



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO
AUTOMOTRIZ**

**TEMA: MODELADO Y CARACTERIZACIÓN DE LA SUSPENSIÓN
DELANTERA DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO**

AUTORES: HERNÁNDEZ VILLARREAL JEAN CARLO

YÁNEZ CHAMORRO LUIS DAVID

DIRECTOR: ING. EDWIN SALOMÓN ARROYO TERÁN. MSC.

Ibarra 2023

CERTIFICADO

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

En mi calidad de director del plan de trabajo de grado, previo a la obtención del título de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, nombrado por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

CERTIFICO:

Que una vez analizado el plan de grado cuyo título es “**MODELDO Y CARATERIZACION DE LA SUSPENSION DELANTERA DE UN VEHICULO ELÉCTRICO**” presentado por los señores: Jean Carlo Hernández Villarreal y Luis David Yánez Chamorro con números de cédula 0401635453 y 1003254032 consecuentemente, doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte de los señores integrantes del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 22 días del mes mayo del 2023.

Atentamente



Ing. Edwin Salomón Arroyo Terán. MSc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

| DATOS DE CONTACTO | | | |
|----------------------|--|-----------------|------------------|
| CÉDULA DE IDENTIDAD: | 040163545-3 | | |
| APELLIDOS Y NOMBRES: | Hernández Villarreal Jean Carlo | | |
| DIRECCIÓN: | Tulcán - Carchi | | |
| EMAIL: | jchernandezv@utn.edu.ec | | |
| TELÉFONO FIJO: | 06 2981434 | TELÉFONO MÓVIL: | +593 98 021 9296 |

| DATOS DE CONTACTO | | | |
|----------------------|--|-----------------|------------------|
| CÉDULA DE IDENTIDAD: | 1003254032-2 | | |
| APELLIDOS Y NOMBRES: | Yánez Chamorro Luis David | | |
| DIRECCIÓN: | Calle Armando Hidrovo - Ibarra | | |
| EMAIL: | ldyanezc@utn.edu.ec | | |
| TELÉFONO FIJO: | | TELÉFONO MÓVIL: | +593 96 300 3531 |

| DATOS DE LA OBRA | |
|------------------------------------|--|
| TÍTULO: | MODELADO Y CARATERIZACIÓN DE LA SUSPENSIÓN DELANTERA DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO |
| AUTOR (ES): | Hernández Villarreal Jean Carlo Yánez Chamorro Luis David |
| FECHA: | 12/01/2023 |
| SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO | |
| PROGRAMA: | <input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO |
| TITULO POR EL QUE OPTA: | INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ |
| ASESOR /DIRECTOR: | MSc. Edwin Arroyo. |

2. CONSTANCIAS

Los autores manifiestan que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es son los titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 22 días del mes de mayo de 2023

LOS AUTORES:



HERNÁNDEZ VILLARREAL JEAN CARLO
040163545-3



YÁNEZ CHAMORRO LUIS DAVID
1003254032-2

DEDICATORIA

El presente trabajo de grado está dedicado principalmente a mi madre Katy Villarreal siendo mi guía y mi mayor ejemplo de superación, responsabilidad, trabajo, valentía y amor que me ha permitido culminar esta carrera universitaria.

A Lissett y a mi hijo Jhulyan, que a lo largo de esta etapa siempre me apoyaron en todo momento con su compañía, paciencia y consejos siendo el motor principal para conseguir este sueño tan anhelado.

A mis hermanos y mi familia que con sus muestras de ánimo me permitieron crecer como persona y que todo lo que me proponga lo cumpla con la bendición de Dios.

Finalmente quiero dedicar a mis grandes amigos por compartir tantos momentos y enseñanzas en esta etapa de mi vida.

Hernández Villarreal Jean Carlo

Este trabajo de investigación está dedicado a mi madre Alexandra quien con tanto amor y sacrificio me ha sacado adelante, siempre influyendo en mi bien estar emocional, académico y personal, su perseverancia siempre me servirá de ejemplo para seguir a pesar de las adversidades.

A mis hermanas que siempre han sido un pilar fundamental para mí, apoyando cada decisión que tomo en mi vida, y demostrando que siempre puedo contar con ellas en las malas.

A mis amigos que han sido compañeros de vida, demostrando lealtad sobre todas las cosas.

Yáñez Chamorro Luis David

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi agradecimiento a Dios, por ser mi guía y brindarme sabiduría a lo largo de esta carrera universitaria. Agradezco a mi abuelita Clemencia, que desde el cielo siempre estuvo bendiciéndome y cuidándome en cada paso que daba.

Infinitas gracias a mi madre por el apoyo incondicional en todo momento, por sus consejos he logrado alcanzar todos los objetivos propuestos hasta ahora.

Agradezco a Lissett y a mi hijo Jhulyan por ese amor y apoyo para salir adelante en las buenas y malas.

A mis hermanos que siempre estuvieron al pendiente de mí y brindándome apoyo cuando más los necesité.

A la Universidad Técnica del Norte por abrirme las puertas y permitirme obtener este título, a los docentes que con su amplia experiencia y conocimiento me orientaron en todo el periodo de estudio y a la culminación de este proyecto de investigación mil gracias.

A mi compañero de tesis Luis Yánez por compartir tantas experiencias en estos años.

Hernández Villarreal Jean Carlo

Sobre todas las cosas le debo mi agradecimiento a mi madre Alexandra, quien es el pilar fundamental en mi vida, es una constante guía en mi camino, brindándome siempre todo su apoyo con el fin de verme crecer y superar en cada meta que me proponga.

Siempre tener presente a mis hermanas y sus cuidados, que se han comportado como otra madre y siempre teniéndome presente y acompañándome en cada paso de mi vida.

Yánez Chamorro Luis David

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | PÁGINA |
|--|---------------|
| RESUMEN | xvii |
| ABSTRACT | xviii |
| INTRODUCCIÓN | xix |
| CAPÍTULO I | 1 |
| 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA | 1 |
| 1.1. Justificación | 1 |
| 1.2. Alcance | 1 |
| 1.3. Planteamiento del problema | 1 |
| 1.4. Objetivos | 2 |
| 1.4.1. Objetivo General | 2 |
| 1.4.2. Objetivos Específicos | 2 |
| 1.5. Antecedentes | 3 |
| 1.5.1. Suspensión vehicular | 4 |
| 1.5.2. Principales elementos de la suspensión | 4 |
| 1.5.3. Funcionalidad de la suspensión en vehículos | 5 |
| 1.5.4. Masas suspendidas | 5 |
| 1.5.5. Masas no suspendidas | 6 |
| 1.5.6. Clasificación de los sistemas de suspensión | 6 |
| 1.5.7. Componentes elásticos de la suspensión | 6 |
| 1.5.7.1. Neumáticos | 6 |
| 1.5.7.2. Amortiguadores | 8 |
| 1.5.7.3. Mesas de suspensión | 9 |
| 1.5.7.4. Rotulas o cojinetes esféricos | 9 |
| 1.5.7.5. Silentblock | 10 |

| | | |
|---------------------|--|-----------|
| 1.5.7.6. | Muelles | 11 |
| 1.5.8. | MSC Adams | 14 |
| 1.5.8.1. | Adams Car | 15 |
| 1.5.8.2. | Utilidad del software Adams Car | 16 |
| 1.5.8.3. | Beneficios de Adams Car | 16 |
| CAPÍTULO II | | 18 |
| 2. | MATERIALES Y MÉTODOS | 18 |
| 2.1. | Materiales | 18 |
| 2.1.1. | Renault Twizy | 18 |
| 2.1.2. | Básculas E-Z Weigh Scale Model SW500 | 19 |
| 2.1.3. | Programa Adams Car | 20 |
| 2.2. | Métodos | 21 |
| 2.2.1. | Selección del vehículo eléctrico | 22 |
| 2.2.1.1. | Renault Twizy | 22 |
| 2.2.2. | Caracterización del sistema de suspensión del EV | 23 |
| 2.2.3. | Comprobación de masa vehicular | 28 |
| 2.2.4. | Medición de coordenadas x, y, z de los componentes mecánicos | 31 |
| 2.2.5. | Simulación del sistema de suspensión | 31 |
| 2.2.5.1. | Plantilla | 31 |
| 2.2.5.2. | Simulación | 36 |
| CAPÍTULO III | | 49 |
| 3. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 49 |
| 3.1. | Resultados | 49 |
| 3.1.1. | Mediciones realizadas en el vehículo: | 50 |
| 3.1.2. | Análisis de datos simulación | 52 |
| • | “Parallel Wheel Travel” | 52 |

| | | |
|--------------------|---------------------------------------|-----------|
| • | “Opposite Wheel Travel” | 53 |
| • | “Roll and Vertical Force” | 54 |
| • | “Single Wheel Travel” | 55 |
| 3.2. | Discusión | 55 |
| CAPÍTULO IV | | 58 |
| 4. | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 58 |
| 4.1. | Conclusiones | 58 |
| 4.2. | Recomendaciones | 59 |
| CAPÍTULO V | | 60 |
| 5.1 | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 60 |
| 5.2 | ANEXOS | 66 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| FIGURA | PÁGINA NÚM. |
|---|--------------------|
| Figura 1.1 Suspensión delantera del tipo McPherson | 4 |
| Figura 1.2 Masas suspendidas y no suspendidas | 5 |
| Figura 1.3 Neumáticos secos y de lluvia | 7 |
| Figura 1.4 Mesas de suspensión | 9 |
| Figura 1.5 Rotulas o cojinetes esféricos | 10 |
| Figura 1.6 Silentblocks | 10 |
| Figura 1.7 Muelles de suspensión | 11 |
| Figura 2.1 Renault Twizy | 18 |
| Figura 2.2 Sistema de balanzas | 20 |
| Figura 2.3 Suspensión McPherson | 21 |
| Figura 2.4 Flujograma metodológico | 22 |
| Figura 2.5 Renault Twizy Cargo | 23 |
| Figura 2.6 Puntos de anclaje | 23 |
| Figura 2.7 Anclaje amortiguador-chasis | 24 |
| Figura 2.8 Anclaje amortiguador-mangueta | 25 |
| Figura 2.9 Anclaje terminal-mangueta | 25 |
| Figura 2.10 Anclaje rótula-mangueta | 26 |
| Figura 2.11 Anclaje brazo oscilante-chasis | 27 |
| Figura 2.12 Comprobación de niveles de presión | 28 |
| Figura 2.13 Configuración de equipo | 29 |
| Figura 2.14 Instalación de cables de balanzas | 29 |
| Figura 2.15 Instalación de balanzas en ruedas | 30 |
| Figura 2.16 Valores de masa | 30 |
| Figura 2.17 Interfaz para obtener la plantilla | 32 |

| | |
|---|----|
| Figura 2.18 Plantilla McPherson | 32 |
| Figura 2.19 Puntos de anclaje McPherson | 33 |
| Figura 2.20 Puntos de anclaje, suspensión McPherson | 33 |
| Figura 2.21 Puntos de anclaje de la suspensión | 34 |
| Figura 2.22 Tabla de puntos de anclaje | 34 |
| Figura 2.23 Etiquetas de puntos de anclaje | 35 |
| Figura 2.24 Modificación de Piezas | 35 |
| Figura 2.25 Ajuste de medidas | 36 |
| Figura 2.26 Interfaz Estándar | 37 |
| Figura 2.27 Subsistema McPherson | 37 |
| Figura 2.28 Creación de la Plantilla McPherson | 38 |
| Figura 2.29 Suspensión, Plantilla McPherson | 38 |
| Figura 2.30 Selección de análisis “Parallel Wheel Travel” | 39 |
| Figura 2.31 Interfaz de datos simulación “Parallel Wheel Travel” | 39 |
| Figura 2.32 Tabla de alineación específica | 40 |
| Figura 2.33 Tabla de control de animación | 40 |
| Figura 2.34 Gráfica de post procesado | 41 |
| Figura 2.35 Selección de curvas | 42 |
| Figura 2.36 Curvas de ángulos | 42 |
| Figura 2.37 Selección “Opposite Wheel Travel” | 43 |
| Figura 2.38 Tabla de datos “Opposite Wheel Travel” | 43 |
| Figura 2.39 Gráfica de curvas “Opposite Wheel Travel” | 44 |
| Figura 2.40 Selección “Roll and Vertical Travel” | 45 |
| Figura 2.41 Datos de “Roll and Vertical Force” | 45 |
| Figura 2.42 Curvas en “Roll and Vertical Force” | 46 |
| Figura 2.43 Selección “Single Wheel Travel” | 47 |

| | |
|---|----|
| Figura 2.44 Datos de “Single Wheel Travel” | 47 |
| Figura 2.45 Curvas “Single Wheel Travel” | 48 |
| Figura 3.1 Distribución de peso por rueda | 51 |
| Figura 3.2 Gráfica “Parallel Wheel Travel” | 52 |
| Figura 3.3 “Opposite Wheel Travel” | 53 |
| Figura 3.4 “Roll and Vertical Force” | 54 |
| Figura 3.5 “Single Wheel Travel” | 55 |

ÍNDICE DE TABLAS

| TABLA | PÁGINA NÚM. |
|---|--------------------|
| Tabla 1.1 Clasificación de los sistemas de suspensión | 6 |
| Tabla 1.2 Elementos de un amortiguador | 8 |
| Tabla 2.1 Datos medidos del muelle de la suspensión McPherson | 27 |
| Tabla 3.1 Datos técnicos motor y batería | 49 |
| Tabla 3.2 Datos técnicos dimensiones nominales | 50 |
| Tabla 3.3 Distribución del peso | 51 |
| Tabla 3.4 Clasificación de vehículos según la rigidez y frecuencia natural | 56 |

ÍNDICE DE ECUACIONES

| ECUACIÓN | PÁGINA NÚM. |
|-------------------|--------------------|
| Ecuación 1 | 12 |
| Ecuación 2 | 12 |
| Ecuación 3 | 12 |
| Ecuación 4 | 13 |
| Ecuación 5 | 13 |
| Ecuación 6 | 13 |
| Ecuación 7 | 14 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| ANEXO NÚM. | PÁGINA |
|--|---------------|
| Anexo I Secuencia de diseño y optimización de la suspensión | 66 |
| Anexo II Ficha técnica fabricante Renault | 67 |

RESUMEN

El objetivo principal en el que se estableció este trabajo es el análisis de un modelo de suspensión delantera de un vehículo eléctrico, para lo cual se analizó previamente cada componente y así, poder determinar que posee una suspensión tipo McPherson. Lo primordial es contar con el vehículo al cual se le someterán las pruebas y mediciones, con él, a manera de comprobación se verificará si el sistema de suspensión cumple con los parámetros establecidos por el fabricante. Una vez conseguidos los datos necesarios de cada componente de la suspensión de vehículo, se procede a usar el software que complementará la investigación. Con los datos recopilados se puede trasladar las medidas, tolerancias, direcciones, ángulos y puntos en un espacio de tres dimensiones en el que el programa funciona, con esta estructura plasmada en el digital, ser capaces de entender como estos elementos cumplen con los requisitos necesarios para brindar el confort y seguridad al ocupante del vehículo. Una vez configurado y guardado el sistema de suspensión, tal y como es en la vida real, es posible contemplar el simulador de cargas y fuerzas, tal que, se procede a examinar cada uno de los parámetros que el programa nos permite analizar.

De acuerdo con cada análisis al que fue sometido en el programa; con los respectivos nombres: desplazamiento de ruedas paralelas, recorrido de rueda opuesta, balanceo y fuerza vertical y recorrido de una sola rueda, fue posible determinar la alteración de ángulos de caída, de avance, convergencia y divergencia, con sus respectivas variantes y las cargas a las que es sometido el sistema de suspensión en circunstancias muy comunes cuando el vehículo se encuentra en movimiento, gracias a que el programa facilita de forma visual a través de la simulación y con gráficas posterior a ella es más sencillo concebir este comportamiento el cual es capaz de brindar seguridad y confort a los pasajeros o pasajero que se encuentren dentro del vehículo.

ABSTRACT

The main objective in which this work will be verified is the analysis of a front suspension model of an electric vehicle, for which each component was previously analyzed and thus, to be able to determine that it has a McPherson type suspension. The main thing is to have the vehicle to which the tests and tests will be submitted, with it, as a check, it will be verified if the suspension system complies with the parameters revealed by the manufacturer. Once the necessary data of each component of the vehicle suspension has been obtained, the software that complements the investigation is used. With the data collected you can change the measurements, tolerances, directions, angles and points in a three-dimensional space in which the program works, with this structure embodied in digital, being able to understand how these elements meet the necessary requirements. to provide comfort and safety to the occupant of the vehicle. Once the suspension system has been configured and saved, as it is in real life, it is possible to contemplate the load and force simulator, such that each of the parameters that the program does not allow analysis is examined.

According to each analysis to which he was subjected in the program; With the respective names: Parallel wheel travel, Opposite wheel travel, Roll and vertical force and single wheel travel, it was possible to determine the alteration of camber, caster, toe in and toe out angles, with their respective variants and the loads to which the suspension system is subjected in very common circumstances when the vehicle is in motion, thanks to the fact that the program It is facilitated visually through the simulation and with graphics after it, it is easier to conceive this behavior, which is capable of providing safety and comfort to the passengers or passengers who are inside the vehicle.

INTRODUCCIÓN

Un factor esencial dentro de la seguridad activa del vehículo es el sistema de suspensión, puesto que, se encarga en todo momento de mantener los neumáticos en contacto con la calzada, sin importar las irregularidades que el terreno disponga.

El Renault Twizy es un vehículo citadino de propulsión eléctrica con una autonomía aproximada de 80 km. Posee reducidas dimensiones y un comportamiento versátil que lo convierte en un medio de transporte cómodo y eficaz.

En cuanto a la simulación del sistema McPherson que posee el Renault Twizy, se tomarán en cuenta los parámetros establecidos por el fabricante, tratando de plasmar con asertividad el comportamiento real en la simulación.

Por los años 40 se planteó el cómo mantener la carrocería del automóvil mucho más estable, y poder lograr que vaya de mejor manera cuando aumenta la velocidad. Fue ahí donde salió a la luz el ingeniero estadounidense Ford Earl McPherson. Simplificando el modelo previo de doble horquilla que era usado como sistema de suspensión, desarrollándolo como un amortiguador.

El muelle (resorte) surgió por primera vez en 1948 en la línea de producción de Ford con el modelo Vedette. Cuando el vehículo cae en un bache, el amortiguador suaviza el golpe y el resorte funciona de retorno, dando estabilidad al auto (Endara, 2016).

Los primeros automóviles basaban su diseño en carruajes de caballos y se implementaba un motor. Las velocidades que estos vehículos alcanzaban eran muy reducidas y por lo tanto no era necesario un sistema de suspensión con altas prestaciones.

Con la mejora de los vehículos se necesita de un sistema de suspensión completo para satisfacer ámbitos de confort y seguridad. Se desarrolla nuevos elementos; los muelles llegan a reemplazar a las ballestas, se implementó amortiguadores, rótulas, barra estabilizadora y demás.

Con respecto a la seguridad el sistema de suspensión debe mantener su integridad estructural en cada instante. Según las cargas y fuerzas que soporte se han diseñado distintos tipos de sistemas de suspensión, modificando componentes, incluso el tamaño de cada elemento es muy importante al momento de determinar el comportamiento del sistema y en qué campo puede ser aplicado.

Según el área para la cual se destine un sistema de suspensión, sea esta para un vehículo turismo, de competencia todo terreno tipo Rally o una competencia de circuito, el conjunto de componentes debe cumplir con la función de elasticidad y amortiguación.

