

Peso Bruto Vehicular Máximo Autorizado (GVWR por sus siglas en inglés) determinado por el fabricante.

Peso en vacío o peso con carga ligera (LLVW por sus siglas en inglés).

Para ambas condiciones se toma en cuenta que el vehículo cuenta con todos los niveles de fluidos completos a su máximo nivel de capacidad, herramientas con las que viene equipado de fábrica, tanque de combustible lleno y llanta de emergencia.

Por otra parte, en la Tabla 2 se recopila información adicional para lograr alcanzar una de las dos condiciones de peso antes mencionada.

Tabla 2 Condiciones de prueba del vehículo

Condiciones de prueba	Rango de valores	Regulación
Carga del tanque de combustible	El tanque de combustible se llena al 100 % de su capacidad al comienzo de la prueba y no puede estar a menos del 75 % de su capacidad durante ninguna parte de la prueba.	(SAE J2954, 2019)
Distribución del peso	Rango aceptable: ±3% entre los ejes delantero y trasero	(SAE J2954, 2019)
Desviación máxima	±5 % para la estabilidad general del vehículo	(ISO 10392, 2018)
Distribución lateral del peso	Equilibrio izquierda-derecha: ±2 % de variación de peso de lado a lado	(NHTSA, 2020)

Asimetría máxima permitida	menos del 4 % de diferencia	(IIHS, 2021)
Velocidad de prueba	Entre 40 km y 60 km	(Milliken & Milliken, 2002).

- Suspensión

  En la Tabla 3 proporciona criterios esenciales para evaluar el desempeño del sistema de suspensión de un vehículo.

Tabla 3 Rendimiento del sistema mecánico

Condiciones de prueba	**Rango de valores**	**Regulación**
Recorrido de la suspensión	Debe mantener el 90% del rango diseñado	(ISO 11451-2, 2020)
Eficiencia de amortiguación	85-95% del rendimiento nominal	(SAE J2954, 2019)
Presión de Neumáticos	Delanteros: 28-30 psi (1.9-2.1 bar). Traseros: 26-28 psi (1.8-1.9 bar).	(SAE J2954, 2019)

- Sistema de frenos

  Al iniciar las pruebas de carretera, el sistema de frenos del vehículo se encuentra en las mismas condiciones originales en que fue fabricado. En cuanto a las especificaciones técnicas, la variación de la presión en el sistema de frenos debe mantenerse dentro de un margen del ±5 % en todos sus componentes, asegurando un rendimiento uniforme (SAE J1326, 2020).

  Por otro lado, el sistema de frenos debe conservar al menos el 90 % de su eficiencia térmica después de someterse a frenadas repetitivas, garantizando su resistencia al calor bajo condiciones exigentes (IEEE Std 1534, 2019).

  En relación con los ajustadores automáticos de frenos, estos mecanismos deben operar de manera constante durante toda la duración de las pruebas. Las intervenciones manuales o ajustes adicionales solo pueden realizarse de acuerdo con las especificaciones del fabricante y deben completarse antes de que inicien las evaluaciones en carretera. (SAE J2489, 2019)

- Tren motriz

  De acuerdo con la Tabla 4, se describen las condiciones específicas de prueba necesarias para evaluar el rendimiento del tren motriz de un vehículo. Los valores presentados se obtienen en ensayos controlados que simulan diversas condiciones operativas, tales como cambios en la carga y variaciones de velocidad, con el propósito de garantizar resultados fiables y reproducibles. La consistencia del rendimiento se mide conforme a la normativa ISO 10767-2 (2020), evaluando el comportamiento del sistema bajo ciclos operativos estandarizados que determinan si la potencia de salida nominal varía dentro del margen permitido de ±3 %. Esto asegura un funcionamiento estable y eficiente en entornos reales. Por otro lado, la variación de par es evaluada bajo las condiciones estipuladas por la regulación UNECE R85 (2018), que incluye pruebas en diferentes puntos de la curva de par especificada. Este parámetro debe mantenerse dentro del margen del ±5 %, lo cual es esencial para garantizar el rendimiento adecuado del motor en diversas situaciones de carga y evitar fluctuaciones que comprometan su desempeño. Estas pruebas permiten validar que el tren motriz cumpla con los estándares internacionales, asegurando un rendimiento óptimo y confiable en aplicaciones prácticas.

Tabla 4 Tren motriz

Condiciones de prueba	**Rango de valores**	**Regulación**
Consistencia del rendimiento	±3 % de la potencia de salida nominal	(ISO 10767-2, 2020)
Variación de par	±5 % de la curva de par especificada	(UNECE R85, 2018)

Mediante la Tabla 5, se proporciona las condiciones de prueba específicas para la transmisión manual de un Fiat Uno 2007, detallando los rangos de velocidad y revoluciones por minuto (RPM) correspondientes en cada cambio de marcha.

Tabla 5 Rangos típicos de cambio de marcha

Fiat Uno 2007		
Transmisión Manual 5 velocidades		
Condiciones de prueba	**Rango de valores**	**Regulación**
1ra a 2da	20-25 km/h (2500-3000 RPM)	(FIAT Technical Specifications, 2007)
2da a 3ra	35-40 km/h (3000-3500 RPM)	(FIAT Technical Specifications, 2007)
3ra a 4ta	50-55 km/h (3500-4000 RPM)	(FIAT Technical Specifications, 2007)
4ta a 5ta	65-70 km/h (4000-4500 RPM)	(FIAT Technical Specifications, 2007)

En consideración, estos valores son aproximados y varían según motor (1.0 o 1.4) (Fiat Powertrain Engineering, 2007) por lo que el ±10% de tolerancia implica un rango de variación en velocidad/RPM, la conducción suave requiere cambios dentro de estos intervalos.

- Presión de inflado de neumáticos

Los neumáticos se inflan a la presión recomendada por el fabricante del vehículo para la condición de peso GVWR del vehículo. (NHTSA FMVSS No. 139, 2020)

1.2.3.3. Pista de pruebas

Los datos de la Tabla 6, detalla las condiciones esenciales de la pista de pruebas utilizadas para evaluar el rendimiento de los vehículos.

Tabla 6 Condiciones de la pista de pruebas

Condiciones de prueba	**Rango de valores**	**Regulación**
Ancho del carril:	Las pruebas en carretera se realizan en un carril de	ASTM E1136-18

	prueba de 3,5 m (11,5 pies) de ancho.	
Superficie seca:	Distancia especificada a 100 km/h.	(UNECE, 2021)
Superficie mojada	Aumento máximo del 10 % en la distancia de frenado.	(ASTM F2715, 2018)
Pendiente	A excepción de la prueba de mantenimiento de pendiente con freno de estacionamiento, la superficie de prueba no tiene más de un 1 % de pendiente en la dirección de la prueba y no más de un 2 % de pendiente perpendicular a la dirección de la prueba.	ASTM E1136-18
Variación de pendiente	±1% de pendiente.	(UNECE R117, 2018)
Planitud de la superficie	Desviación máxima de 5 mm por cada 3 m de longitud.	(ISO 10328, 2020)

Mediante la información de la Tabla 7, se exponen las condiciones y valores del coeficiente de fricción que se deben cumplir durante las pruebas de vehículos.

Tabla 7 Fricción superficial

Condiciones de prueba	**Rango de valores**	**Regulación**
Condición seca	Coeficiente de fricción ≥ 0,8.	(ASTM E1136, 2018)
Condición húmeda	Coeficiente de fricción ≥ 0,5.	(ISO 10844, 2020)

Variación máxima permitida	±0,1 en coeficiente de fricción.	(SAE J2971, 2019)

Al considerar pruebas en vías con curvatura, se toma en cuenta la información de la Tabla 8.

Tabla 8 Secciones curvas:

Condiciones de prueba	**Rango de valores**	**Regulación**
Radio de curvatura	Rango especificado según la velocidad de diseño.	(SAE J2964, 2019)
Ángulo de inclinación	0-6 grados, precisión de ±0,5 grados.	(ASTM F2493, 2018)
Agarre lateral	Mantener el 90% de la aceleración lateral diseñada.	(IEEE Std 1534, 2019)

En la Tabla 9 se proporcionan los siguientes criterios específicos para evaluar el comportamiento de los vehículos en diferentes zonas de prueba dinámicas, incluyendo aceleración, frenado y simulación de terrenos.

