

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

*Trabajo de titulación previo
a la obtención del título de
Ingeniero Mecánico Automotriz*

PROYECTO TÉCNICO:

**“ELABORACIÓN DE GUÍAS DIDÁCTICAS PARA EL ANÁLISIS
DE SUSPENSIONES EMPLEADAS EN VEHÍCULOS USANDO LA
HERRAMIENTA ADAMS/CAR”**

AUTORES:

CRISTHIAN FRANCISCO AGUILAR AGUILAR
DARWIN SAMUEL AGUILAR MASACHE

TUTOR:

ING. JORGE ESTEBAN FAJARDO MERCHÁN

CUENCA - ECUADOR

2020

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Cristhian Francisco Aguilar Aguilar con documento de identificación N° 0705919967 y Darwin Samuel Aguilar Masache con documento de identificación N° 1104962715, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: **“ELABORACIÓN DE GUÍAS DIDÁCTICAS PARA EL ANÁLISIS DE SUSPENSIONES EMPLEADAS EN VEHÍCULOS USANDO LA HERRAMIENTA ADAMS/CAR”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniero Mecánico Automotriz*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, julio del 2020

Cristhian Aguilar A.

Darwin Aguilar Masache

Cristhian Francisco Aguilar Aguilar

Darwin Samuel Aguilar Masache

C.I. 0705919967

C.I. 1104962715

CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“ELABORACIÓN DE GUÍAS DIDÁCTICAS PARA EL ANÁLISIS DE SUSPENSIONES EMPLEADAS EN VEHÍCULOS USANDO LA HERRAMIENTA ADAMS/CAR”**, realizado por Cristhian Francisco Aguilar Aguilar y Darwin Samuel Aguilar Masache, obteniendo el *Proyecto Técnico*, que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, julio del 2020



Ing. Jorge Esteban Fajardo Merchán, MSc.

C.I. 0103496386

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Cristhian Francisco Aguilar Aguilar con documento de identificación N° 0705919967 y Darwin Samuel Aguilar Masache con documento de identificación N° 1104962715, autores del trabajo de titulación: **“ELABORACIÓN DE GUÍAS DIDÁCTICAS PARA EL ANÁLISIS DE SUSPENSIONES EMPLEADAS EN VEHÍCULOS USANDO LA HERRAMIENTA ADAMS/CAR”**, certificamos que el total contenido del *Proyecto Técnico* es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, julio del 2020

Cristhian Aguilar A.

Darwin Samuel Aguilar Masache

Cristhian Francisco Aguilar Aguilar

Darwin Samuel Aguilar Masache

C.I. 0705919967

C.I. 1104962715

AGRADECIMIENTO

Reconozco a la facultad de Ingeniería Mecánica Automotriz de mi alma mater, la Universidad Politécnica Salesiana, también reconocer a los catedráticos que tuve a lo largo de mi alineación académica, mi tutor de proyecto de titulación, el Ing. Jorge Esteban Fajardo Merchan, así como el director de carrera Ing. Fabricio Espinoza, quienes supieron guiarnos y aconsejarnos para llegar al punto de ser un perito.

Al igual que un saludo romano ofrecemos gratitud a todos ellos.

Darwin Aguilar y Cristhian Aguilar.

DEDICATORIA

Primeramente, dar gracias a Dios por haberme permitido culminar una nueva meta en mi vida, a mi madre Mayiyi Aguilar quien ha sido mi pila fundamental para llegar a lograr este triunfo, gracias, mamá por haber dedicado tu vida a formar al hombre en el que me he convertido, este triunfo es nuestro.

A mi abuela Ada Orellana quien me brinda su apoyo incondicional en cada momento, este triunfo también es para usted.

Mi abuelo Boston Aguilar y mi padre Manuel Aguilar quienes a lo largo del camino partieron de este mundo, también les quiero agradecer por todas sus enseñanzas y sé que estarán orgullosos por esta nueva meta que he cumplido.

Gracias a mis familiares y amigos que siempre me apoyaron con sus palabras de aliento en este largo y difícil camino, además dar gracias por esa entrega y ese apoyo por parte de mi hija Rafaella Aguilar y mi compañera Ashley Rentería solo me queda decirles lo hicimos.

Dar gracias al tutor de esta tesis al Ing. Jorge Fajardo por dedicar su tiempo y conocimiento para la realización de este proyecto.

Cristhian Francisco Aguilar Aguilar.

A Dios que tenía preparado esto para mí, a mis padres Samuel y Dalila, porque sin ellos no hubiese sido posible alcanzar este logro, que no es solamente mío sino de ustedes también, gracias, padres por todo el esfuerzo y su apoyo incondicional, el haberme forjado y llenarme de valores me han hecho la persona que soy actualmente, sin su ayuda, no estuviera hoy escribiendo esto.

A mis hermanas Valeria y Keila, dos personas hermosas que más que mis hermanas, son mis amigas y en ellas puedo confiar mucho, gracias por sus consejos y estar siempre cuando más lo necesitaba.

Agradezco también a mi tutor de tesis ing. Jorge Fajardo, que además de ser un gran profesional es una gran persona, y a todos mis compañeros que siempre estuvieron para apoyarnos mutuamente.

Gracias a mis familiares y amigos, a esas personas que nunca creyeron que esto sería posible, esto también es para ustedes, porque sus críticas y negativas fueron el combustible del motor con el cual me impulsaba día a día para alcanzar esta meta, así que los invito a disfrutar conmigo de este logro o a seguir sufriendo en soledad.

Darwin Samuel Aguilar Masache.

1 Contenido

CAPÍTULO I.....	15
1 ANTECEDENTES GENERALES	15
1.1 Suspensión vehicular	15
1.2 Funcionalidad del sistema de suspensión en los vehículos.....	16
1.3 Componentes elásticos de la suspensión	17
Ballestas	¡Error! Marcador no definido.
Muelles.....	¡Error! Marcador no definido.
Barra estabilizadora.....	¡Error! Marcador no definido.
Barra de torsión	¡Error! Marcador no definido.
Silentblocks	¡Error! Marcador no definido.
Fuente: Autores	17
1.3.1 Ballestas.....	18
1.3.2 Muelles	20
1.3.3 Barras estabilizadoras	25
1.3.4 Barras de torsión.....	27
1.3.5 Tipos de amortiguadores	28
1.3.6 Otros elementos de la suspensión.....	29
1.3.7 Rótulas.....	29
1.3.8 Mangueta y buje	30
1.3.9 Brazos de suspensión.....	31
1.3.10 Tirantes de suspensión.....	31
1.4 Software MSC.Adams	32
1.4.1 Simulaciones ampliadas	33
1.4.2 Terminologías por utilizar dentro del software	34
CAPÍTULO II.....	40
2 MODELOS DE DIFERENTES SUSPENSIONES USANDO SOFTWARE ADAMS/CAR PARA EL ANÁLISIS DINÁMICO DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS DIFERENTES ELEMENTOS DE LA SUSPENSIÓN.....	40
2.1 INTODUCCION.....	40
2.2 Suspensión McPherson	42
2.2.1 Parallel Wheel Travel	43
2.2.2 Opposite Wheel Travel.....	46
2.2.3 Roll & Vertical Force	48
2.2.4 Single Wheel Travel	50

2.2.5	Variación de los parámetros de la suspensión MCpherson	51
2.3	Suspensión multilink.....	55
2.3.1	Parallel Wheel Travel	56
2.3.2	Opposite Wheel Travel.....	58
2.3.3	Roll & Vertical Force	60
2.3.4	Single Wheel Travel	61
2.3.5	Variación de los parámetros de la suspensión multilink	62
2.4	Suspensión de brazos articulados.....	65
2.4.1	Parallel Wheel Travel	66
2.4.2	Opposite Wheel Taravel	67
2.4.3	Vertical Force	69
2.4.4	Single Wheel Travel	70
2.4.5	Variación de los parámetros de la suspensión de brazos articulados	71
2.5	Suspensión rígida con resorte	74
2.5.1	Paralled Wheel Travel	75
2.5.2	Opposite Wheel Travel.....	76
2.5.3	Roll & Vertical Force	78
2.5.4	Single Wheel Travel	79
2.5.5	Variación de los parámetros de la suspensión rígida con resorte	80
2.6	Suspensión rígida con ballesta.....	82
2.6.1	Parallel Wheel Travel	83
2.6.2	Opposite Wheel Travel.....	85
2.6.3	Vertical Force	86
2.6.4	Single Wheel Travel	88
2.6.5	Variación de los parámetros de la suspensión rígida con ballesta.....	89
CAPÍTULO III		97
3	GUÍAS PARA EL ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DIÁMAICO DE LA SUSPENSIÓN	97
3.1	Guías para el diseño de suspensiones.	97
3.1.1	Guía de suspensión McPherson.....	97
3.1.2	Guía de suspensión multilink	112
3.1.3	Guía de suspensión de brazos articulados	127
3.1.4	Guía de suspensión rígida con resorte	142
3.1.5	Guía de suspensión rígida con ballestas	156
3.2	Guía para la Simulación dinámica de la suspensión.....	172

4. CONCLUSIONES	185
5. REFERENCIAS	186

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Suspensión normal de vehículo	15
Figura 2. Sistema masa resorte.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 3. Ballestas	18
Figura 4. Partes de la ballesta.....	18
Figura 5. Fuerzas ejercidas.....	19
Figura 6. Muelles	20
Figura 7. Resorte en la suspensión	21
Figura 8. Muelles en suspensión	21
Figura 9. Sistema masa resorte.....	22
Figura 10. Diferentes tipos de resortes.....	23
Figura 11. Vehículo inestable	25
Figura 12. Posición de la barra estabilizadora.....	26
Figura 13. Principio de funcionamiento.....	26
Figura 14. Configuraciones de la barra estabilizadora	27
Figura 15. Barra de torsión.....	27
Figura 16. Posición de los silent block.....	29
Figura 17. Rótulas	29
Figura 18. Manguetas.....	30
Figura 19. Brazos sujetadores o platos.....	31
Figura 20. Ejemplo del uso del software MSC.Adams	32
Figura 21. Concepto del recorrido paralelo de las ruedas en el vehículo.....	34
Figura 22. Concepto del recorrido opuesto de las ruedas en el vehículo	35
Figura 23. Distribución de las fuerzas en un vehículo	36
Figura 24. Camber y desarrollo de los neumáticos	37
Figura 25. Posibles Caster en un vehículo	38
Figura 26. Convergencia y divergencia de las ruedas en un vehículo	39
Figura 2.1: Suspensión McPherson.....	42
Figura 2.2: Ensamble suspensión McPherson.....	43
Figura 2.3: Desplazamiento vertical (Parallel Travel).....	44
Figura 2.4: Comportamiento del ángulo camber en el Parallel Travel.	44
Figura 2.5: Comportamiento del ángulo toe en el Parallel Travel.	45
Figura 2.6: Convergencia y divergencia.	45
Figura 2.7: Comportamiento del caster en el Parallel Travel.....	46
Figura 2.8: Comportamiento del ángulo camber en el Opposite Wheel Travel.....	47
Figura 2.9: Comportamiento del ángulo toe en el Opposite Wheel Travel.	47
Figura 2.10: Comportamiento del ángulo caster en el Opposite Wheel Travel.	48
Figura 2.11: Vertical force.....	48
Figura 2.12: Vertical force. comportamiento del ángulo toe.....	49
Figura 2.13: Vertical force. comportamiento del ángulo camber.	49
Figura 2.14: Vertical force. comportamiento del ángulo caster.....	50
Figura 2.15: Single Wheel Travel.....	50
Figura 2.16: Comportamiento ángulo toe.	51
Figura 2.17: Comportamiento ángulo toe.	51
Figura 2.18: Comportamiento del ángulo Camber con incremento de los brazos de suspensión.	52
Figura 2.19: Comportamiento del ángulo Toe con incremento de los brazos de suspensión. ...	52

Figura 2.20: Comportamiento del ángulo Camber con disminución de los brazos de suspensión.	53
Figura 2.21: Comportamiento del ángulo Toe con disminución de los brazos de suspensión.	53
Figura 2.22: Comportamiento del ángulo Camber con amortiguador más pequeño.	54
Figura 2.23: Comportamiento del ángulo Toe con amortiguador más pequeño.	54
Figura 2.24: Comportamiento del ángulo Camber con amortiguador más grande.	55
Figura 2.25: Comportamiento del ángulo Toe con amortiguador más pequeño.	55
Figura 2.26: Suspensión multilink.	56
Figura 2.27: Ensamble suspensión multilink.	56
Figura 2.28: Comportamiento del ángulo toe suspensión multilink.	57
Figura 2.29: Comportamiento del ángulo camber suspensión multilink.	57
Figura 2.30: Comportamiento del ángulo caster suspensión multilink.	58
Figura 2.31: Comportamiento del ángulo camber Opposite Travel multilink.	58
Figura 2.32: Comportamiento del ángulo camber Opposite Travel multilink.	59
Figura 2.33: Comportamiento del ángulo caster en el Opposite Travel multilink.	59
Figura 2.34: Comportamiento del ángulo camber en el vertical force multilink.	60
Figura 2.35: Comportamiento del ángulo toe en el vertical force multilink.	60
Figura 2.36: Comportamiento del ángulo camber en el single wheel travel.	61
Figura 2.37: Comportamiento del ángulo toe en el single wheel travel.	62
Figura 2.38: Ángulo camber de las configuraciones multilink.	63
Figura 2.39: Ángulo toe de las configuraciones multilink.	63
Figura 2.40: Ángulo camber con cambio en el tamaño del amortiguador.	64
Figura 2.41: Ángulo toe con cambio en el tamaño del amortiguador.	64
Figura 2.42: Suspensión de brazos articulados.	65
Figura 2.43: Ensamble de la suspensión de brazos articulados.	65
Figura 2.44: Ángulo camberr Parallel Travel suspensión brazos articulados.	66
Figura 2.45: Ángulo toe Parallel Travel suspensión brazos articulados.	67
Figura 2.46: Ángulo caster Parallel Travel suspensión brazos articulados.	67
Figura 2.47: Ángulo camber opposite travel suspensión brazos articulados.	68
Figura 2.48: Ángulo toe opposite travel suspensión brazos articulados.	68
Figura 2.49: Ángulo caster opposite travel suspensión brazos articulados.	69
Figura 2.50: Ángulo toe vertical force suspensión brazos articulados.	69
Figura 2.51: Ángulo toe ertical force suspensión brazos articulados.	70
Figura 2.52: Comportamiento del ángulo camber en el single wheel travel.	70
Figura 2.53: Comportamiento del ángulo toe en el single wheel travel.	71
Figura 2.54: Ángulo camber con la modificacion de los brazos de suspen	72
Figura 2.55: Ángulo toe con la modificacion de los brazos de suspensión.	72
Figura 2.56: Ángulo camber con cambio en el tamaño del amortitudor.	73
Figura 2.57: Ángulo toe con cambio en el tamaño del amortitudor.	74
Figura 2.58: Suspensión rígida con resorte.	74
Figura 2.59: Ensamble suspensión rígida con resorte.	75
Figura 2.60: Ángulo Camber Parallel Travel suspensión rígida con resorte.	75
Figura 2.61: Ángulo Toe Parallel Travel suspensión rígida con resorte.	76
Figura 2.62: Ángulo Caster Parallel Travel suspensión rígida con resorte.	76
Figura 2.63: Ángulo Camber Opposite Wheel Travel suspensión rígida con resorte.	77
Figura 2.64: Ángulo Toe Opposite Wheel Travel suspensión rígida con resorte.	77
Figura 2.65: Ángulo Caster Opposite Travel suspensión rígida con resorte.	78
Figura 2.66: Ángulo Camber vertical force suspensión rígida con resorte.	78

Figura 2.67: Ángulo Toe vertical force suspensión rígida con resorte.	79
Figura 2.68: Ángulo Cmber single travel suspensión rígida con resorte.	79
Figura 2.69: Ángulo Toe single travel suspensión rígida con resorte.	80
Figura 2.70: Ángulo camber con modificación en los brazos de control.	81
Figura 2.71: Ángulo toe con modificación en los brazos de control.	81
Figura 2.72: Ángulo caster con cambio en el tamaño del amortidor.	82
Figura 2.73: Suspensión con ballesta.	82
Figura 2.74: Ensamble suspensión rígida con ballesta.	83
Figura 2.75: Paralled Wheel Travel.	83
Figura 2.76: Ángulo camber y toe parallel travel suspensión de ballesta.	84
Figura 2.77: Ángulo Caster parallel travel suspensión de ballesta.	84
Figura 2.78: Ángulo Camber opposite travel suspensión con ballesta.	85
Figura 2.79: Ángulo Toe opposite travel suspensión con ballesta.	85
Figura 2.80: Ángulo caster opposite travel suspensión con ballesta.	86
Figura 2.81: Ángulo camber vertical force suspensión con ballesta.	87
Figura 2.82: Ángulo toe vertical force suspensión con ballesta.	87
Figura 2.83: Ángulo camber single travel suspensión con ballesta.	88
Figura 2.84: Ángulo toe single travel suspensión con ballesta.	89
Figura 2.85: Ángulo camber de las configuraciones multilink.	90
Figura 2.86: Ángulo camber con cambio en el tamaño del amortidor.	90

Introducción

Los estudiantes de Ingeniería Automotriz carecen de guías didácticas, además de un déficit en el manejo del programa Adams car, plataforma que es de gran utilidad en su carrera, adicional a esto, la Universidad Politécnica Salesiana posee licencia sobre el Software desde el 1 de diciembre del 2017. No obstante, debido a que en las cátedras de la carrera tales como: Dibujo Mecánico, Fundamentos de Mecánica de Materiales, Mecánica de Materiales, Chasis Suspensión y Frenos, Diseño Mecánico, Mecánica del Cuerpo Rígido; no incentivan al uso del software, puesto que el análisis que se puede realizar dentro del programa es bastante asertivo e incluso empresas usan esta herramienta en sus procesos de manufactura. En esencia, la poca incentivación como previamente se dijo, da como resultado un abandono total de la herramienta, ocasionando que la inversión de la Universidad Politécnica Salesiana sea totalmente obsoleta.

El presente proyecto tiene como motivo prescindir el desconocimiento del manejo de programa, enfocándose en una parte esencial del sistema automotriz como lo es la suspensión, se creará un manual desde lo más básico del programa, hasta lo más complejo respecto al diseño de las suspensiones, además, también se indicará los pasos para un correcto análisis, haciendo de manera muy didacta el aprendizaje, en cierto modo, creando que las cátedras mencionadas en el problema brinden las guías e incentiven el uso del software CAD que es Adams/Car.

CAPÍTULO I

1 ANTECEDENTES GENERALES

1.1 Suspensión vehicular

Dentro de la suspensión vehicular entra el agregado de dispositivos mecánicos encargados de unir las masas suspendidas de las masas no suspendidas, consiguiendo así, “más vigilancia y seguridad del vehículo, puesto que, todas las suspensiones existentes van a ayudar a optimar la fijeza del vehículo, corrigiendo la adherencia y la réplica de la dirección, por otra parte, también sirva para empapar las anomalías terrenal de modo que suministre mayor bienestar a los ocupantes del vehículo” (Arangures, 2018).