La elasticidad dentro de un sistema de suspensión sirve para absorber irregularidades de la calzada, curvas a alta velocidad o golpes muy fuertes en los neumáticos. La amortiguación permite que el retroceso del sistema sea de manera suave y progresiva permitiendo así un control total del vehículo ya que este efecto, aparte de dar confort a los ocupantes, ocasiona que los neumáticos estén siempre pegados a la superficie e impide que el chasis o masa suspendida tenga un comportamiento oscilante en cuanto a su altura con respecto al suelo.

CAPÍTULO I

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. Justificación

El uso de software de modelación permite a los fabricantes de vehículos realizar simulaciones con el fin de evaluar parámetros físicos, químicos, de diseño, mecánicos, eléctricos, entre otros. Esta investigación cumple el propósito de analizar las distintas fuerzas físicas existentes dentro del trabajo realizado por la suspensión delantera del vehículo eléctrico biplaza mediante las capacidades del programa multicuerpo. Además, con el trabajo de investigación, brindará la facilidad de abrir camino a futuras investigaciones de la Universidad Técnica del Norte.

1.2. Alcance

El proyecto se centra en el análisis de ángulos y fuerzas que enfrenta durante varias circunstancias la suspensión delantera tipo McPherson del vehículo Renault Twizy, mediante simulaciones del software multicuerpo Adams Car. Además de sentar base de datos para que en futuros proyectos de investigación exista mayor facilidad de comprobación con el uso de parámetros obtenidos de la simulación del vehículo a estudio, un eléctrico biplaza concebido para circular únicamente por ciudad, ya que posee una autonomía de 60-80 km aproximadamente.

1.3. Planteamiento del problema

En el estudio a realizar se pretende analizar todas las cargas y fuerzas presentes en el sistema de suspensión delantera de un vehículo eléctrico, con la ayuda de un programa que permitirá simular cada una de las cargas físicas y cambios angulares que este sistema presenta en varias situaciones para determinar el esfuerzo de todos los elementos que lo conforman.

De acuerdo con el análisis de simulaciones realizadas en varios estudios sobre sistemas de suspensión, no se verificaron varios cambios angulares y fuerzas que surgen durante el movimiento del vehículo, no obstante, se debe tener presente la seguridad, el confort y la

estabilidad que el vehículo debe brindar en cuanto éste se pone en marcha. La suspensión en mal estado, colocada en un vehículo nos proporciona un andar brusco que implica un 30% de fatiga adicional, suministrando problemas adicionales y causando más cansancio innecesario a medida que vamos al volante.

La simulación permite y facilita el entendimiento acerca del funcionamiento de un sistema o mecanismo, el cual ayuda con la visualización del trabajo que realiza cada una de las piezas que lo conforman.

Según el plan nacional de desarrollo 2021, 2025, nuestra investigación es sustentada de acuerdo con el objetivo número 7; “Potenciar las capacidades de la ciudadanía y promover una educación innovadora, inclusiva y de calidad en todos los niveles” cumpliendo con las políticas:

-7.2 “Promover la modernización y eficiencia del modelo educativo por medio de la innovación y el uso de herramientas tecnológicas.”.

- 7.4.1. “Incrementar los artículos publicados por las universidades y escuelas politécnicas en revistas indexadas de 6.624 a 12.423”. (Planificación, 2021)

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Modelar y caracterizar la suspensión delantera tipo McPherson de un vehículo eléctrico.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Modelar usando las características y datos obtenidos de previas mediciones en el software de simulación multicuerpo.
- Caracterizar los parámetros de diseño y fuerzas físicas que soporta la suspensión del vehículo Renault Twizy.
- Realizar simulaciones en software de simulación multicuerpo del sistema de suspensión del vehículo Renault Twizy.

1.5. Antecedentes

A continuación, se presentan estudios de relevancia que permiten analizar las técnicas y métodos utilizados en la investigación para posteriormente adaptarlos al presente estudio, además que sirven como aporte a la discusión de resultados que se obtengan a partir de la fase experimental, de los cuales, se sintetizan los siguientes:

Tomar y modelar el sistema de suspensión del robot móvil Andábata, conocido como el cuadrante del automóvil, complementándolo con choques generados al final de los rieles de suspensión; los datos reales se registraron utilizando un sistema de medición basado en un potenciómetro lineal, mientras que para obtener varios parámetros del modelo se utilizó la evaluación de simulación con optimización simplex; además, se ha programado en Matlab la aplicación mcvAndábata, que facilita el modelado y diferenciación de los parámetros delpreciado vehículo. (Guerrero, 2015)

Álamo (2016), realizó un análisis del desarrollo de modelos matemáticos desarrollados en base a sistemas de suspensión semiactivos, la mayoría de los cuales simulan un comportamiento correcto del sistema, lo más cercanamente posible a la realidad, posteriormente se realiza el desarrollo del modelo matemático del sistema de suspensión y la simulación respectiva en la herramienta SIMULINK de MATLAB, finalmente, se presentan los prototipos diseñados de amortiguadores semiactivos: uno de tipo MR y el otro de accionamiento electromecánico. (pág. 8)

Cebolla (2017), planteó como principal objetivo el desarrollar una aplicación informática que sirva como herramienta para el estudio del comportamiento vertical de un vehículo sometido a las fuerzas excitadoras introducidas por la carretera; de tal forma que se pueda proporcionar a los alumnos una herramienta que sirva como primera aproximación al estudio de las vibraciones en un vehículo automóvil. (p. 4)

Sin embargo, Además, Vega, Llanes, Molina y Rocha (2018), mencionan que:

Caracterizaron los procesos de diseño en los contextos de aplicación de software de simulación, resaltando las técnicas predictivas de multicuerpos, elementos finitos y modelado matemático, para la identificación de sus características de trabajo al aplicarlo en la suspensión. El proceso definido se aplicó en función de los modelos, variables de diseño, optimización y la tendencia actual en la simulación mecánica. Se concluye que el modelo

definido sirve como referente para establecer estrategias de simulación y optimización. (pág. 221)

1.5.1. Suspensión vehicular

El sistema de suspensión de un automóvil es un conjunto de órganos y componentes que se encargan de amortiguar y reducir las vibraciones generadas durante el movimiento, las cuales, tienen el efecto de prevenir las vibraciones que se originan en las ruedas debido a las distintas condiciones de marcha se transmitan a los ocupantes del vehículo (Cebolla, 2017). Cebolla (2017), describió la suspensión como aquella que trata de mantener las ruedas en constante contacto con el suelo en todas las condiciones de conducción, mejorando así el manejo y la tracción de las ruedas, de tal forma que se aumenta el confort y la estabilidad del vehículo. El sistema de suspensión consta de tres grupos de piezas: “Componentes elásticos, Elementos de amortiguación y estabilidad, Componentes de fijación y guiado”.

1.5.2. Principales elementos de la suspensión

El sistema de suspensión consta de un elemento elástico (resorte o muelle), seguido de un elemento amortiguador (amortiguador) que complementa su trabajo con la resistencia a las vibraciones, elementos estructurales como mesa, mangueta, pernos, rótulas mantiene a todo el conjunto fijo al vehículo (Mejía & Reyes, 2018, pág. 5).

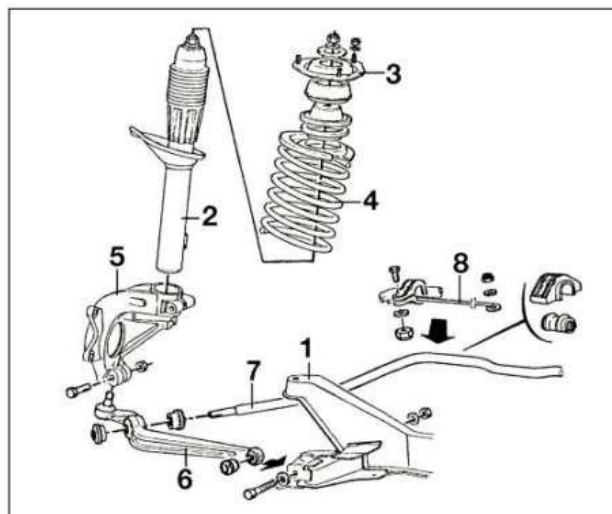


Figura 1.1 Suspensión delantera del tipo McPherson

(Nuvolari, 2020)

En la figura 1.1 se representa los componentes de la suspensión McPherson: 1. Travesaño, 2.- Amortiguador, 3.- Apoyo superior del conjunto resorte-amortiguador, 4.- Resorte, 5.- Porta masa/pivote, 6.- Brazo inferior, 7.- Barra estabilizadora, 8.-Tirante de la barra.

1.5.3. Funcionalidad de la suspensión en vehículos

La función principal del sistema de suspensión de un automóvil es suspender y absorber cualquier movimiento brusco que se produzca en la carrocería debido a una colisión en la carretera, garantizando así una conducción suave, estable y segura.

Además de que el sistema de suspensión mantiene el vehículo a la altura correcta, este permite que las ruedas se encuentren en la posición correcta, soporta el peso del vehículo y controla la dirección de viaje; pero para que este sistema funcione, se deben conservar todos los componentes de la suspensión. en buen estado, ya que la falla de alguno de ellos afectará el funcionamiento de todo el complejo (Tixce, 2016).

1.5.4. Masas suspendidas

Se entiende por masa suspendida la masa que no está en contacto con el suelo, es decir, las partes que descansan sobre los componentes del sistema de suspensión (carrocería, transmisión, carga y pasajeros).

Masa elástica: se aplica al resto del vehículo, es decir, a todos los elementos que no están incluidos en la masa inflada (motor, carrocería, etc.), aunque cuanto menor sea la masa no suspendida, mejor será la suspensión (Cebolla, 2017, pág. 10).

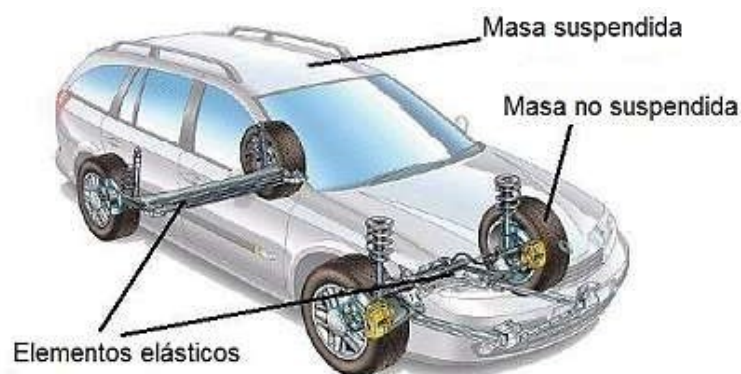


Figura 1.2 Masas suspendidas y no suspendidas

(Rodríguez Galbarro, 2018)

Se muestra en la Figura 1.2 la diferencia de masas suspendidas y no suspendidas, además de los elementos elásticos.

1.5.5. Masas no suspendidas

Las masas no suspendidas serán las ruedas y los elementos adosados a ellas, tales como pivotes, bielas, pinzas de freno, discos de freno.

Masa no suspendida: incluye las ruedas y todos los componentes unidos a ellas, como; eje de dirección, cigüeñal, componentes de suspensión, frenos, etc. y todo oscila con la rueda en general (Cebolla, 2017, pág. 10).

1.5.6. Clasificación de los sistemas de suspensión

Los sistemas de suspensión de vehículos se pueden clasificar según el tipo de control de sus parámetros como se presenta en la tabla 1.1.

Tabla 1.1 Clasificación de los sistemas de suspensión

| |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • La suspensión pasiva no efectúa ningún tipo de control, sus parámetros son fijos y predeterminados. |
| <ul style="list-style-type: none"> • La suspensión activa controla las características de la suspensión mediante un actuador que incorpora energía al sistema. |
| <ul style="list-style-type: none"> • La suspensión semiactiva controla la rigidez del resorte o el coeficiente de amortiguamiento del amortiguador, sin ingresar energía mecánica al sistema. |

Fuente: (Hurel y otros, 2017).

1.5.7. Componentes elásticos de la suspensión

Algunos de los elementos elásticos más básicos que podemos encontrar son los muelles helicoidales, las ballestas y las barras de torsión.

1.5.7.1. Neumáticos

Existen cuatro tipos esenciales de neumáticos y se los define como:

Neumáticos secos: Su característica es la fácil adherencia a una calzada limpia y seca. En caso de tener un clima por debajo de los 7°C , se pierde la elasticidad interna del neumático, mermando así la capacidad de adherencia.

Las ruedas tienen un dibujo desde la parte interna hacia afuera, con el fin de drenar agua en caso de ser necesario. En caso de que la lluvia sea más intensa y forme capas de agua en el suelo es posible que pierda contacto con el suelo, siendo el peor caso, un planeo sobre la capa de agua conocido como “aquaplaning”.

Neumáticos de invierno: Su principal característica es tener un buen drenaje de agua y funcionar en óptimo estado en temperaturas bajo los 7°C , su estructura interna no se deforma y no pierde elasticidad ni adherencia.

Cuando se circula con este tipo de neumáticos por carreteras secas con buena adherencia y con temperaturas elevadas tienen a desgastarse de forma prematura.

Neumático M+S (mixtos): se identifica por sus siglas del inglés “mud” y “snow” (barro y nieve), Su composición estructural permite que se desempeñe bien en seco y húmedo, además de no sufrir desgaste prematuro con temperaturas altas y bajas.

Neumáticos Todoterreno: su estructura, profundidad y dibujo son aptos para caminos fuera de la carretera por ende su uso será muy específico. La desventaja la tienen sobre carretera, ya que su funcionamiento será mermado por la poca adherencia y el desgaste será enorme.



Figura 1.3 Neumáticos secos y de lluvia

(Tecnología del Automóvil, 2020)

La figura 1.3 muestra los cuatro tipos de neumáticos y sus condiciones más favorables.

1.5.7.2. Amortiguadores

El amortiguador es un dispositivo para controlar la oscilación natural de un resorte, usualmente es un pistón forzando a un gas o líquido a pasar a través de una o más válvulas, en un vehículo debe amortiguar el movimiento de las masas suspendida y no suspendida del vehículo.

Aun cuando existe una pequeña cantidad de amortiguación en los neumáticos (aproximadamente 2%) el amortiguador debe realizar la mayor parte del trabajo para todo el sistema; mientras los resortes y barras de torsión producen fuerzas basadas en su desplazamiento, los amortiguadores producen fuerza basados en que tal rápido se mueven (Caraguay & Caraguay, 2015).

La función primaria en el vehículo es de amortiguar las masas suspendida y no suspendida en sus frecuencias de resonancia y una función secundaria es controlar la proporción de transferencia de peso durante transitorios como frenado, entrada a una curva y aceleración.

El amortiguador se encarga de mantener un control en las masas suspendidas y no suspendidas, adicionalmente ayuda a reducir, impedir y restringir las oscilaciones provocadas por las cargas en los elementos elásticos.

Las características que ofrecen los amortiguadores son:

- Controlar oscilaciones del chasis y bastidor.
- Controlar el rebote de los elementos elásticos.
- Mantener al neumático en contacto con la pista maximizando su adherencia.

Los elementos que componen un amortiguador son: pistón principal, pistón de compresión, pistón separador, tubo del pistón principal y tubo de reserva; los mismos que se describen a continuación en la tabla 1.2.

Tabla 1.2 Elementos de un amortiguador

| | |
|----------------------------------|---|
| Pistón principal | Contiene los componentes de válvulas primarios y produce la mayoría de las fuerzas de amortiguamiento. |
| Pistón de compresión | Provee un balance en la presión en el pistón principal durante el desplazamiento de compresión para prevenir la cavitación. |
| Pistón separador | Mantiene separado el gas del aceite en el interior del amortiguador. |
| Tubo del pistón principal | Es el tubo dentro del que opera el pistón principal. |
| Tubo de reserva. | En un amortiguador de doble tubo, es el tubo exterior, y crea espacio para aceite y gas extra. |

Fuente: (Caraguay & Caraguay, 2015)

1.5.7.3. Mesas de suspensión

Las mesas o trapecios están unidos a la rueda en un punto superior y uno inferior normalmente rótulas, y a su vez al chasis o carrocería en dos puntos cada una, las dos mesas se mueven simultáneamente en cada punta de eje formando un paralelogramo que mantiene la rueda totalmente vertical con respecto al suelo (Gavilanez, 2016, pág. 21).



Figura 1.4 Mesas de suspensión

(El Genuino repuestos, 2012)

Las mesas de suspensión que muestran en la figura 1.4 son brazos de unión entre el bastidor y las ruedas a través de la mangueta mediante rótulas, las cuales limitan los grados de libertad en los que se mueven, permitiendo la rotación. Las mesas de suspensión poseen una forma de A, hay un brazo superior y otro inferior por cada rueda, los cuales transmiten las cargas al bastidor y de su geometría y posición depende directamente el comportamiento dinámico del vehículo.

1.5.7.4. Rótulas o cojinetes esféricos

Es un elemento normalizado (milímetros o pulgadas), de alta resistencia con tratamiento térmico que posee un vástago con rosca exterior, y su cabeza es capaz de articular en varias direcciones, es muy utilizado por la industria de los automóviles (GONZÁLEZ, 2015, pág. 38).

Componentes mecánicos estandarizados, que se auto alinean, permitiendo la realización de movimientos de alineación multidireccional, las fuerzas actuantes en la rótula pueden ser estáticas o bien efectuarse cuando se realizan movimientos oscilantes de inclinación o rotación a velocidades relativamente lentas.



Figura 1.5 Rotulas o cojinetes esféricos

(Rico, 2020)

Dentro de la suspensión, las rótulas como la figura 1.5 son utilizadas para el anclaje de los brazos en forma de tijera, barra de empuje o barra de tracción y balancines hacia el chasis, brindando movimientos verticales que ayudan a la alineación de la suspensión y su correcto funcionamiento (Auquilla & Torres, 2016, pág. 8).

1.5.7.5. Silentblock

Los silentblocks son piezas ideadas para absorber las vibraciones y los choques. Lo podemos encontrar dentro del mecanismo de suspensión del automóvil. Esta pieza antivibración es uno de los dispositivos con los que cuenta el sistema de suspensión en el que trabajan muelles, barras de torsión, amortiguadores o las barras estabilizadoras. En este caso es una de las piezas encargadas en unir el chasis y los elementos principales de la suspensión permitiendo el movimiento de la carrocería además de eliminar vibraciones y ruidos (EuroTaller, 2017).



Figura 1.6 Silentblocks

(Platas, 2020)

Dentro de un sistema de suspensión encontramos el elemento mostrado en la figura 1.6, su funcionamiento es el acople entre distintos componentes, también son llamados casquillos de goma y eliminan pequeñas vibraciones que podrían ser transmitidas al chasis del vehículo. En gran mayoría se encuentran fabricados en materiales poliméricos elásticos y trabajan en compresión (García, 2016).

1.5.7.6. Muelles

Los muelles de suspensión en un vehículo tienen la función de contener los golpes o impactos que reciben las ruedas y que se transmiten al eje del auto. La función de los muelles de suspensión es contener los golpes o impactos que recibe la rueda y que transmite al eje del vehículo, ya sea un auto, moto, vehículo agrícola, entre otros.

Existe una amplia variedad de muelles especiales de suspensión para toda la gama de vehículos del mercado sean del tipo que sean; sólo se necesita conocer los anclajes donde irá el muelle y los esfuerzos que debe transmitir al vehículo, sea del tipo que sea (Platas, 2020).



Figura 1.7 Muelles de suspensión
(Platas, 2020)

La figura 1.7 muestra un resorte mecánico, estos son capaces de deformarse y volver a su estado físico inicial cuando exista una fuerza actuando sobre él.

Este comportamiento lineal se lo conoce como ley de Hooke; que puede afirmar, a mayor distancia a la que se comprime o estira el espiral, (resorte) más fuerte es la fuerza del espiral (Mugrauer, 2018).