Tabla 9 Zonas de prueba dinámicas

Zona de aceleración		
Condiciones de prueba	**Rango de valores**	**Regulación**
Agarre superficial	Coeficiente de fricción mínimo de 0,7.	(SAE J2951, 2019)
Variación longitudinal	±2% en el rendimiento de aceleración.	(ISO 11992-3, 2020)
Sección de frenado		
Consistencia de la superficie	Fricción uniforme con una variación de ±0,05.	(ASTM E1136, 2018)
Rango de temperatura	Estabilidad de 0 °C a 50 °C.	(ISO 13473-1, 2019)

Simulación de terreno especial		
Prueba de superficie rugosa		
Condiciones de prueba	Rango de valores	Regulación
Altura del tope	20-80 mm	(SAE J2145, 2020)
Espaciado entre irregularidades	0,5-2 m	(UNECE R66, 2018)

Para efectuar los ensayos, la posición del vehículo se alinea en el centro del carril al inicio de cada aplicación de los frenos. Se permiten correcciones de dirección durante cada parada. Las paradas se realizan sin que ninguna parte del vehículo abandone el carril y sin una rotación del vehículo sobre su eje vertical de más de ±15° desde la línea central del carril de prueba en ningún momento durante cualquier parada (NHTSA Vehicle Performance Test Procedure, 2020).

1.2.3.4. Velocidad de pruebas

Finalmente, la seguridad presente de las regulaciones se verifica en varios puntos necesarios:

- Seguridad vial: El sitio estandarizado de las luces minimiza el peligro de diferentes colisiones, principalmente para condiciones de baja visibilidad.
- Uniformidad técnica: Las normas estandarizadas afirman que, todos los vehículos de categoría M1 deben cumplir, con requisitos necesarios de diseño y visibilidad.
- Protección al usuario: Después de definir varios parámetros detallados, se sujeta a una discrecionalidad en el diseño que podría complicar la seguridad.
- Armonización Internacional: Los estándares se verifican con las regulaciones generales de diseño automotriz.

De manera que la ubicación a 640 mm de altura presenta una ubicación óptima que equilibra la visibilidad además cumple con la normativa, el diseño estructural del vehículo de categoría M1.

CAPÍTULO 2
METODOLOGÍA DE PRUEBA APLICADA

2.1. Equipos de medición y magnitudes físicas a medir

2.1.1. PHYPHOX (Physical Phone Experiments):

Es una aplicación utilizada actualmente en varios smartphones lo cual, se caracteriza por tener un código abierto, de esta manera puede usarse por científicos para realizar investigaciones, experimentaciones para usos de diferentes materias. Mediante el uso de la aplicación se ha verificado que, en el apartado del acelerómetro se pueden llegar a detallar diferentes vibraciones en graficas de tiempo real, el sensor esta caracterizado por el cambio de velocidad por la unidad de tiempo de un objeto en movimiento por lo que presenta como unidad principal (m/s^2), además estas diferentes magnitudes permiten calcular la velocidad, la posición y la orientación del objeto en tres dimensiones las cuales se presentaban en la parte trasera del vehículo, para ser exacto en habitáculo del maletero y sobre todo anclado en la parte inferior. Durante todo el recorrido de prueba, todas las vibraciones se guardaron en un documento lo cual al finalizar estas pruebas permitía observar los aspectos de vibraciones a tratar; cabe destacar que el cual se encontraba en formato CSV con solo datos numéricos, por lo que de esta manera tenía que ser exportado a otro programa para ser ejecutado y obtener visualizaciones de las vibraciones a analizar.

2.1.2. MATLAB

El software desarrollado se diseñó para realizar diversos análisis numéricos con precisión y eficiencia. Se eligió utilizarlo debido a su capacidad para gestionar datos derivados de aplicaciones previas. Para garantizar la integridad de los resultados, se verificaron minuciosamente los formatos de los datos antes de su exportación hacia el entorno de Matlab. Los datos obtenidos fueron analizados y validados, repitiendo el proceso de carga y visualización según fuera necesario, lo que permitió observar los datos numéricos en conjunto y generar representaciones gráficas de las vibraciones, calcular las frecuencias de oscilación, amplitud de vibración y coeficientes de amortiguamiento, en cada uno de los ejes cartesianos (x, y, z) y expresados en unidades de aceleración m/s^2. Además, se habilitaron

varias configuraciones del programa para optimizar la precisión de los cálculos, facilitando el ajuste de parámetros según las necesidades específicas de cada análisis. Posteriormente, se compararon los resultados antes y después de aplicar estas configuraciones, lo que permitió realizar un estudio detallado de las diferencias entre las vibraciones obtenidas.

2.2. Suspensión Estándar

Para tener una línea base de comparación, las pruebas se efectúan con el sistema de suspensión estándar del vehículo. El estado y funcionamiento del sistema se ve en el informe de la Revisión Técnica Vehicular (RTV). El reporte confirmó que todos los componentes del sistema de suspensión, incluyendo amortiguadores, resortes y articulaciones, se encontraban en condiciones óptimas de funcionamiento, como se observa en la Figura 2.1.

Figura 2.1 Parámetros de suspensión

05.01.03.01	Mecatronicas	EFICACIA SUSPENSIÓN EN RUEDA DERECHA DEL 1° EJE	%	79.00	060.00<=X<=100.00	OK	18
05.01.03.01	Mecatronicas	EFICACIA SUSPENSIÓN EN RUEDA IZQUIERDA DEL 1° EJE	%	84.00	060.00<=X<=100.00	OK	19
05.01.04.01	Mecatronicas	DESEQUILIBRIO DE SUSPENSIÓN EN 1° EJE	%	6.00	000.00<=X<=014.99	OK	
05.01.05.01	Mecatronicas	EFICACIA SUSPENSIÓN EN RUEDA DERECHA DEL 2° EJE	%	84.00	050.00<=X<=100.00	OK	18
05.01.05.01	Mecatronicas	EFICACIA SUSPENSIÓN EN RUEDA IZQUIERDA DEL 2° EJE	%	88.00	050.00<=X<=100.00	OK	19
05.01.06.01	Mecatronicas	DESEQUILIBRIO DE SUSPENSIÓN EN 2° EJE	%	5.00	000.00<=X<=014.99	OK	

Datos de la suspensión estándar, Fuente: Sebastian Maza

En la inspección visual efectuada por los técnicos, no se evidenciaron desgastes, fugas de fluido, deformaciones ni otras irregularidades que pudieran comprometer la estabilidad del vehículo o influir negativamente en los resultados de las pruebas. Este diagnóstico permitió garantizar que las mediciones realizadas fueran precisas y no estuvieran sesgadas por deficiencias en el sistema de suspensión.

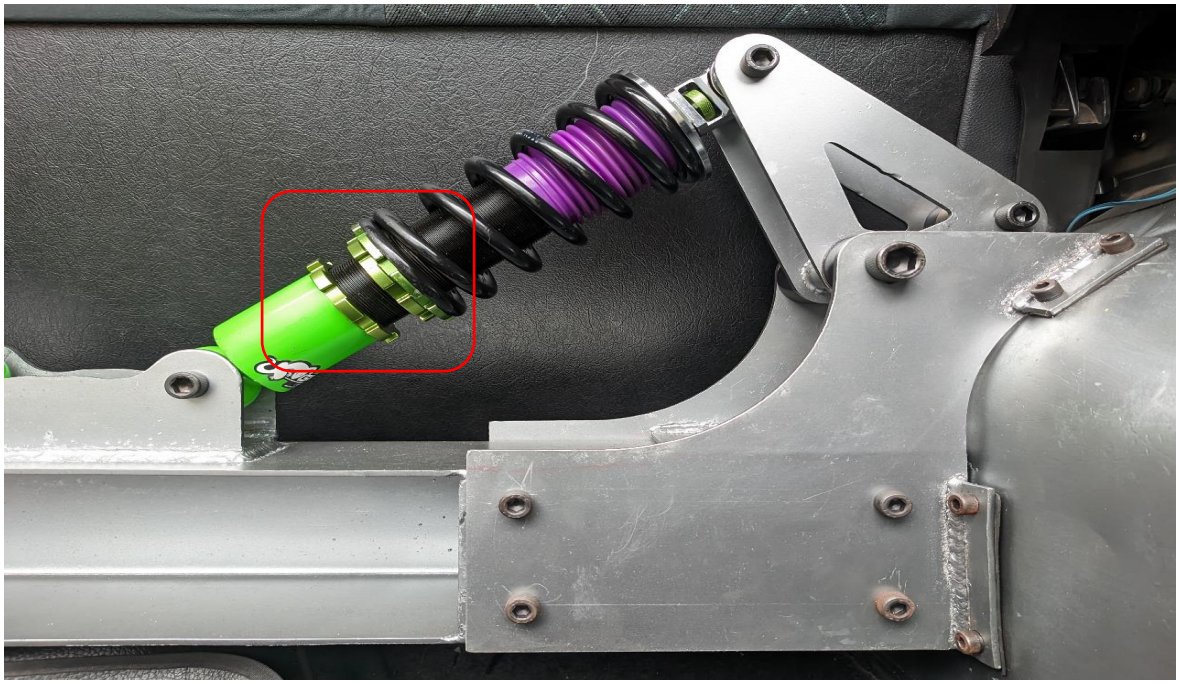
Estos parámetros resultaron cruciales para mantener un equilibrio entre la comodidad del conductor y la estabilidad dinámica del vehículo. La suspensión estándar estaba diseñada para ofrecer un comportamiento predecible y seguro, incluso en condiciones de manejo exigentes. La funcionalidad del sistema de suspensión tiene un papel determinante en la validez de los resultados obtenidos durante las pruebas. Al garantizar que la suspensión operaba dentro de sus parámetros nominales, se redujo el riesgo de que fallas mecánicas o

configuraciones inapropiadas interfirieran con los ensayos. Esto permitió enfocar el análisis en las características propias del vehículo y no en desviaciones ocasionadas por un mal estado del sistema. Este enfoque asegura que las conclusiones extraídas de las pruebas sean confiables y representativas de las condiciones reales del tren motriz y su interacción con la suspensión.