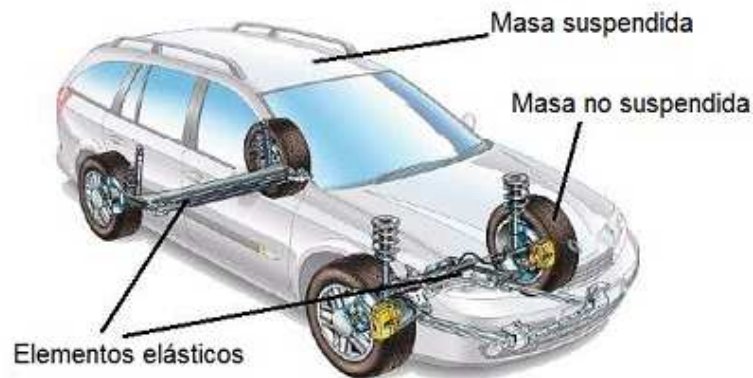


Figura 1. Suspensión normal de vehículo

Fuente: (Ingemecánica, 2019)

En todo vehículo se pueden distinguir dos grandes grupos en los elementos que lo componen:

- La Masa Suspendida: que es la parte de la masa del vehículo que es soportada por el sistema de suspensión.
- La Masa No Suspendida: que es la formada por el sistema de suspensión y los elementos que conectan dicho sistema con el terreno.
- Por ello, los componentes en todo sistema de suspensión se pueden clasificar en dos grandes grupos atendiendo a la función que realicen:
 - Componentes elásticos de la suspensión: entre estos componentes están las ballestas, barras de torsión, muelles, etc.

- Elementos amortiguadores de la suspensión: son aquellos componentes encargados de mitigar o neutralizar las oscilaciones del elemento flexible producidas por las irregularidades del terreno.

1.2 Funcionalidad del sistema de suspensión en los vehículos

Además de soportar el peso del vehículo, los sistemas de suspensión en los vehículos desempeñan dos funciones principales: almacenar y absorber energía.



Figura 2. Sistema masa resorte

Fuente: (CARLOS & FERNANDO, 2016)

“Cada una de estas dos funciones las realizan componentes distintos de la suspensión: los elementos elásticos de la suspensión son los encargados de almacenar la energía generada por la marcha del vehículo debido a las irregularidades del terreno, y los elementos amortiguadores de absorberla.” (Castro D. D., 2017).

Por tanto, los elementos elásticos del sistema de suspensión de los vehículos van a desempeñar una de las funciones primordiales que tiene que ver con garantizar los más altos niveles de seguridad y estabilidad en el vehículo, y esto se consigue asegurando que exista siempre un buen contacto entre la rueda y el piso de la carretera. Son, por tanto, elementos disipadores de energía, que hacen que decaiga el movimiento de balanceo provocado por cualquier tipo de perturbación que actúe sobre la suspensión. En efecto, una buena suspensión va a tratar siempre de transmitir el mínimo efecto de las irregularidades del terreno a los ocupantes del vehículo, proporcionándoles un buen nivel de confort y seguridad. Pero, además, el sistema de suspensión también va a proteger al propio vehículo y sus componentes de las vibraciones extremas que se puedan generar debida a la circulación sobre terrenos irregulares.

1.3 Componentes elásticos de la suspensión

Tabla 1. Tipos de suspensión

Ballestas	Las ballestas son un tipo de resorte constituido por un conjunto de hojas o láminas superpuestas fabricadas en acero especial para muelles, unidas en el centro por un tornillo pasante con tuerca, llamado "capuchino" y que se mantienen alineadas por una serie de abrazaderas que evitan que se abran en abanico.
Muelles	Estos elementos, básicamente formados por un alambre de acero enrollado en forma de espiral, tienen la función de absorber los golpes que recibe el vehículo, provenientes de las irregularidades de la carretera.
Barra estabilizadora	La barra estabilizadora de la suspensión de un vehículo es una barra de acero con propiedades de naturaleza elástica, que se encuentra fijada en sus extremos a cada soporte de la suspensión de cada lado del mismo eje.
Barra de torsión	En comparación con las ballestas, las barras de torsión apenas disipan energía por fricción, por lo que poseen una capacidad de absorción de energía mayor que las ballestas.
<u>Silentblocks</u>	Los " <u>silentblocks</u> " (su traducción literal del inglés es: bloque silencioso) son aislantes interpuestos entre los componentes móviles de la suspensión y el chasis del vehículo.

1.3.1 Ballestas

“En la actualidad se suelen utilizar en los sistemas de suspensión de vehículos pesados (camiones, furgonetas), remolques y en vehículos 4x4, entre otros” (Cruz, 2011).

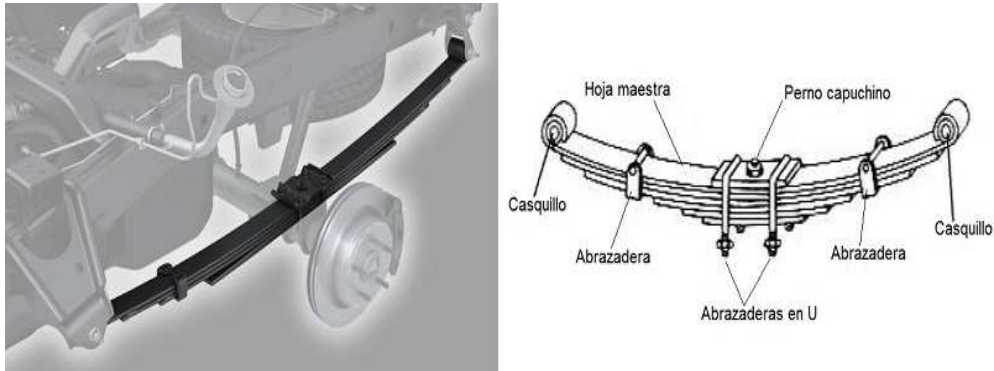


Figura 2. Ballestas

Fuente: (Gonzalo Rojas, 2013)

Las hojas que conforman la ballesta se deforman debida a las desigualdades del terreno y la carga del vehículo, de manera que las hojas tienden a ponerse rectas al deformarse, por ejemplo, cuando la rueda pasa por encima de cualquier irregularidad del terreno. Este sistema consiste en realizar la unión de la ballesta al bastidor del vehículo mediante el empleo de dos tipos de apoyo distintos, uno fijo articulado mediante un perno pasador y otro móvil, realizado por medio de una pieza intermedia llamada gemela que se ancla al chasis por medio de un tornillo pasante.

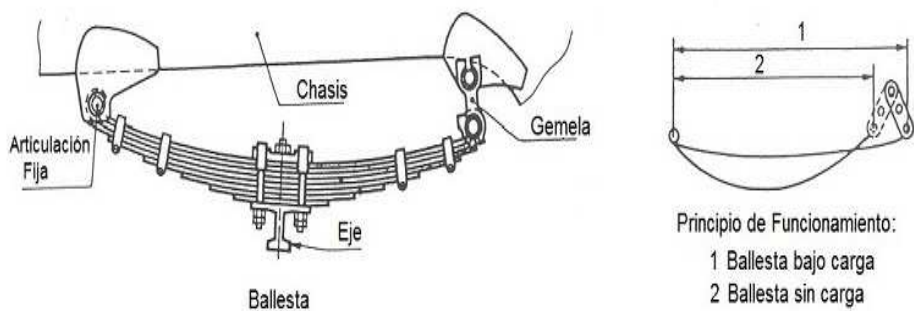


Figura 3. Partes de la ballesta

Fuente: (PERALTA & PATIÑO, 2015)

Con esta disposición se permite aumentar o disminuir la longitud de la ballesta favoreciendo los movimientos de flexión de sus hojas. Generalmente el apoyo móvil se coloca en la parte trasera de la ballesta.

Un método aproximado para calcular la carga a soportar por una ballesta se puede realizar con la siguiente formulación:

$$F = \frac{N * b * e^2 * \sigma}{6 * L} \quad [1]$$

donde,

- F es la semi-carga que actúa sobre cada extremo de la ballesta.
- N es el número de hojas que conforman la ballesta.
- b es el ancho de las hojas que conforman la ballesta.
- e es el espesor de las hojas que conforman la ballesta.
- L es la longitud de la semicuerda de la ballesta.
- σ es la la tensión admisible por esfuerzo de flexión de la hoja de la ballesta bajo carga.

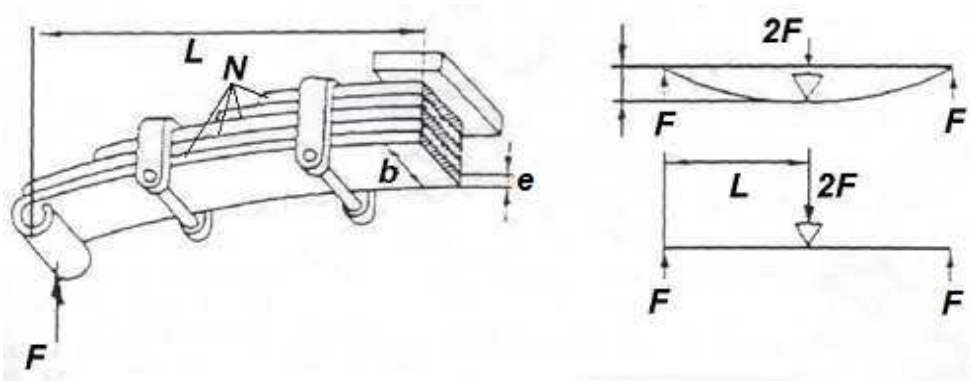


Figura 4. Fuerzas ejercidas

Fuente: (Quijia, 2012)

- Aplicación del cálculo utilizado

A continuación, y continuando con el ejemplo anterior, se procederá al cálculo de la carga máxima admisible de un ballestín de las siguientes características:

- Número de hojas, $N = 3$
- Ancho de la hoja, $b = 50$
- Espesor de la hoja, $e = 8$
- Longitud de la semicuerda del ballestín, $L = 250$

Igualmente aplicando la fórmula anterior, se podrá obtener la carga máxima que podrá soportar el ballestín en cada uno de sus extremos, que resulta ser:

$$F = \frac{3 \cdot 50 \cdot 8^2 \cdot 60}{6 \cdot 250} = 384 \text{ kg (carga admisible en cada extremo del ballestín)}$$

Por lo que la carga total admisible que podrá soportar el ballestín anterior será el doble de la calculada, es decir, $2 \cdot F = 768 \text{ kg}$.

- Capacidad de carga del conjunto ballesta + ballestín y del eje total:

La capacidad de carga del conjunto ballesta + ballestín será igual a la suma de los dos anteriores valores:

- Capacidad de carga del conjunto ballesta + ballestín = $1120 + 768 = 1888 \text{ kg}$.

Finalmente, y para las características de ballesta y ballestín considerados para este ejemplo, la capacidad de carga de la suspensión trasera del vehículo, como el eje dispone de dos conjuntos ballesta+ballestín correspondiente a cada rueda del eje trasero, será de:

- Capacidad de carga total del eje trasero = $1888 \cdot 2 = 3.776 \text{ kg}$.

1.3.2 Muelles

Los resortes helicoidales son probablemente los elementos elásticos más utilizados en las suspensiones de vehículos. Normalmente se utilizan trabajando a compresión y se fabrican a partir de varillas y/o hilos de acero de alta resistencia.



Figura 5. Muelles

Fuente: (Ingemecánica, 2019)

Su tensión inicial es obtenida, durante el arrollamiento en frío, por una deformación permanente.



Figura 6. Resorte en la suspensión

Fuente: (Verdugo & Cárdenas., 2017)

Los muelles helicoidales surgieron como sustitución de los sistemas elásticos de ballesta por una serie de ventajas que presentan con respecto a éstas, como lo son según (Ingemecánica, 2019):

- ✓ La rigidez de los muelles helicoidales suele ser inferior que, en el caso de las ballestas.
- ✓ En comparación con las ballestas, un sistema de muelles generalmente ocupa un menor espacio.
- ✓ Otra principal ventaja del resorte helicoidal sobre la ballesta es la ausencia casi total de fricción interna.
- ✓ Los muelles helicoidales son mucho más eficientes en su función de almacenar energía.
- ✓ Las suspensiones actuales son mayoritariamente a base de muelles helicoidales, sobre todo con amortiguadores telescópicos montados de manera concéntrica con ellos.



Figura 7. Muelles en suspensión

Fuente: (Arangures, 2018)

La rigidez del muelle dependerá del diámetro de la varilla utilizada, del número de espiras, del ángulo de inclinación de estas, del diámetro del resorte y de la calidad del acero empleado para su construcción.

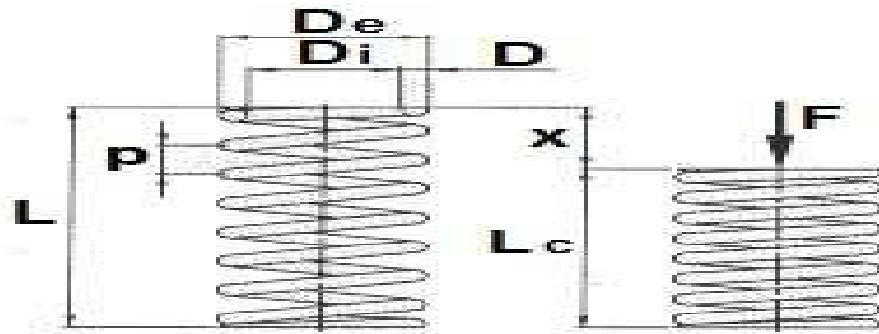


Figura 8. Sistema masa resorte

Fuente: (Ingemecánica, 2019)

Los parámetros más importantes que van a caracterizar a un resorte helicoidal cilíndrico de compresión, que son los más utilizados en los sistemas de suspensión vehicular, son los siguientes:

$$D = 1/2 \cdot (D_i + D_e) \quad [2]$$

- Diámetro exterior (D_e): diámetro de la superficie cilíndrica envolvente exterior del resorte.
- Diámetro interior (D_i): diámetro de la superficie cilíndrica envolvente interior del resorte.
- Diámetro medio (D): diámetro medio de las espiras que conforman el resorte.

El diámetro medio del muelle se elegirá en función de la carga que ha de soportar. Así el muelle, al trabajar a torsión, se retuerce proporcionalmente a la carga soportada, almacenando energía mediante su acortamiento y desprendiéndose de dicha energía y recuperando su forma original al dejar de aplicarse dicha carga.

Para cuantificar el grado de flexibilidad de un resorte se emplea el concepto de *constante de rigidez*. La constante de rigidez de un muelle (K , N/m), se calcula con la siguiente ecuación:

$$G \cdot d^4 \quad [3]$$

$$K = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot N \cdot D^3}$$

- G es el módulo de rigidez característico del tipo de material con el que está fabricado el muelle [N/m^2]
- d es el diámetro del hilo de acero [m]
- D es el diámetro medio del resorte [m]
- N es el número de espiras del muelle.

Otra forma diferente de calcular la constante de rigidez del muelle es mediante esta otra expresión, cuya constante recibe el nombre de Wahl [N/m]:

$$K_{\text{Wahl}} = \frac{4 \cdot c - 1}{4 \cdot c - 4} \cdot \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot N \cdot D^3} + \frac{0,615}{c} \cdot \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot N \cdot D^3} \quad [4]$$

$$c = D/d \quad [5]$$

siendo,

- d el diámetro del hilo de acero [m]
- D el diámetro medio del resorte [m]

No obstante, la flexibilidad de un muelle no tiene por qué ser uniforme en todo su recorrido, es decir, existen tipos de resortes que pueden presentar una constante de rigidez (K) variable en función de la deflexión.



Figura 9. Diferentes tipos de resortes

Fuente: (Ingemecánica, 2019)

Recordando de nuevo lo dicho anteriormente, todo sistema de suspensión en un vehículo tiene, por un lado, la misión de asegurar que exista siempre contacto entre neumático y el terreno, proporcionando de esta manera mayor estabilidad en la marcha y dirección del vehículo, y, por otro lado, proteger a los ocupantes y al propio vehículo de las irregularidades del terreno. Una cifra superior excita el sistema nervioso y una cifra muy inferior puede provocar cierta sensación de mareo. Por tanto, para disponer de una suspensión ideal, el número de oscilaciones (o frecuencia, f) debería estar comprendido entre 30 y 60 oscilaciones por minuto.

Como se sabe, la frecuencia (f), expresada en Hz u oscilaciones/segundo, es la inversa al período (T):

$$f = \frac{1}{T} \quad [6]$$

Por otro lado, para el cálculo del periodo o tiempo de oscilación (T) de un resorte, habrá que tener en cuenta dos variables: el peso o carga que soporta el elemento elástico (F) y el coeficiente de elasticidad de este (K). Si se conoce el valor de estas dos variables, el periodo de oscilación (T) de todo resorte viene calculado por la siguiente formulación:

$$T = 2 * \pi \sqrt{\frac{F}{K * g}} \quad [7]$$

- T es el período o tiempo de oscilación en segundos [s]
- F es la fuerza o carga a la que está solicitada el muelle [N]
- K es la constante de rigidez del muelle [N/m]
- g es el valor de la gravedad, 9,81 m/s²

Una vez calculado el valor del período (T), se obtendría la frecuencia ($f = 1/T$), que finalmente multiplicado por 60 nos daría las oscilaciones por minuto del muelle de la suspensión.

- Aplicación de los cálculos

Como aplicación de lo anterior, se va a calcular el número de oscilaciones que se produce en un muelle de la suspensión de un vehículo cargado con un peso de 4500 N, sabiendo que el coeficiente de elasticidad del muelle vale $K = 5980$ N/m.

$F = 4500$ N (carga a la que está solicitado el muelle de la suspensión)

$K = 5980$ N/m (constante de rigidez del muelle)

Por lo tanto, el periodo de oscilación (T) del resorte vale:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{4500}{5980 \cdot 9,81}} = 1,74 \text{ s}$$

Y por lo tanto, la frecuencia de oscilación por segundo sería de:

$$f = 1/T = 0,57 \text{ oscilaciones/segundo}$$

Finalmente, multiplicando por 60 nos daría el número de oscilaciones del muelle por cada minuto: $0,57 \cdot 60 = 34,2$ oscilaciones por minuto, que quedaría dentro del margen de confort.

1.3.3 Barras estabilizadoras

Realmente las barras estabilizadoras, aunque se encuadra dentro del sistema de suspensión, son también elementos que forman parte de lo que se conoce como seguridad activa del vehículo.



Figura 10. Vehículo inestable

Fuente: (PERALTA & PATIÑO, 2015)

Todo vehículo circulando a velocidad por una curva se ve sometido a una fuerza centrífuga que hace que se incline hacia un costado, que puede generar una sensación de molestia en los ocupantes del vehículo, además de poder existir un peligro real de vuelco del vehículo si la velocidad fuera inadecuadamente excesiva.



Figura 11. Posición de la barra estabilizadora

Fuente: (Verdugo & Cárdenas., 2017)

Así, el movimiento vertical hacia arriba de la rueda situada del lado interior de la curva se transmite a la otra rueda del eje a través de la barra estabilizadora, que tiende a bajar la carrocería de ese lado comprimiendo el muelle de la suspensión, de manera que se consigue sumar la acción de los dos muelles, ayudando a mantener la estabilidad del vehículo. Este mismo efecto se produce, no sólo cuando el vehículo toma una curva, sino cuando, por ejemplo, una de las ruedas encuentra un bache o cualquier obstáculo, creando, al bajar o subir la rueda, un par de torsión en la barra que hace que la carrocería se mantenga en posición horizontal.