Entre los cálculos usados se encuentran las siguientes fórmulas: para calcular la fuerza del resorte, con las siguientes especificaciones:

$$F = R \cdot s \quad [1]$$

donde:

- F : representa la fuerza del resorte [N]
 R : tasa de resorte | Constante de resorte [N/m]
 s : recorrido del resorte [m] (Mugrauer, 2018).

Fórmula para la constante del resorte sin especificar la fuerza del resorte (K) teniendo en cuenta el factor de cizalladura del material utilizado:

$$k = \frac{Gd^3}{8D^3n} \quad [2]$$

Tomando en cuenta que:

- G : módulo G (Módulo de corte del material de resorte) [N/m²]
 d : tamaño del cable [m]
 D : diámetro de la espira del muelle [m]
 n : número de vueltas [Stück] (Mugrauer, Calcular la fuerza de muelles, 2018).

Fórmula de constante elástica con relación a la fuerza actuante sobre el muelle:

$$k = \frac{F}{X} \quad [3]$$

donde:

F: fuerza axial ejercida sobre el muelle [N]

X: valor de deformación en dirección axial ocasionada sobre el resorte [m]

Para el cálculo de rigidez y frecuencia natural, se toma en cuenta:

$$v = \frac{1}{2. \pi} \cdot \sqrt{\frac{k}{m_s}} \quad [4]$$

donde:

k: constante de elasticidad del muelle [N/m]

m_s : masa suspendida [kg] (Giarrafa, 2018)

Para el cálculo de la fuerza ejercida en el neumático o “Vertical Force” se emplea la siguiente fórmula:

$$F = \frac{m \cdot g}{n} \quad [5]$$

donde:

m: masa del vehículo [kg]

g: gravedad [m/s²]

n: número de neumáticos del vehículo

Fórmula para el cálculo de la constante elástica del resorte si se conoce la masa vehicular a partir de la Ley de Hooke:

$$F = m \cdot g \quad [6]$$

donde:

F : constante elástica del resorte [N]

m : masa vehicular frontal [kg]

g : gravedad [m/s²]

Fórmula para la conversión de [lb] a [kg]

$$kg = \frac{[lb]}{2,2 [lb]} \quad [7]$$

1.5.8. MSC Adams

ADAMS es el programa de dinámica por sus siglas (software Multibody Dynamics MBD) más reconocido y utilizado en la ingeniería. Es un programa que mejora la eficiencia del modelado y simulación del comportamiento cineto-dinámico de sistemas mecánicos, disminuyendo los costos de desarrollo del producto y proyectos por permitir una validación temprana a nivel del sistema.

A través de él, se pueden evaluar y gestionar complejas interacciones entre disciplinas, incluidas el movimiento, la transmisión de fuerzas y control para optimizar el diseño en cuanto a rendimiento, seguridad y comodidad. Esto permite a los usuarios realizar prototipos virtuales realistas simulando su comportamiento de movimiento con sistemas complejos y rápidamente analiza múltiples variaciones de diseño hasta que un diseño óptimo sea alcanzado (Martinez, 2018).

MSC Adams dispone de una interfaz gráfica que está dividida en varios módulos que se comercializan de manera independiente donde cada uno de ellos está destinado a resolver un tipo de problemas.

Los módulos son:

- Adams/ Aircraft
- Adams/Car y Adams/Car Real Time

- Adams/Chassis
- Adams/Driveline
- Adams/Engine
- Adams/Flex
- Adams/Insight
- Adams/Rail
- Adams/Solver
- Adams/View
- Adams/PostProcessor (Martínez, 2018).

1.5.8.1. Adams Car

ADAMS/Car es un entorno especializado para modelar vehículos, permite crear prototipos virtuales de subsistemas de vehículos y analizar los prototipos virtuales de la misma manera que analizaría los prototipos físicos. La jerarquía del modelo ADAMS/Car se compone de los siguientes componentes, que se almacenan en bases de datos (CAE, 2021).

Plantillas. - Las plantillas están parametrizadas y generalmente son representaciones topológicas de los subsistemas del vehículo, que pueden incluir suspensiones delanteras, frenos, chasis, etc.

Subsistemas. - Se basan en plantillas ADAMS/Car y permiten a los usuarios estándar cambiar los datos paramétricos de la plantilla. Por ejemplo, puede cambiar la ubicación de puntos fijos, modificar variables de parámetros, etc. Los subsistemas se guardan en formato ASCII (Chasi, 2021).

Ensamblajes. - Se componen de subsistemas que se pueden agrupar para formar conjuntos de suspensión, conjuntos de vehículos completos, etc. Los ensamblajes se guardan en formato ASCII. ADAMS/Car tiene dos modos.

Interfaz estándar. - Lo usa cuando trabaja con plantillas existentes para crear y analizar ensamblajes de suspensiones y vehículos completos. Tanto los usuarios estándar como los usuarios expertos pueden usar ADAMS/Car Standard Interface (Pechuán, 2017)

Creador de plantillas. - Si tiene privilegios de usuario experto, puede usar ADAMS/Creador de plantillas de automóviles para crear nuevas plantillas para usar en ADAMS/Interfaz estándar de automóviles.

1.5.8.2. Utilidad del software Adams Car

Con ADAMS/Car, se puede crear rápidamente ensamblajes de suspensiones y vehículos completos y luego analizarlos para comprender su rendimiento y comportamiento, los ensamblajes se crean en ADAMS/Car al definir los subsistemas del vehículo, como las suspensiones delantera y trasera, los mecanismos de dirección, las barras estabilizadoras y las carrocerías (Higuera, 2018).

Cuando analiza un ensamblaje, ADAMS/Car es capaz de aplicar en la simulación las entradas de análisis que específica.

Para comprender la versatilidad que tiene para demostrar en la simulación sobre suspensión, nos puede demostrar estas diferentes visualizaciones:

Mover las ruedas a través del recorrido de rebote y dar golpes, con ello medir la convergencia, la inclinación, la velocidad de la rueda, la velocidad de balanceo y la longitud del brazo oscilante de la vista lateral.

Además, tiene la capacidad de aplicar una carga lateral y un par de alineación en la ruta de contacto del neumático, siempre tomar en cuenta las mediciones del cambio de convergencia y la desviación lateral de la rueda.

También demostrar giros en el volante de tope a tope y con ellos medir los ángulos de dirección de las ruedas y la cantidad de ángulo “Ackerman”, es decir, la diferencia entre los ángulos de dirección de las ruedas izquierda y derecha (Garcia, 2016).

En función de los resultados del análisis, puede modificar rápidamente la geometría de la suspensión o las tasas de resorte y analizar la suspensión nuevamente para evaluar los efectos de las modificaciones. Por ejemplo, puede cambiar rápidamente una suspensión trasera de una topología de enlace de arrastre a una topología de enlace múltiple para ver cuál produce las mejores características de manejo para su vehículo (Castro, 2017).

Una vez que complete el análisis de su modelo, puede compartir su trabajo con otros. También puede imprimir gráficos de las características de la suspensión y las respuestas dinámicas del vehículo. Además, puede acceder a los modelos de otros usuarios sin sobrescribir sus datos.

1.5.8.3. Beneficios de Adams Car

Cómo se beneficia al usar ADAMS/Car, permite trabajar de manera más rápida e inteligente, lo que ayuda tener más tiempo para estudiar y comprender cómo los cambios de diseño afectan el rendimiento del vehículo. Con ADAMS/Car es posible explorar el rendimiento de

su diseño y perfeccionarlo antes de construir y probar un prototipo físico; analizar los cambios de diseño rápidamente y con menor costo de lo que sería pruebas de prototipos físicos. Por ejemplo, puede cambiar los resortes con unos pocos clics del mouse en lugar de esperar a que un mecánico instale unos nuevos en su prototipo físico antes de volver a evaluar su diseño.

También es posible variar los tipos de análisis de forma más rápida y sencilla que si tuviera que modificar la instrumentación, los accesorios de prueba y los procedimientos de prueba. Además de trabajar en un entorno más seguro sin temor a perder datos por fallas en los instrumentos o perder tiempo de prueba debido a malas condiciones climáticas y como tal la ejecución en escenarios sin los peligros asociados con las pruebas físicas.

CAPÍTULO II

2. MATERIALES Y MÉTODOS

A continuación, se detalla los materiales utilizados y la metodología empleada en este trabajo de grado para cumplir con lo planificado en los objetivos. Se procedió a la toma de datos y características necesarias del vehículo, así como también, verificar cada uno de los elementos que están involucrados en el trabajo dentro del sistema de suspensión. Resolver cálculos de fuerzas existentes en el trabajo del sistema de suspensión para su próxima simulación de la misma.

2.1. Materiales

Los materiales que se utilizaron en el presente trabajo de grado corresponden a las distintas necesidades para lo que fueron seleccionados.

2.1.1. Renault Twizy

El Renault Twizy fue el vehículo seleccionado para el presente estudio, el fabricante Renault lanzó al mercado 2 versiones que son la biplaza llamada “Technic” y la versión monoplaza llamada “Cargo”, siendo éste el que se dispone para el presente trabajo de grado.

El Renault Twizy es un medio de transporte urbano eléctrico que posee suspensión delantera McPherson con espirales helicoidales. El amortiguador se encuentra apoyado sobre la mangueta y está anclada a una mesa de suspensión que se une al chasis tubular del vehículo.



Figura 2.1 Renault Twizy

(Diario Motor, 2010)

La figura 2.1 muestra el vehículo eléctrico Renault Twizy el cual proporciona una autonomía de aproximadamente 100 km, que puede llegar a una velocidad máxima de 80 km/ h, posee un motor eléctrico de 13kW de potencia con un par eléctrico de 57 N.m y una caja de cambios reductora con una marcha adelante y otra atrás.

2.1.2. Básculas E-Z Weigh Scale Model SW500

Para la medición total y parcial del vehículo se utilizó un sistema de básculas **SW500™ EZ**, el sistema permite realizar mediciones en tiempo real con un rango casi nulo de error, por lo que se dice que es aproximadamente exacto.

Características

- Capacidad de almohadilla de 700 kg (1500 lb)
- Capacidad del sistema de 2800 kg (6000 lb)
- Certificado con una precisión del 0,1 % de la carga aplicada o una graduación de ± 1 , lo que sea mayor
- Salida RS232 y USB
- Recuperación de configuración de línea base
- Cálculo del centro de gravedad
- Modos de visualización, seleccionable por el usuario
- Guarda 100 configuraciones de chasis
- PERCENTWEIGHT™ Porcentajes de peso mostrados en centésimas (Intercomp, 2019)



Figura 2.2 Sistema de balanzas

Fuente: (Intercomp, 2019)

2.1.3. Programa Adams Car

El programa utilizado brinda una versión estudiantil con el propósito de incentivar a los usuarios a seguir utilizando en próximos proyectos, ya que permite simular la dinámica del vehículo y para este caso en particular, el estudio del sistema de suspensión.

El software de dinámica multicuerpo de Adams permite a los ingenieros crear y probar fácilmente prototipos virtuales de sistemas mecánicos en una fracción del tiempo y el costo requeridos para la construcción y prueba física. A diferencia de la mayoría de las herramientas integradas de CAD, Adams incorpora física real al resolver simultáneamente ecuaciones para cinemática, estática, cuasi estática y dinámica (Rojas, 2018).

Al utilizar la tecnología de soluciones de dinámica multicuerpo, Adams también ejecuta dinámicas no lineales en una pequeña fracción del tiempo requerido. Las cargas y fuerzas calculadas por las simulaciones de Adams mejoran la precisión, al proporcionar una mejor evaluación de cómo varían a lo largo de cada una de las pruebas realizadas.

Cuenta con herramientas para la simulación conjunta con otros programas informáticos permitiendo el análisis de sistemas control. Que ofrece un entorno amigable, accesible y familiar para el usuario. Además de sus múltiples ventajas como simulador dinámico. Permite la creación de piezas para modelar sistemas mecánicos, accede a modificar sus parámetros, a introducir la programación necesaria para su funcionamiento y análisis.

Contiene módulos de trabajo, donde se especifican los tipos de simulación que el usuario desea realizar, los principales tomados en cuenta para el objetivo fueron; “parallel wheel travel, oposite wheel travel, roll and vertical force, single wheel travel”. Además, cuenta con aplicaciones extra como: ADAMS (“Car, View, Solver, Chassis, Driveline, Flex, Post-Processor, Insight”).

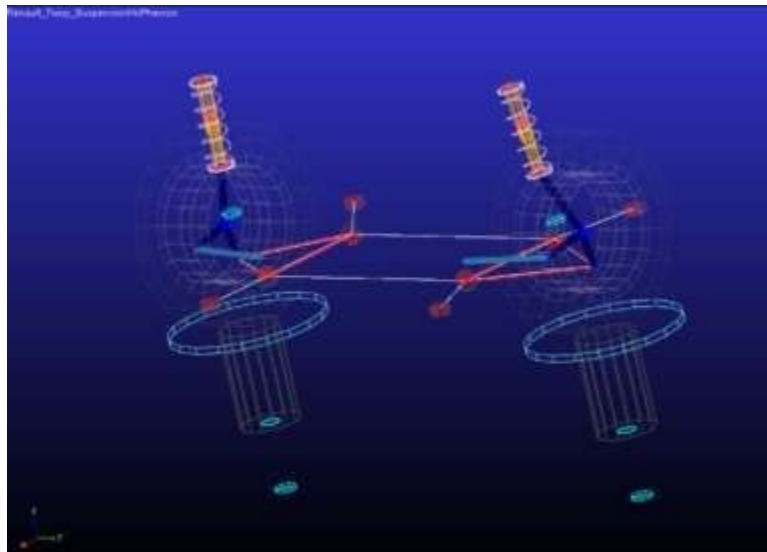


Figura 2.3 Suspensión McPherson

Fuente: (Autores, 2022)

En la figura 2.3 representa el primer plano del modelo base de una suspensión tipo McPherson que el programa Adams Car brinda.

2.2. Métodos

La forma óptima de realizar la modelación y caracterización contemplada en los objetivos planteados siempre será ir desarrollando cada paso en un orden lógico y sistemático, ya que de esta manera se puede mitigar los riesgos y posibles contratiempos al momento de cumplir con lo anhelado.



Figura 2.4 Flujograma metodológico

Fuente: (Autores, 2022)

En la figura 2.4 se plantea una serie de pasos que permitirán un progreso organizado de la investigación que a lo largo de este trabajo se explicará cada uno de ellos.

2.2.1. Selección del vehículo eléctrico

2.2.1.1. Renault Twizy

Para el presente estudio se seleccionó un monoplaza Renault Twizy versión Cargo, el cual cumple con los requerimientos necesarios de acuerdo con el tema seleccionado para la realización del modelado y caracterización de la suspensión delantera del mismo. En el apartado de anexos se encuentra la ficha técnica (Anexo AII) con las especificaciones dadas por el fabricante de la versión Cargo.



Figura 2.5 Renault Twizy Cargo

Fuente: (autores, 2022)

La figura 2.5 es el vehículo disponible para realizar mediciones del sistema de suspensión delantera para posterior a ello, llevar al programa y realizar las simulaciones de dicho sistema.

2.2.2. Caracterización del sistema de suspensión del EV

Mediante una verificación visual se comprobó cada uno de los puntos de anclaje que atienden el trabajo del sistema de suspensión del vehículo. A continuación, se detalla uno a uno los puntos de unión de forma vertical descendente tomando en cuenta la base del chasis con el amortiguador como inicial:



Figura 2.6 Puntos de anclaje

Fuente: (autores, 2022)

En la figura 2.6 se muestra los puntos de anclaje que conforman el sistema de suspensión McPherson y como están fijados, cabe recalcar que la figura 2.6 señala el lado izquierdo del vehículo y el lado derecho es simétrico al mismo.

- **Amortiguador-base chasis**

Mediante la sujeción de un perno se encuentra anclado el conjunto amortiguador-resorte al modular del chasis del vehículo. En donde se puede denotar que las oscilaciones provocadas por las irregularidades del terreno llegan al amortiguador y resorte permitiendo un movimiento relativo entre estos y de esa manera tratar en su mayoría de absorber y no transmitir dicho movimiento a la cabina.



Figura 2.7 Anclaje amortiguador-chasis

Fuente: (autores, 2022)

En la figura 2.7 se muestra el modelo de sujeción del conjunto muelle y amortiguador que posee el Renault Twizy anclado al bastidor del vehículo.

- **Amortiguador-base posterior mangueta**

La base del amortiguador forma un conjunto con la base posterior de la mangueta, es decir, se encuentra sujeto con la ayuda de un perno permitiendo descansar el conjunto muelle y amortiguador



Figura 2.8 Anclaje amortiguador-mangueta

Fuente: (autores, 2022)

En la figura 2.8 señala el anclaje que tiene el conjunto muelle y amortiguador con la mangueta permitiendo un montaje telescópico y formando un eje vertical permitiendo la maniobrabilidad de las ruedas frontales.

- **Terminal-base frontal mangueta**

El terminal es un dispositivo que logra unir el brazo axial que sale de la caja de dirección con la mangueta, y además cumple con la absorción de las irregularidades del terreno.



Figura 2.9 Anclaje terminal-mangueta

Fuente: (autores, 2022)

En la figura 2.9 clarifica la unión del terminal de dirección con la mangueta, con la finalidad de tener el control para la maniobrabilidad de las ruedas directrices.

- **Rotula-base inferior mangueta**

La función principal de la rótula dentro del sistema de suspensión es fundamental ya que permite la unión entre el chasis del vehículo con la mangueta y lograr así un desempeño óptimo al reducir vibraciones que pueden ser transmitidas a los ocupantes del vehículo.



Figura 2.10 Anclaje rótula-mangueta

Fuente: (autores, 2022)

En la figura 2.10 indica el punto de unión entre la rótula y la mangueta logrando tener una respuesta suave y firme de la suspensión, frente a las imperfecciones del terreno que se presente.

- **Silentblocks-brazo oscilante inferior-chasis**

El brazo oscilante posee 2 puntos de anclaje que van unidos al chasis mediante un accesorio fundamental llamado “silentblock” o bloque silenciador, es un anti vibratorio que logra un aislamiento de ruidos, choques y vibraciones a causa del contacto existente entre piezas mecánicas del sistema de suspensión.



Figura 2.11 Anclaje brazo oscilante-chasis

Fuente: (autores, 2022)

La figura 2.11 corresponde a la unión del brazo oscilante al chasis, con la ayuda de silentblocks o bloque de goma disminuye las vibraciones y choques efectuados por las irregularidades del terreno.

- **Cálculo de constante elástica del muelle**

Para realizar el cálculo de la constante, es necesario tener los datos correspondientes previamente medidos que se muestran en la tabla 2.1:

Tabla 2.1 Datos medidos del muelle de la suspensión McPherson

| Medición del muelle | |
|--|------------------------------------|
| Número de espiras | 7 (5 activas, 2 base) |
| Diámetro del muelle | 0,23 m |
| Longitud del muelle suelto | 0,31 m |
| Diámetro de la espiral | 0,03 m |
| Longitud del muelle | 0,25 m |
| Separación entre espira | 0,04 m |
| Densidad del muelle ρ | 7850 kg/m ³ |
| Masa que soporta el eje | 110 kg |
| Módulo de cizalladura (acero al carbono) | 8x10 ⁹ N/m ² |

Fuente: (Autores, 2022)

Para obtener la constante elástica del muelle (k) se usa los datos de la tabla 2.1, y la ecuación [2], es reemplazar datos y se obtiene el resultado. El valor del módulo de cizalladura del acero al carbono ($G = 8 \times 10^9 \text{ N/m}^2$), según el manual de física elemental (Shirkévich, 1975).

- **Cálculo rigidez y frecuencia natural del resorte**

Se usa los datos de la constante elástica del muelle y la masa suspendida, para poder completar la siguiente ecuación:

$$v = \frac{1}{2. \pi} \cdot \sqrt{\frac{k}{m_s}}$$

Los datos ya están previamente detallados en el anterior capítulo, ecuación [4].