2.3. Suspensión Push rod

La calibración de los sistemas de suspensión push rod es fundamental para garantizar su óptimo funcionamiento y desempeño en vehículos. En particular, la rigidez del sistema push rod desempeña un papel crucial en la capacidad del sistema para controlar las vibraciones y responder de manera eficiente a las cargas dinámicas. Esta rigidez puede modificarse con la regulación de compresión del resorte como se observa en la Figura 2.2. Las calibraciones mencionadas en el estudio (Ruiz Estrada, 2024), permite la transmisión adecuada de fuerzas hacia el chasis, asegurando estabilidad y confort durante la operación del vehículo. Una calibración incorrecta de la rigidez podría traducirse en respuestas imprecisas ante las dinámicas del terreno, comprometiendo tanto el comportamiento como la seguridad del sistema. Además, la geometría del sistema push rod tiene un diseño característico que exige una calibración precisa de los ángulos y posiciones de sus componentes. La distribución de las cargas es otro aspecto esencial influenciado por la calibración en los sistemas push rod. A diferencia de las suspensiones convencionales, la configuración push rod altera la forma en que las fuerzas se distribuyen entre los componentes, afectando tanto las vibraciones como el rendimiento general del sistema. Un ajuste inapropiado podría incrementar los niveles de vibración y reducir el confort.

Figura 2.2 Suspensión push rod para Fiat Uno



Ensamble parcial, Fuente: Sebastian Maza

2.4.Número de pruebas

En el diseño experimental tipo 2^K , que contempla k factores con dos niveles cada uno (alto y bajo). Este número de pruebas se deriva de la fórmula 2^K, la cual asegura la evaluación de todas las combinaciones posibles entre los factores, permitiendo un análisis completo tanto de los efectos individuales como de las interacciones entre las variables.

Los niveles para considerar son:

- Suspensión estándar
- Suspensión push rod

Los aspectos que deben tenerse en cuenta son:

- Frecuencia de oscilación
- Amplitud de oscilación
- Coeficiente de amortiguamiento

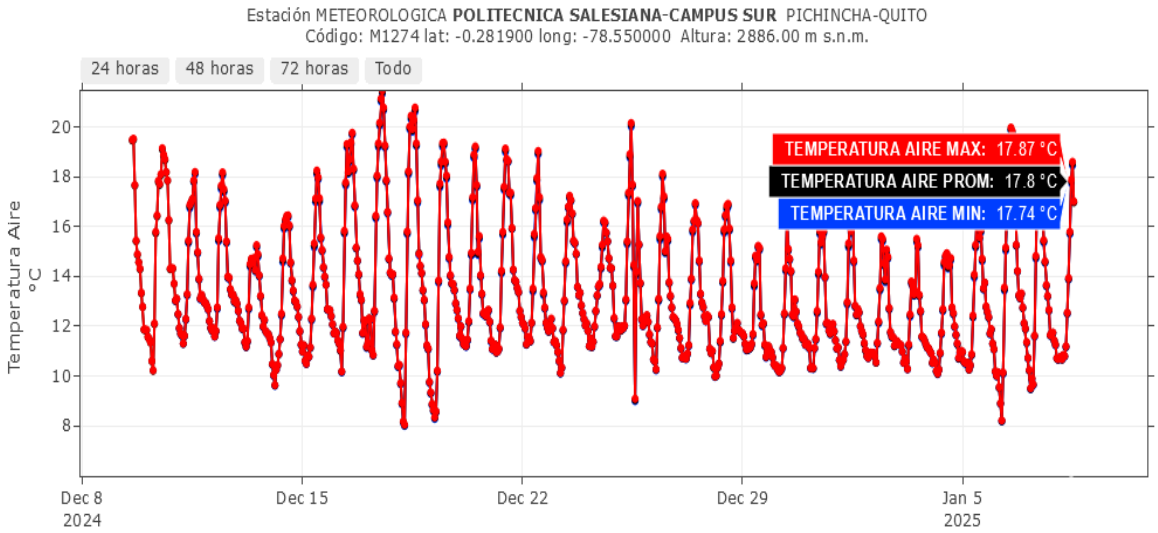
Por lo tanto, para efectuar el presente trabajo se consideran $2^3 = 8$ repeticiones para analizar los datos con dada una de las suspensiones. Se debe aclarar que este diseño experimental únicamente se usa para determinar el número de pruebas para la recolección de datos.

2.5.Condiciones generales de prueba

Para efectuar el procedimiento de pruebas realizadas para evaluar la suspensión vehicular con base a las normativas técnicas involucraron un análisis exhaustivo de las condiciones ambientales, carga y pista de pruebas activas y de desempeño mecánico del vehículo. Estos parámetros son fundamentales para garantizar que el sistema de suspensión cumpla con los requisitos de calidad, seguridad y rendimiento estipulados por los estándares internacionales. Con base a la información del numeral 1.2.3., la Tabla 10 recopila la información para la validación de los ensayos, y que al experimentar se deberá llenar al momento de efectuar los ensayos.

Es crucial que, para establecer claramente las condiciones en las que se llevará a cabo la prueba del vehículo, considerando tanto los factores externos como el estado del propio automóvil. En cuanto a las condiciones ambientales, es indispensable medir y registrar parámetros como la temperatura, la humedad y la velocidad del viento. Estos datos deben ser obtenidos de una fuente oficial y confiable, como el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), asegurando que los valores utilizados reflejen fielmente las condiciones reales del entorno, como un ejemplo del historial de temperatura se tiene en la Figura 2.3, donde se observa los historiales de las temperaturas promedio del lugar de pruebas, además nos indica los valores máximos y mínimos.

Figura 2.3 Condiciones ambientales

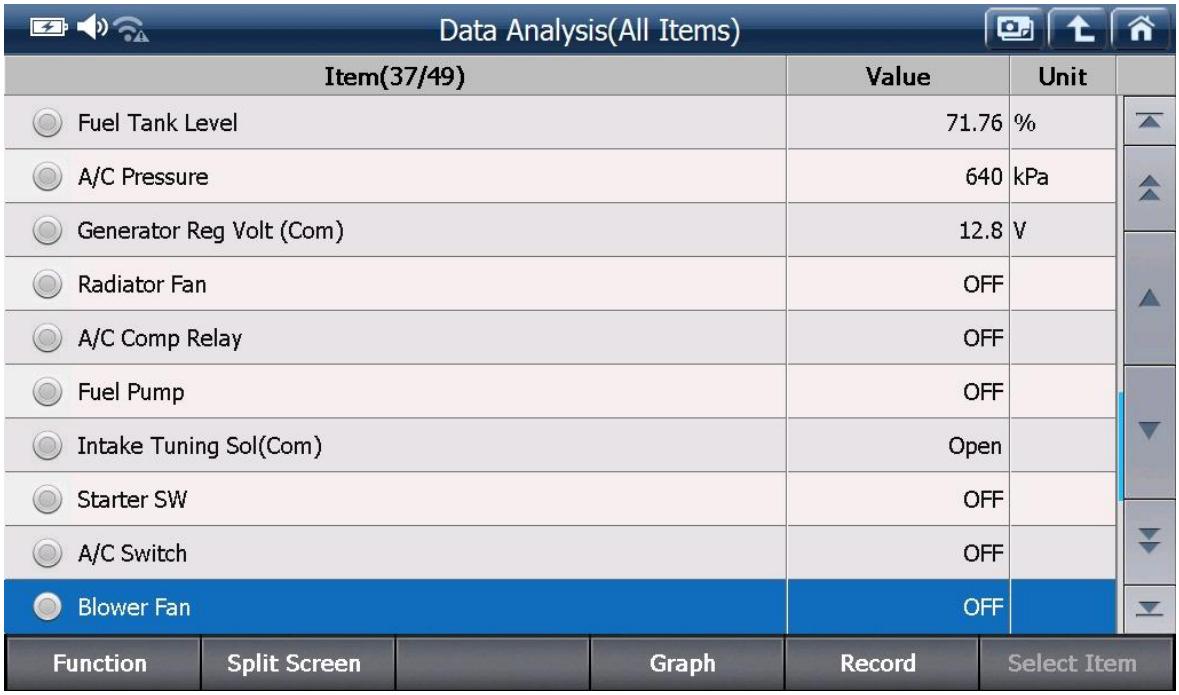


Muestras de temperaturas de aire, Fuente: INAMHI

Las condiciones de funcionamiento del motor, como la velocidad de ralentí del motor y el tiempo de encendido se ajustan de acuerdo con las recomendaciones del fabricante. Si el vehículo está equipado con un regulador de velocidad del motor ajustable, se ajusta de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