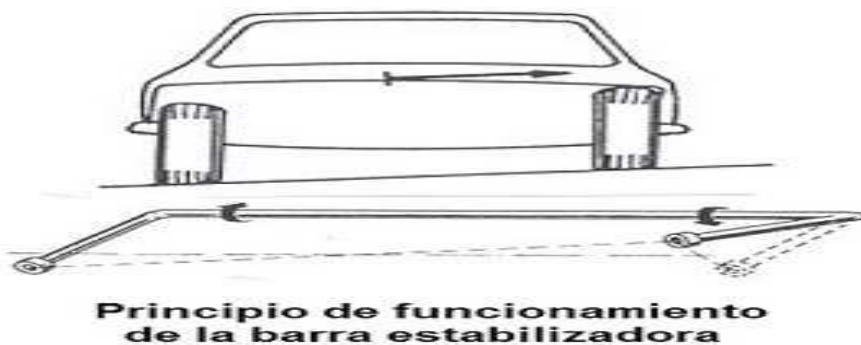


Figura 12. Principio de funcionamiento

Fuente: (Quijia, 2012)

La barra estabilizadora, siempre puede adoptar, alguna de las siguientes configuraciones:

- 1) En vehículos con suspensión independiente, la barra estabilizadora va unida al chasis con cojinetes elásticos y cada extremo sujeto a un brazo de suspensión a través de un cojinete elástico de caucho.
- 2) En ocasiones, se une un extremo de la barra estabilizadora con una bieleta de conexión y ésta se une por el otro extremo con el brazo superior de la suspensión.
- 3) En vehículos con eje rígido, la barra estabilizadora va colocada transversalmente, unida al eje por un extremo y al chasis por el otro. Este tipo de barra es totalmente recta y lleva sujeciones elásticas en los extremos.

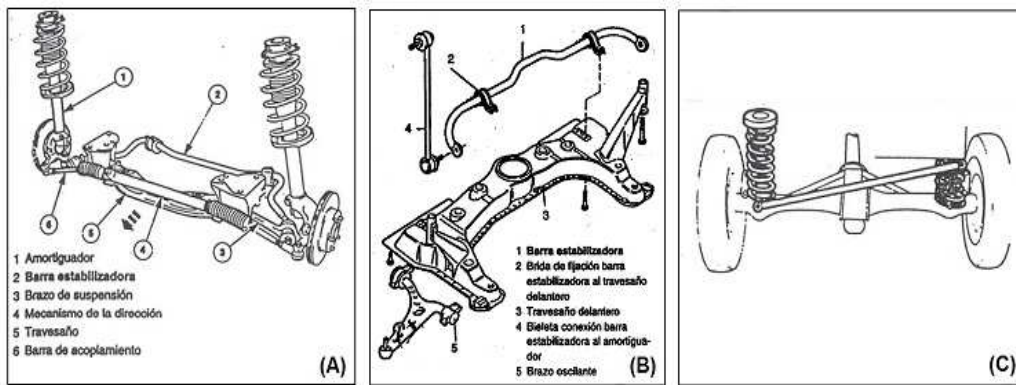


Figura 13. Configuraciones de la barra estabilizadora

Fuente: (Ingemecánica, 2019)

1.3.4 Barras de torsión

En lo relativo al peso, y concretamente al peso no suspendido, se suele considerar menos de la mitad del peso de la barra de torsión como peso no suspendido, lo que sitúa este sistema de suspensión como el más favorecido en este aspecto.

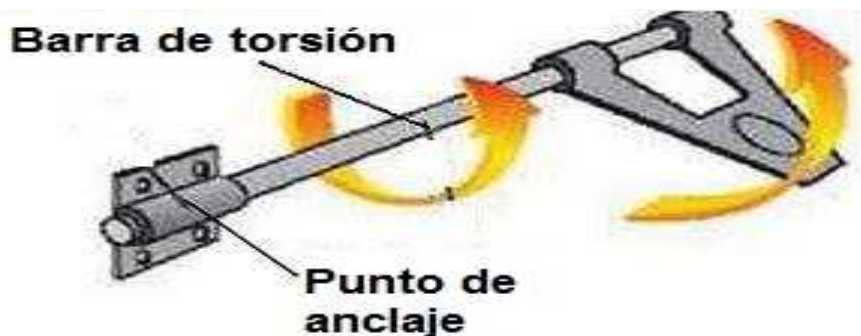


Figura 14. Barra de torsión

Su principio de funcionamiento es muy simple y se basa en la capacidad del acero de recuperar su forma tras una deformación debida a la aplicación de una fuerza de torsión.

En el caso de aplicación en la suspensión de los vehículos, el extremo fijo de la barra de torsión se ancla a la carrocería, de modo que se impide todo movimiento, mientras que el otro extremo libre se une a una palanca solidaria al eje de la rueda. Las barras de torsión pueden disponerse de dos formas distintas en el vehículo: longitudinalmente (en dirección al avance del vehículo) y transversalmente (en perpendicular al avance del vehículo).

1.3.5 Tipos de amortiguadores

“Como ya se ha dicho, los amortiguadores son los elementos absorbedores de energía, encargados de eliminar lo antes posible las oscilaciones del elemento flexible de la suspensión producidas por las irregularidades del terreno, de manera que hacen que decaiga el movimiento de balanceo en el vehículo, reduciendo la amplitud de las oscilaciones que siguen cuando la rueda pasa por encima de un bache. Sin embargo, los elementos elásticos de la suspensión no tienen capacidad de absorción, por lo que devuelven esta energía inmediatamente, rebotando sobre la carrocería.” (Castro D. D., 2017). Si no existieran los amortiguadores, la carrocería del vehículo oscilaría continuamente con cada irregularidad del terreno.

No obstante, también se pueden clasificar los amortiguadores atendiendo a otros criterios, como son:

- 1) Según su sentido de trabajo:
 - a) Amortiguadores de simple efecto: sólo amortiguan en un sentido.
 - b) Amortiguadores de doble efecto: amortiguan en extensión y compresión.
- 2) Según el fluido de amortiguación empleado:
 - a) Amortiguadores de gas.
 - b) Amortiguadores hidráulicos.

1.3.6 Otros elementos de la suspensión

1.3.6.1 Elementos aislantes o "Silentblocks"

Los bloques "silentblocks" se pueden montar, bien mediante unión atornillada al chasis o bajo presión. Además, se tratan de piezas que se pueden dañar con cierta facilidad, por lo que en muchos vehículos los "silentblocks" son elementos que se sustituyen de forma habitual.

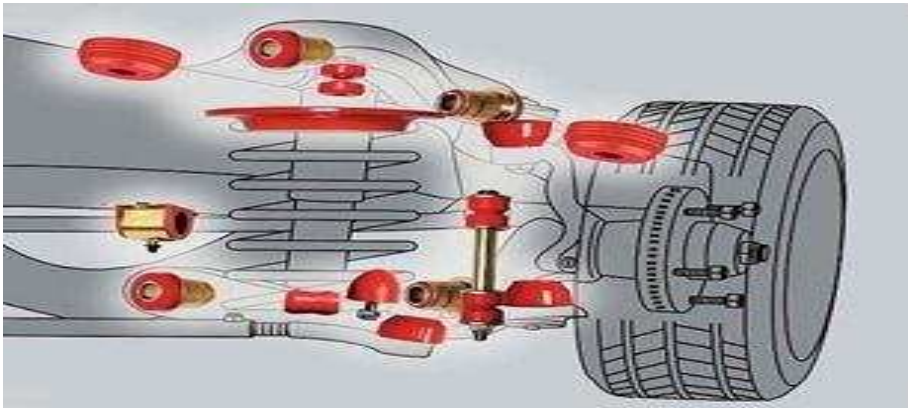


Figura 15. Posición de los silent block

Fuente: (Cruz, 2011)

1.3.7 Rótulas

La misión de las rótulas es de servir de elementos de unión de los sistemas de suspensión y dirección del vehículo, permitiendo a las ruedas pivotar y realizar el movimiento de giro.



Figura 16. Rótulas

Fuente: (Gonzalo Rojas, 2013)

Dependiendo de la función específica dentro de la cadena cinemática del vehículo, las rótulas pueden ser de "carga" (si reciben y transmiten el peso del vehículo hacia las ruedas) o "seguidora" (no reciben peso y sólo hacen seguimiento del movimiento de la rueda). "En general, las rótulas son piezas de mucha seguridad, sometidas a grandes esfuerzos, por lo que deben ser fabricadas con materiales y procesos que garanticen que funcionarán adecuadamente durante una vida útil con una duración aceptable, resistiendo los impactos transmitidos por la suspensión" (Gonzalo Rojas, 2013). Una rótula de dirección desgastada puede hacer que la dirección sea errática o se desvíe, así como producir un desgaste importante de los neumáticos.

1.3.8 Mangueta y buje

La *mangueta* es una pieza, generalmente fabricada en acero aleado, que sirve de unión entre el buje, en el cual se alojará la llanta de la rueda, con los elementos de la suspensión del vehículo, como el amortiguador, tirantes, trapecios o brazos de suspensión.



Figura 17. Manguetas

Fuente: (Castro D. D., 2017)

La forma de la mangueta es distinta para cada modelo de vehículo, y se diseña teniendo en cuenta las características geométricas del propio vehículo y la distribución de los elementos que constituyen la transmisión, suspensión y dirección del vehículo. Por otro lado, el buje es la pieza donde posteriormente irá fijada la llanta de la rueda, y que también sirve de soporte del disco o el tambor de freno.

1.3.9 Brazos de suspensión

Los trapecios o brazos de suspensión son brazos articulados, normalmente de fundición o de chapa de acero embutido, cuya misión es soportar el peso del vehículo a través de la suspensión.

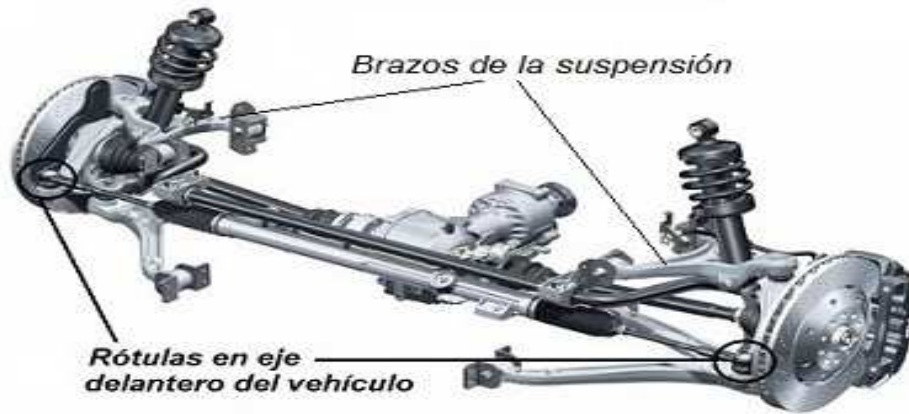


Figura 18. Brazos sujetadores o platos

Fuente: (Castro D. D., 2017)

La misión de los brazos de suspensión es la de unir la mangueta y el buje con el vehículo, además de soportar las tensiones generadas en la suspensión por los movimientos de la rueda. Para unir los brazos con el bastidor y las manguetas se recurre a "silentblocks" y cojinetes.

1.3.10 Tirantes de suspensión

Los tirantes de suspensión son brazos de acero, dispuestos longitudinal o transversalmente, situados entre la carrocería del vehículo y la mangueta o el trapecio, y que sirven como sujeción de éstos, además de facilitar el guiado de la mangueta. Generalmente, los tirantes son elementos empleados en aquellos vehículos dotados de suspensiones del tipo semi-independiente.

Todo lo referente al estado del arte y las actuales suspensiones fueron descritas en el presente capítulo, el motivo por el cual se investigó lo previo mencionado es a razón de obtener una base para el modelado de las suspensiones del capítulo posterior. Se tomará en cuenta los cálculos, los modelos, las fuerzas máximas permisibles, etc. Puesto que, se requiere la mayor exactitud posible durante el diseño y la elaboración final de las guías.

1.4 Software MSC.Adams

ADAMS (acrónimo de Automated Dynamic Analysis of Mechanical Systems) es un software de simulación de dinámica multi-cuerpo equipado con solucionadores numéricos Fortran y C++. MSC Software generalmente soporta los dos sistemas operativos Linux y Microsoft Windows.

MSC.Adams es el nombre comercial del software en el cual se realizan análisis sobre mecanismos. Posee varios modelos que facilitan realizar simulaciones, mediante animaciones, ejecutar análisis de vibraciones, efectuar análisis de esfuerzos, etcétera.

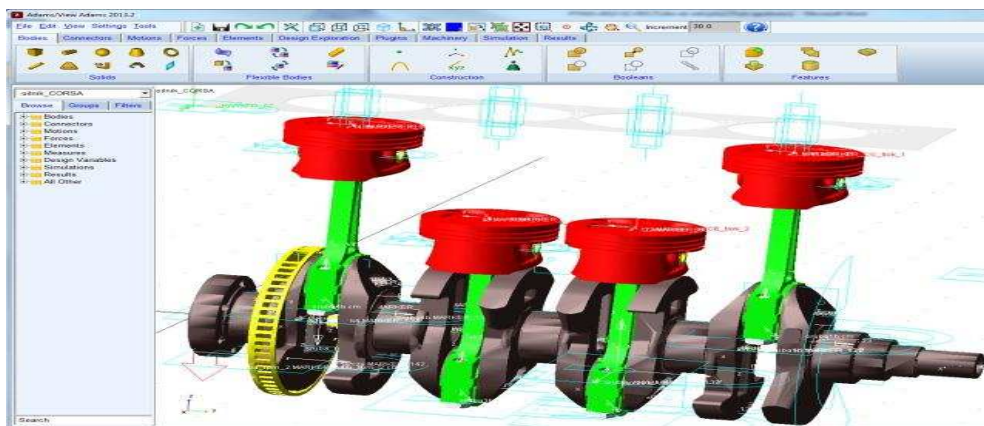


Figura 19. Ejemplo del uso del software MSC.Adams

Fuente: (2019, 2019)

Los modelos o módulos que posee el programa previamente mencionado, son:

Adams/View: Realiza simulaciones de un mecanismo.

Adams/Solver: Genera los cálculos para la solución de un mecanismo.

Adams/Engine: Simulación de un motor.

Adams/CAR: Simulación de la dinámica de un automóvil.

Al saber que facilita hacer cada módulo del software, es fácil deducir o intuir que es de gran utilidad en el campo automotriz, puesto que, dentro del área mencionada, se posee mecanismos, motores, dinámica, etc.

1.4.1 Simulaciones ampliadas

El análisis de vibraciones a través de ADAMS/Vibration incluye el análisis de forma de modo.

El modelado y la simulación de sistemas de control de bucle cerrado SISO y MIMO están disponibles a través de ADAMS/Controls.

Puede simular enlaces flexibles, a través de Adams/ViewFlex y/o Adams/Flex.

Adams/Insight puede ser utilizado para estudiar el DOE (diseño de experimentos) y optimizar un diseño.

Adams/SDK (Software Developer's Kit) puede ser utilizado para construir módulos personalizados. Algunas de estas personalizaciones nativas que tienen problemas especiales en la industria son Adams/Car, Adams/Engine, Adams/Aircraft, Adams Machinery; todas ellas basadas en plantillas personalizadas y autónomas de Adams/View.

Adams/Tire simula el comportamiento complejo no lineal de los neumáticos de los automóviles, utilizando modelos experimentales.

La reducción de la vida útil del producto bajo cargas dinámicas y de fatiga es estudiada por ADAMS/Durabilidad.

Adams/Controls se modela un modelo de planta variable de tiempo no lineal y se informa de su comportamiento a Simulink a través de la comunicación Named pipe o TCP/IP como retroalimentación.

MSC Adams ayuda a los ingenieros a entender la dinámica de los componentes en movimiento, a estudiar la distribución de cargas sobre los sistemas mecánicos y a mejorar y optimizar sus productos.

Adams permite evaluar y controlar interacciones complejas entre distintas disciplinas como son movimiento, estructural, vibraciones y controles, para optimizar el diseño del producto y para obtener un mejor rendimiento, seguridad y confort.

Se pueden integrar componentes flexibles en el modelo de Adams para una mejor representación estructural y obtener deformaciones y tensiones en los cuerpos flexibles.

1.4.2 Terminologías por utilizar dentro del software

Dado a que el programa se encuentra en su mayoría en el idioma original (inglés), mucha de la terminología se la debe explicar, para un entendimiento didáctico.

➤ **Parallel Wheel Travel: Recorrido paralelo de las ruedas:**

El desplazamiento paralelo de las ruedas es uno de los métodos básicos de análisis de simulación de la cinemática de la suspensión. En el análisis de simulación de movimiento de la suspensión, simula movimiento de salto vertical de la rueda cuando las ruedas se encuentran con un obstáculo o un pavimento irregular. La izquierda y las ruedas derechas serán aplicadas con el mismo recorrido, es decir, introduciendo la cantidad de salto vertical con el mismo tamaño, y la misma dirección respectivamente, de modo que para lograr la curva de cambio del recorrido de la rueda y la suspensión.

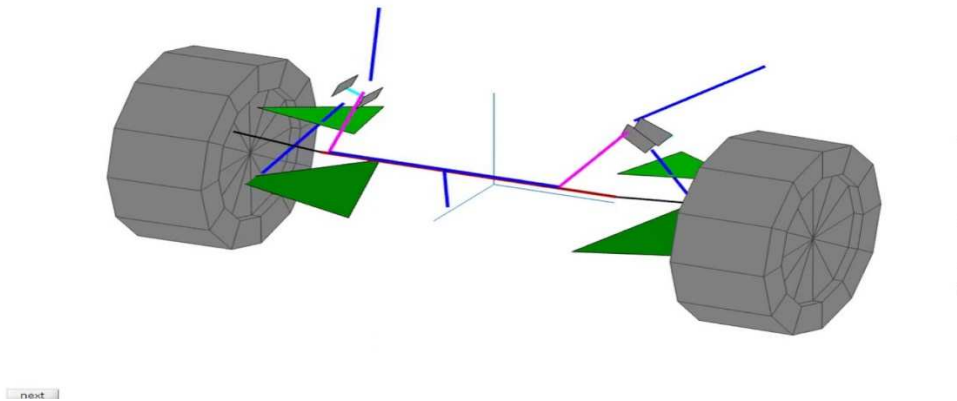


Figura 20. Concepto del recorrido paralelo de las ruedas en el vehículo

Fuente: (Castro A. A., 2019)

➤ **Opposite Wheel Travel: Recorrido de las ruedas opuestas:**

El desplazamiento de las ruedas opuestas es también uno de los métodos básicos de análisis de simulación de la cinemática de la suspensión, similar al Desplazamiento en Paralelo de la Rueda. Cuando realizar un análisis de simulación del movimiento de la suspensión, es decir, simular ruedas que se encuentran con obstáculos o movimiento de salto vertical de la carcasa de la superficie irregular de la carretera. Las ruedas izquierda y derecha serán

aplicadas el mismo recorrido, es decir, introducir la cantidad de salto vertical con el mismo tamaño y dirección opuesta respectivamente, de forma que para conseguir la curva de cambio de recorrido de la rueda y los parámetros de la suspensión.