2.2.3. Comprobación de masa vehicular

Antes de realizar las mediciones en el vehículo se realizará la verificación de los niveles de presión de los neumáticos con el fin de lograr mediciones más exactas. Se determinó que la presión de cada uno de los neumáticos fue de 18 lb, de acuerdo con lo señalado en el manual del fabricante.



Figura 2.12 Comprobación de niveles de presión

Fuente: (autores, 2022)

En la figura 2.12 demuestra la medición de presión de aire en los neumáticos.



Figura 2.13 Configuración de equipo

Fuente: (autores, 2022)

Como se muestra en la figura 2.13, previo a la utilización de las balanzas se requiere configurar el equipo para lo cual se debe encerrar los valores y así obtener las nuevas mediciones.



Figura 2.14 Instalación de cables de balanzas

Fuente: (autores, 2022)

A continuación, en la figura 2.14 demuestra cómo se representa en la pantalla los valores encerrados donde se conectan las balanzas mediante los cables que proporciona el equipo siguiendo la referencia RF, RR, LF y LR y el color adecuado para evitar mediciones erróneas.



Figura 2.15 Instalación de balanzas en ruedas

Fuente: (autores, 2022)

Por consiguiente, la figura 2.15 demuestra se lleva el vehículo al elevador para colocar cada neumático sobre las balanzas. Una vez colocado las balanzas en cada rueda se procede a la toma de datos correspondiente a la masa total del vehículo, masa por rueda, masa por eje y masa en ruedas transversales.



Figura 2.16 Valores de masa

Fuente: (autores, 2022)

En la figura 2.16 se aprecia el valor total del vehículo expresado en libras, para el caso del presente estudio se emplea en kg. En las ecuaciones se realiza el cálculo de libras [lb] a kilogramos [kg] se aplica la fórmula [8].

$$\text{-LF: } 227 \text{ lbs} / 2,2 = 103 \text{ Kg}$$

-LR: $319 \text{ lbs} / 2,2 = 145 \text{ Kg}$

-RF: $258 \text{ lbs} / 2,2 = 117 \text{ Kg}$

-RR: $298 \text{ lbs} / 2,2 = 135,9 \text{ Kg}$

-Total: $1102 \text{ lbs} / 2,2 = 500,9 \text{ Kg}$

2.2.4. Medición de coordenadas x, y, z de los componentes mecánicos

Se tomó en cuenta que dichos elementos que conforman el sistema de suspensión se encuentran en diferentes puntos en el espacio, y se requiere para la simulación, considerar cada uno de ellos.

Cabe señalar que de acuerdo con la geometría de la suspensión que posee el vehículo, se necesitó de un procedimiento importante para la toma de datos acerca de los puntos de anclaje en los que se encuentra cada elemento de la suspensión.

Primero, el vehículo se ubicó en el elevador y posterior a ello se fijó un punto inicial o punto cero para tener en cuenta como referencia para todos los puntos a medir. Por consiguiente, se verificó y enumeró cada uno de los puntos de anclaje siendo estos un total de seis puntos. Se tomó las medidas de cada uno de los puntos de anclaje teniendo precaución en cada eje o coordenada previamente establecida en relación con el programa. Con las medidas obtenidas, se logra plasmar dicha suspensión en un plano tridimensional para su posterior simulación.

2.2.5. Simulación del sistema de suspensión

2.2.5.1. Plantilla

El programa Adams Car presenta varias plantillas en las que podemos trabajar, para nuestro caso en específico se optó por el modelo de “suspensión McPherson”, al cual se modificó varios factores estructurales, y así coincidir con el vehículo seleccionado de estudio.

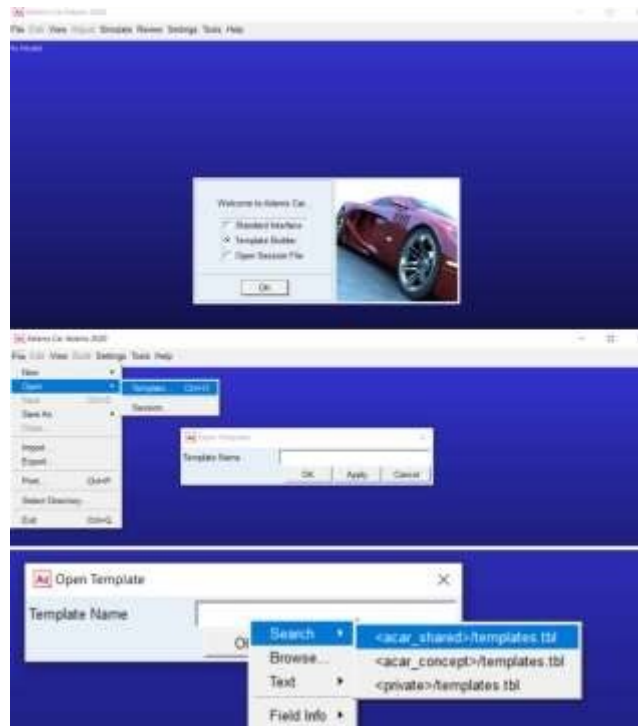


Figura 2.17 Interfaz para obtener la plantilla

Fuente: (autores, 2022)

En la figura 2.17 expone el proceso de ingreso al programa y la manera en la que se trabajará en la plantilla exportada del sistema de suspensión McPherson de la librería de acuerdo a la plantilla que ofrece el programa.

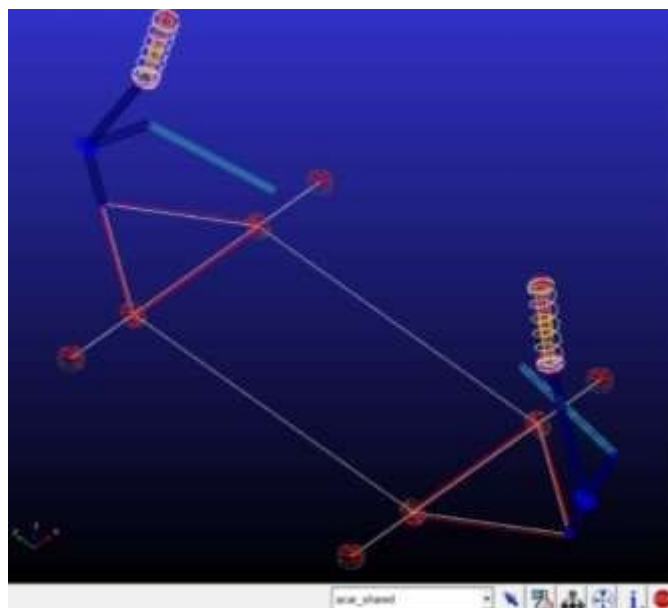


Figura 2.18 Plantilla McPherson

Fuente: (autores, 2022)

En la figura 2.18 indica la suspensión tipo McPherson exportada de la librería que muestra el programa.

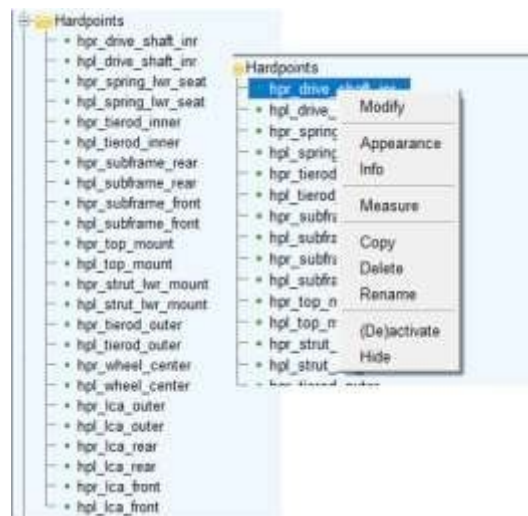


Figura 2.19 Puntos de anclaje McPherson

Fuente: (autores, 2022)

La figura 2.19 despliega como todos los puntos de anclaje son modificables, y a partir de aquí, se debe a cambiarlos al interés de la investigación, de tal forma que es posible configurar coordenadas y medidas de elementos, además de eliminar puntos de anclaje que no competen al estudio.

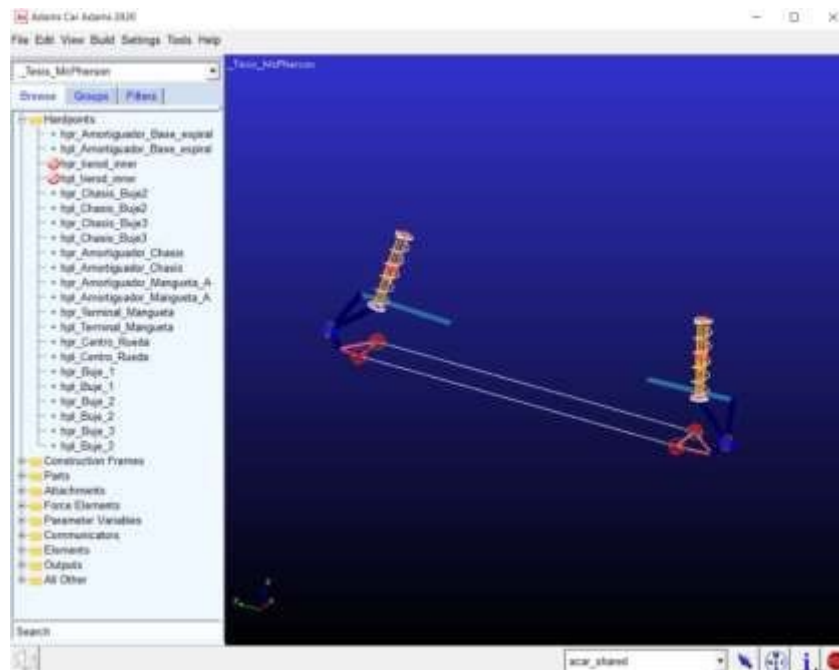


Figura 2.20 Puntos de anclaje, suspensión McPherson

Fuente: (autores, 2022)

Una vez completado la fase de modificación de los puntos de anclaje, en la figura 2.20 la plantilla seleccionada se muestra de esta forma (acorde al vehículo).

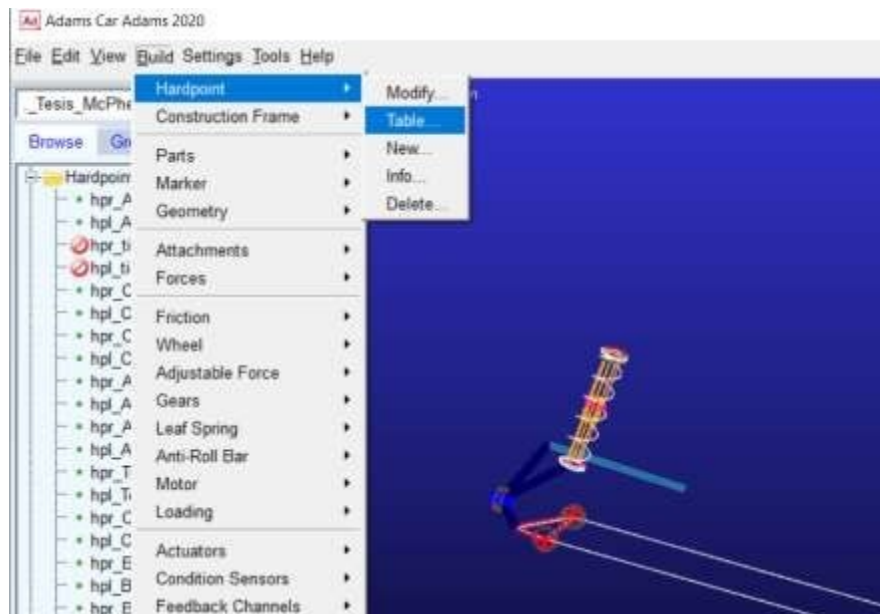


Figura 2.21 Puntos de anclaje de la suspensión

Fuente: (autores, 2022)

Para obtener una tabla completa de todos los puntos de la suspensión, se dirige hacia el apartado de “hardpoints” en “table” como indica en la figura 2.21, en donde aparecerá todos los puntos modificables del sistema de suspensión.

| | loc_x | loc_y | loc_z | remarks |
|-------------------------------|--------|--------|-------|---------------------------|
| hpl_Amortiguador_Base_espiral | 40.0 | -650.0 | 340.0 | "Debe ser el mismo punto" |
| hpl_Amortiguador_Chasis | 57.5 | -603.8 | 630.0 | (none) |
| hpl_Amortiguador_Mangueta_A | 40.0 | -650.0 | 340.0 | "Debe ser el mismo punto" |
| hpl_Buje_1 | 0.0 | -750.0 | 150.0 | (none) |
| hpl_Buje_2 | 110.0 | -640.5 | 180.0 | (none) |
| hpl_Buje_3 | -110.0 | -640.5 | 180.0 | (none) |
| hpl_Centro_Rueda | 0.0 | -800.0 | 210.0 | (none) |
| hpl_Chasis_Buje2 | 110.0 | -640.0 | 180.0 | (none) |
| hpl_Chasis_Buje3 | -110.0 | -640.0 | 180.0 | (none) |
| hpl_Terminal_Mangueta | 150.0 | -750.0 | 330.0 | (none) |
| hpl_tierod_inner | 200.0 | -400.0 | 300.0 | "No usamos" |

Figura 2.22 Tabla de puntos de anclaje

Fuente: (autores, 2022)

En la figura 2.22 se presenta la modificación de la tabla donde se muestran los puntos de anclaje en X, Y, Z con las medidas tomadas del vehículo en físico, además del cambio de nombres de cada punto de anclaje.

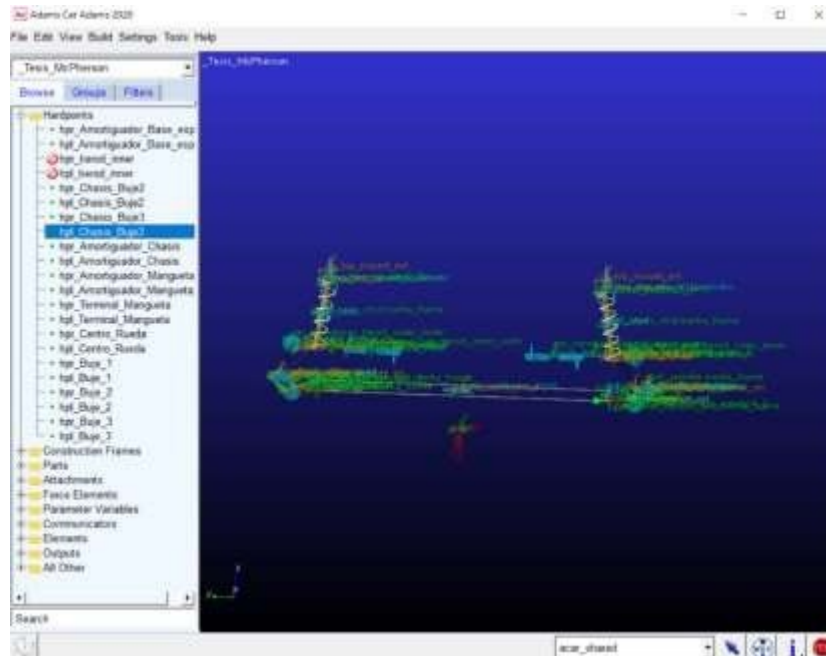


Figura 2.23 Etiquetas de puntos de anclaje

Fuente: (autores, 2022)

Como se aprecia en la figura 2.23, al presionar “Ctrl+v” dentro del programa, esta muestra la etiqueta de cada punto de anclaje ya modificado previamente.

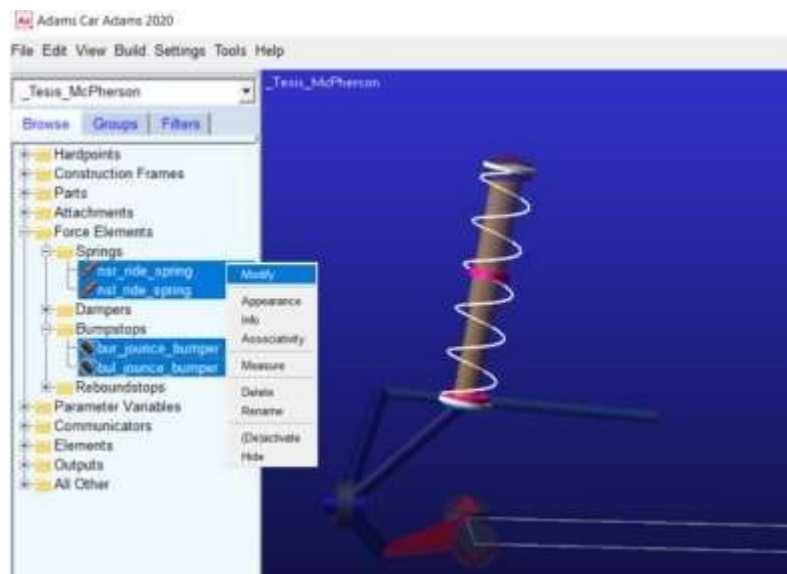


Figura 2.24 Modificación de Piezas

Fuente: (autores, 2022)

Como se aprecia en la figura 2.24 es posible modificar pieza por pieza a interés de la investigación.

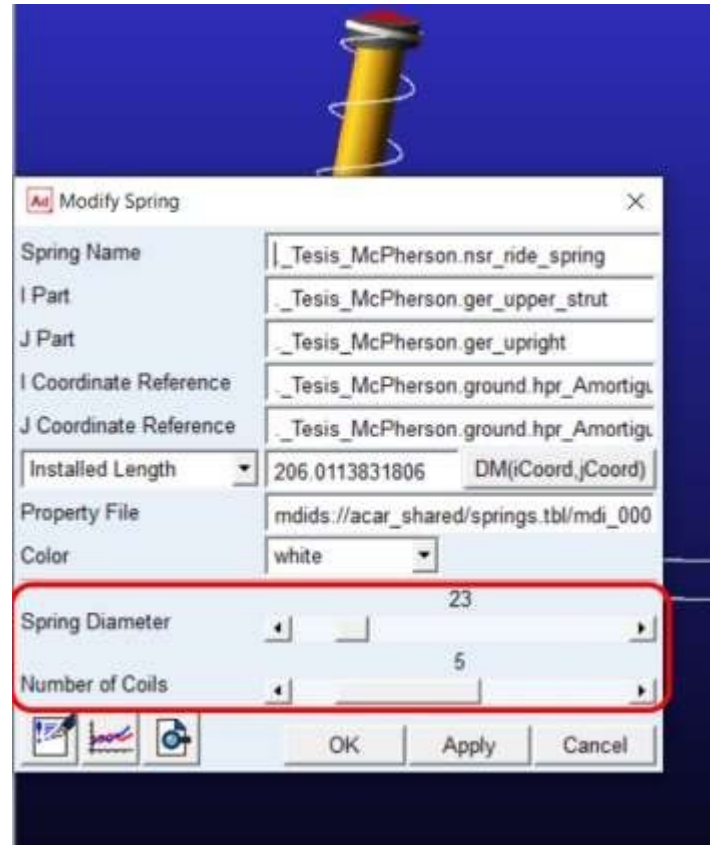


Figura 2.25 Ajuste de medidas

Fuente: (autores, 2022)

En la figura 2.24 “FORCE ELEMENT” y figura 2.25 se realiza ajustes a las medidas tomadas de espirales y amortiguadores.