Por otro lado, al definir las condiciones de pruebas del vehículo, se debe prestar atención a la carga del tanque de combustible. Para lograr resultados consistentes, es recomendable que el tanque esté lleno o que contenga una cantidad específica de combustible, acorde al tipo de prueba que se pretende realizar. Es útil usar el indicador de combustible del panel de instrumentos del vehículo de pruebas y para un valor más exacto, si el vehículo cuenta con un control electrónico de combustible, usar un escáner para obtener este dato de manera más exacta, como se puede observar en la Figura 2.4.

Figura 2.4 Parámetro de Combustible en escáner



Nivel de Combustible, Fuente: Sebastian Maza

Las pruebas se ejecutan en diferentes condiciones de superficie y velocidad, los valores de velocidad pueden variar desde 5 km/h para pruebas de homologación de guardachoques, pasando por la velocidad 50 km/h en pruebas de impacto (Euro NCAP, 2023), hasta valores de 80% de la velocidad máxima que puede tener el vehículo de pruebas según las pruebas de frenado de la Unión Europea (Unece 13h, 2023).

La adopción de estas velocidades no solo asegura la validez de los ensayos en contextos de seguridad, sino que también proporciona un marco estandarizado para definir parámetros consistentes en el desempeño mecánico de los vehículos.

En otro aspecto, la evaluación de la eficiencia de amortiguación implica comprobar la capacidad del sistema de suspensión para mitigar las vibraciones provocadas por las irregularidades del camino. En este sentido, se revisó que las aceleraciones registradas durante las pruebas estuvieran en consonancia con las fluctuaciones en las cargas aplicadas, asegurando un desempeño adecuado en el control de los movimientos de la carrocería. Este procedimiento es esencial, dado que un sistema de suspensión eficiente no solo incrementa el confort del usuario, sino que también optimiza el comportamiento dinámico del vehículo, al minimizar el desgaste de los componentes mecánicos y mejorar la tracción de los neumáticos sobre el terreno. Finalmente, la presión de neumáticos es un factor crucial en el

desempeño del sistema mecánico. Se mide antes y después de cada prueba utilizando un manómetro calibrado, asegurando que los valores se mantengan dentro de los límites recomendados por el fabricante.

Las condiciones en las pruebas vehiculares requieren de una pista con parámetros controlados y debidamente medidos. A continuación, se detallan los procedimientos para evaluar cada condición de la pista: La medición del ancho del carril se basa utilizando una herramienta de medición, como una cinta métrica o un dispositivo láser de alta precisión, para determinar el ancho del carril en distintos puntos de la pista. Esta medición debe ser consistente a lo largo del recorrido, verificando que no haya variaciones significativas que puedan afectar el desarrollo de la prueba. Seguidamente de la evaluación de la pendiente en el trayecto se mide empleando un nivel digital o un inclinómetro, los cuales registran el ángulo de inclinación en distintos tramos de la pista. Este procedimiento se repite varias veces para obtener un valor promedio que garantice una evaluación precisa. De igual manera la determinación de la variación de pendiente identifica las alteraciones del terreno, se recurre al uso de una estación total o un nivel topográfico. Estos equipos permiten construir un perfil detallado del relieve, asegurando que cualquier cambio en la inclinación sea documentado y considerado durante las pruebas. En conclusión, la consistencia de la superficie de frenado la uniformidad de la superficie destinada a las pruebas se comprueba mediante un medidor de fricción, el cual proporciona el coeficiente de adherencia del pavimento. Este dato es fundamental para garantizar condiciones homogéneas durante las maniobras de frenado y evitar resultados erráticos.

Finalmente, toda la información descrita debe recopilarse con base a la Tabla 10.

Tabla 10 Muestra de condiciones de prueba del Vehículo

CONDICIONES AMBIENTALES	
Condición de prueba	**Valores para medir**
Temperatura ambiente	
Humedad	
Velocidad del viento	
CONDICIONES DE PRUEBA DEL VEHICULO	
Condición de prueba	**Valores para medir**
Carga del tanque de combustible	
Velocidad de pruebas	
RENDIMIENTO DE SISTEMA MECANICO	
Condición de prueba	**Valores para medir**
Eficiencia de amortiguación	
Presión de Neumáticos	
CONDICIONES DE PISTA	
Condición de prueba	**Valores para medir**
Ancho del carril	
Pendiente	

CAPÍTULO 3
VALIDACIÓN DE LOS REQUISITOS PARA EFECTUAR PRUEBAS DE SUSPENSIÓN EN VEHÍCULOS

3.1. Verificación de la altura de los elementos de iluminación posterior

La modificación en el sistema de suspensión posterior tiene una influencia directa en la altura de las luminarias de los faros traseros, la medición de estas se realizó con la suspensión de fábrica y modificada como se indica en las Figura 3.1, de acuerdo con la norma NTE INEN 1155 (Luces y dispositivos reflectantes en vehículos automotores. Requisitos). Se obtuvo los siguientes resultados como se indican en la Tabla 11.

Figura 3.1 Medición de altura

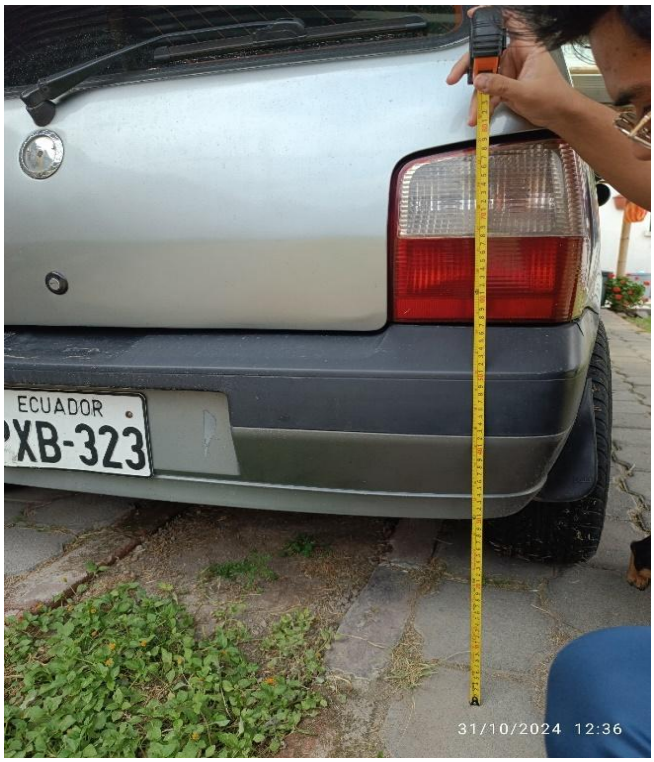


Foto tomada a 640 mm de altura, Fuente: Sebastian Maza

Tabla 11 Altura antes y después

Luminaria	Altura antes (mm)	Altura después (mm)
Luz de posición trasera derecha	700 mm	640 mm
Luz de posición trasera izquierda	700 mm	640 mm
Luz de freno trasera derecha	710 mm	650 mm
Luz de freno trasera izquierda	710 mm	650 mm

Según las especificaciones del vehículo, las luces de posición están ubicadas a una altura de 640 mm desde la calzada, esta posición asegura que se encuentren dentro del rango medio permitido por la normativa. La posición garantiza que las luces se encuentran visibles para otros usuarios de la calzada, además se conoce que se cumplen con los estándares de seguridad definidos por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN).

3.2. Verificación de los nuevos elementos de suspensión

Suspensión gecko Street (Fiat 1) está diseñado para modificar la geometría junto con el rendimiento de la suspensión del vehículo original como se ve en Tabla 12; este sistema esta categorizado como un sistema de suspensión de posventa y diseñado específicamente para el modelo Fiat Uno 2007 por lo que tiene las siguientes características establecidas cómo se presentan en la Tabla 13.