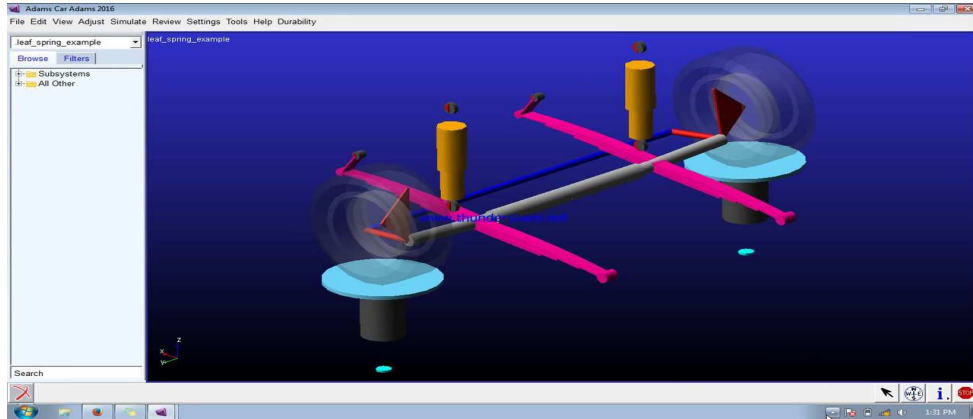


Figura 21. Concepto del recorrido opuesto de las ruedas en el vehículo

Fuente: (Technocrafts, 2019)

➤ **Roll & Vertical Force: Rodillo y Fuerza Vertical**

El centro de balanceo o rodillo de un vehículo es el punto teórico en el que las fuerzas de giro de la suspensión reaccionan con la carrocería del vehículo. Hay dos definiciones de centro del rodillo. El más comúnmente utilizado es el centro geométrico (o cinemático) del rodillo. La ubicación del centro del rodillo geométrico está dictada únicamente por la geometría de la suspensión, y se puede encontrar utilizando los principios del centro de rotación instantáneo. La ubicación lateral del centro del rodillo es típicamente en la línea central del vehículo cuando la suspensión en los lados izquierdo y derecho del auto son imágenes de espejo el uno del otro. La importancia del centro del rodillo sólo puede apreciarse cuando también se tiene en cuenta el centro de masa del vehículo. Si hay una diferencia entre la posición del centro de masa y el centro del rodillo, se crea un brazo de momento. Cuando el vehículo experimenta velocidad angular debido a las curvas, el tamaño del brazo de momento, combinado con la rigidez de los resortes y las barras estabilizadoras, dicta cuánto rodará el vehículo. Esto también tiene otros efectos, como la transferencia dinámica de carga.

Durante el recorrido de un vehículo existe una fuerza ascendente, provocada por el aire que circula a presión por debajo del auto y por el vacío que se genera en la parte trasera superior, esta fuerza ascensional hace que disminuya el peso

aparente del vehículo y si bien no es relevante a velocidades legales, a alta velocidad, disminuye la fuerza normal ejercida por el suelo y, en consecuencia, la capacidad de tracción por adherencia, lo cual puede llegar a ser crítico en el paso por curva.

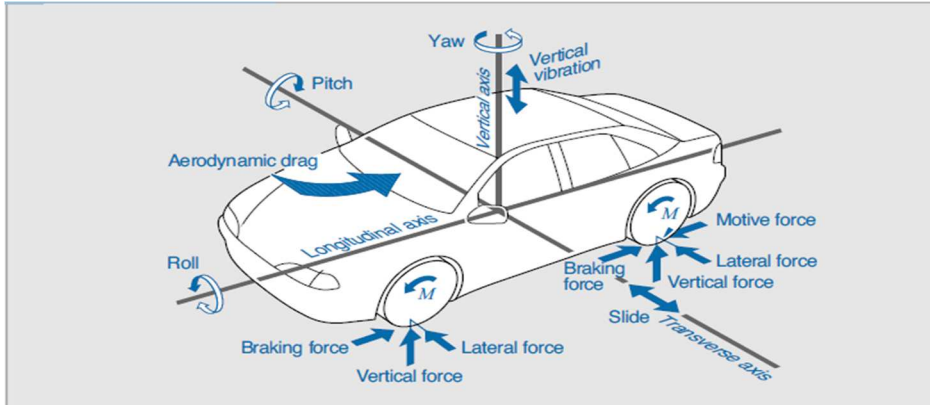


Figura 22. Distribución de las fuerzas en un vehículo

Fuente: (2019, 2019)

➤ **Single Wheel Travel:** Recorrido de una sola rueda:

El desplazamiento de una sola rueda es diferente con el desplazamiento de la rueda de la misma dirección, ya que el nombre sugiere que la rueda de un lado se fija durante aplicando un salto vertical en el otro lado. Para el experimento de simulación de un solo la suspensión, las ruedas izquierda y derecha son independientes sin que se influyan entre sí, por lo que es la mismo (anti) con Recorrido de Rueda de la misma dirección; para la simulación de ambos lados que se afectarán mutuamente en el salto, por lo que también es necesario realizar un experimento de desplazamiento en una sola rueda, excepto los dos experimentos mencionados anteriormente, para investigar el efecto de un salto de rueda lateral sobre las otras características cinemáticas de la suspensión lateral. La curva de relación entre el recorrido de la rueda y la suspensión se consigue a través de la simulación.

➤ **Multilink:** Multibrazo o enlace múltiple

También se debe hacer énfasis en el hecho de que, muchos de los términos son usados como palabra propia en el idioma español, tal es el caso de:

- **Camber:** Ángulo de caída; es un ángulo tomado por las ruedas de un vehículo; específicamente es el ángulo entre el eje vertical de las ruedas utilizadas para la dirección y el eje vertical del vehículo visto desde el frente o la parte trasera. Camber es la inclinación hacia adentro o hacia fuera de la rueda. Un Camber cero que la rueda esta perpendicular con la superficie del camino y todos los dibujos o cuerdas de la rueda hacen contacto con el camino. Una desviación de esta posición altera esta posición, de tal manera que, si una rueda tiene Camber positivo, la parte superior de la rueda está alejada del vehículo y la parte exterior del dibujo de la rueda contacta la superficie del camino, resultando en un desgaste de la parte exterior de la rueda. Lo contrario también es verdadero: En una rueda con Camber negativo, la parte superior de la rueda esta inclinada hacia el vehículo y el borde interior de la rueda contacta la superficie del camino y en consecuencia desgasta esta parte de la rueda. En adición del desgaste de la rueda, el mal ajuste del Camber puede ocasionar que el vehículo jale hacia un lado cuando se maneja el vehículo. Esto ocurre cuando hay una diferencia significativa de lado a lado. El vehículo jalara hacia la rueda que tenga el Camber más positivo.

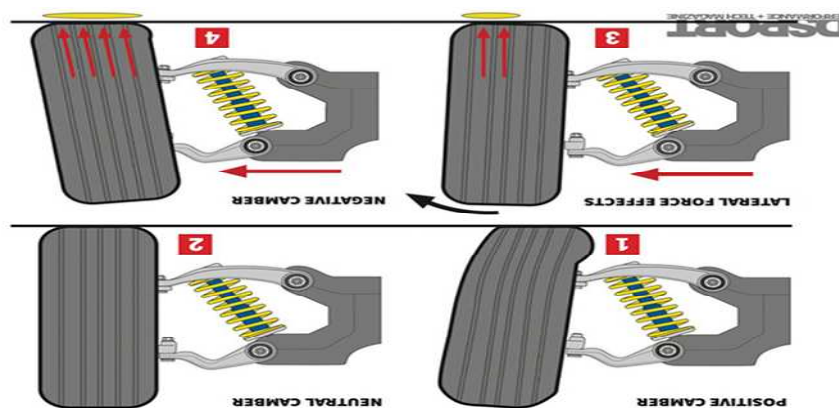


Figura 23. Camber y desarrollo de los neumáticos

Fuente: (TireBuyer, 2019)

- **Caster:** En una rueda no tiene que ver con el desgaste de la rueda; sin embargo, este afecta en el manejo y en el jalón hacia un lado del vehículo. El Caster es la medición del eje de la dirección, medido a través de la línea central de las rotulas, miradas desde un lado del vehículo. El Caster es la medición del eje de la dirección, medido a través de la línea central de las rotulas, miradas desde un lado del vehículo. Un Caster cero

significa que el eje de la dirección esta perpendicular. Un valor de Caster positivo significa que la línea central de la dirección está inclinada hacia la parte de atrás del vehículo cuando se compara con la vertical verdadera.

Mientras más positivo que este el Caster en un vehículo, mayor será la estabilidad direccional, que es, que el vehículo tiende a ir en una línea recta. Así mismo, un Caster positivo provee la retornabilidad del volante del vehículo, significando esto que cuando se suelte el volante, las ruedas delanteras estarán auto centradas. Un vehículo con Caster negativo tiene la línea central del eje de la dirección inclinada hacia el frente del vehículo. Este ajuste reduce la estabilidad direccional y la retornabilidad del volante de la dirección. EL Caster impone una fuerza en la dirección para la rueda; por esa razón, el Caster debe ser igual en las dos ruedas. Un Caster disparado ocasionara que el vehículo jale hacia la dirección del menor lado positivo.

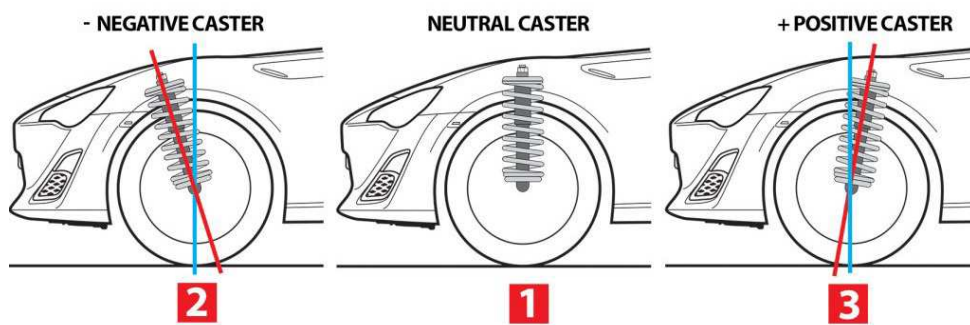


Figura 24. Posibles Caster en un vehículo

Fuente: (Intrax, 2019)

- Toe: La diferencia de la distancia o separación entre la parte anterior y la parte posterior de las ruedas delanteras medida a la altura del eje.

TOE-IN [CONVERGENCIA]

Cuando la distancia entre la parte anterior de las ruedas es menor que la posterior.

TOE-OUT [DIVERGENCIA]

Cuando la distancia entre la parte anterior de las ruedas es mayor que la posterior.

TOE FRONTAL INDIVIDUAL

El "Toe" frontal individual es el ángulo formado por una línea horizontal que pasa por el plano diametral de una rueda delantera y la "Línea Direccional" del eje trasero.

TOE TOTAL FRONTAL “Toe” frontal es la suma del “Toe” individual de las ruedas delanteras.;

TOE INDIVIDUAL TRASERO El “Toe” individual trasero es el ángulo creado por una línea horizontal que pasa por el plano diametral de una rueda trasera y la “Línea Geométrica Central”.

TOE TOTAL TRASERO

“Toe” trasero total es la suma del “Toe” individual de las ruedas traseras. La magnitud de “Toe” es expresada en una de las cuatro formas siguientes:

- a) Medida angular expresada en grados relacionada a la línea geométrica Central de la línea direccional [Convergente +, Divergente -]
- b) Medida lineal expresada en pulgadas o mm relativa a la diferencia de las distancias entre la parte anterior y posterior de las ruedas, medida a la altura del eje.
- c) Medida lineal, como en b) pero expresada en mm y usando el borde de la rueda metálica o "ring, aro", como punto de referencia para las mediciones.

FUNCION

Determinada magnitud de ángulo de "toe" es generalmente incluido en un vehículo en reposo para contrarrestar las fuerzas tendientes a alterar el "toe", cuando el vehículo está en movimiento, con el objeto de que las ruedas se mantengan lo más paralelas posible cuando el vehículo se desplace; evitando así la fricción excesiva que puede causar desgaste prematuro.

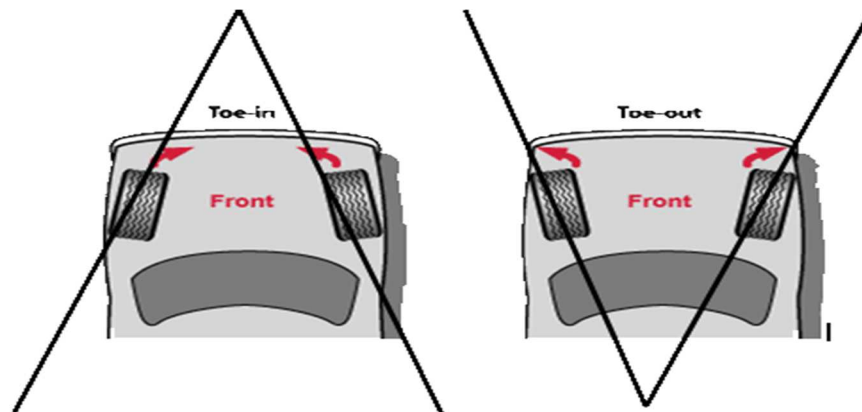


Figura 25. Convergencia y divergencia de las ruedas en un vehículo

CAPÍTULO II

2 MODELOS DE DIFERENTES SUSPENSIONES USANDO SOFTWARE ADAMS/CAR PARA EL ANÁLISIS DINÁMICO DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS DIFERENTES ELEMENTOS DE LA SUSPENSIÓN.

2.1 INTRODUCCION

En esta sección se muestran diferentes diseños de suspensión de mayor uso en los automóviles del medio como: McPherson, doble brazo, rígida con resorte, rígida con ballesta, multilink. El sistema de suspensión McPherson, es uno de los más utilizados en el tren delantero, de los automóviles, aunque se puede montar igualmente en el trasero. Este sistema viene implementado en el eje delantero de los automóviles de las marcas Chevrolet, Kia y Hyundai que representan el 57 % de los automóviles en Ecuador, y en el eje trasero incorporan una suspensión rígida con resorte gracias a su gran recorrido y con la ventaja que no ocupan mucho espacio (AEADE, 2019).

Los sistemas de suspensión anteriormente mencionados son modelados con todos los elementos que los conforman en el software Adams car, que permite el diseño y simulación dinámica de la suspensión para evaluar el comportamiento de esta.

Con el diseño de las suspensiones se realizan los siguientes análisis dinámicos: *Parallel Wheel Travel*, *Opposite Wheel Travel*, *Rool & Vertical force*, y *Single Wheel Travel*, los cuales de manera virtual simulan acontecimientos reales que afronta la suspensión y los resultados del comportamiento se pueden obtener mediante gráficas con el fin de observar los ángulos Camber, Caster y el Toe que definen a la suspensión.

Ángulo de balanceo de la carrocería, φ .

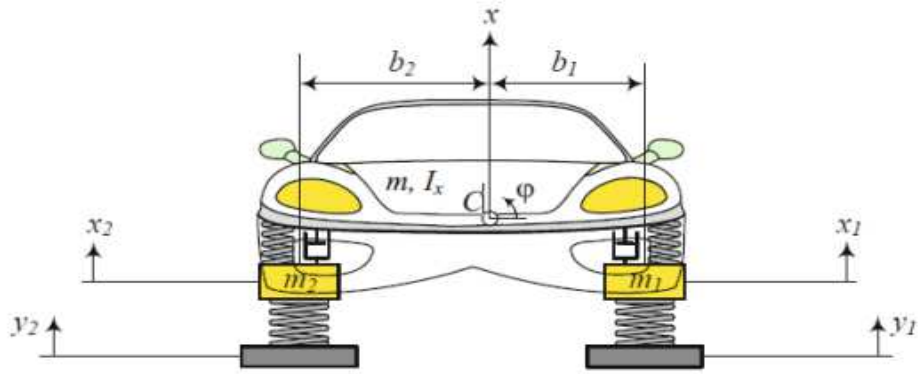


Figura 2.0: Modelo vibratorio de medio automóvil.

Fuente: (Reza N. Jazar, 2014)

Las ecuaciones de movimiento se encuentran aplicando la segunda Ley de Newton. Para el modelo vibratorio de medio automóvil de un vehículo son:

$$m\ddot{x} + c(\dot{x} - \dot{x}_1 + b_1\dot{\phi}) + c(\dot{x} - \dot{x}_2 - b_2\dot{\phi}) + k(x - x_1 + b_1\phi) + k(x - x_2 - b_2\phi) = 0$$

$$I_x\ddot{\phi} + b_1c(\dot{x} - \dot{x}_1 + b_1\dot{\phi}) - b_2c(\dot{x} - \dot{x}_2 - b_2\dot{\phi}) + b_1k(x - x_1 + b_1\phi) - b_2k(x - x_2 - b_2\phi) + k_R\phi = 0$$

$$m_1\ddot{x}_1 - c(\dot{x} - \dot{x}_1 + b_1\dot{\phi}) - k(x - x_1 + b_1\phi) + k_t(x_1 - y_1) = 0$$

$$m_2\ddot{x}_2 - c(\dot{x} - \dot{x}_2 - b_2\dot{\phi}) - k(x - x_2 - b_2\phi) + k_t(x_2 - y_2) = 0$$

Grados de libertad

- Desplazamiento vertical de la rueda delantera, x_1 .
- Desplazamiento vertical de la rueda trasera, x_2 .
- Desplazamiento vertical de la carrocería, x .
- Ángulo de cabeceo de la carrocería, θ .

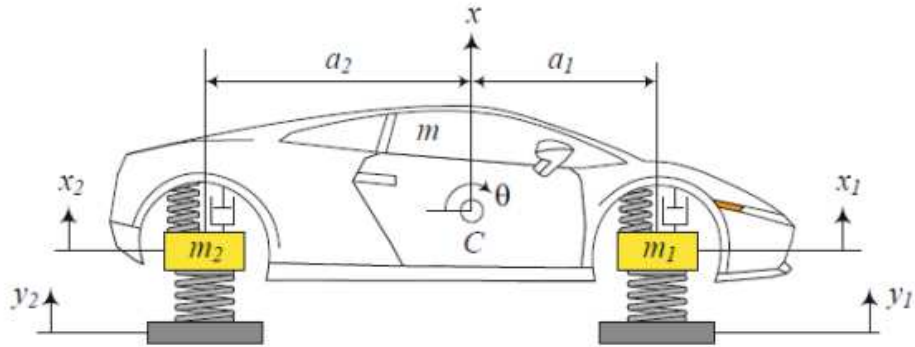


Figura 2.0.1: Modelo vibratorio de bicicleta de un vehículo.