2.2.5.2. Simulación

Una vez generado el ensamble acorde a las medidas establecidas, se procedió a crear las cuatro simulaciones que proporciona el programa multicuerpo, las cuales son:

- “Parallel Wheel Travel” (Desplazamiento de ruedas paralelas)
- “Oposite Wheel Travel” (Recorrido de rueda opuesta)

- “Roll and Vertical Force” (Balanceo y fuerza vertical)
- “Single Wheel Travel” (Recorrido de una sola rueda)

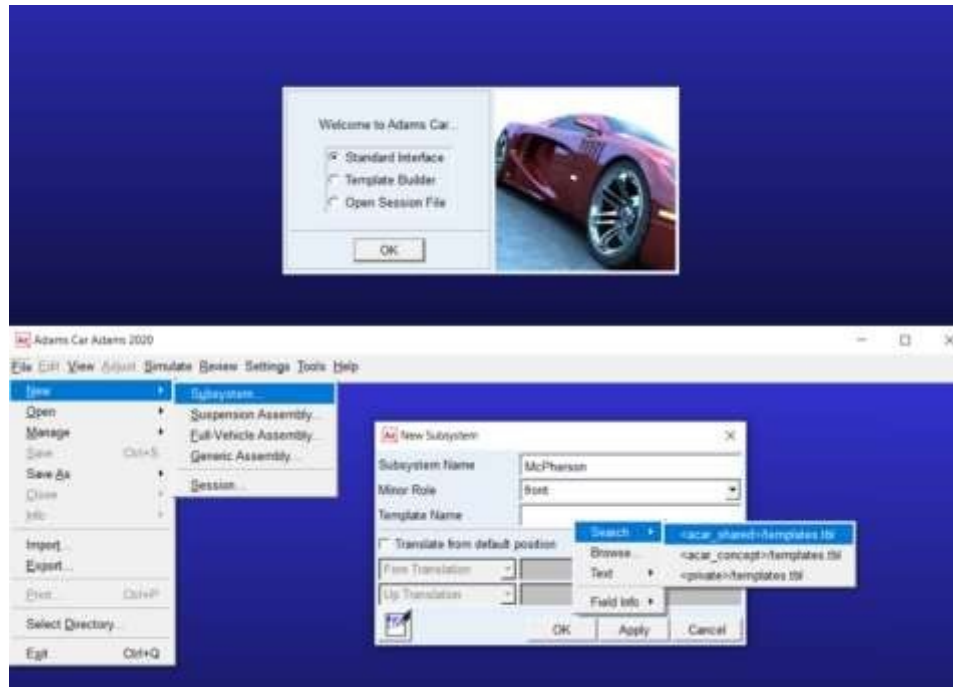


Figura 2.26 Interfaz Estándar

Fuente: (autores, 2022)

La figura 2.26 presenta la interfaz inicial del programa en el apartado de simulación, en donde se ejecutó la plantilla previamente modificada para el estudio.



Figura 2.27 Subsistema McPherson

Fuente: (autores, 2022)

De acuerdo con la figura 2.27 se detalla el método de como guardar el subsistema de suspensión.



Figura 2.28 Creación de la Plantilla McPherson

Fuente: (autores, 2022)

En la figura 2.28 se observa la plantilla está preparado para seleccionar cualquier tipo de simulación, nos damos cuenta por la aparición de los suelos en cada neumático, son capaces de demostrar las fuerzas de estudio.

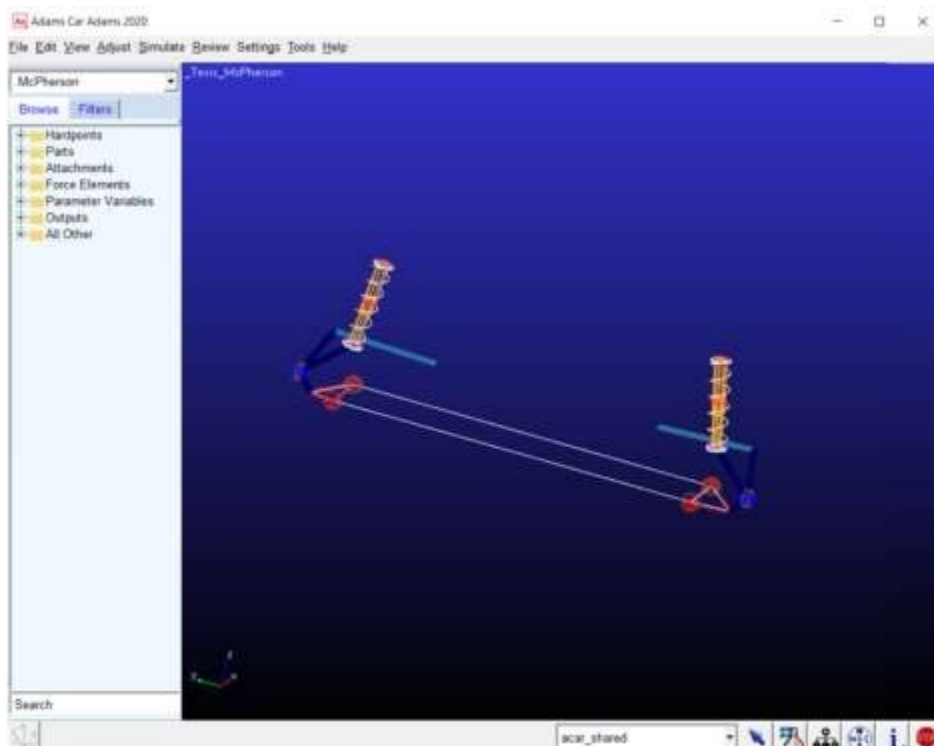


Figura 2.29 Suspensión, Plantilla McPherson

Fuente: (autores, 2022)

En la figura 2.29 muestra la plantilla lista para continuar con las respectivas simulaciones.

- Simulación “Parallel Wheel Travel”

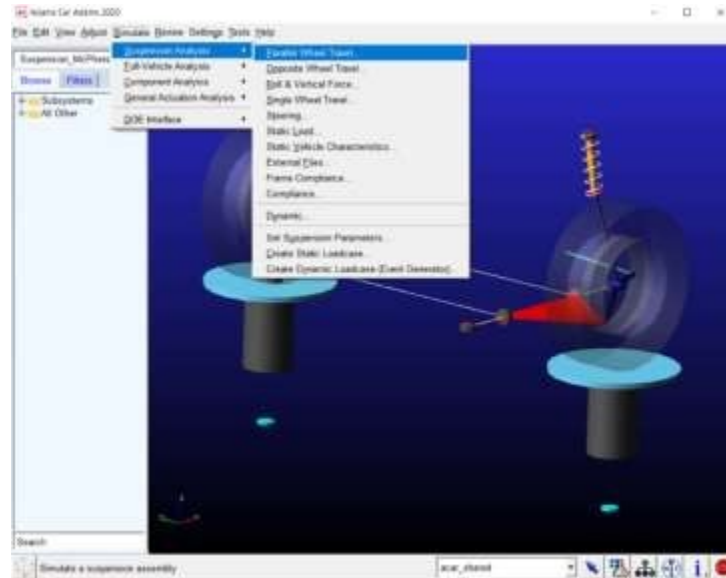


Figura 2.30 Selección de análisis “Parallel Wheel Travel”

Fuente: (autores, 2022)

En la figura 2.30 se despliega la manera de entrar en la interfaz de simulación, se sigue los pasos y se completa los datos.



Figura 2.31 Interfaz de datos simulación “Parallel Wheel Travel”

Fuente: (autores, 2022)

La figura 2.31 presenta las opciones modificables que necesariamente se debe llenar para la opción de desplazamiento de ruedas paralelas “Parallel Travel”, en la casilla de “Output Prefix” se coloca la manera en la que se identificará la simulación; en la casilla de “Number steps” va el número de pasos que la simulación realizó; por consiguiente, se completa la casilla de “Contact Patch”, y para finalizar, la casilla de “Bump Travel” y “Rebound Travel” se llena con valores de 50 y -50 tomando en cuenta la distancia de trabajo.

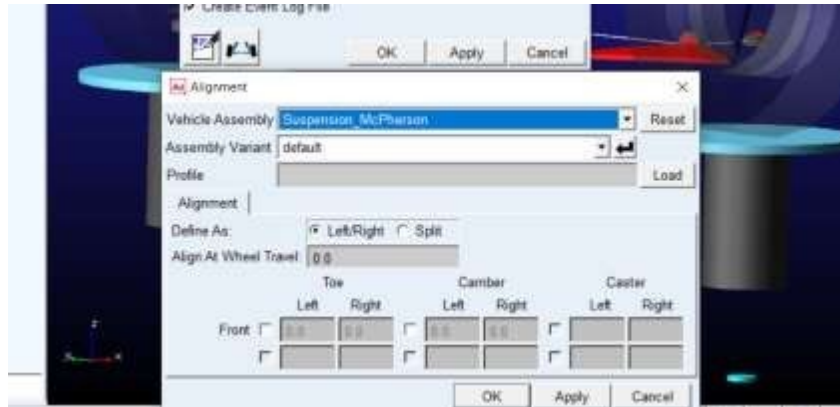


Figura 2.32 Tabla de alineación específica

Fuente: (autores, 2022)

En la figura 2.32 se demuestra que, de ser necesario se puede colocar valores de alineación específica en el vehículo.

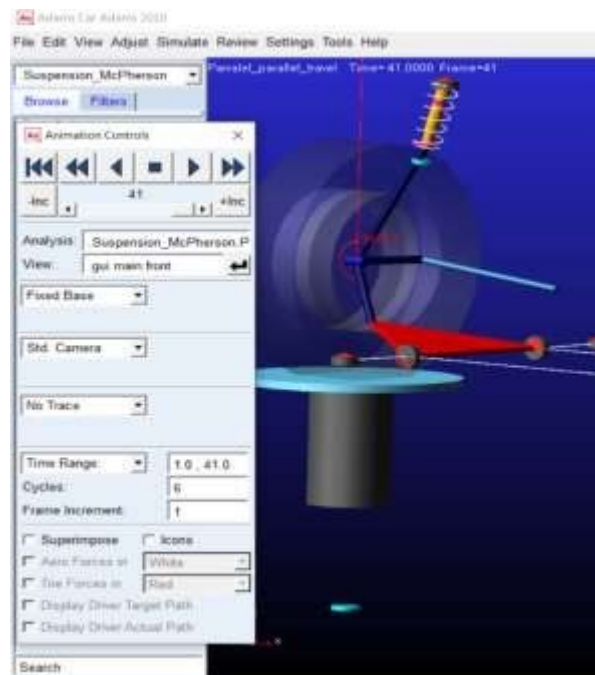


Figura 2.33 Tabla de control de animación

Fuente: (autores, 2022)

En la figura 2.33 contiene la tabla de control de animación que trae por defecto el programa, en él se muestra todos los controles necesarios para reproducir, pausar, adelantar la simulación que este seleccionada, además de poder cambiar en la casilla “Analysis” la simulación que desea previsualizar, entre otras cosas, el número de ciclos que la visualización de la misma va a cumplir.

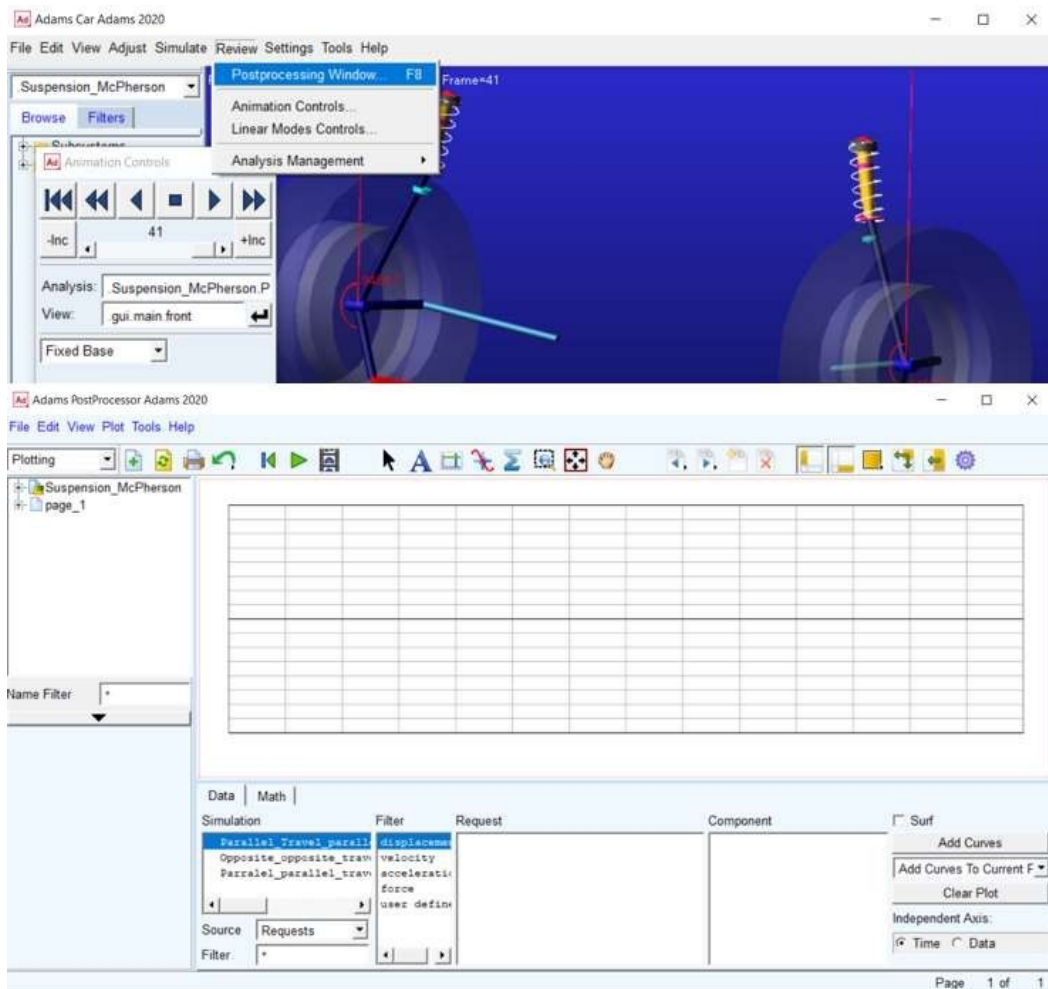


Figura 2.34 Gráfica de post procesado

Fuente: (autores, 2022)

La figura 2.34 representa la capacidad que brinda el software de dibujar gráficas en tiempo real con diferentes curvas según sea conveniente para el estudio.

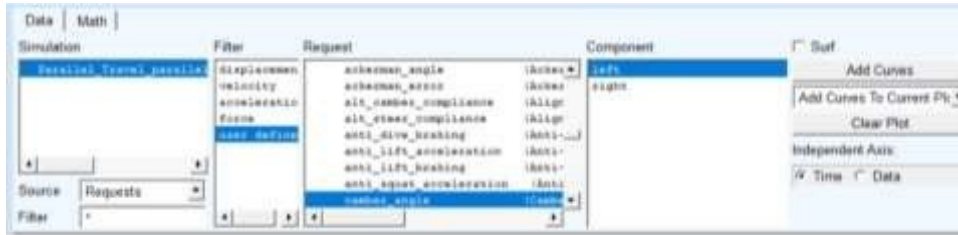


Figura 2.35 Selección de curvas

Fuente: (autores, 2022)

Como se muestra en la figura 2.35 para graficar las curvas se debe seleccionar campo por campo lo necesario para el estudio.

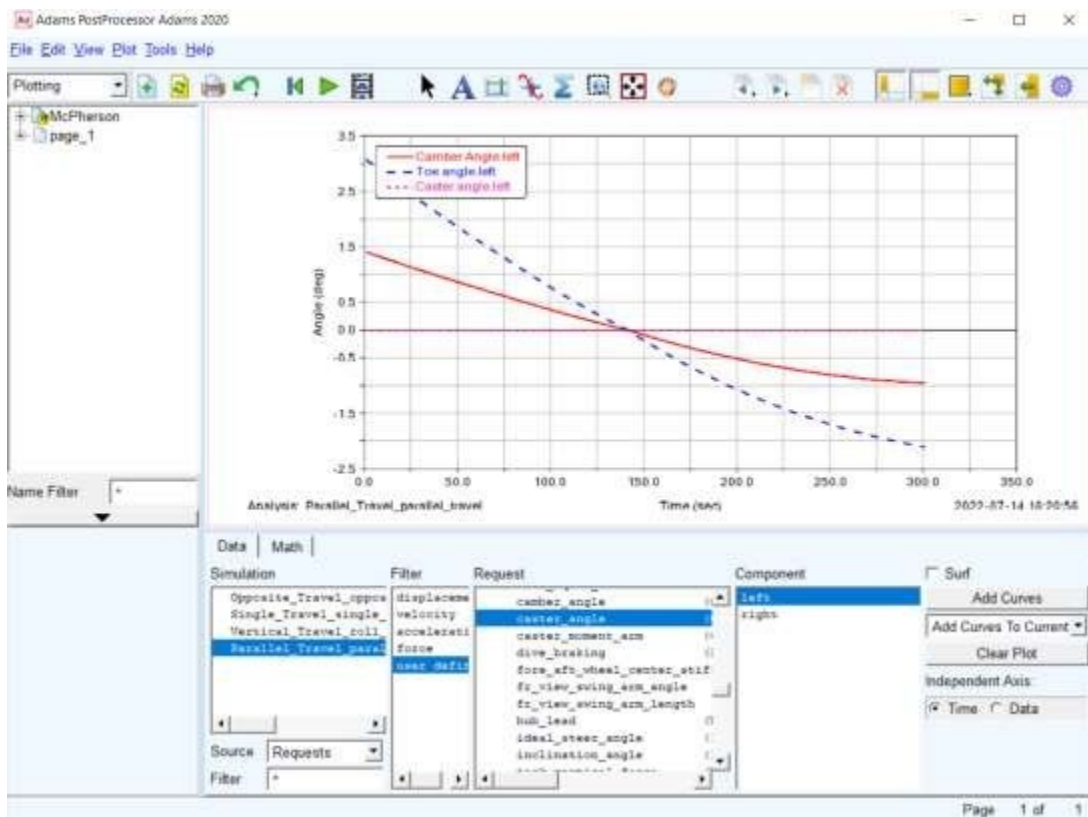


Figura 2.36 Curvas de ángulos

Fuente: (autores, 2022)

Como se muestra en la figura 2.36 los tres ángulos de estudio que se reflejan en las ruedas del vehículo: caída, avance y convergencia.

- Simulación “Opposite Wheel Travel”

El análisis en esta simulación consta de un desplazamiento vertical (arriba, abajo) alternado de los centros de la rueda. Mientras la rueda izquierda se encuentre en el punto máximo superior, la derecha estará en el punto máximo inferior.

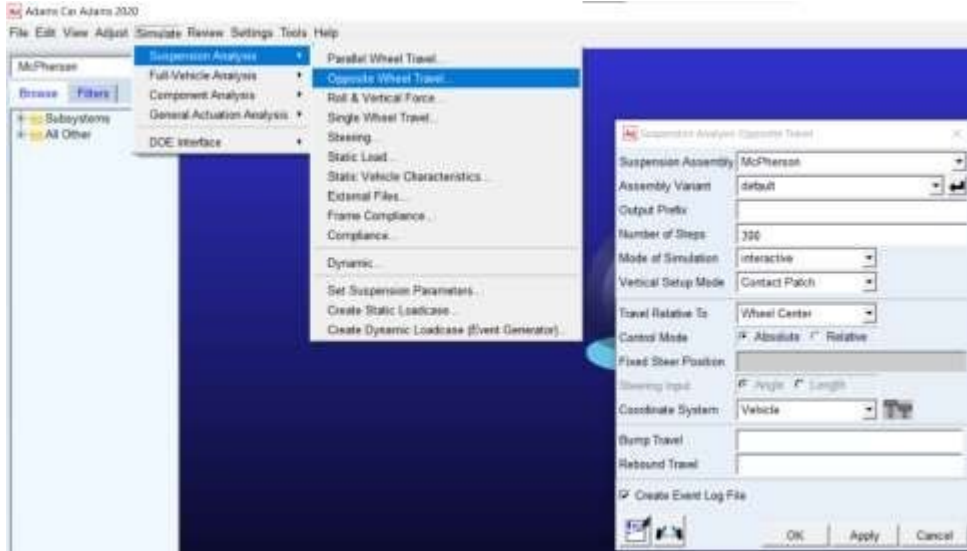


Figura 2.37 Selección “Opposite Wheel Travel”

Fuente: (autores, 2022)

En la figura 2.37 se despliega la manera de entrar en la interfaz de simulación, se sigue los pasos y se completa los datos.