Tabla 12 Antes y después del templado para la corrección de camber (Ruiz Estrada, 2024)

	ANTES		DESPUES	
	IZQUIERDA	**DERECHA**	**IZQUIERDA**	**DERECHA**
CAMBER	1°30	1°55	0°25	-0°32
CONVERGENCIA	0°20	-0°20	0°50	-0°43
CONVERGENCIA TOTAL	0°20		0°47	

Tabla 13 Dimensiones de suspensión gecko Street

Largo	Aproximadamente 400 - 450 mm
Ancho	150 - 200 mm
Material	Acero o aleación especial

La suspensión está diseñada para optimizar la absorción de impactos, minimizar vibraciones, garantizar estabilidad en curvas y ofrecer una respuesta progresiva en la amortiguación. Estas propiedades mejoran tanto la altura del vehículo como su comportamiento dinámico y su postura general, evidenciando su capacidad para soportar los impactos habituales en superficies urbanas. La implementación de esta se muestra en la Figura 3.2.

Figura 3.2 Suspensión push rod para Fiat Uno

Ensamble Final, Fuente: (Ruiz Estrada, 2024)

3.3. Verificación de condiciones de prueba

En cuanto a las condiciones del terreno, se estimó que las vías utilizadas se distribuyen según los siguientes porcentajes: caminos de primer orden 25-30 % (Prefectura de Pichincha, 2022), Caminos de Segundo Orden Porcentaje aproximado: 50-55% (Ministerio de Transporte y Obras Públicas [MTOP], 2021) y Caminos de Tercer Orden Porcentaje aproximado: 15-20% (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC], 2019), Con base en esta distribución, se decidió realizar las pruebas en caminos de segundo orden, que representan una condición intermedia y común en el contexto urbano y periurbano.

De acuerdo con la Figura 3.3 la calzada utilizada para las pruebas tiene una longitud aproximada de 200 metros y un ancho total de 7,30 metros, dividido en dos carriles de 3,65 metros cada uno. Estas dimensiones son adecuadas para la instrumentación y la recopilación de datos, permitiendo que el vehículo transite por el centro de cada carril para minimizar las discontinuidades e irregularidades que podrían introducir perturbaciones en las mediciones.

Además, esta zona cuenta con un flujo moderado de vehículos, lo que facilitó el cierre preventivo de la vía durante las pruebas.

Este cierre permitió que el vehículo alcanzara la velocidad requerida antes de iniciar cada maniobra, garantizando la posibilidad de completar ciclos repetitivos de aceleración, estabilización y frenado de emergencia. Estas pruebas se llevaron a cabo considerando las condiciones típicas de vehículos de categoría M1, tanto con carga como sin ella, en función de los escenarios definidos en la matriz de experimentación.

Figura 3.3 Calles C.Q y Azuay

Ubicación del vehículo en el centro de la calzada, Fuente: Sebastian Maza

En la tabla 14, se presenta las características ambientales registradas durante el proceso de pruebas, junto con las especificaciones del vehículo y de la vía para ambos tipos de suspensión.

Tabla 14 Condiciones reales de pruebas del vehículo

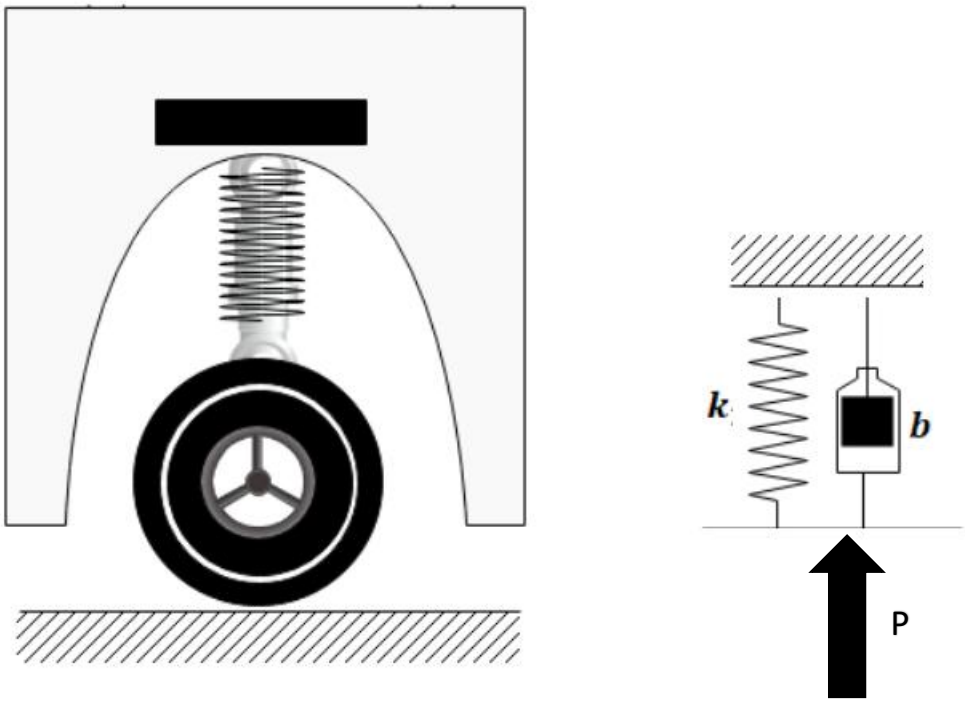
CONDICIONES AMBIENTALES		
Condición de prueba	**Rango de valores Suspensión Estándar**	**Rango de valores Suspensión Push rod**
Temperatura ambiente	21°C	20°C
Humedad	75% de humedad relativa	75% de humedad relativa
Velocidad del viento	4 m/s	5 m/s
CONDICIONES DE PRUEBA DEL VEHÍCULO		
Condición de prueba	**Rango de valores Suspensión Estándar**	**Rango de valores Suspensión Push rod**
Carga del tanque de combustible	85 % de su capacidad al comienzo de la prueba	93 % de su capacidad al comienzo de la prueba
Velocidad de Prueba	45 km	45 km
RENDIMIENTO DE SISTEMA MECÁNICO		
Condición de prueba	**Rango de valores Suspensión Estándar**	**Rango de valores Suspensión Push rod**
Eficiencia de amortiguación	80 % del rendimiento nominal	93 % del rendimiento nominal
Presión de Neumáticos	Delanteros: 28 psi Traseros: 27 psi	Delanteros: 28 psi Traseros: 27 psi
CONDICIONES DE PISTA		
Condición de prueba	**Rango de valores Suspensión Estándar**	**Rango de valores Suspensión Push rod**
Ancho del carril	Las pruebas de carretera se realizan en un carril de prueba de 3,65 m.	Las pruebas de carretera se realizan en un carril de prueba de 3,65 m.
Pendiente	2 %	2 %

CAPÍTULO 4
ANÁLISIS DE LA SUSPENSIÓN

En esta sección se trabajó con los datos obtenidos durante la prueba de pista, utilizando la aplicación PHYPHOX para su registro. Posteriormente, los datos serán procesados y analizados de forma sistemática mediante herramientas de estadística descriptiva en MATLAB. Además, se comprobó que los valores registrados se encuentren dentro del rango esperado, asegurando su precisión y validez para el análisis.

Por otra parte, se debe tener claro el comportamiento del sistema de suspensión y del vehículo. En el primer escenario, representado en la Figura 4.1, se analiza un sistema de vibración amortiguada forzada, en el cual la carrocería del vehículo funciona como una base fija donde se ancla el sistema de masa – resorte. La carga P representa la rueda que transfiere las fuerzas generadas durante un impacto al caer por un hueco o pasar por encima de un obstáculo.

Figura 4.1 D.C.L para el análisis del sistema de suspensión escenario 1



Masa- Resorte Fuente: Sebastian Maza

Como segundo escenario se tiene a la superficie de la vía como pared fija y la carrocería como carga aplicada al sistema. Esto es posible si se considera que, cuando el vehículo está en movimiento existen transferencias dinámicas de fuerzas al momento de acelerar, frenar y tomar una curva. En este caso, es el conductor el que determina el comportamiento de la suspensión por la sensación que este tiene al momento que percibe un balanceo de la carrocería en cualquiera de las condiciones antes mencionadas.

Al considerar el sistema masa resorte del escenario 1, el primer aspecto que se analiza en este estudio es la amplitud de una vibración, que describe el desplazamiento máximo que un sistema alcanza respecto a su posición de equilibrio. Este parámetro es fundamental para evaluar el comportamiento dinámico de los sistemas vibratorios, ya que proporciona información sobre la intensidad de las oscilaciones y su impacto en la estructura o componente evaluado.

La forma en que se determina la amplitud puede variar dependiendo del tipo de vibración y la información disponible. Un factor adicional que influye en la amplitud de las vibraciones y el comportamiento dinámico del sistema de suspensión es la presión de los neumáticos utilizados.