Fuente: (Reza N. Jazar, 2014)

Las ecuaciones de movimiento para el modelo de bicicleta de un vehículo son:

$$m\ddot{x} + c_1(\dot{x} - \dot{x}_1 - a_1\dot{\theta}) + c_2(\dot{x} - \dot{x}_2 + a_2\dot{\theta}) + k_1(x - x_1 - a_1\theta) + k_2(x - x_2 + a_2\theta) = 0$$

$$I_y\ddot{\theta} - a_1c_1(\dot{x} - \dot{x}_1 - a_1\dot{\theta}) + a_2c_2(\dot{x} - \dot{x}_2 + a_2\dot{\theta}) - a_1k_1(x - x_1 - a_1\theta) + a_2k_2(x - x_2 + a_2\theta) = 0$$

$$m_1\ddot{x}_1 - c_1(\dot{x} - \dot{x}_1 - a_1\dot{\theta}) - k_1(x - x_1 - a_1\theta) + k_{r1}(x_1 - y_1) = 0$$

$$m_2\ddot{x}_2 - c_2(\dot{x} - \dot{x}_2 + a_2\dot{\theta}) - k_2(x - x_2 + a_2\theta) + k_{r2}(x_2 - y_2) = 0$$

2.2 Suspensión McPherson

Este sistema es uno de los más sencillos y usados en las ruedas directrices. La suspensión McPherson conecta la mangueta de la rueda por la parte superior con el amortiguador y por la parte inferior con la articulación del brazo, por lo tanto, el ángulo que forman las ruedas con el suelo tiene una variación mínima en cualquier circunstancia.

La figura 2.1 muestra el modelado 3D de la suspensión McPherson en el software Adams Car con los diferentes elementos que la conforman



Figura 2.1: Suspensión McPherson.

Fuente: Autores

A continuación, se presenta el ensamble de la suspensión McPherson, sobre el cual se realiza los análisis dinámicos que proporciona Adams Car en su menú *Suspension Analysis* como: *Parallel Wheel Travel*, *Opposite Wheel Travel*, *Rool & Vertical force*, y *Single Wheel Travel*, para evaluar el comportamiento de la suspensión frente a diferentes condiciones y los resultados de estos análisis se pueden representar de forma gráfica. Con estos análisis dinámicos se evaluará la evolución de los tres ángulos que definen en comportamiento de la suspensión del vehículo estos ángulos son: el Camber, el Caster y el Toe.

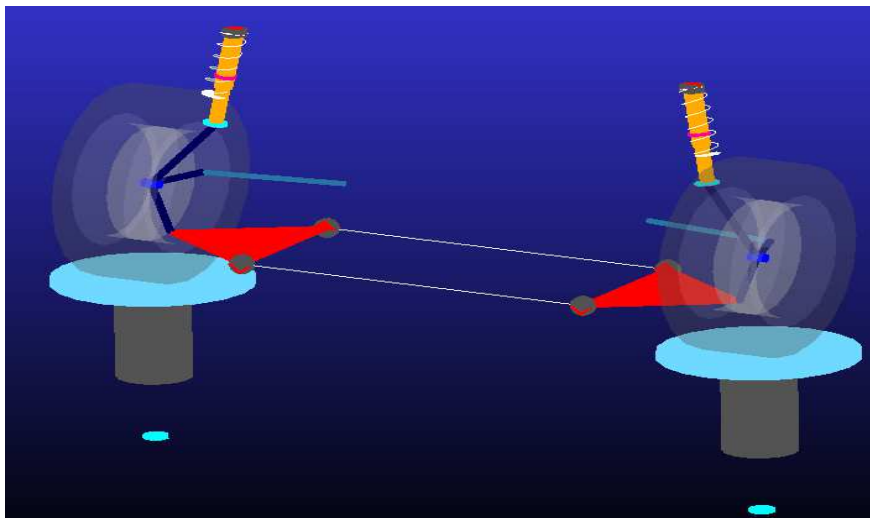


Figura 2.2: Ensamble suspensión McPherson.

Fuente: Autores

2.2.1 Parallel Wheel Travel

En la figura 2.3, se muestra el comportamiento al realizar la simulación desplazamiento del centro de la rueda del ensamble de la suspensión McPherson de arriba -abajo (*Parallel Wheel Travel*) una longitud de 100 mm, debido a que esta longitud se considera como un factor de seguridad para la posición de equilibrio de la suspensión, ya que en el momento que el neumático pierde el contacto con la calzada los valores de posición se alejan del equilibrio y si estos sobrepasan los 100 mm se considera como pérdida de seguridad. (Mula Vivero, 2009) .

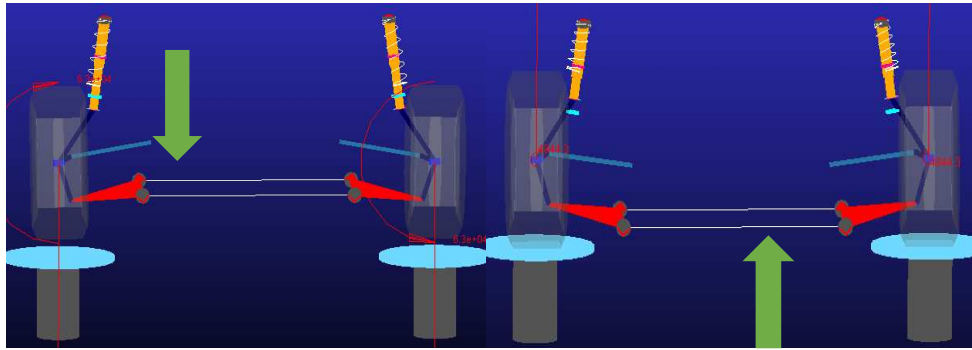


Figura 2.3: Desplazamiento vertical (*Parallel Travel*).

Fuente: Autores

En la Figura 2.4, se indican los resultados de la simulación *Parallel Travel* donde se puede apreciar la variación en grados del ángulo de caída (camber_angle) con respecto a la variación de desplazamiento vertical en milímetros representado por el eje de “y” de la parte derecha de la figura 2.4. El ángulo de caída tiene una variación menor a 1° si el valor de este ángulo está alrededor del 0 la suspensión garantiza un mayor contacto del neumático con la superficie de la calzada, considerando que el rango de ángulo de caída está entre -1.5° y 3.5° .

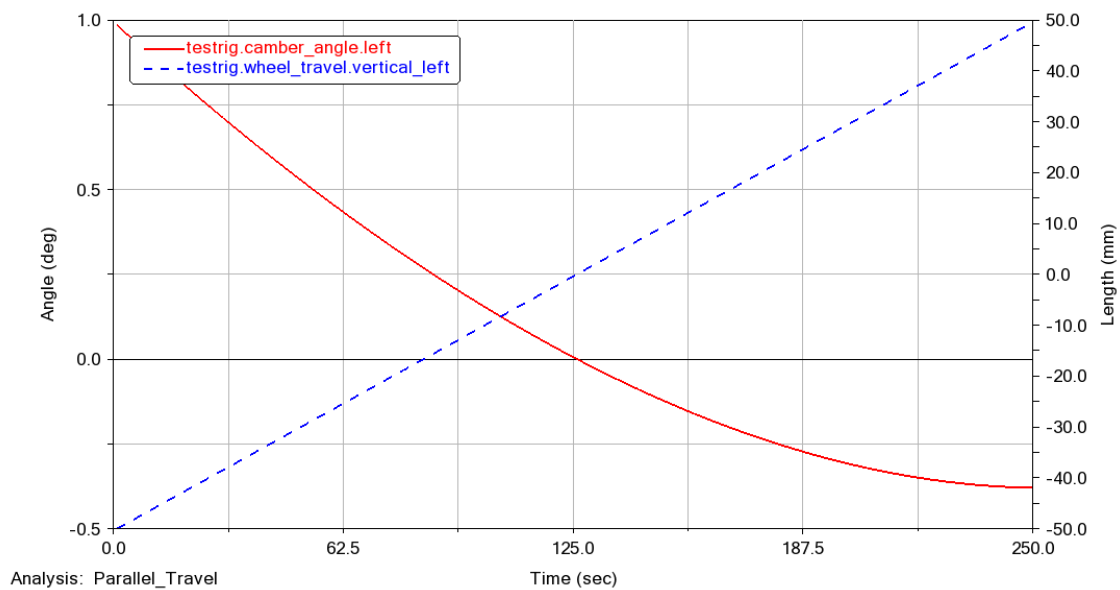


Figura 2.4: Comportamiento del ángulo camber en el *Parallel Travel*.

Fuente: Autores

En la figura 2.4 en el eje “y” de la izquierda se indica el valor del ángulo camber, mientras que en el “eje secundario y” de la derecha se muestra la longitud del desplazamiento vertical de la rueda y en el eje horizontal está representado el tiempo de la simulación.

Así mismo, se puede ver en la figura 2.5 la variación del ángulo Toe (testing toe_angle.left) que es menor a 1° al desplazar el neumático de forma vertical. Este valor está dentro del rango de medida del valor del ángulo Toe que va desde -1.5° a 1.5° , como se puede observar en el valor del eje vertical la figura no sobrepasa estos valores.

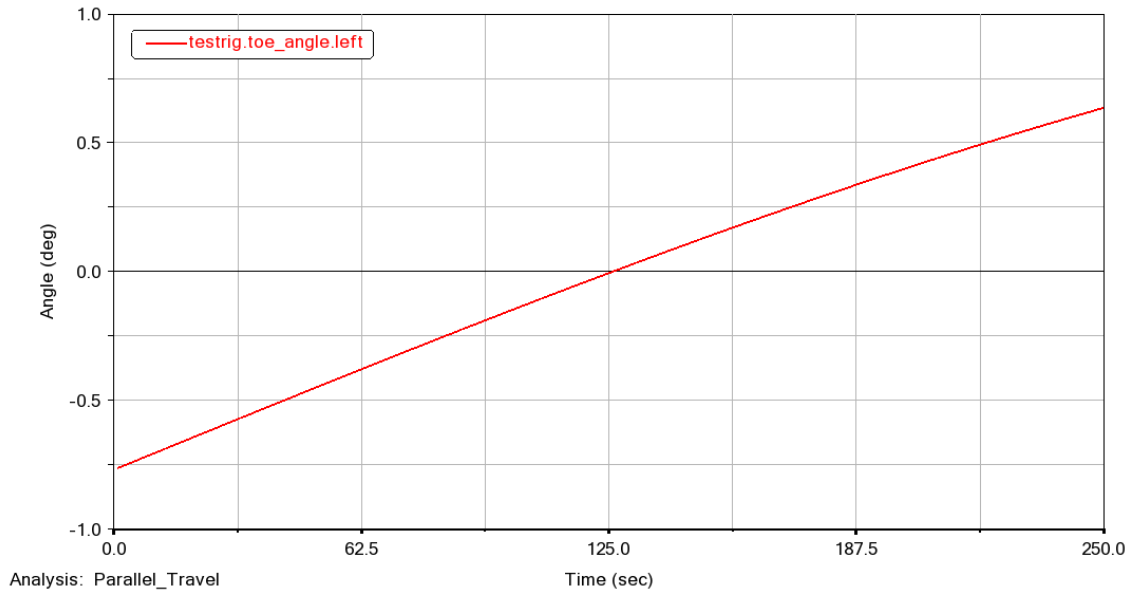


Figura 2.5: Comportamiento del ángulo toe en el Parallel Travel.

Fuente: Autores

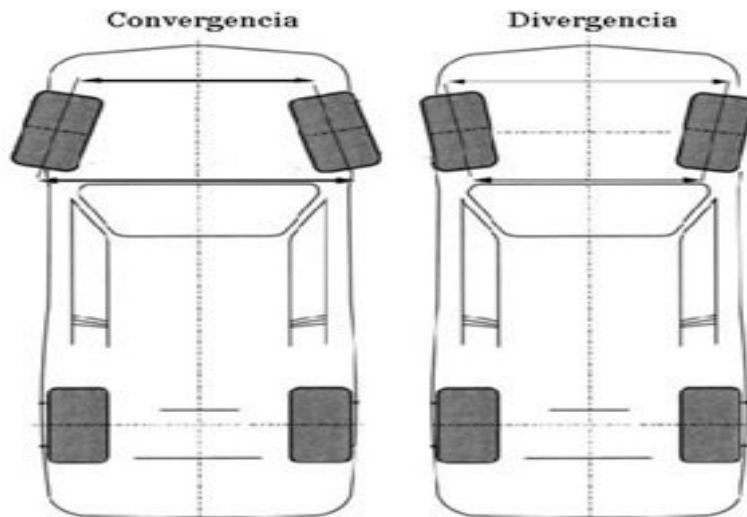


Figura 2.6: Convergencia y divergencia.

Fuente: Guzman, 2006.

Tal y como se vio en las figuras 2.4 y 2.5 los ángulos de convergencia y caída del neumático al realizar el desplazamiento vertical de la rueda poseen variaciones cercanas al 0, puesto que la geometría de la suspensión McPherson impide la variación de estos ángulos. No obstante,

se suele sacrificar estos ángulos para mejorar la estabilidad del vehículo, es decir si el ángulo Toe tiene una configuración ligeramente positiva mejora la resistencia al rodamiento, por el contrario, si el ángulo Toe posee un valor negativo mejora la maniobrabilidad en las curvas. (CARLOS & FERNANDO, 2016)

La variación del ángulo Caster al realizar la simulación *Paralled Travel* es nula como se puede ver en la figura 2.7 aunque la rueda se desplaza de -50 a 50 mm de manera vertical como lo indica el valor del eje vertical de la derecha.

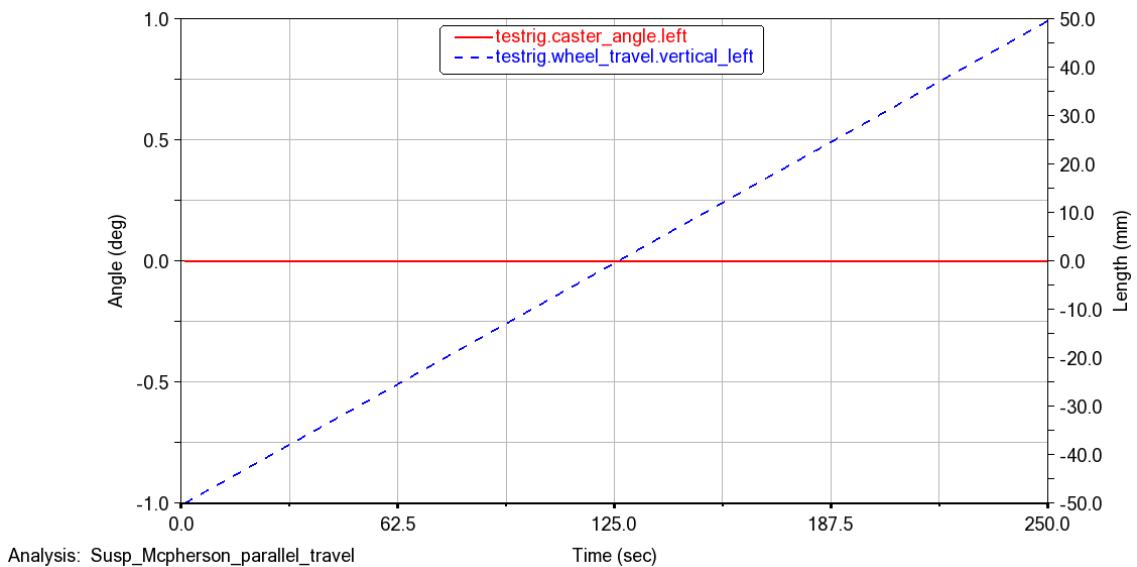


Figura 2.7: Comportamiento del caster en el Parallel Travel.

Fuente: Autores

2.2.2 Opposite Wheel Travel

El análisis *Opposite Wheel Travel*, desplaza los centros de la rueda de abajo hacia arriba a diferencia del análisis anterior que desplaza los centros de las ruedas de arriba hacia abajo. Las figuras 2.8, 2.9 y 2.10 muestran la variación de los ángulos Camber, Toe y Caster respectivamente de acuerdo con el incremento del desplazamiento vertical en milímetros de la rueda representado por el eje “y” de la parte derecha (Length).

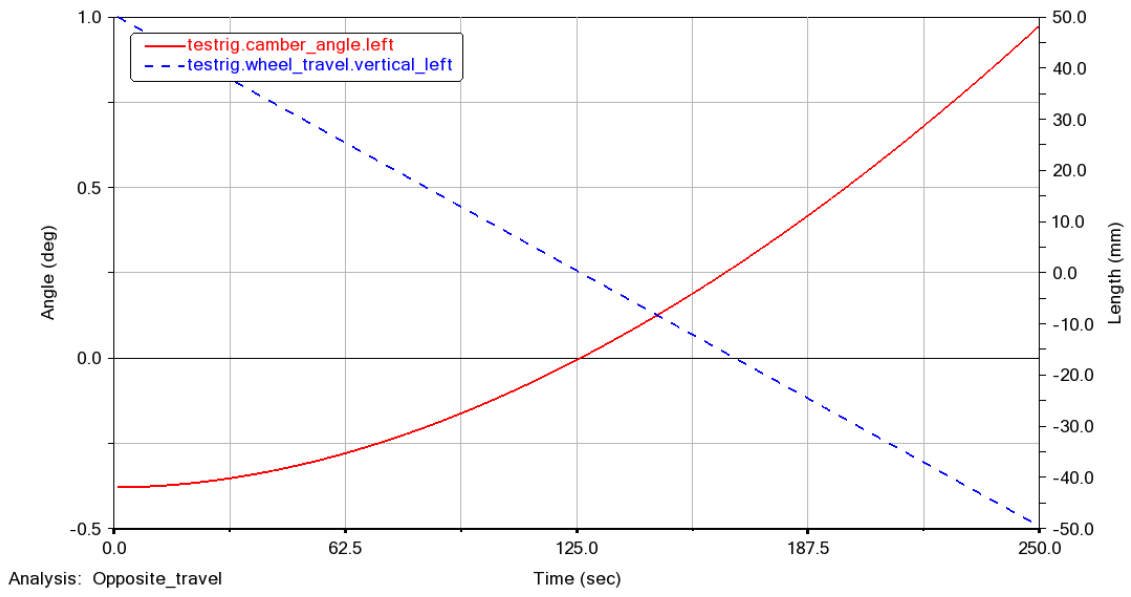


Figura 2.8: Comportamiento del ángulo camber en el Opposite Wheel Travel.

Fuente: Autores

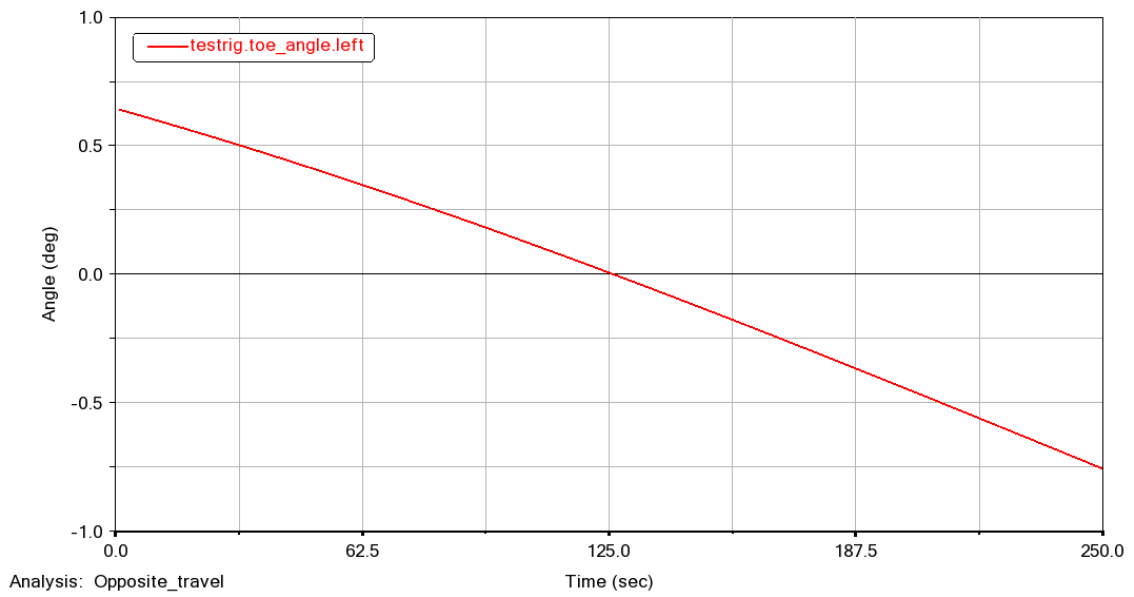


Figura 2.9: Comportamiento del ángulo toe en el Opposite Wheel Travel.