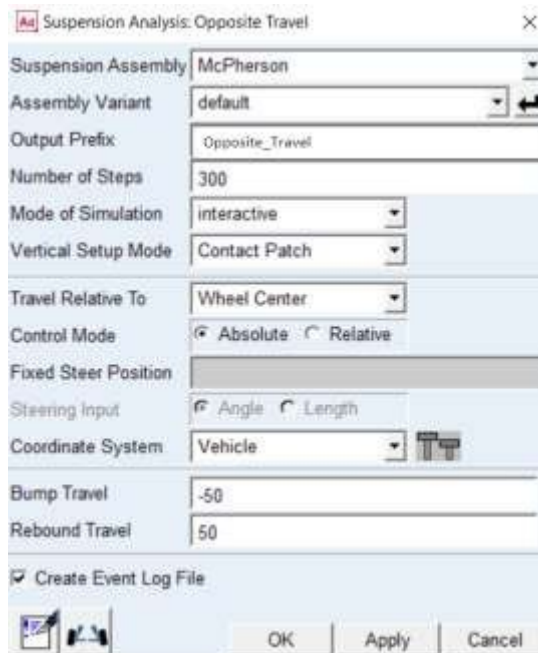


Figura 2.38 Tabla de datos “Opposite Wheel Travel”

Fuente: (autores, 2022)

En la figura 2.38 se detalló los datos que se debe colocar, tales como: “Number of Steps”, “Bump Travel”, “Rebound Travel” a medida que requiera el estudio.

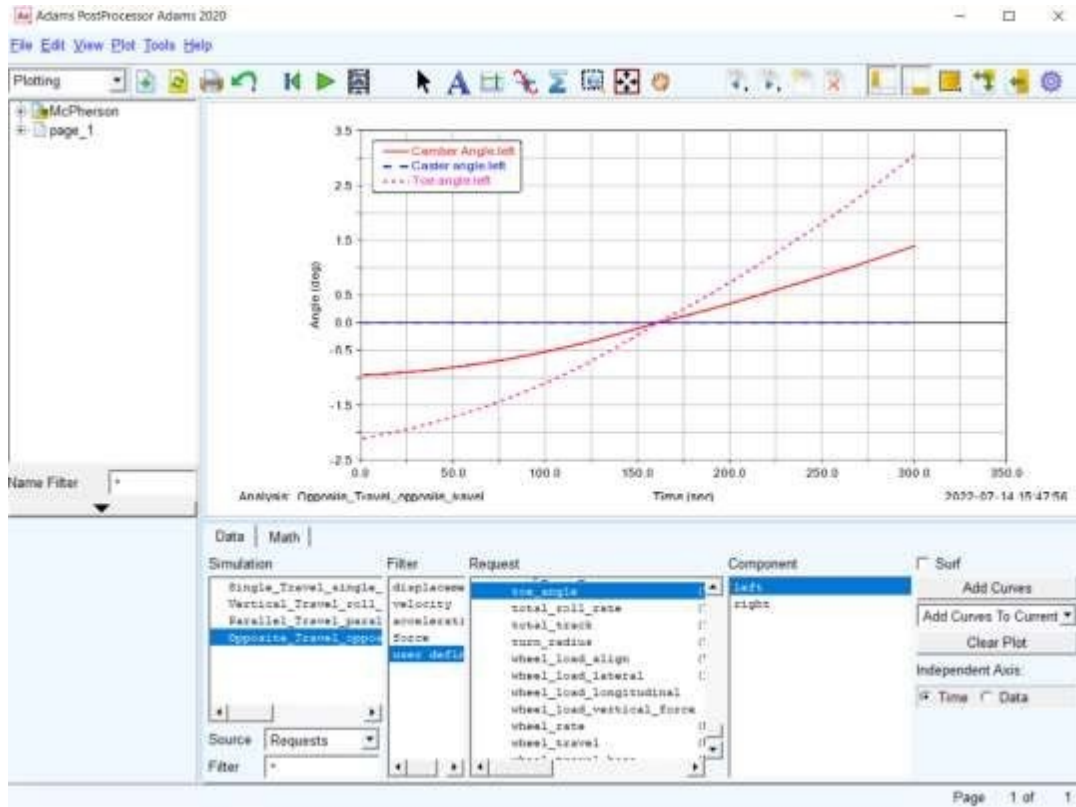


Figura 2.39 Gráfica de curvas “Opposite Wheel Travel”

Fuente: (autores, 2022)

En la figura 2.39 se presentó la gráfica con ángulos “camber”, “caster” y “toe” en función del tiempo.

- Simulación “Roll and Vertical Force”

En este análisis, el programa simula una carga vertical sobre las ruedas y así determinar el comportamiento y desplazamiento de la suspensión McPherson antes los esfuerzos.

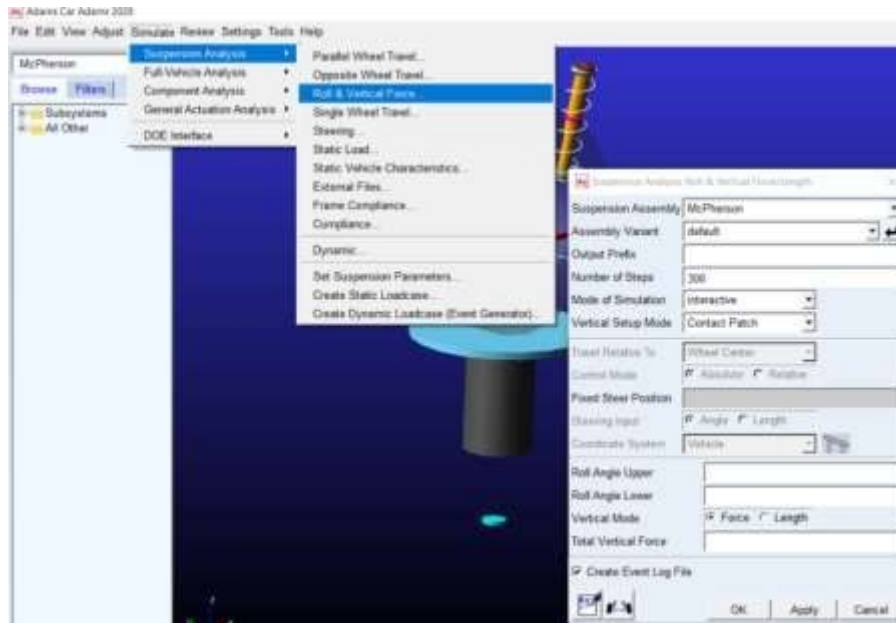


Figura 2.40 Selección “Roll and Vertical Travel”

Fuente: (autores, 2022)

En la figura 2.40 se extiende la forma de llegar a la interfaz de simulación, se sigue los pasos y se completa los datos.

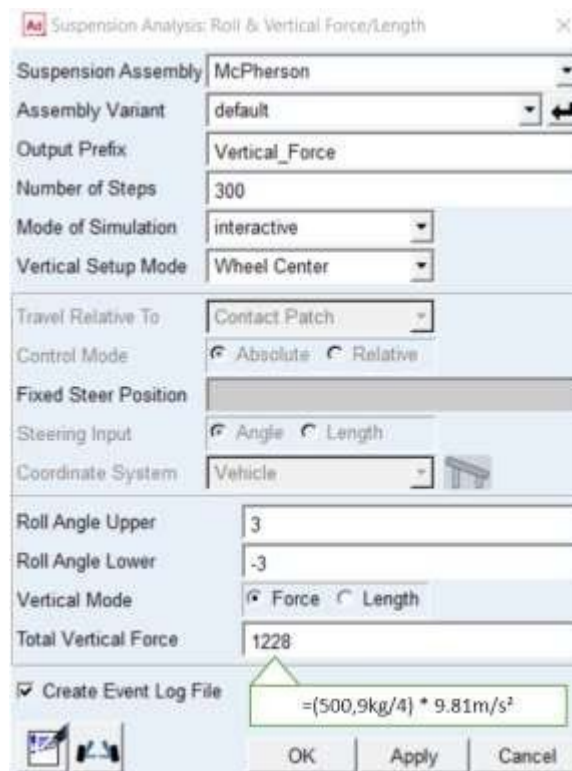


Figura 2.41 Datos de “Roll and Vertical Force”

Fuente: (autores, 2022)

En la figura 2.41, en las casillas de “Roll Angle Upper” y “Roll Angle Lower” se determina la inclinación angular máxima de la rueda, además se coloca la fuerza total ejercida en la simulación, dicha fuerza se obtiene dividiendo el peso total del vehículo para el número de ruedas que posea, por la fuerza de gravedad ejercida.

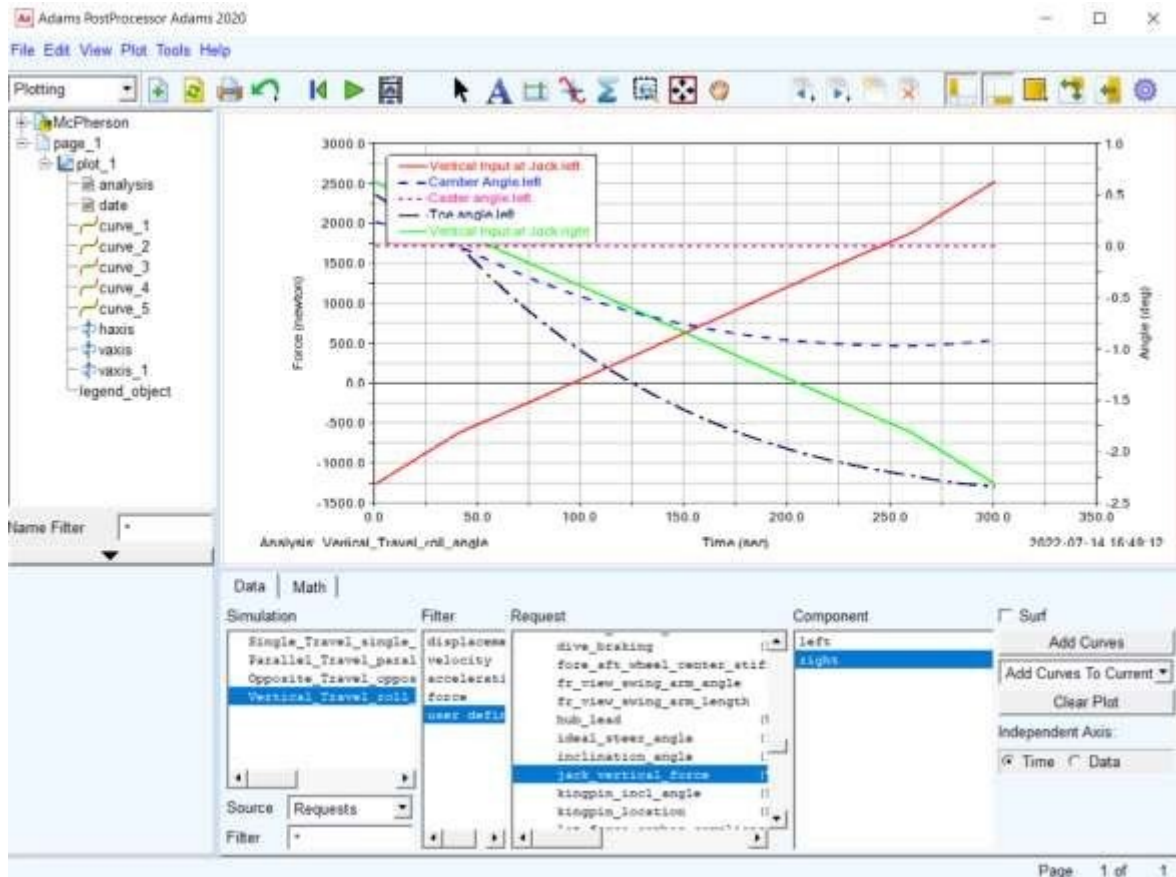


Figura 2.42 Curvas en “Roll and Vertical Force”

Fuente: (autores, 2022)

En la figura 2.42 se plasma la gráfica con “Vertical Force”, ángulos “camber”, “caster” y “toe” en función del tiempo.

- Simulación “Single Wheel Travel”

En este análisis los datos son similares con “Parallel Wheel Travel”, la diferencia primordial del estudio es el movimiento de una sola rueda.

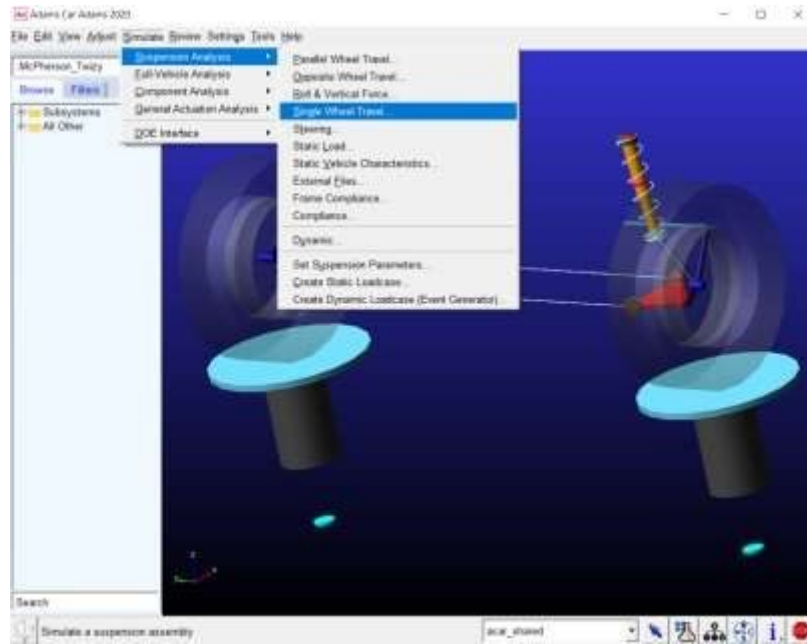


Figura 2.43 Selección “Single Wheel Travel”

Fuente: (autores, 2022)

En la figura 2.43 se amplía el modo de entrar a la interfaz de simulación, se sigue los pasos y se completa los datos.

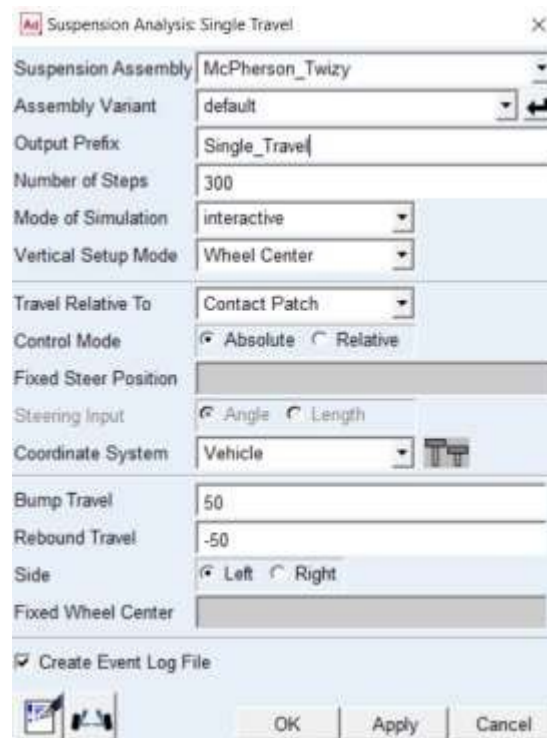


Figura 2.44 Datos de “Single Wheel Travel”

Fuente: (autores, 2022)

En la figura 2.44 se detalla los datos que se debe colocar en las casillas de: “Step number”, “Bump Travel”, “Rebound Travel” a medida que requiera el estudio.

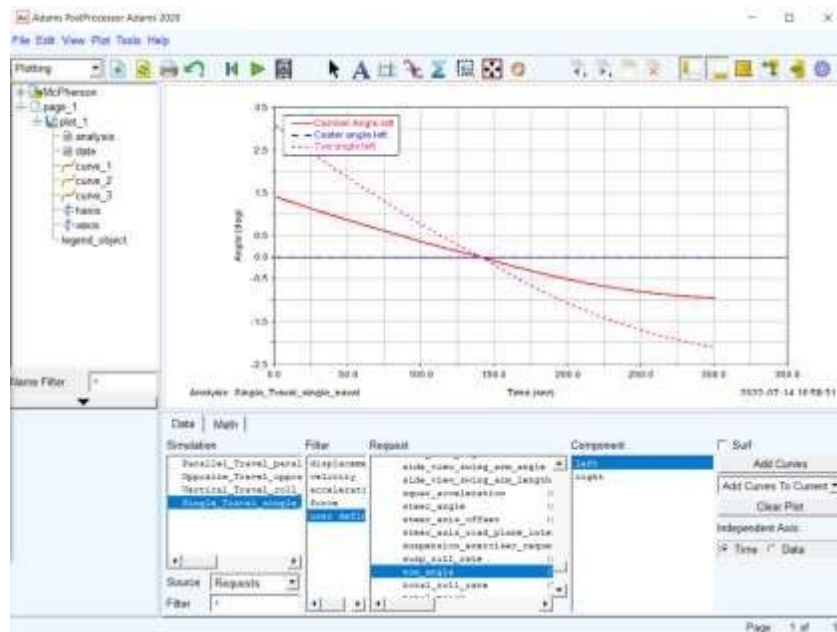


Figura 2.45 Curvas “Single Wheel Travel”

Fuente: (autores, 2022)

En la figura 2.45 muestra el movimiento de una sola rueda, siendo representada por la línea roja, y la azul representa la otra que se encuentra estática.

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados

Aquí se analizaron los parámetros dados por el fabricante con los datos obtenidos a partir de mediciones realizadas en el vehículo eléctrico y posteriormente al programa para la simulación requerida.

En la tabla 3.1 y 3.2 se explicó sobre los valores detallados que Renault dispone en la ficha técnica del vehículo, para lo cual se ha tomado los valores más relevantes y concernientes para dicha investigación.

Tabla 3.1 Datos técnicos motor y batería

| | |
|--|----------------------------|
| Características del vehículo (Toma de Datos) | |
| Renault Twizy (motor) | |
| Datos Técnicos Manual de fabricante Motor | Eléctrico |
| Potencia eléctrica | 13 kW |
| Par eléctrico | 57 Nm |
| Nº motores eléctricos | 1 |
| Tracción | RWD |
| Caja de cambios | 1 velocidad |
| Datos técnicos (batería, autonomía) | |
| Autonomía | 100km |
| Consumo medio | 6,3 kW / 100km |
| Tipo de batería | Litio |
| Tiempo de carga | (110v 7h) / (220v 3h30min) |
| Capacidad de batería | 6,1kWh |

Fuente: (Autotropical, 2018)

Tabla 3.2 Datos técnicos dimensiones nominales

| Datos técnicos (Dimensiones [mm]) | |
|--|---|
| Tipo de carrocería | Monoplaza |
| Número de puertas | 2 |
| Batalla | 1686 |
| Longitud | 2338 |
| Ancho (delantera) | 1237 |
| Ancho (trasero) | 1232 |
| Altura | 1454 |
| Vía delantera | 1094 |
| Vía trasera | 1080 |
| Distancia al suelo | 120 |
| Número de plazas | 1 |
| Frenos delanteros | Disco (214) |
| Frenos traseros | Disco (204) |
| Neumáticos delanteros | 125/80/R13 |
| Neumáticos traseros | 145/80/R13 |
| Diámetro de giro | 6800 mm |
| Peso en vacío en orden de marcha | 474 kg |
| Peso total | 690 kg |
| Relación peso/potencia | 27,9 kg/hp |
| Capacidad de maletero | 75kg |
| Tipo de dirección | Eléctrica |
| Suspensión delantera | Independiente McPherson. Muelles helicoidales |
| Suspensión posterior | Independiente. Muelles helicoidales |

Fuente: (Autotropical, 2018)

3.1.1. Mediciones realizadas en el vehículo:

En la tabla 3.3 se indica acerca de las mediciones realizadas físicamente en el vehículo eléctrico, se tomó en cuenta los puntos clave que posteriormente se evaluaron con los datos del fabricante.