Como línea base para empezar el análisis de los espectros de oscilación de la suspensión, en la Tabla 15 se presenta valores referenciales comúnmente citados en la literatura técnica sobre suspensión automotriz de (Milliken & Milliken, 1995), lo que permitirá establecer rangos operativos para los dos tipos de suspensión, estándar y Push Rod, en términos de amplitud de vibración, coeficiente de amortiguamiento y frecuencia de oscilación.

Tabla 15 Rangos de suspensiones establecidos

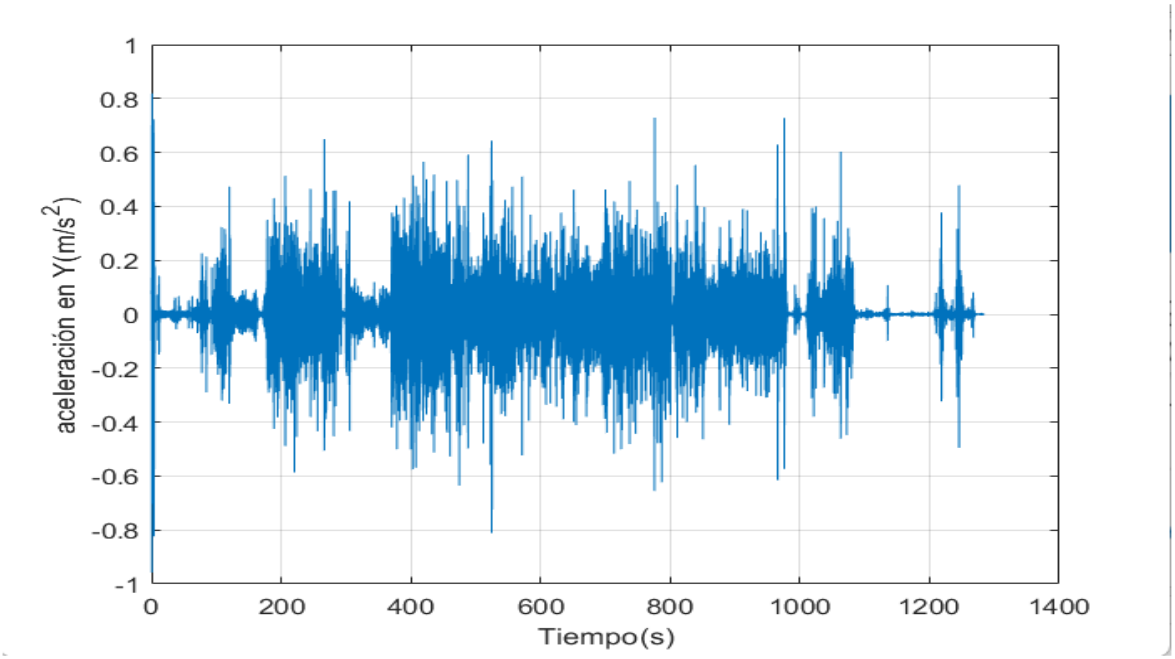
Parámetro	**Suspensión estándar**	**Suspensión Push Rod**
Amplitud de vibración	10- 30 mm	2-10 mm
Coeficiente de amortiguamiento	0.2 - 0.4 (relativamente bajo para confort)	0.4 - 0.8 (mayor para precisión dinámica)
Frecuencia de oscilación	0.8 - 1.5 Hz (confort prioritario)	1.5 - 3.0 Hz (enfoque en rendimiento)

En cuanto a las aceleraciones registradas a las perturbaciones del sistema, en las Figuras 4.1 y 4.2 se tiene los oscilogramas registrados durante la fase experimental. La suspensión estándar muestra un rango de vibraciones entre -0.6 m/s^2 y 0.8 m/s^2, dando un valor pico-

pico de 1.4 m/s^2, mientras que la suspensión push-rod presenta un rango de vibraciones más reducido, de -0.4 m/s^2 a 0.6 m/s^2 con valor pico-pico de 1.0 m/s^2 por lo que se considera que se redujo en un 25% las oscilaciones y los movimientos de la carrocería.

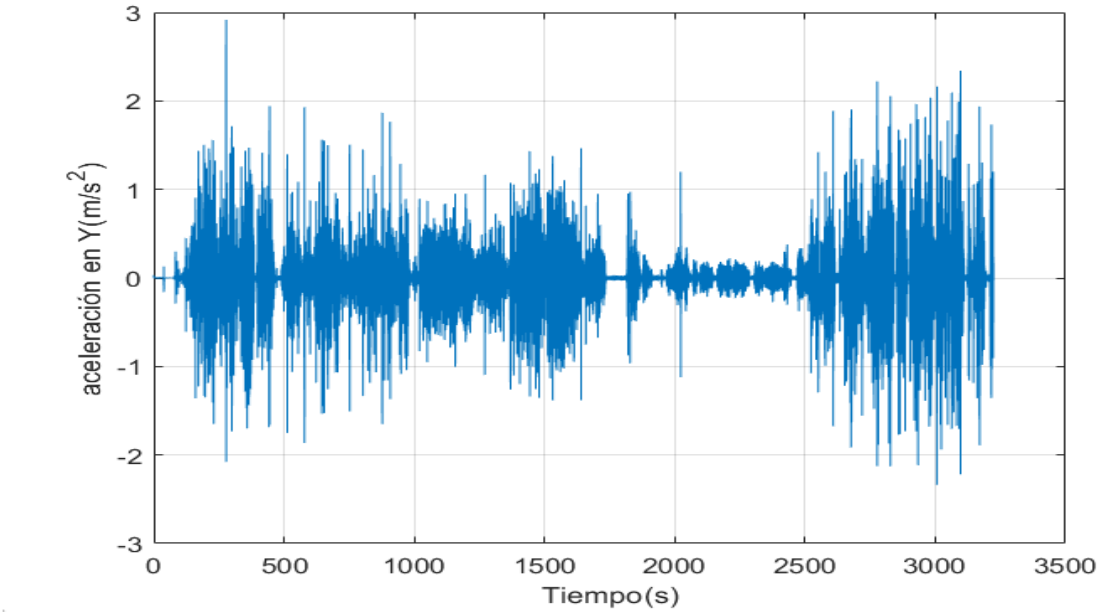
Esta diferencia en las aceleraciones registradas indica que, el sistema de suspensión push rod tiene menor absorción de impactos si se compara con la suspensión estándar, esto considerando el escenario 1 de estudio. Este tipo de suspensiones deportivas sacrifican el confort de los ocupantes mejorando las prestaciones dinámicas del vehículo debido a su mayor rigidez, valores calculados con la ayuda del programa desarrollado en Matlab e indicados en la Tabla 16, donde se puede observar un incremento de 30 N/mm en este parámetro en cada lado de las ruedas del eje posterior.

Figura 4.2 Datos obtenidos de Suspensión Estándar



Primeros datos de suspensión normal en la aplicación PHYPHOX, Fuente: Sebastian Maza

Figura 4.3 Datos obtenidos de Suspensión Trasera Push Rod



Primeros datos de suspensión Push Rod estándar en la aplicación PHYPHOX, Fuente: Sebastian Maza

Tabla 16 Rigidez promedio de la suspensión en pruebas.

	Lado derecho		**Lado Izquierdo**	
Parámetros	Suspensión estándar	Suspensión Push Rod	Suspensión estándar	Suspensión Push Rod
Valor promedio	135 N/mm	165 N/mm	130 N/mm	160 N/mm
Desviación media	4.5 N/mm	5 N/mm	4.3 N/mm	6 N/mm

Siguiendo el análisis del sistema masa resorte en vibración forzada amortiguada, en la Tabla 17 se registran los valores de las magnitud físicas como la amplitud de vibración de cada uno de los sistemas, los cuales están dentro de los rangos establecidos en la Tabla 15 y existe una notable diferencia 6.38 en el lado derecho y 6.47 en el lado izquierdo; de igual manera se tiene una reducción de 0.16 en el lado derecho y 0.07 en el lado izquierdo en la frecuencia de oscilación y finalmente se tiene el mismo comportamiento en el coeficiente de