Fuente: Autores

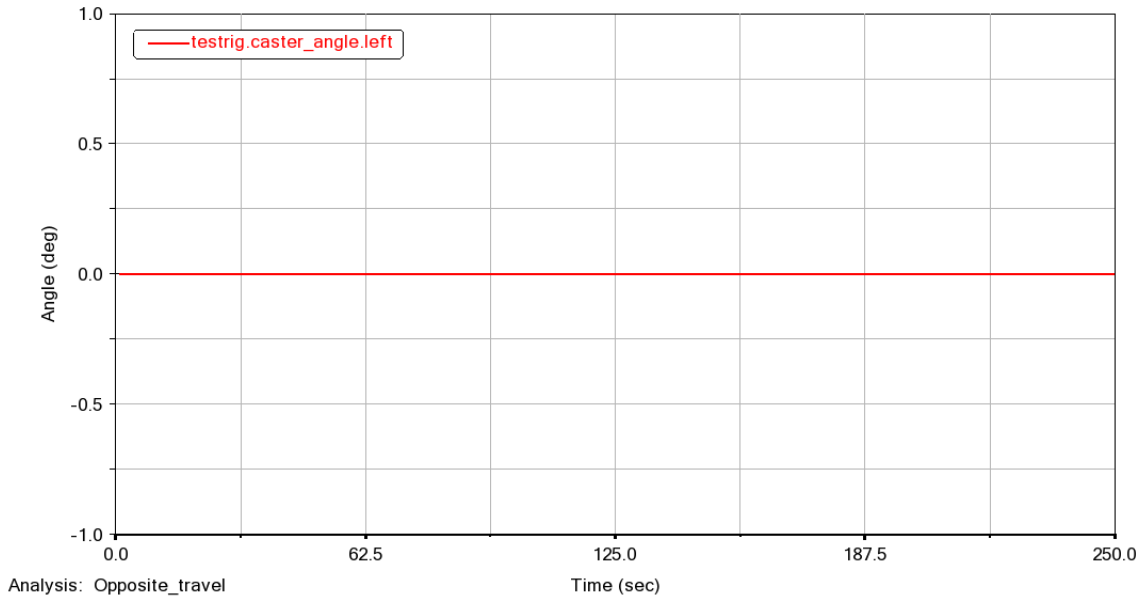


Figura 2.10: Comportamiento del ángulo caster en el Opposite Wheel Travel.

Fuente: Autores

2.2.3 Roll & Vertical Force

También se analiza la suspensión aplicando una carga vertical sobre los neumáticos del ensamble de la suspensión MsPherson, haciéndolos desplazar de forma vertical y los resultados se muestran en las figuras 2.11, 2.12 y 2.13.

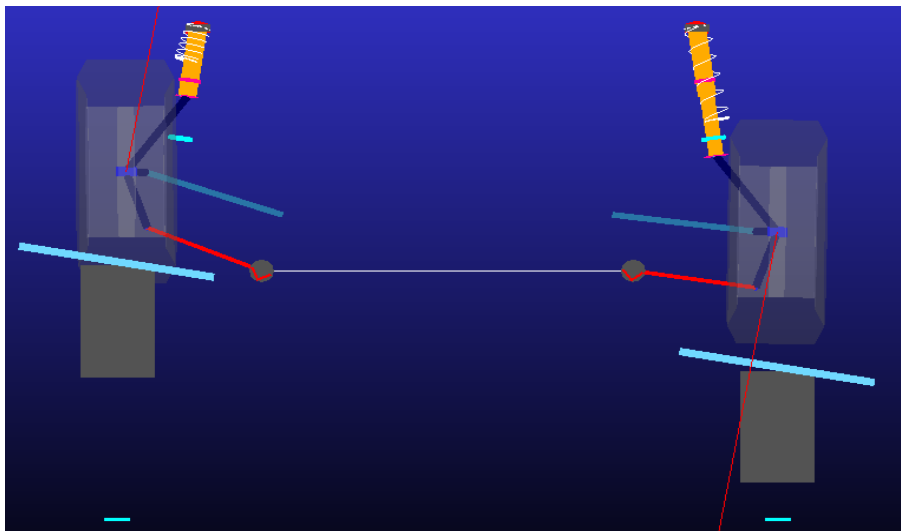


Figura 2.11: Vertical force.

Fuente: Autores

La variación del ángulo toe es ajustado a la fuerza aplicada sobre el neumático como puede observar en la figura 2.12, donde el eje vertical de la izquierda indica el valor del ángulo toe y el eje de la derecha el valor de la fuerza aplicada.

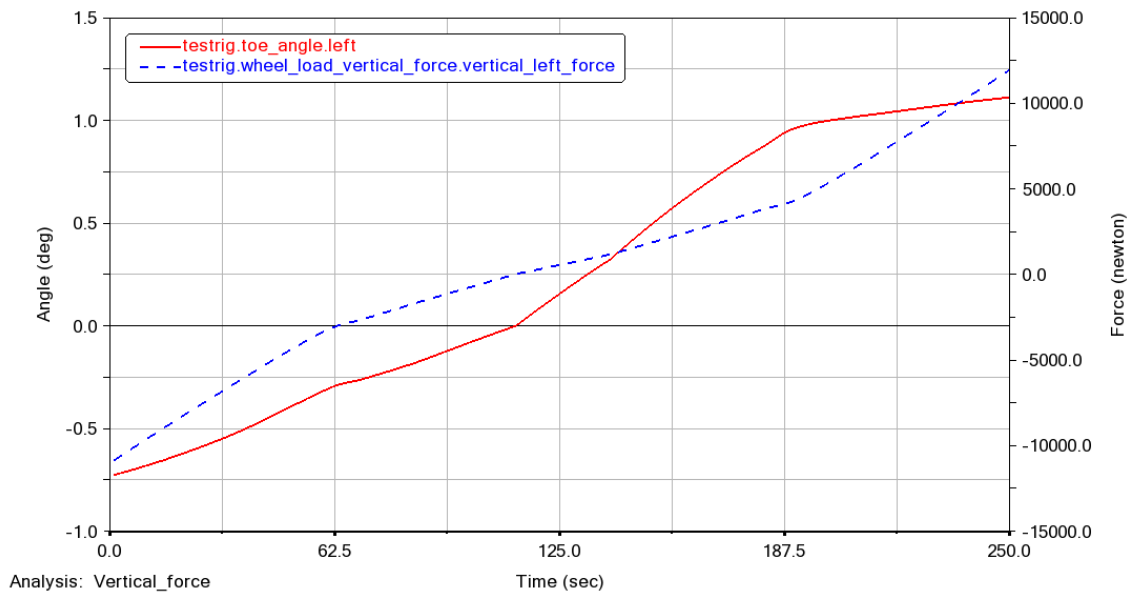


Figura 2.12: Vertical force. comportamiento del ángulo toe.

Fuente: Autores

La figura 2.13 muestra la variación del ángulo camber con respecto a la fuerza aplicada sobre el neumático, donde se observa que mientras la fuerza es mayor la variación del ángulo Camber también se incrementa y como el desplazamiento vertical de los neumáticos es alterativo el valor del ángulo tiende a bajar y luego sube.

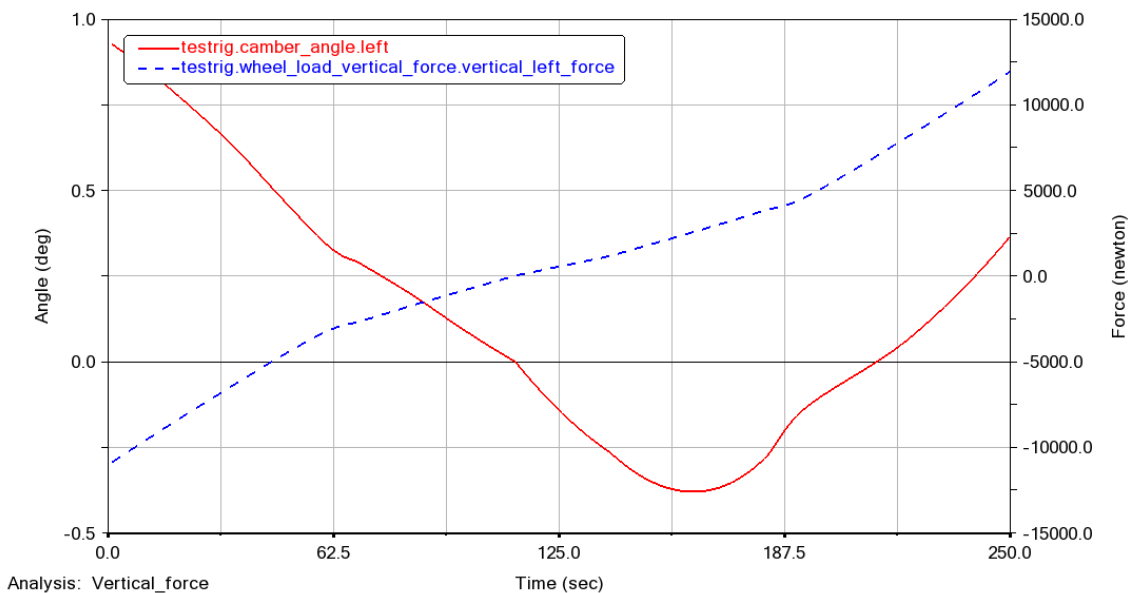


Figura 2.13: Vertical force. comportamiento del ángulo camber.

Fuente: Autores

En la figura 2.14 se observa que el ángulo caster no sufre ningún efecto al aplicar una fuerza sobre los neumáticos

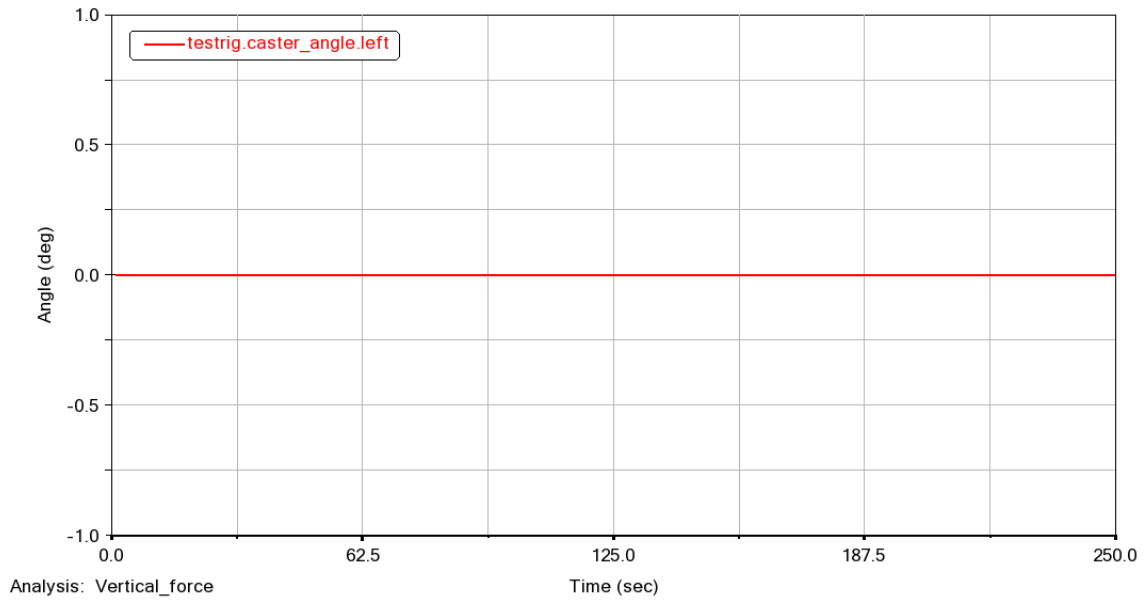


Figura 2.14: Vertical force. comportamiento del ángulo caster.

Fuente: Autores

2.2.4 Single Wheel Travel

Por último, se realiza en la suspensión McPherson la simulación dinámica *Single Wheel Travel* que desplaza solo una rueda de manera vertical y de esta forma se evalúa el comportamiento de los ángulos en los dos neumáticos.

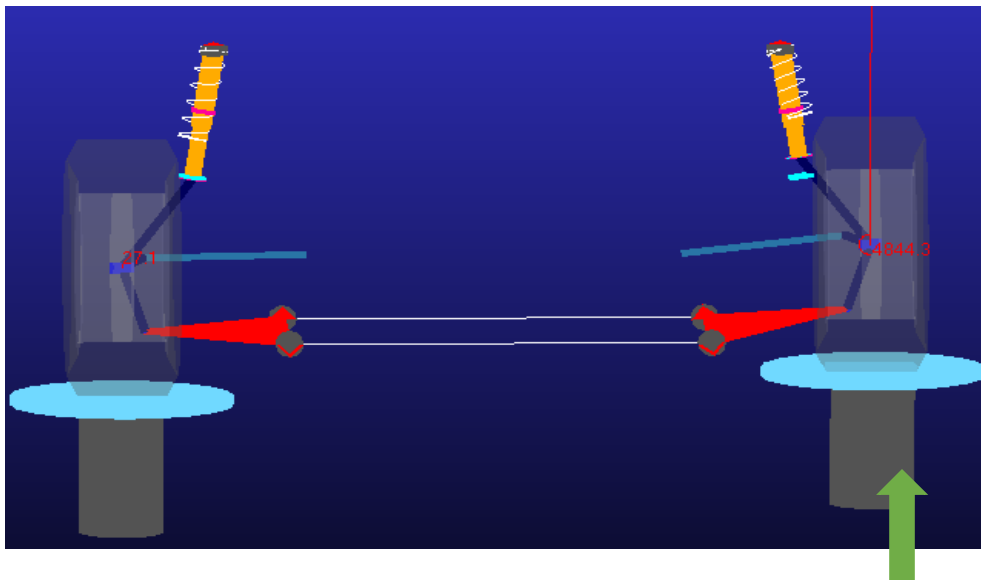


Figura 2.15: Single Wheel Travel.

Fuente: Autores

La figura 2.16 muestra que no existe un traspaso del efecto hacia la otra rueda al producirse el desplazamiento en una sola rueda y solo existe variación en el ángulo camber en el lado donde se produce el desplazamiento (left).

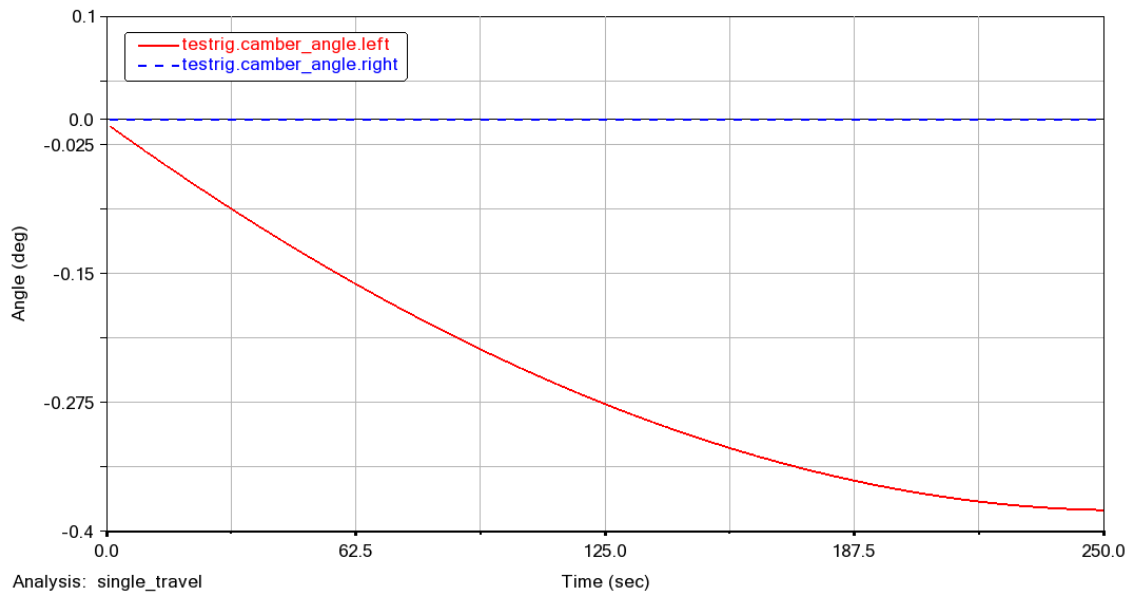


Figura 2.16: Comportamiento ángulo toe.

Fuente: Autores

De igual forma en el ángulo toe solo se produce variación en lado del desplazamiento, manteniéndose nulo el valor del ángulo toe del otro neumático.

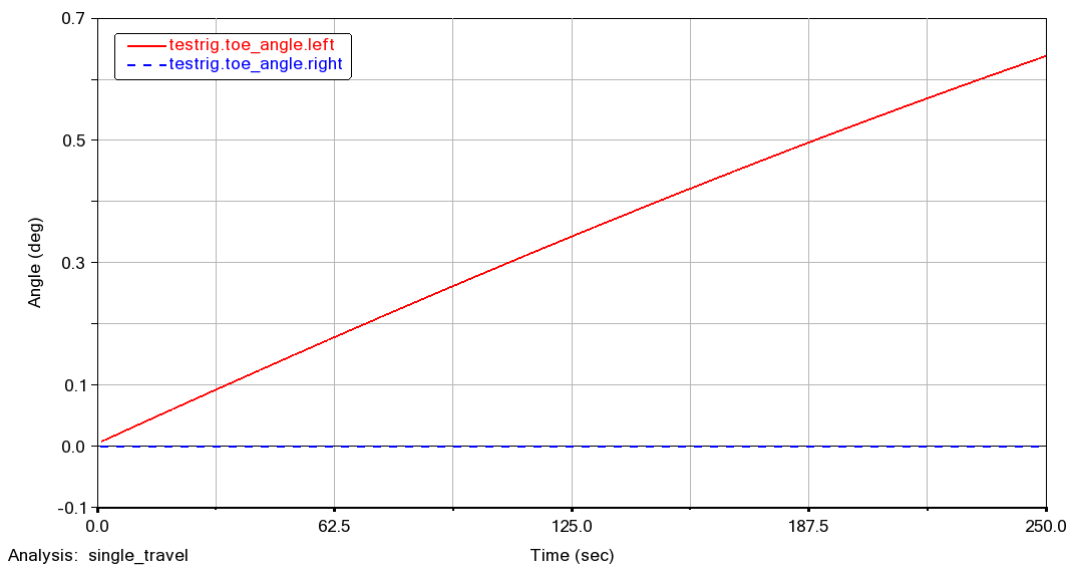


Figura 2.17: Comportamiento ángulo toe.