Se obtuvo medidas fundamentales sobre el peso del vehículo y distribución de pesos, mediante el uso de balanzas “E-Z WEIGH Scale MODEL SW500”.

La distribución del peso del vehículo eléctrico:

Tabla 3.3 Distribución del peso

| | |
|--------------------|----------|
| Eje frontal | 44,17% |
| Eje trasero | 55,83% |
| Peso total | 500,9 kg |

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades los pesos están expresados en kilogramos y están consecuentemente distribuidos por cada rueda.

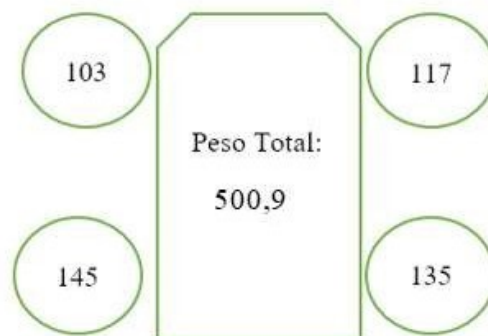


Figura 3.1 Distribución de peso por rueda

Fuente: (Autores, 2022)

Es necesario recalcar que en la figura 3.1 el peso del vehículo varía a los datos que el fabricante presenta, a razón de que, el vehículo utilizado para realizar pruebas y carece de varios elementos de plástico que lleva originalmente, obteniendo con ello una minúscula reducción en su peso.

- **Constante elástica del resorte**

Una vez resuelta la ecuación [2] sobre la constante elástica, se presenta de esta manera:

$$k = \frac{(8 \times 10^9) \cdot 0,03^3}{8 \cdot 0,23^3 \cdot 5}$$

$$k = 13\,314,70 \text{ N/m}$$

Este resultado es la constante de elasticidad, que da razón a los valores tomados de la tabla 2.1 (medidas del muelle).

- **Rigidez y Frecuencia natural del resorte**

$$v = \frac{1}{2. \pi} \cdot \sqrt{\frac{13\ 314,70\ N/m}{110\ kg}}$$

$$v = 1,75\ Hz$$

Tomando el resultado de la constante ($k=13\ 314,70\ N/m$) y la masa suspendida ($m=110\ kg$), es posible reemplazar los valores de la fórmula [4] de rigidez y frecuencia natural para obtener el valor de 1,75 Hz.

3.1.2. Análisis de datos simulación

- **“Parallel Wheel Travel”**

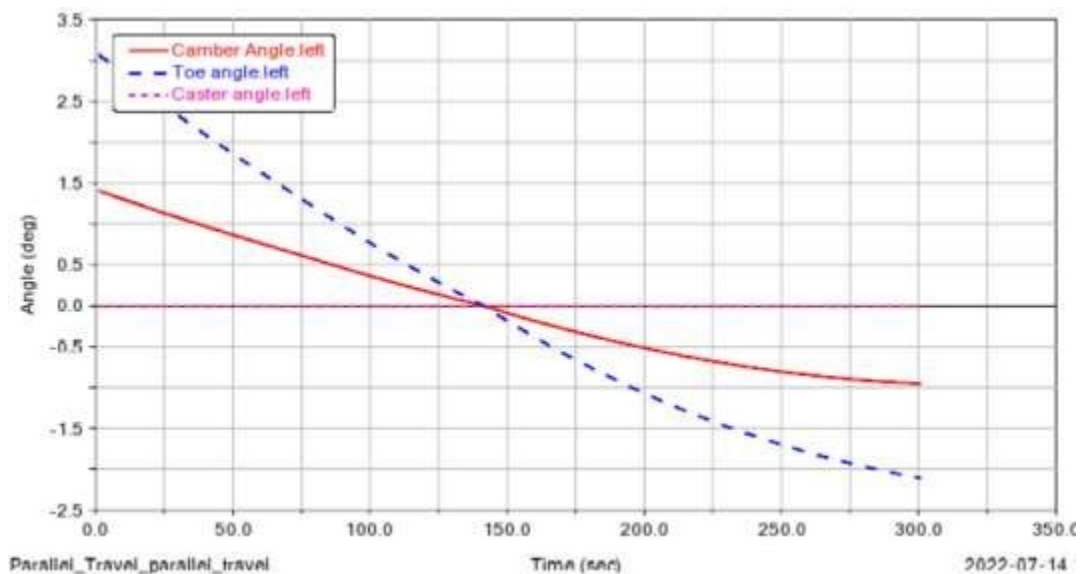


Figura 3.2 Gráfica “Parallel Wheel Travel”

Fuente: (Autores, 2022)

En la figura 3.2 se observa la gráfica con ángulos “camber”, “caster” y “toe” en función del tiempo. El ángulo “caster” no presenta variación alguna ya que el vehículo no está sometido a una carga axial que influya con peso directamente al amortiguado; por otro lado, el ángulo “camber” presenta un leve movimiento angular, pasando de 1,5° “camber” positivo a -1° “camber” negativo durante el periodo considerado; por consiguiente, el ángulo “toe” tiene

más recorrido ya que se mueve la rueda desde un punto positivo en 3° hasta un punto negativo en -2° en el tiempo considerado.

- “Opposite Wheel Travel”

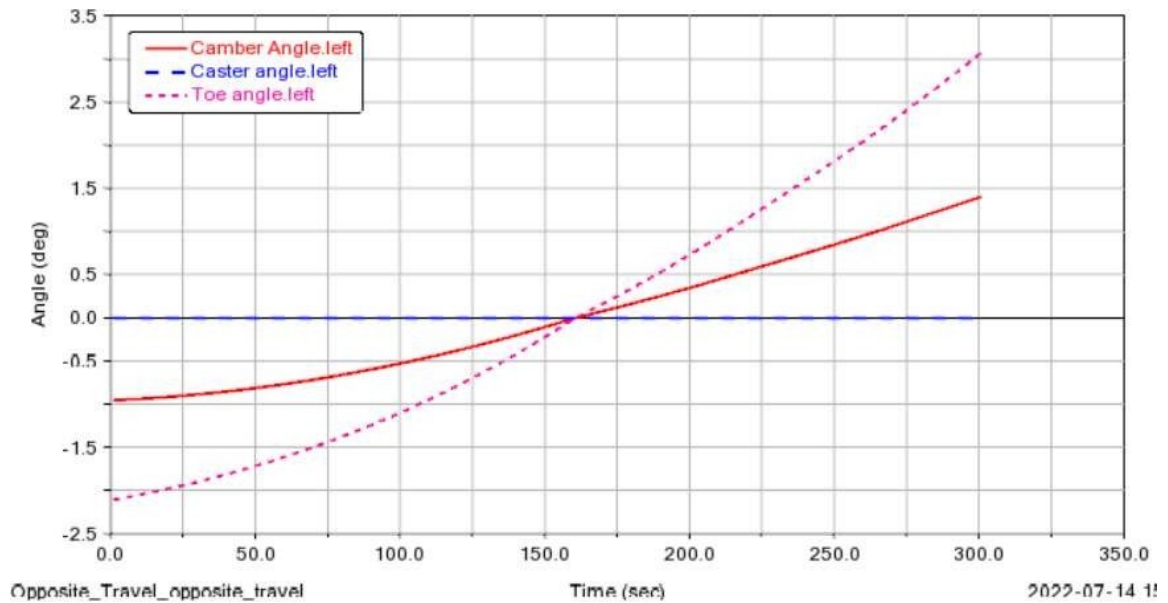


Figura 3.3 “Opposite Wheel Travel”

Fuente: (Autores, 2022)

En la figura 3.3 se observa el ángulo “camber”, “caster” y “toe” en función del tiempo. Para el ángulo “caster” no se presenta variación alguna ya que el vehículo no está sometido a una carga axial que influya con peso o alteración directamente al amortiguador; en “camber” presenta un leve movimiento angular, pasando de -1° (“camber” negativo) a casi llegando a $1,5^\circ$ (“camber” positivo) durante el tiempo estimado; y con el ángulo “toe” consigue un recorrido angular de la rueda (desde la vista superior) de un valor negativo en -3° hasta un valor positivo en 3° durante el tiempo estimado de estudio.

- “Roll and Vertical Force”

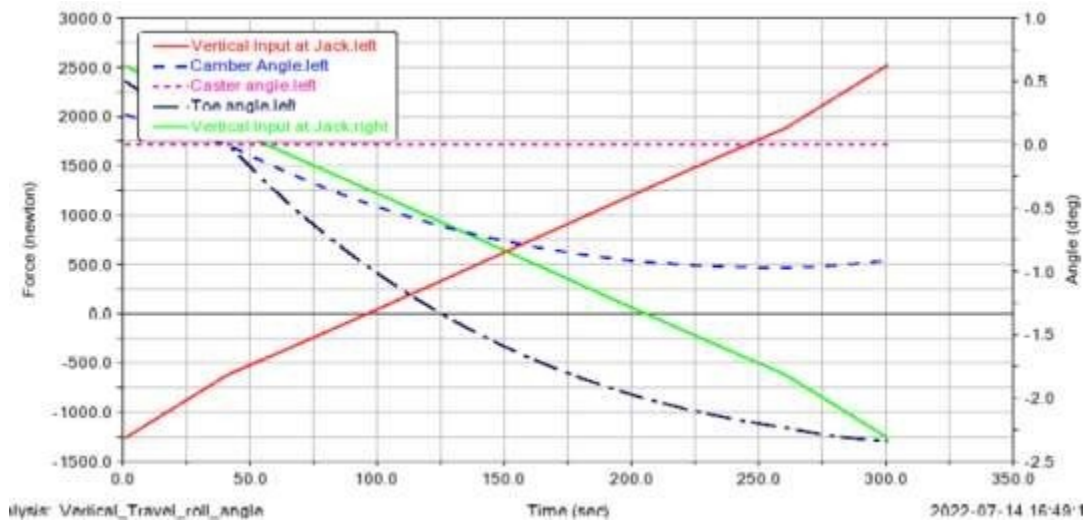


Figura 3.4 “Roll and Vertical Force”

Fuente: (Autores, 2022)

En la figura 3.4 se observa la gráfica con: “Vertical Force”, ángulos “camber”, “caster” y “toe” en función del tiempo. En “Vertical Force” se aplicó una fuerza de 1228 Newton al neumático, permitiendo evaluar los distintos esfuerzos existentes durante el trabajo de la suspensión; por otro lado, el ángulo “caster” no presenta variación alguna ya que el vehículo no está sometido a una carga axial que influya con peso o alteración directamente al amortiguador; en “camber” presenta un leve movimiento angular, $0,25^\circ$ (“camber” positivo) hasta llegar a $-0,9^\circ$ (“camber” negativo) durante el tiempo estimado; para finalizar, el ángulo “toe” consigue un recorrido angular de la rueda (desde la vista frontal) de un valor positivo en $0,5^\circ$ hasta un valor negativo en $-2,25^\circ$ durante el tiempo estimado de estudio.

- “Single Wheel Travel”

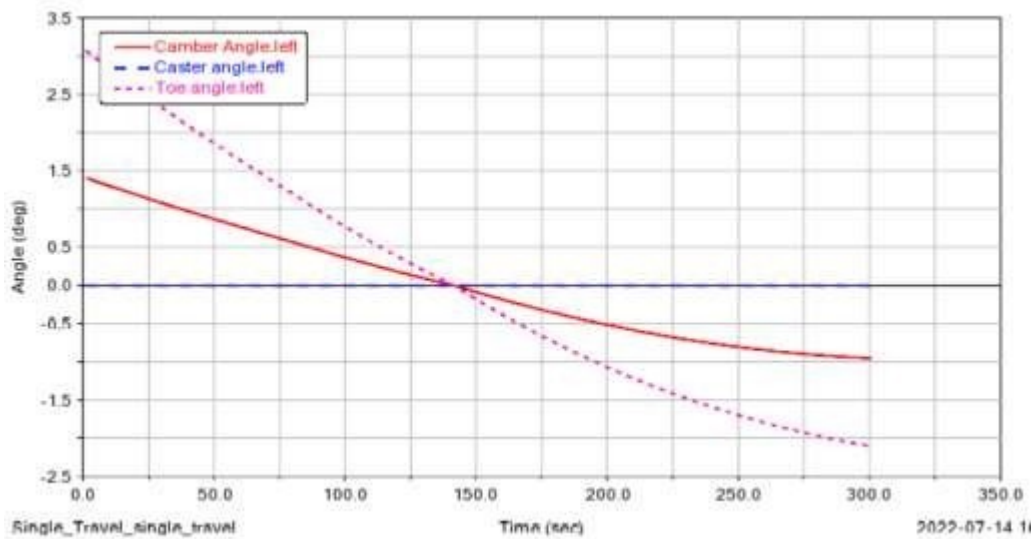


Figura 3.5 “Single Wheel Travel”

Fuente: (Autores, 2022)

En la figura 3.5 se muestra la gráfica de los ángulos “camber”, “caster” y “toe” en función del tiempo; donde: el ángulo “caster” no presenta variación alguna ya que el vehículo no está sometido a una carga axial que influya con peso o alteración directamente al amortiguador; el ángulo “camber” presenta un leve movimiento angular, $1,5^\circ$ (“camber” positivo) hasta llegar a -1° (“camber” negativo) durante el tiempo estimado; y finalmente, el ángulo “toe” consigue un recorrido angular de la rueda (desde la vista superior) de un valor positivo en 3° hasta un valor negativo en -2° durante el tiempo estimado de estudio.

3.2. Discusión

Para la medición de datos, el programa proporciona una plantilla, que permite modificar fácilmente las medidas, como se realizó con la suspensión del Renault Twizy.

Al caracterizar es importante concentrarse en las siguientes fórmulas:

Para determinar la constante elástica del resorte (F), se puede utilizar la ley de Hooke, es decir, se debe toma en cuenta la masa frontal del vehículo que soporta cada espiral de la suspensión; la misma que es obtenida a partir de la masa medida por las balanzas (equivalente a 110 kg); finalmente, a este valor se lo multiplica por la gravedad para conseguir la fuerza, como se presenta a continuación:

Ley de Hooke:

$$F = m \cdot g$$

$$F = 110 \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F = 1078 \text{ N}$$

Todo este proceso se realizó a modo de comprobación y una vez obtenida la fuerza, se aplica la ecuación de la constante elástica del muelle 1.3, con relación a la fuerza actuante ($x=0,08$), que se obtiene restando la longitud del muelle suelto con la longitud del muelle colocado en el amortiguador, tal como se muestra en la tabla 2.1, donde tenemos que:

$$K = \frac{F}{x}$$

$$K = \frac{1078 \text{ N}}{0,08 \text{ m}}$$

$$K = 13\,475 \text{ N/m}$$

Es posible que exista una mínima variación entre constantes, lo cual se atribuye a los leves desbalances de peso y aproximaciones que alteran el resultado.

Con respecto a la rigidez y frecuencia natural, una vez obtenido el valor de $w= 1,75\text{Hz}$, se comparó con los valores de frecuencia para cada tipo de vehículo detallados en la tabla 3.4.

Tabla 3.4 Clasificación de vehículos según la rigidez y frecuencia natural

| | |
|----------------------|---|
| 0,5 – 1,5 Hz | Vehículos para calle |
| 1,5 – 2,0 Hz | Vehículos de competencia o monoplaça con carga aerodinámica moderada. |
| 3,0 – 5,0 Hz (o más) | Vehículos de competencia con elevada carga aerodinámica |

Fuente: (Giarrafa, 2018)

Según la clasificación mostrada en la tabla 3.4, es pertinente objetar que, el vehículo de prueba “Renault Twizy” se encuentra en la categoría de vehículos de competencia con carga aerodinámica moderada.

El vehículo ciudadano eléctrico, con su uso enfocado al ahorro y conducción suave no pertenezca al grupo de “vehículos para calle”, no obstante, la suspensión que porta es más rígida que un automóvil normal, debido a las dimensiones reducidas que presenta el monoplaza, tanto longitudinales, como transversales; por tanto, el “Renault Twizy” contempla seguridad de marcha en curvas con su suspensión rígida superior a 1,5 Hz, evitando así, sufrir algún tipo de siniestro; como un volcamiento durante una curva de forma apresurada.

Gracias a las cuatro simulaciones realizadas: “Parallel Wheel Travel”, “Opposite Wheel Travel”, “Roll and Vertical Force” y “Single Wheel Travel”; el programa permite observar mediante gráficas los momentos en los cuales los ángulos tienen distintos comportamientos.

Como se muestra en las gráficas de las figuras 3.2, 3.3 y 3.5 cada simulación presta similares variaciones respecto a los ángulos “camber”, “caster” y “toe”. El primer ángulo, “camber” presenta una media de cambio angular de $2,3^\circ$ en todas las simulaciones mencionadas; para el ángulo “caster” existe una inconsistencia relacionada con la naturaleza del ángulo, es apreciable en pruebas en movimiento, por ende, estas pruebas no son el caso y el valor en cada prueba siempre será de 0° ; y para “toe” su variación angular es de $5,2^\circ$, según (Gómez, s.f.) el valor típico del ángulo “camber” está comprendido entre 0° a 2° , en cambio el valor de “toe” depende de la inclinación del terreno en contacto con las ruedas, si el terreno es cóncavo o convexo, el ángulo aumentará de forma positiva o negativa.

Con la simulación denominada “Roll and Vertical Force” como se muestra en la figura 3.4, existe diferencias con respecto al ángulos “camber” y “toe”; teniendo como resultados $1,15^\circ$ y $2,75^\circ$ respectivamente, esta simulación describe una fuerza aplicada en los neumáticos mientras que el vehículo se encuentra elevado, por ende, el valor llegara hasta donde la rigidez del amortiguador y las físicas del sistema lo permitan.

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Para el modelado en el programa Adams Car, fue necesario identificar los puntos de unión de los elementos que conforman el sistema de suspensión, además de tomar en cuenta las características del amortiguador, con especificaciones técnicas del muelle, medición de masa vehicular para lograr determinar la distribución de pesos del vehículo.
- Tomando en cuenta los datos obtenidos en la caracterización de la suspensión, la distribución del peso en el eje frontal nos permite tener una comprobación más acertada respecto a la constante elástica del muelle. Así como también, a razón de la rigidez y frecuencia natural del muelle que porta el “Renault Twizy”, se analizó que la suspensión tiende a ser dura (sin llegar a ser incómoda) para su uso cotidiano, No obstante, su razón de ser es precautelar la seguridad del pasajero, ya que las pequeñas dimensiones del vehículo lo harían inseguro e inestable en curvas tomadas a velocidades medias o altas, por ende, los muelles tienden a ser más rígidos y pueden compensar este problema.
- Se comprobó mediante los cuatro apartados de simulación que presenta el programa Adams car, el ángulo “caster” no presenta variación alguna, esto debido a que no existe desplazamiento en ángulos del eje de giro respecto al eje vertical de una rueda destinada al viraje de un vehículo; para el ángulo “camber” es notorio apreciar una variación media de $0,53^\circ$ en los cuatro análisis de simulación realizados, tomando por entendido que no es una variación importante que ocasione problemas; y para el ángulo “toe” la simulación denominada “Roll and Vertical Force” describe una fuerza aplicada en los neumáticos mientras que el vehículo se encuentra elevado, por ende, las ruedas tienen un recorrido angular de aproximadamente 5° .