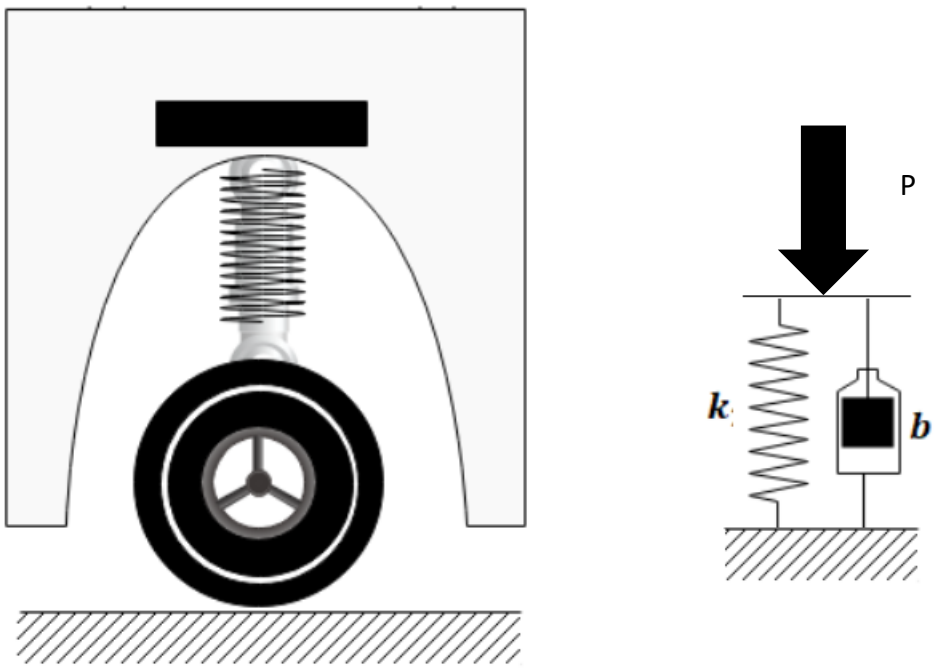
amortiguamiento considerando un valor de diferencia de 0.06 en el lado derecho y 0.04 en el lado izquierdo.

Tabla 17 Parámetros físicos de la suspensión posterior por lado

	Lado Derecho		**Lado Izquierdo**	
Parámetro	**Suspensión Estándar**	**Suspensión Push rod**	**Suspensión Estándar**	**Suspensión Push rod**
Amplitud de vibración	12.0786 mm	5.7027 mm	12.0879 mm	5.6141 mm
Frecuencia de oscilación	1,1125 Hz	0,9480 Hz	1,7656 Hz	1,6912 Hz
Coeficiente de amortiguamiento	1,7288 N·s/m	1,7851 N·s/m	1,5924 N·s/m	1,6298 N·s/m

Los valores obtenidos en la Tabla 17, comprueban que en el caso que la rueda transmite el impacto al sistema de suspensión, el sistema original del vehículo tiene una mejor respuesta a las oscilaciones generadas, esto desde el punto de vista del confort en la conducción.
Por otra parte, al considerar el escenario 2 en el cual el diagrama de análisis es el mostrado en la Figura 4.4, permite entender lo que el conductor y los pasajeros perciben en el vehículo con respecto al sistema de suspensión.

Figura 4.4 D.C.L para el análisis del sistema de suspensión Escenario 2



Masa- Resorte Fuente: Sebastian Maza

En este caso si se considera que la superficie de la vía no presenta irregularidades la carga P del diagrama de cuerpo libre es debido a la transferencia dinámica de fuerzas que es menor si se compara con las fuerzas generadas al momento que el neumático impacta un obstáculo. Desde este punto de vista los balanceos de la carrocería producidos por aceleraciones y frenadas bruscas o debido a la fuerza centrífuga generada al tomar una curva a velocidad producen una menor deformación en el sistema push rod debido a la mayor rigidez que este sistema presenta con respecto a la estándar, mejorando la sensación del confort del conductor y los ocupantes.

Finalmente, hay que tener en cuenta que no solo el sistema masa resorte es el sistema de suspensión sino los elementos utilizados para anclar a la carrocería del vehículo.

CONCLUSIONES

- Se obtuvieron datos precisos que permiten evaluar el comportamiento de las suspensiones estándar y push rod bajo diferentes condiciones operativas, esto fue posible gracias a la adquisición de información sobre en desempeño de los sistemas de suspensión, obtenida mediante pruebas realizadas en pista, además se utilizaron herramientas tecnológicas como PHYPHOX para registrar las aceleraciones. Su versátil configuración permite al usuario seleccionar diferentes configuraciones de acuerdo con sus necesidades por medio de los sensores desarrollados por Bosch Sensortec y STMicroelectronics, empresas especializadas en la fabricación de sensores microelectromecánicos para dispositivos móviles y aplicaciones IoT; al igual que en la fabricación de semiconductores, como microcontroladores y chips analógicos.
- Al no tener un protocolo formal para probar sistemas de suspensión establecido por entidades como NHTSA, UNECE, ISO, SAE, INEN, entre otros, la recopilación de información y el análisis exhaustivo de cada prueba normada permitió generar un protocolo propio para evaluar al sistema de suspensión del vehículo Fiat Uno año 2007. De este modo, se aseguró la precisión de los resultados permitiendo obtener mediciones consistentes con los requerimientos.
- El análisis del confort de conducción de la suspensión Push Rod mostro un mejor rendimiento, ya que reduce significativamente las oscilaciones y balanceos de la carrocería en un 25% según los datos obtenidos, especialmente en situaciones como frenadas intensas, aceleraciones rápidas y curvas cerradas. Esto se debe a su mayor rigidez a diferencia del sistema estándar, lo que proporciona una experiencia más cómoda tanto para el conductor como para los pasajeros.
- El análisis de los sistemas de suspensión, utilizando el modelo masa-resorte de un sistema forzado amortiguado, a partir del procesamiento de datos, permitió entender cómo las vibraciones y las fuerzas dinámicas influyen en la estructura del vehículo y en la sensación y percepción de seguridad que tiene el conductor y sus ocupantes. Aspectos como la frecuencia de oscilación, la amplitud de las vibraciones y el coeficiente de amortiguamiento resultaron esenciales para valorar el desempeño del sistema en términos de confort y estabilidad.
- En última instancia, al procesar y comparar los datos de ambas configuraciones de suspensión, se comprobó que el sistema Push Rod brinda un control más eficiente sobre las

fuerzas dinámicas que se generan durante el movimiento del vehículo, se registró una reducción del 25% en las oscilaciones junto con una disminución de 6.38 en el lado derecho y 6.47 en el lado izquierdo en la amplitud de vibración del sistema respecto a la suspensión estándar. Este desempeño se refleja en una menor deformación del sistema, mayor estabilidad y un impacto reducido sobre el chasis, lo que optimiza la experiencia de conducción, especialmente en terrenos irregulares y maniobras de alta exigencia.

RECOMENDACIONES

- Dados los diferentes beneficios verificados en vibraciones, confort y el análisis integrado junto con el monitoreo en tiempo real, se recomienda que para reducir los balanceos de la carrocería se implemente la variante push rod, la cual se adapta y mejorara las cualidades de manejo del vehículo en situaciones exigentes.
- Se sugiere realizar pruebas adicionales en vías que permitan exigir al límite los sistemas de suspensión. Están deben incorporar zonas con curvas y peraltes de acuerdo con los parámetros de construcción vial, con el objeto de tener más información y complementar el presente trabajo.
- Es aconsejable realizar una inspección estructural del chasis y carrocería ante las mayores cargas dinámicas que soportará el sistema con la incorporación del sistema de suspensión push rod.
- Resultaría valioso efectuar evaluaciones variantes de la geometría y suspensiones delanteras que complementen las mejoras alcanzadas en el tren posterior con esta evolución.
- Se propone evaluar esquemas alternativos de la suspensión trasera estándar para otros modelos de gama media-baja del segmento, donde básicamente se presume estas actualizaciones realizadas mostrarán beneficios semejantes.
- Para futuros diseños, se recomienda incorporar la configuración push rod como nuevo estándar de suspensión posterior en reemplazo de los sistemas más simples y con limitaciones dinámicas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

ASTM D2422. (2018). Estándar de simulación de superficies con contaminantes.

ASTM E1136. (2018). Método estándar para evaluación de coeficiente de fricción.

ASTM F2493. (2018). Estándar de especificaciones de ángulos de inclinación en pistas.

ASTM F2715. (2018). Estándar de rendimiento de frenos.

ASTM International. (2018). *Standard specification for reference tires in pavement friction tests* (ASTM E1136-18). ASTM International. https://www.astm.org/Standards/E1136.htm

Box, G. E. P., Hunter, W. G., & Hunter, J. S. (2005). Estadística para experimentadores.

Brown, J., & Wilson, R. (2018). Mejoras en sistemas de suspensión automotriz.

Davis, M., & Lee, S. (2020). Geometría y control de suspensiones en vehículos de alto rendimiento.

ECE R13. (2019). Reglamento de frenos para vehículos.

ECE R13. (2019). Reglamento de homologación de vehículos en sistemas de frenado.

Euro NCAP. (2023). *Test Protocol - Passive Safety: Frontal Impact Testing*. Obtenido de: https://www.euroncap.com

Fernández, A. (2018). Características estructurales de vehículos compactos.