Fuente: Autores

2.2.5 Variación de los parámetros de la suspensión MCpherson

Se consideran los siguientes parámetros a modificar en la suspensión para evaluar el comportamiento de esta:

- Tamaño de los brazos de suspensión.
- La precarga del resorte.

- El tamaño del amortiguador.

Así pues, se precede a realizar una prolongación de 50 mm en los brazos de suspensión para evaluar cómo se comporta la suspensión con este cambio en la estructura y se comparan los resultados con la configuración estándar. La figura 2.18 muestra en el eje “y” el comportamiento del ángulo Camber tanto de la suspensión estándar y la suspensión con brazos más grandes donde se identifica que la variación del ángulo Camber es similar.

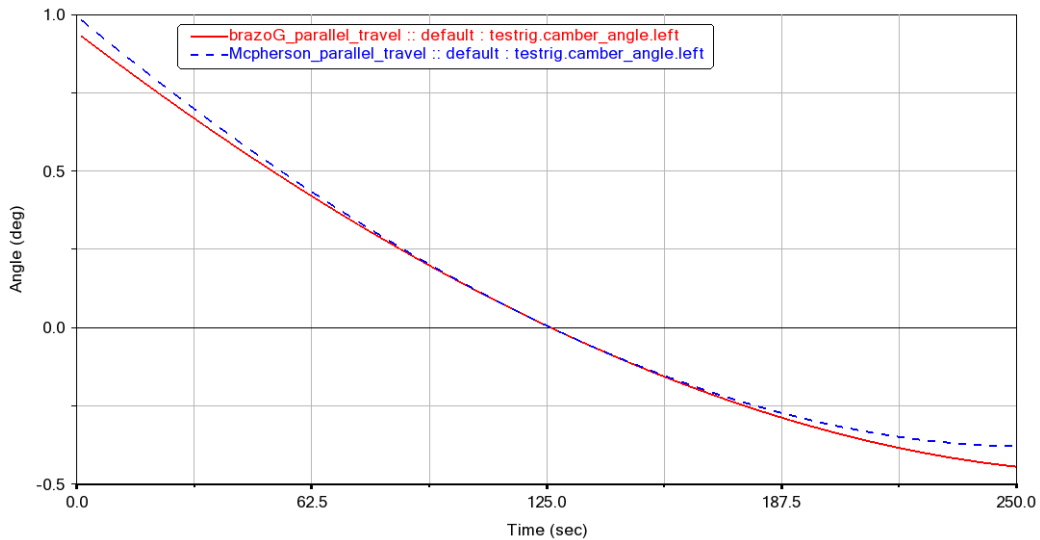


Figura 2.18: Comportamiento del ángulo Camber con incremento de los brazos de suspensión.

Fuente: Autores

Simultáneamente se evalúa el comportamiento del ángulo Toe con los brazos de suspensión más grandes, que de igual manera que el ángulo Camber posee una variación similar como lo indica la figura 2.19

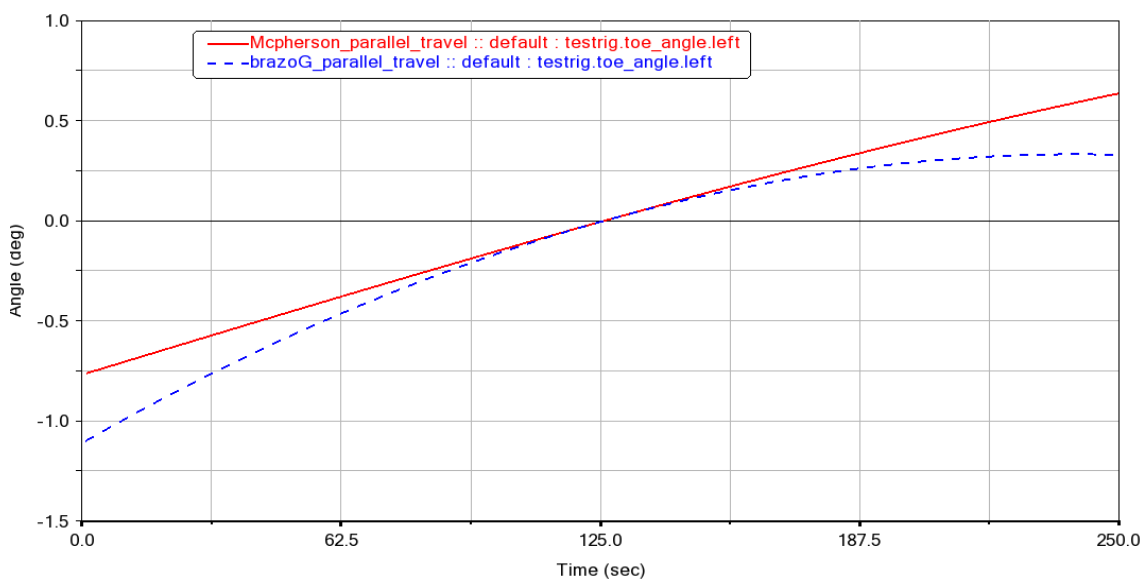


Figura 2.19: Comportamiento del ángulo Toe con incremento de los brazos de suspensión.

Fuente: Autores

Luego se realiza una disminución en los brazos de suspensión de 50 mm y los resultados de los análisis dinámicos con este cambio se muestran en las figuras 2.19 y 2.20. La figura 2.20 indica el comportamiento del ángulo Camber del modelo estándar, como también del modelo con brazos de suspensión más pequeños, sin embargo, no existe una variación considerable como la del ángulo Toe que se puede observar en la figura 2.21.

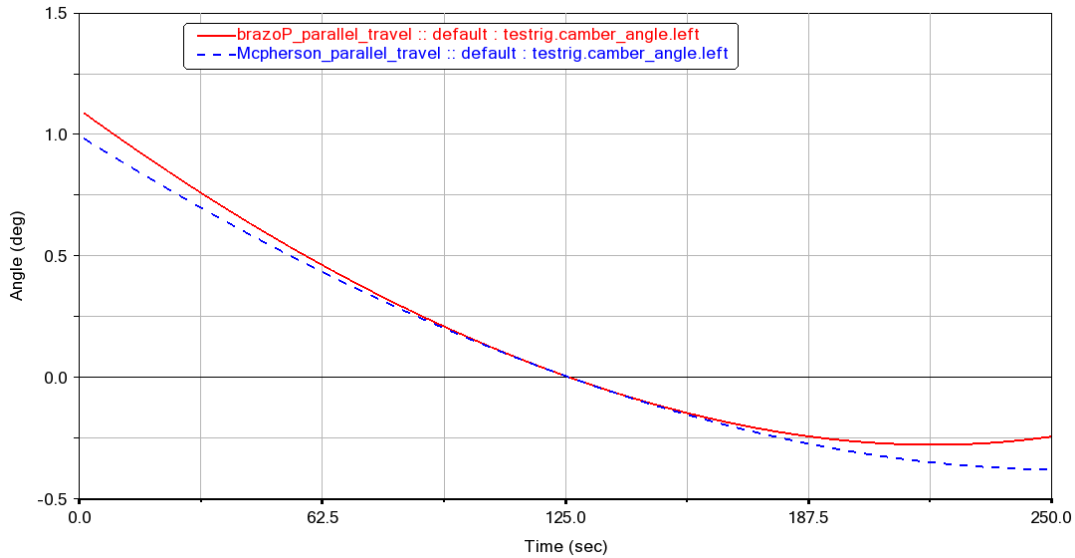


Figura 2.20: Comportamiento del ángulo Camber con disminución de los brazos de suspensión.

Fuente: Autores

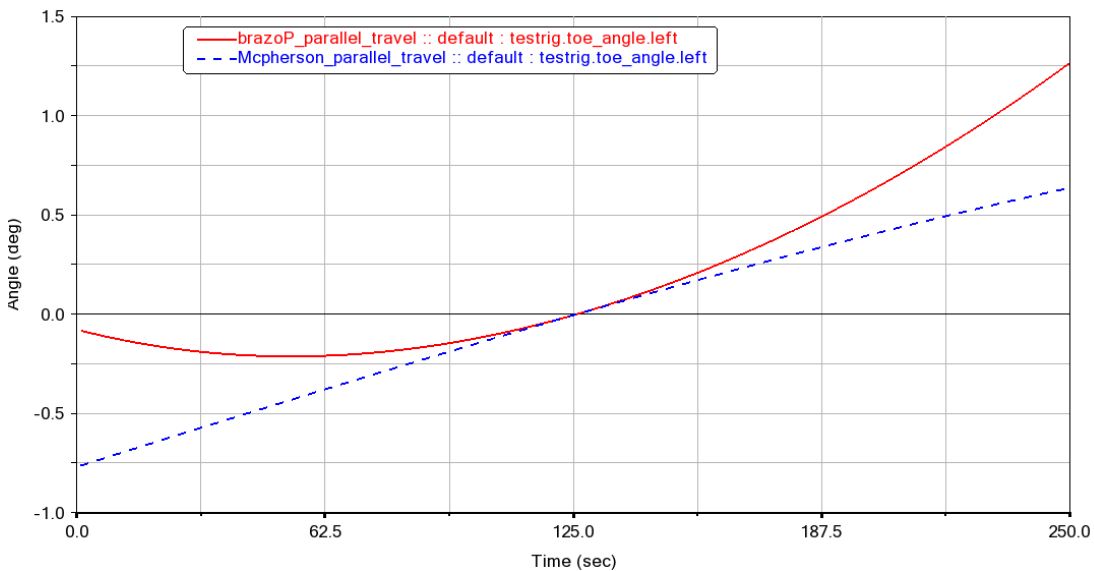


Figura 2.21: Comportamiento del ángulo Toe con disminución de los brazos de suspensión.

Fuente: Autores

Además de la modificación de los brazos de suspensión se realiza un cambio en el tamaño del amortiguador incrementado un 20% más, y se procede a realizar la simulación con un amortiguador más grande y uno más pequeño. Las figuras 2.22 y 2.23 muestran los

resultados del comportamiento de la suspensión con un amortiguador más pequeño en comparación con el comportamiento de la suspensión estándar, estos resultados evidencian un mayor rango de variación tanto en el ángulo Camber como en el Toe resultado de un coeficiente de amortiguación más pequeño

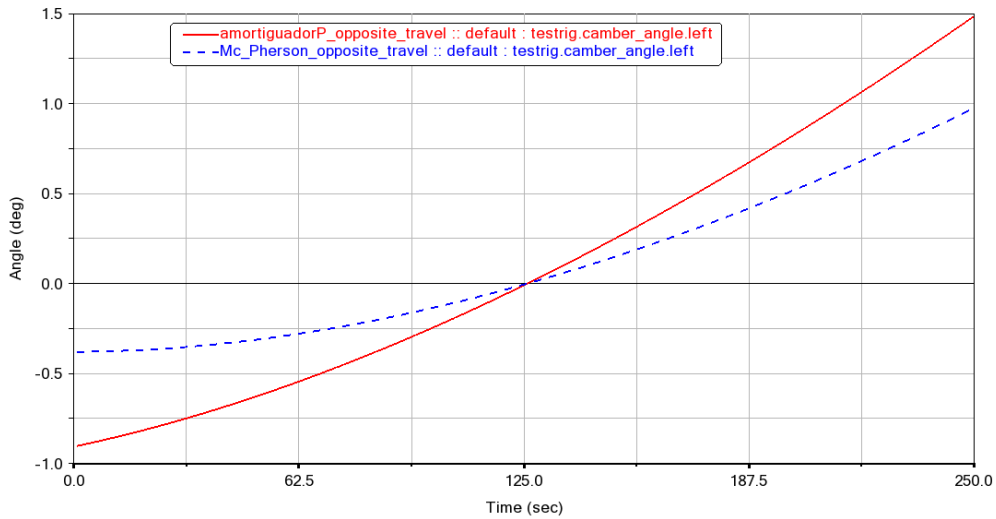


Figura 2.22: Comportamiento del ángulo Camber con amortiguador más pequeño.

Fuente: Autores

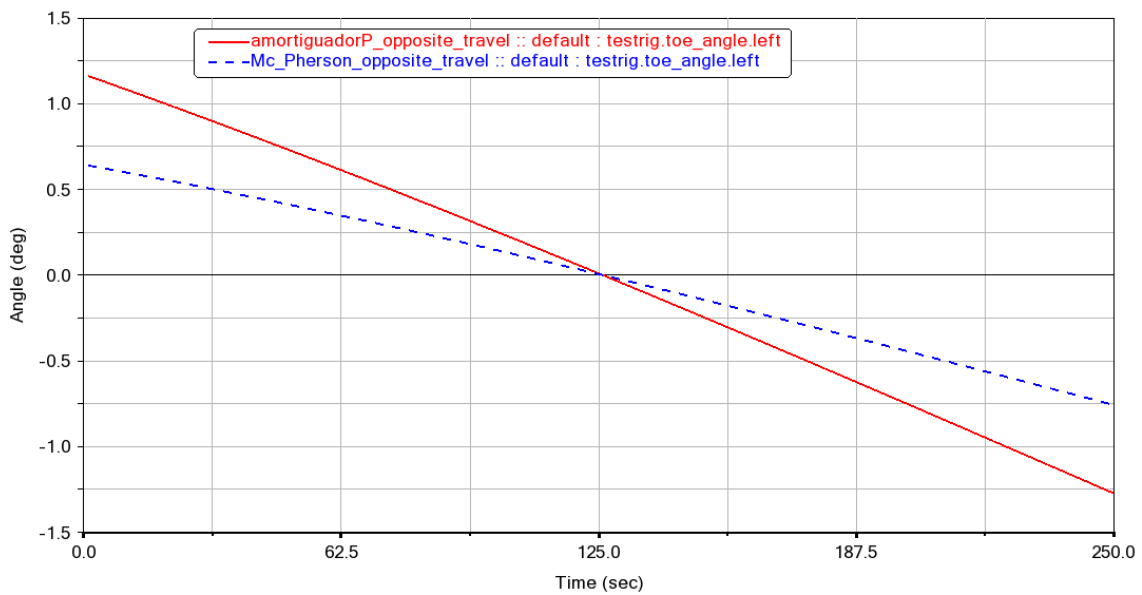


Figura 2.23: Comportamiento del ángulo Toe con amortiguador más pequeño.

Fuente: Autores

Por último, se analiza el sistema de suspensión con un amortiguador más grande y como resultado se consigue una menor variación en los ángulos Camber y Toe debido a que se tiene mayor absorción de las oscilaciones. Los resultados de los análisis se indican en las figuras 2.24 y 2.25.

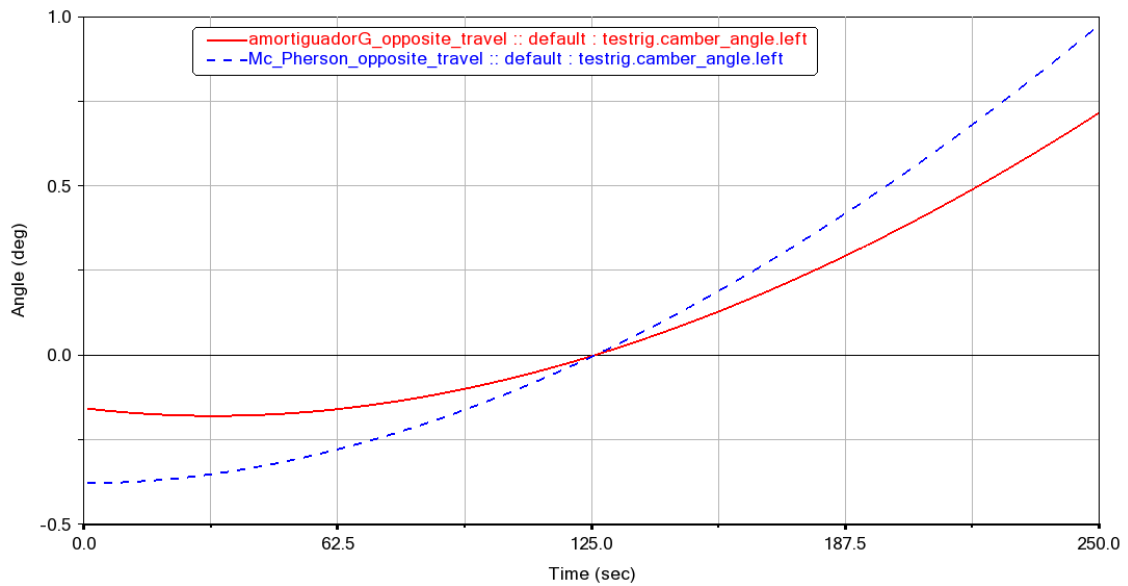


Figura 2.24: Comportamiento del ángulo Camber con amortiguador más grande.

Fuente: Autores

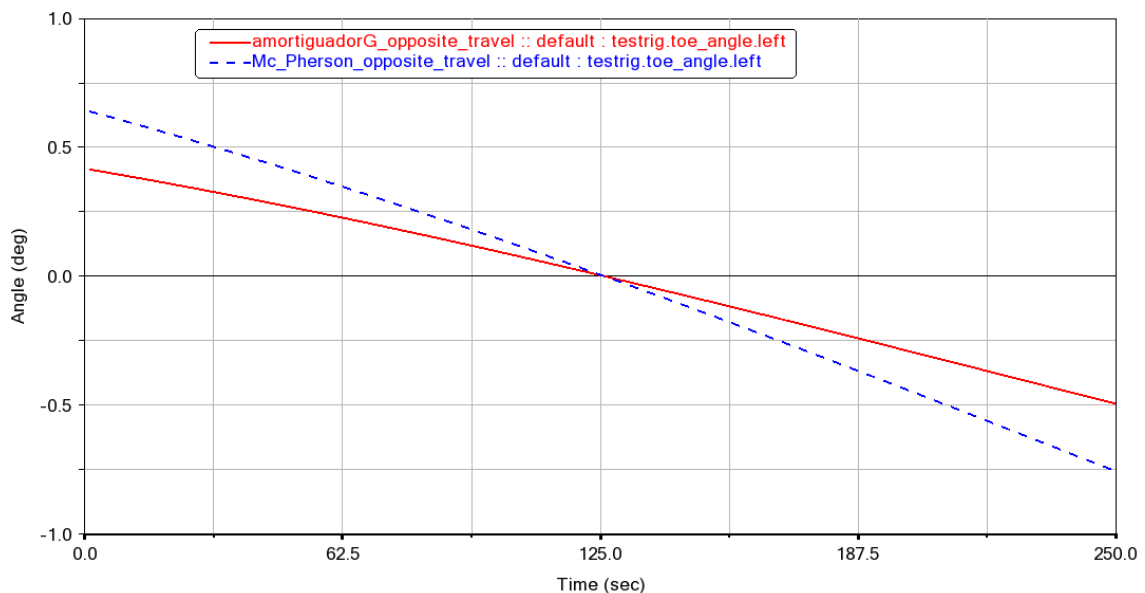


Figura 2.25: Comportamiento del ángulo Toe con amortiguador más pequeño.