4.2. Recomendaciones

- Para la toma de datos se recomienda realizar las respectivas mediciones varias veces, de esta manera asegurarse que los valores anotados sean los más exactos antes de ingresarlos en el programa, además, en cuanto a la masa, es muy importante asegurarse que el nivel de presiones en los neumáticos sea el indicado por el fabricante ya que, de no ser así, presentara variaciones en las ecuaciones y posibles valores incorrectos dentro de las simulaciones.
- Con el fin de mantener el funcionamiento óptimo de la suspensión, es necesario mantener en buen estado los amortiguadores, ya que la rigidez que los muelles tienen es más elevada que el promedio usado en vehículos de ciudadanos. Este dato fue conseguido gracias al estudio de la rigidez y frecuencia de los muelles que ocupa el “Renault Twizy”.
- Dentro de la utilización y manejo del programa, es necesario poseer un conocimiento previo acerca del mismo, ya que la simulación requiere de varios datos específicos para la obtención de resultados sumamente puntuales. Además, al realizar un correcto análisis de simulación es necesario hacer varias pruebas, a causa de comprobar que los datos se relacionan y así evitar en los resultados curvas irreales.
- En futuras investigaciones, en donde se requiera analizar un sistema funcional, se recomienda usar el programa de simulación multicuerpo Adams car debido a que presenta plantillas prediseñadas modificables que facilita y optimiza el tiempo de una investigación.

CAPÍTULO V

5.1 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álamo, M. A. (2016). *Modelación y control de un sistema de suspensión semiactiva con amortiguador magnetorreológico*. Piura: Universidad de Piura. https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2705/MAS_IME_AUT_011.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Auquilla, L., & Torres, R. (2016). *DISEÑO DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN DE UN VEHÍCULO MONOPLAZA ELÉCTRICO FÓRMULA SAE*. Cuenca: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12131/1/UPS-CT006052.pdf>
- Autotropical. (2018). *Ficha Técnica Twizy*. <https://autotropical.com/renault/wp-content/uploads/2018/03/CATALOGO-RENAULT-TWIZY.pdf>
- CAE. (04 de Octubre de 2021). *ADAMS/MACHINERY ES LA SOLUCIÓN DE ADAMS*. ADAMAS/MACHINERY: <https://www.caeinnovacion.es/producto/2/adams-machinery-prototipos-virtuales-de-maquinaria-sistemas-diseno>
- Caraguay, A., & Caraguay, J. (2015). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN DE UN VEHÍCULO MONOPLAZA PARA LA COMPETENCIA FORMULA STUDENT*. Cuenca: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8929/1/UPS-CT005175.pdf>
- Castro, D. (2017). *Modelo de suspensión de vehículo monoplaaza mediante ADAMS/CAR, Propuesta de mejoras*. Ingeniería en Tecnologías Industriales. <https://docplayer.es/88396071-Modelo-de-suspension-de-vehiculo-monoplaza-mediante-adams-car-propuesta-de-mejoras.html>
- Cebolla, B. (2017). *MODELADO Y CARACTERIZACIÓN DE SISTEMAS DE SUSPENSIÓN EN VEHÍCULOS AUTOMÓVILES*. Valencia: Universidad de Valencia. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/89391/CEBOLLA%20-%20MODELADO%20Y%20CARACTERIZACI%C3%93N%20DE%20SISTEM>

AS%20DE%20SUSPENSIC3%93N%20EN%20VEH%3%8DCULOS%20AUTOM%3%93VILES.pdf?sequence=1

Chasi, G. (2021). *ELABORACIÓN DE GUÍAS DIDÁCTICAS PARA EL MODELADO Y SIMULACIONES DINÁMICAS EN CONDICIONES DE ACELERADO Y FRENADO DE UN VEHÍCULO AUTOMOTOR USANDO EL SOFTWARE ADAMS CAR [Tesis de Ingeniería]*. Cuenca: Repositorio Universidad Politécnica Salesiana. <https://doi.org/http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20231>

Diario Motor. (16 de 09 de 2010). *Renault Twizy*. <https://www.diariomotor.com/coche/renault-twizy/#caracteristicas>

Diario Motor. (s.f.). *Renault Twizy*. <https://www.diariomotor.com/coche/renault-twizy/#caracteristicas>

El Genuino repuestos. (20 de 11 de 2012). *El Genuino repuestos*. <http://www.elgenuinorepuestos.com/mesas-suspension/>

EuroTaller. (05 de enero de 2017). *¿Qué es el silentblock de la suspensión y que función cumple en tu coche?* <https://www.eurotaller.com/noticia/que-es-el-silentblock-de-la-suspension-y-que-funcion-cumple-en-tu-coche>

Fernández, D. (2018). *SIMULACIÓN DINÁMICA DE MECANISMOS COMPLEJOS*. Oviedo: UNIVERSIDAD DE OVIEDO. https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/55510/TFM_DavidFernandezGonzalez.pdf?sequence=3

García, A. (2016). *Herramienta de simulación de la cinemática y dinámica del sistema de suspensión de un Formula Student mediante MATLAB - Simulink*. Valladolid: Escuela de Ingenieros Industriales. <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/18226/TFM-I-421.pdf;jsessionid=32300AB58134992732737A0E98A3C655?sequence=1>

García, A. (2016). *Herramienta de simulación de la cinemática y dinámica del sistema de suspensión de un Formula Student mediante Matlab - Simulink*. Escuela de ingenierías Industriales, Valladolid. <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/18226/TFM-I-421.pdf;jsessionid=32300AB58134992732737A0E98A3C655?sequence=1>

- Gavilanez, C. (2016). *Análisis e Importancia de Sistema de Suspensión de Vehículos Livianos Mediante Modelo Digital*. Quito: UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ. <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/5996/1/129359.pdf>
- Giarrafa, M. (09 de febrero de 2018). *Tech tip: Springs & Dampers, Part One*. (OptimumG, Editor) PtimumG: <https://optimumg.com/springsdampers1/>
- Gómez, J. L. (s.f.). *La importancia de los ángulos de la dirección de tu coche*. Diario Motor: <https://www.diariomotor.com/que-es/mecanica/angulos-de-la-direccion-coche/>
- GONZÁLEZ, D. S. (2015). *DISEÑO DE MANGUETAS DELANTERAS Y POSTERIORES DE UN VEHÍCULO MONOPLAZA PARA LA COMPETICIÓN EN LA FORMULA SAE [Tesis de ingeniería, Universidad Politécnica Salesiana]*. Repositorio Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/7547>
- Guerrero, J. (2015). *MODELADO E IDENTIFICACIÓN DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN PASIVA DEL ROBOT MÓVIL ANDÁBATA*. Málaga: Universidad de Málaga. <https://doi.org/https://www.uma.es/media/tinyimages/file/Memoria2.pdf>
- Higuera, D. (2018). *Comportamiento de transmisión CVT en ADAMS-Drive_Line y ADAMS-Car*. Repositorio de Escuela Técnica Superior de Ingeniería. <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/86295/TFM-1325-HIGUERA.pdf;jsessionid=1F0D2CE41D3E06373CF0FD73347C7749?sequence=1&isAllowed=y>
- Hurel, Terán, Flores, Peralta, & Flores. (2017). *Modelado Físico y Matemático del Sistema de Suspensión de un Cuarto de Vehículo*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral. http://www.laccei.org/LACCEI2017-BocaRaton/full_papers/FP295.pdf
- INDIELEC. (18 de enero de 2021). *El Software de Simulación Dinámica Multicuerpo*. Software Gestión GESIO®: <https://www.indielec.com/adams-msc-software-cms-4-50-352/>
- Intercomp. (2019). *Intercompracing.com*. <https://www.intercompracing.com/sw500-e-z-weigh-scale-system-p-6.html>

- Intercomp. (s.f.). *Intercompracing.com*. <https://www.intercompracing.com/sw500-e-z-weigh-scale-system-p-6.html>
- Martinez, J. (2018). *Modelado, simulación y análisis con MSCAdams de un sistema de transmisión de par con ruedas libres [Tesis de Ingeniería]*. Repositorio Universidad de Sevilla. <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/86020/TFM-1222-MARTINEZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mejía, E., & Reyes, D. (2018). *DISEÑO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN DE UN PROTOTIPO DE AUTO ELÉCTRICO BIPLAZA UTA-CIM17*. Ambato: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/27928/1/Tesis%20I.%20M.%20460%20-%20Mej%3%ADa%20Mayorga%20Est%3%A9ban%20David%20y%20Reyes%20P%3%A9rez%20Diego%20Fernando.pdf>
- Mugrauer, J. (27 de Febrero de 2018). *Calcular la fuerza de muelles*. <https://blog.federnshop.com/es/calcular-la-fuerza-de-muelles/>
- Mugrauer, J. (27 de febrero de 2018). *Calcular la fuerza de muelles*. Gutekunst Federn: <https://blog.federnshop.com/es/calcular-la-fuerza-de-muelles/>
- Nuvolari, E. (2020). *La suspensión, la amortiguación y sus componentes*. Grupo Faros. <https://talleractual.com/tecnica/suspension-y-direccion/1754-la-suspension-la-amortiguacion-y-sus-componentes>
- Pechuán, J. C. (2017). *Desarrollo y validación de un modelo dinámico con Adams de un vehículo de competición Formula SAE*. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia. <https://doi.org/http://hdl.handle.net/10251/88456>
- Pérez, P. (2012). *Co-simulación ADAMS/MATLAB pra control de posición del robot gryphon*. Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana. https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/2099/digital_24684.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Planificación, C. N. (2021). PLAN NACIONAL DE DESARROLLO 2021, 2025. <http://www.eeq.com.ec:8080/documents/10180/36483282/PLAN+NACIONAL+D+E+DESARROLLO+2021-2025/2c63ede8-4341-4d13-8497->

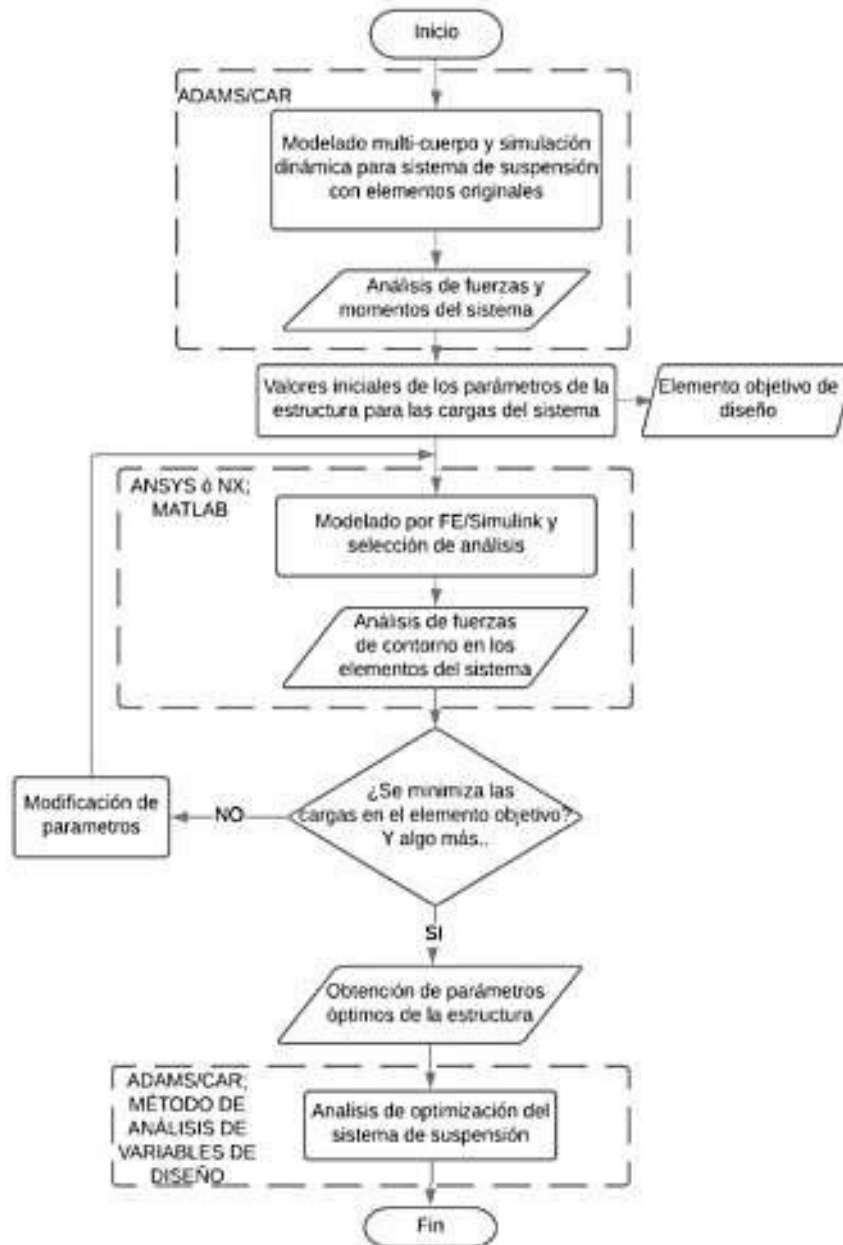
6b7809561baf#:~:text=El%20Plan%20de%20Creaci%C3%B3n%20de,Integral%20C%20Transici%C3%B3n%20Ecol%C3%B3gica%20e%20Institucional.

- Platas, M. (19 de febrero de 2020). *Para qué sirven los muelles de suspensión de un auto.* <https://autosblogmexico.com/mantenimiento/para-que-sirven-los-muelles-de-suspension-de-un-auto-ta4516>
- Rico, R. (25 de 03 de 2020). *El blog del taller mecánico* . <https://el-blog-del-taller-mecanico.repxpert.es/blog/servicios/rotulas-de-direccion-causas-de-averia-y-como-evitarlas/>
- Rodríguez Galbarro, H. (2018). *Ingemecánica.* <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn73.html>
- Rojas, J. (2018). *ADAMS tutorial.* Riobamba: ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO. <https://www.coursehero.com/file/40898413/TUTORIAL-ADAMSdocx/>
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, S. (2017-2021). *Observatorio Regional de Planificación para el Desarrollo.* <https://observatorioplanificacion.cepal.org/es/planes/plan-nacional-de-desarrollo-2017-2021-toda-una-vida-de-ecuador>
- Shirkévich, N. K. (1975). *Manual de Física elemental.* Moscú: MIR, Moscú.
- Suzhou Waldun Steel. (2020). *ACERO AISI 5160.* <https://waldunsteel.com/es/products/acero-aisi-5160/>
- Tecnología del Automóvil. (13 de 05 de 2020). *Tecnología del automóvil.* <https://www.tecnologia-automovil.com/articulos/evolucion-elementos/pavimento-deslizante/>
- Tixce, C. (24 de diciembre de 2016). *La suspensión automotriz y su función.* <https://www.motoryracing.com/coches/noticias/la-suspension-automotriz-y-su-funcion/>
- Vega, Llanes, Molina, & Rocha. (2018). Revisión de las Características de Modelado y Optimización para el Diseño del Sistema de Suspensión Macpherson. *Información*

Tecnológica, 221-234. <https://www.scielo.cl/pdf/infotec/v29n6/0718-0764-infotec-29-06-00221.pdf>

5.2 ANEXOS

ANEXO I PROCESO DE SIMULACIÓN ADAMS



Anexo I Secuencia de diseño y optimización de la suspensión
(Vega y otros, 2018)

ANEXO II

FICHA TÉCNICA RENAULT TWIZY

Carlab

Ficha técnica

Toda la información para conocer a tu Twizy

ZE

| | TWIZY Cargo | TWIZY Twizac 2 |
|---|--------------------------------|--|
| Número de plazas | 5 | 2 |
| Estructura CO ₂ | Cero emisiones: 100% eléctrico | Cero emisiones: 100% eléctrico |
| Potencia | | |
| Potencia del CEE kW | 18 (13) | 18 (13) |
| Velocidad máxima km/h | 57 | 57 |
| Alcance por ciclo (km) | 46 ó 2.188 | 46 ó 2.188 |
| Preferencias | | |
| Velocidad máxima (km/h) | 60 | 60 |
| 0-100 (s/km) | 6,1 | 6,1 |
| 100-0 (s/km) | 6,1 | 6,1 |
| Consumo ciclo urbano mixto-15 | | |
| CO ₂ (g/km) | 0 | 0 |
| Autonomía certificado (CO ₂ =0 km) | 100 | 100 |
| WU (km) | 83 | 88 |
| Dimensiones | | |
| Altura máxima (mm) | 6,8 | 6,8 |
| Número de ejes del vehículo | 2,8 | 2,8 |
| Trenes | | |
| Opciones de dirección / tren trasero | | Posición Phasor |
| • Opciones de dirección / tren trasero | | Carburoado Phasor / autoQuattro |
| | | Dirección y tracción estándar 2,8 ejes |
| Reserva y mantenimiento | | |
| Reserva FV** | 75 | 75 |
| Dimensiones real (alturas estándar)** | 125 / 80 (11) | 125 / 80 (11) |
| Dimensiones real (anchuras estándar)** | 145 / 80 (11) | 145 / 80 (11) |
| Frenos | | |
| Discos delanteros (diámetro en mm) | 218 | 218 |
| Discos traseros (diámetro en mm) | 204 | 204 |
| Pesos (kg) | | |
| En vacío en orden de marcha sin baterías | 474 (171) | 474 (171) |
| En vacío en orden de marcha con baterías | 208 | 200 |
| En vacío en orden de marcha sobre | 268 | 268 |
| Total (en kg) | 690 | 690 |
| Carga útil (kg) | 116 | 119 |

**La autonomía real y certificada por la UE (LTC) del vehículo en ciclo CO₂ es de 100 km para Twizy. Al igual que el consumo de carburante de un vehículo térmico, en su real, la autonomía de Twizy depende de diferentes variables. La autonomía real puede variar en función de las condiciones de uso (tipo de trayecto, velocidad, estilo de conducción, utilización de equipamientos que consumen energía, etc.). Según el estilo de conducción, la autonomía real de Twizy es de 50 a 80 km. **El vehículo no está previsto de serie para el alquiler. En caso de alquiler, se puede solicitar a través de tu tienda Renault. Acuerda el alquiler gratuito (hasta el) servicio de mantenimiento, durante la vigencia de la garantía.

Equipamiento

Lista de equipamientos disponibles en tu Twizy

TWIZY Cargo

- Transmisión automática
- Marcha de seguridad cuando se aparcas
- Asiento de conductor
- Cinturón de seguridad delantero de cuatro puntos
- Frenos de disco delanteros y traseros
- Rueda de reserva de 17"
- Asiento de pasajero con base con una capacidad de carga de 70 kg.

Colores disponibles



TWIZY Twizac

- Transmisión automática
- Marcha de seguridad cuando se aparcas
- Asiento de conductor
- Cinturón de seguridad delantero de cuatro puntos
- Frenos de disco delanteros y traseros
- Rueda de reserva de 17"
- Rueda de reserva
- Techo panorámico fijo con tratamiento anti-UV
- Sistema de audio con Bluetooth
- Asiento trasero de pasajero en lugar de maletas
- Dirección de seguridad (control de tres puntos)
- Certificado de tracción de 2,8 ejes con base

MY RENAULT
EN TU TIENDA RENAULT

Anexo II Ficha técnica fabricante Renault

(Autotropical, 2018)