Fernández, J., & Pérez, M. (2023). Capacidad de absorción de impactos en sistemas de suspensión.

Fernández, J., & Pérez, M. (2023). Distribución de cargas en sistemas de suspensión automotriz.

Fiat Powertrain Engineering. (2007). Technical Specifications for Fiat Uno.

FMVSS No. 135. (2020). Estándar federal de seguridad vehicular.

García, M. (2023). *Instrumentación Electrónica Avanzada*. Madrid: Editorial Técnica.

García, M., Rodríguez, P., & Sánchez, L. (2020). *Instrumentos de medición moderna*. Editorial Técnica Nacional.

García, R. (2024). Desempeño de configuraciones de suspensión en vehículos compactos.

García-Hernández, J. (2018). Sensores de movimiento en tecnología moderna. México: Editorial Tecnológica.

Gillespie, T. D. (1992). Fundamentals of vehicle dynamics.

Gillespie, T. D. (1992). *Fundamentals of vehicle dynamics*. Society of Automotive Engineers.

González, A. (2023). Diseño y características de suspensiones en vehículos compactos.

González, A., et al. (2023). Análisis comparativo de sistemas de suspensión en vehículos categoría M1.

González, M. (2010). Análisis de diseño del Fiat Uno: Eficiencia y consumo.

Hernández, P., & López, C. (2023). Innovaciones en diseño de sistemas de suspensión automotriz.

Hernández, R. (2018). *Guía técnica de herramientas de precisión*. México: Editorial Profesional.

IEEE Std 1534. (2019). Estándar de rendimiento térmico.

IEEE Std 1609. (2019). Estándar de aceleración vertical en pruebas de vehículos.

IIHS. (2021). Informe de distribución de peso vehicular.

INEN. (2009). Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1155:2009. Vehículos automotores. Dispositivos de alumbrado. Segunda revisión.

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2019). *Anuario de infraestructura vial provincial*. INEC.

International Electrotechnical Commission. (1983). *IEC 60068-2-13: Environmental testing - Part 2-13: Tests - Test M: Low air pressure*. Ginebra, Suiza: IEC.

International Organization for Standardization. (2010). *ISO 16750-4: Road vehicles — Environmental conditions and testing for electrical and electronic equipment — Part 4: Climatic loads*. Ginebra, Suiza: ISO.

International Organization for Standardization. (2020). *ISO 10767-2: Hydraulic fluid power — Determination of performance characteristics of pumps and motors — Part 2: Assessment of transient response*.

International Organization for Standardization. (2020). ISO 10844: Acoustics — Specification of test tracks for measuring noise emitted by road vehicles and their tyres.

International Organization for Standardization. (2020). *ISO 21955: Road vehicles — Vehicle dynamics and road-holding ability — Vocabulary and definitions for vehicle control performance*.

ISO 10328. (2020). Norma de planitud de superficies de prueba.

ISO 10392. (2018). Norma de estabilidad vehicular.

ISO 11451-2. (2020). Estándar de suspensión vehicular.

ISO 11992-3. (2020). Estándar de rendimiento de aceleración.

ISO 13473-1. (2019). Especificaciones de rango de temperatura en pruebas.

ISO 21955. (2020). Norma de controlabilidad vehicular.

Jiménez, R., et al. (2023). Metodologías de evaluación de sistemas de suspensión.

López, C. (2019). Consideraciones económicas en modificaciones vehiculares.

López, C. (2021). *Herramientas y mediciones en la industria moderna*. Buenos Aires: Editorial Técnica Sur.

López, M. (2024). Análisis comparativo de sistemas de suspensión push rod.

López, M. (2024). Análisis de sistemas de suspensión en vehículos urbanos.

Martínez, J., & López, R. (2022). *Sensores y Sistemas de Medición*. Barcelona: Ediciones Científicas.

Martínez, R. (2016). Sistemas de suspensión en vehículos de competición.

Milliken, W. F., & Milliken, D. L. (1995). *Race car vehicle dynamics*. Society of Automotive Engineers.

Milliken, W. F., & Milliken, R. (1995). Race car vehicle dynamics.

Milliken, W., & Milliken, D. (2002). Dinámica del automóvil.

Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2021). *Catastro de vías rurales de la provincia de Pichincha*. MTOP.

Montgomery, D. C. (2017). Design and analysis of experiments.

Morales, J. (2024). Control de carrocería en maniobras dinámicas.

Morales, J. (2024). Dinámica de carrocería en vehículos compactos.

National Highway Traffic Safety Administration. (2000). *Reglamento 571.135: Sistemas de frenado vehicular*. NHTSA.

NHTSA FMVSS No. 139. (2020). Estándar federal de neumáticos.

NHTSA. (2020). Informe de distribución lateral de peso.

Pacejka, H. B. (2006). *Tire and vehicle dynamics*. Butterworth-Heinemann.

Pérez, A., Sánchez, L., & Rodríguez, C. (2021). *Fundamentos de Instrumentación Electrónica*. México: Publicaciones Universitarias.

Pérez-Gutiérrez, M., Rodríguez, L., & Silva, A. (2019). Principios de instrumentación electrónica. Barcelona: Universidad Politécnica.

Prefectura de Pichincha. (2022). *Plan de desarrollo vial provincial*. Dirección de Infraestructura.

Ramírez, J. (2019). *Manual completo de instrumentos de medición*. Barcelona: Editorial Científica.

Rodríguez, A., & Martínez, E. (2022). Configuraciones de suspensión en automóviles.

Rodríguez, A., & Martínez, E. (2022). Dinámica vehicular y sistemas de suspensión.

Rodríguez, E. (2022). *Principios de Física Aplicada*. Buenos Aires: Editorial Académica.

Rodríguez, J. (2019). Mejora de sistemas de suspensión en vehículos compactos.

Rodríguez, L., & Silva, A. (2020). Acelerómetros: Fundamentos y aplicaciones tecnológicas. Revista Iberoamericana de Instrumentación, 45(3), 112-125.

Ruiz Estrada, L. M. (2024, julio). *Repositorio institucional de la universidad politécnica salesiana: Implementación de un sistema de suspensión push rod para un vehículo fiat modelo uno 2007*. Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana: Página de inicio. http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/28169

Ruiz, D. (2022). Metodologías de evaluación de sistemas de suspensión automotriz.

SAE International. (2019). *SAE J2489: Adjustadores automáticos de frenos*.

SAE International. (2019). SAE J2951: Test methods for determining the minimum surface friction coefficient for roadways.

SAE International. (2019). SAE J2964: Guidelines for establishing curvature on roadways based on design speed.

SAE International. (2019). SAE J2971: Friction performance evaluation for brake pads under wet conditions.

SAE International. (2021). *Vehicle Brake System Performance Standards*. Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers.

SAE J1326. (2020). Norma de presión de sistemas de frenos.

SAE J2145. (2020). Especificaciones de pruebas de superficies rugosas.

SAE J2954. (2019). Estándar de carga de suspensión.

Sánchez, L. (2023). Estabilidad y control en sistemas de suspensión vehicular.

Sánchez, L. (2023). Rendimiento de sistemas de suspensión en vehículos compactos.

Silva, C. (2022). Implementación de sistemas push rod en vehículos convencionales.

Smith, T. (2015). Fundamentos de ingeniería de suspensiones automotrices.

Society of Automotive Engineers. (1993). *SAE J2188: Measurement of Vehicle Road Load Forces*. Warrendale, PA: SAE International.

Sorniotti, A., Wang, C., Turner, M., & Patel, Y. (2015). Optimización de sistemas de suspensión vehicular.

Thompson, K. (2017). Tecnologías de suspensión en vehículos de competición.

Torres, M. (2022). Respuesta de suspensiones en diferentes tipos de terreno.

U.S. Government Publishing Office. (n.d.). *Title 49 - Transportation, Part 571: Federal Motor Vehicle Safety Standards*. Obtenido de: https://www.ecfr.gov

UNECE R117. (2018). Norma de variación de pendiente en pistas.

UNECE R66. (2018). Reglamento de irregularidades superficiales.

Unece 13H. (2023, 24 de febrero). *Unece 13H*. EUR-Lex — Access to European Union law. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:42023X0401

UNECE. (2021). Reglamento de distancia de frenado.

United Nations Economic Commission for Europe. (2018). *UNECE Regulation No. 85: Uniform provisions concerning the approval of internal combustion engines or electric drive trains intended for the propulsion of motor vehicles of categories M and N with regard to the measurement of the net power and the maximum 30-minute power*.

Wong, J. Y. (2008). *Theory of ground vehicles*. John Wiley & Sons.

Wu, Y., & Hamada, M. (2011). Experiments: Planning, analysis, and optimization. John Wiley & Sons.