Fuente: Autores

2.3 Suspensión multilink

Es un tipo de suspensión que utiliza varios brazos para unir las ruedas ala chasis, tiene una gran rigidez en sentido lateral con la finalidad de evitar el fenómeno de sobreviraje, contribuyendo a una mejor estabilidad en la dirección y por su puesto aportando la seguridad. En la figura 2.26 se indica el diseño de la suspensión multilink con todos los elementos que la conforman modelado en Adams Car.

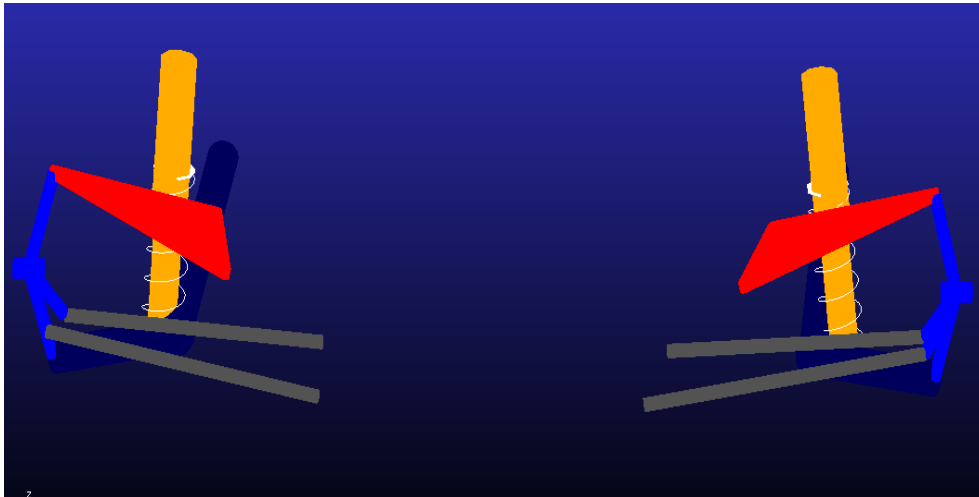


Figura 2.26. *Suspensión multilink.*

Fuente: Autores

La suspensión multilink consta de varios brazos superiores e inferiores además de otro brazo longitudinal lo que asegura una gran efectividad en su funcionamiento.

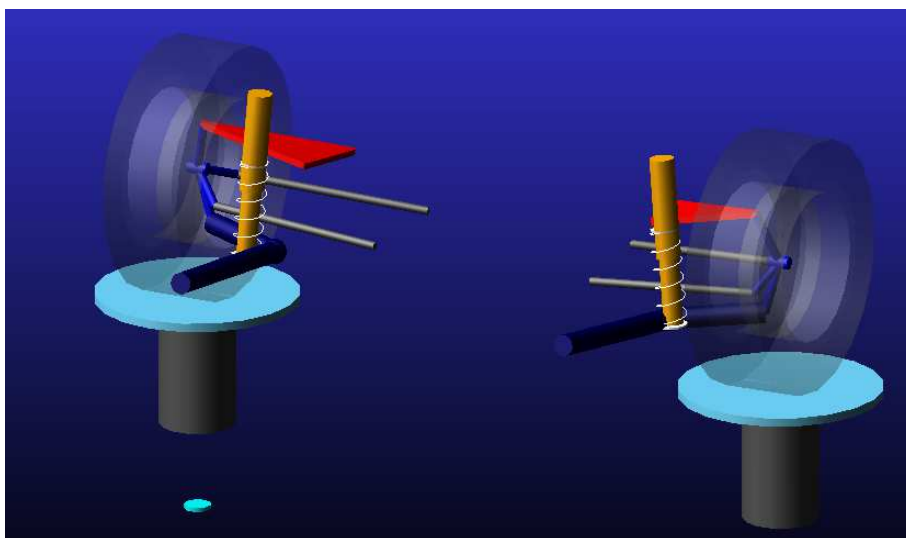


Figura 2.27: *Ensamble suspensión multilink.*

Fuente: Autores

2.3.1 Parallel Wheel Travel

En la figura 2.28 se puede apreciar el resultado del análisis dinámico *Parallel Wheel Travel* de la suspensión multilink y como se había dicho anteriormente que este tipo de suspensión posee una gran rigidez en sentido lateral, lo cual se ve reflejado en la variación del ángulo Toe que se mantiene aproximadamente en 0 como lo indica la gráfica de color rojo de la figura 2.28.

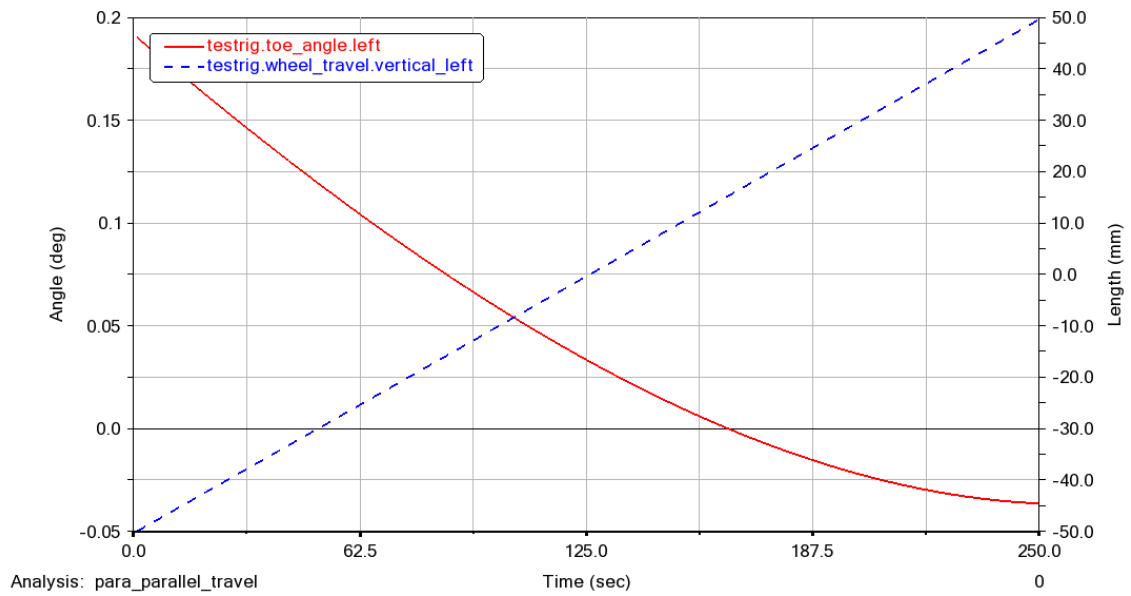


Figura 2.28: Comportamiento del ángulo toe suspensión multilink.

Fuente: Autores

Por otra parte, podemos apreciar en la figura 2.29 que la variación del ángulo Camber desarrolla una mayor variación negativa de hasta -3° .

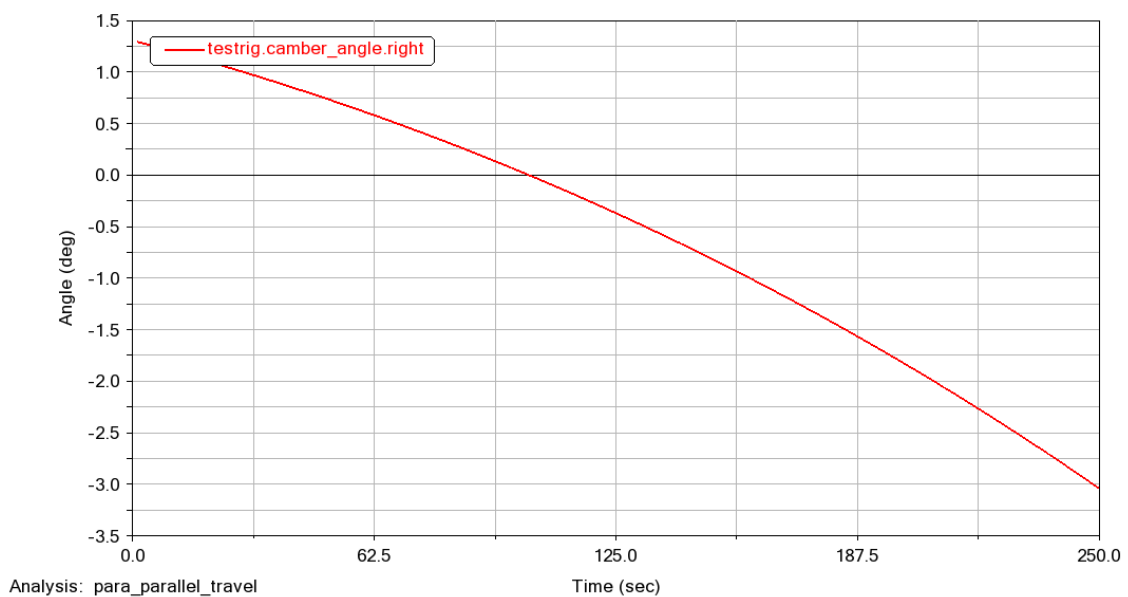


Figura 2.29: Comportamiento del ángulo camber suspensión multilink.

Fuente: Autores

En la figura 2.30 se muestra que el ángulo Caster de la suspensión multilink sufre una variación considerable mayor a 9°

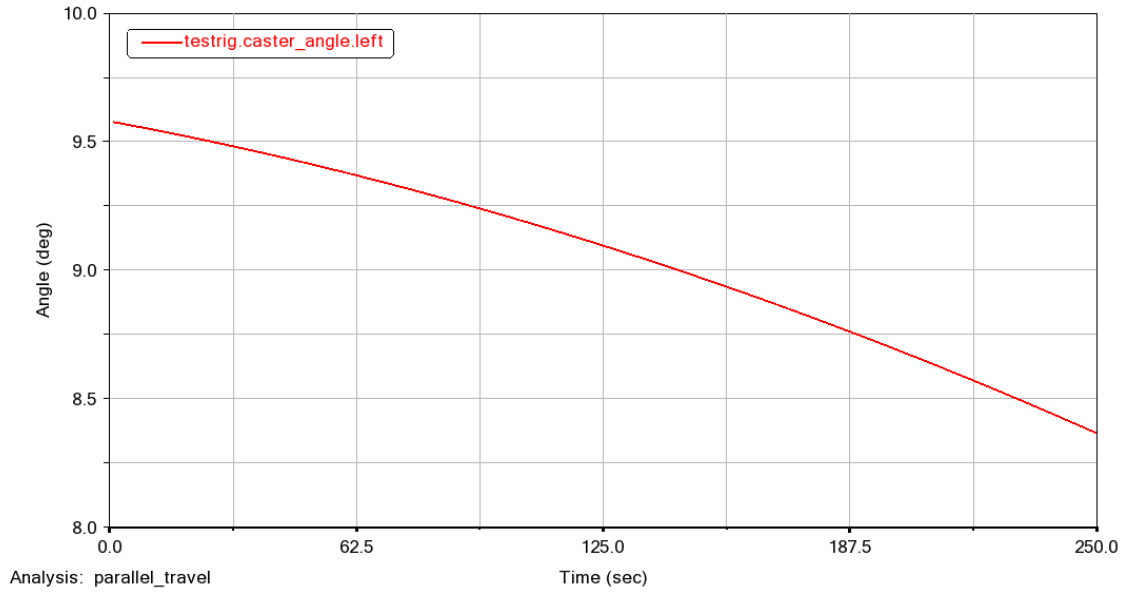


Figura 2.30: Comportamiento del ángulo caster suspensión multilink.

Fuente: Autores

2.3.2 Opposite Wheel Travel

A continuación, se pueden apreciar los resultados de la simulación dinámica *Opposite Wheel Travel* que desplaza los centros de las ruedas de abajo hacia arriba de la suspensión multilink. Como lo indican las figuras 2.31, 2.32 y 2.33 el comportamiento de los ángulos Camber, Toe y Caster es semejante al análisis anterior.

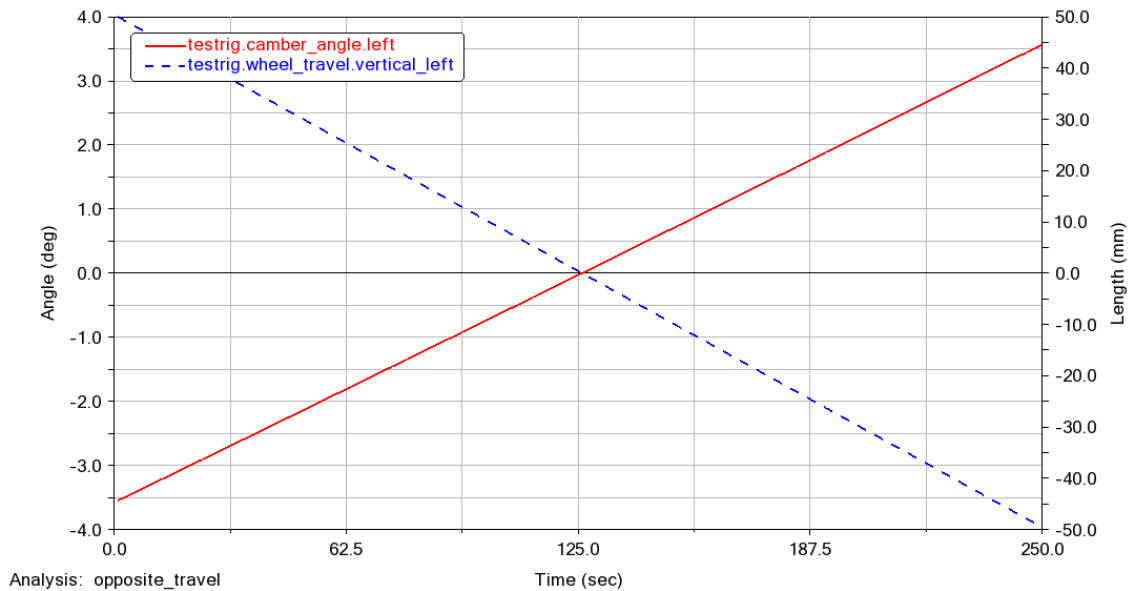


Figura 2.31: Comportamiento del ángulo camber *Opposite Travel* multilink.

Fuente: Autores

La figura 2.32 indica la variación del ángulo Toe (testing toe_angle.left) que se encuentra dentro del rango de medida del valor de convergencia que va desde -1.5° a 1.5° .

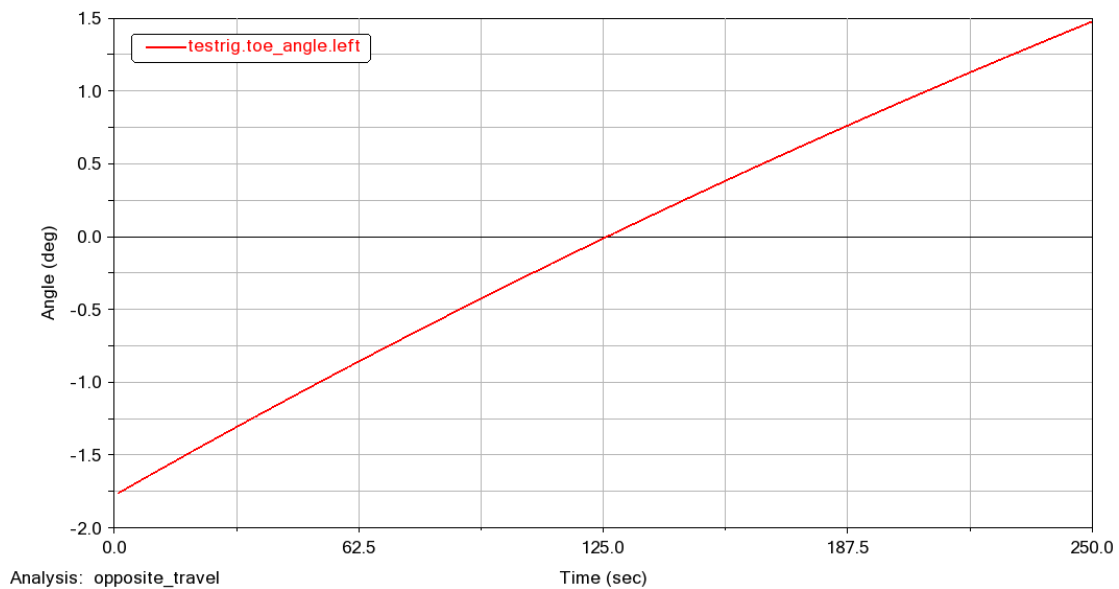


Figura 2.32: Comportamiento del ángulo camber Opposite Travel multilink.

Fuente: Autores

La variación del ángulo Caster en comparación con el análisis Parallel Travel sufre una variación de semejante proporción como lo muestra la figura 2.33.

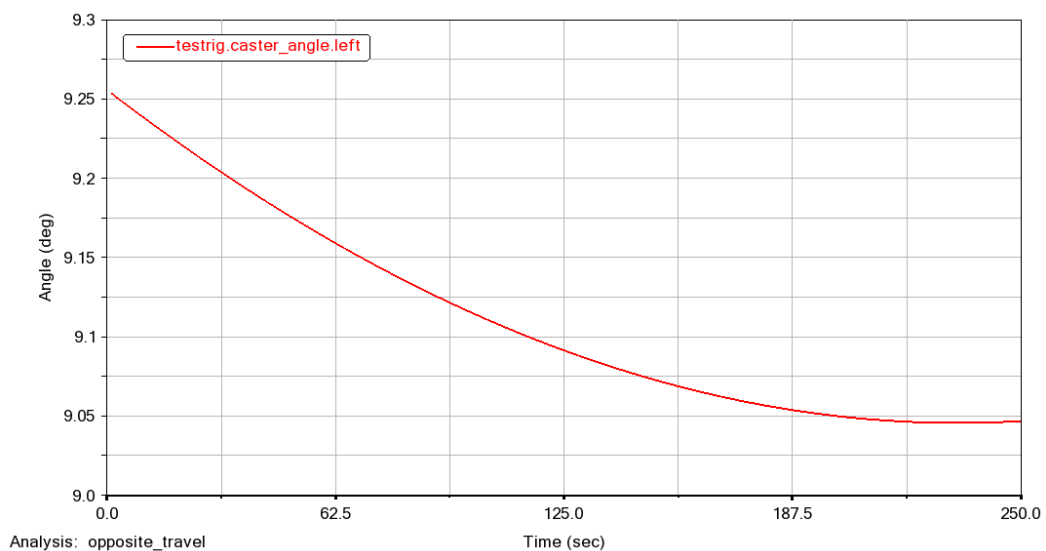


Figura 2.33: Comportamiento del ángulo caster en el Opposite Travel multilink.

Fuente: Autores

2.3.3 Roll & Vertical Force

Cabe recalcar que al aplicar una fuerza sobre los neumáticos la suspensión multilink no tiene un buen comportamiento, consiguiendo ángulos de caída mayores a 5° como lo indica la figura 2.34, esto sería perjudicial para la conducción del vehículo, sin embargo, el ángulo toe se mantiene neutro alrededor del cero como se puede observar en la figura 2.35.

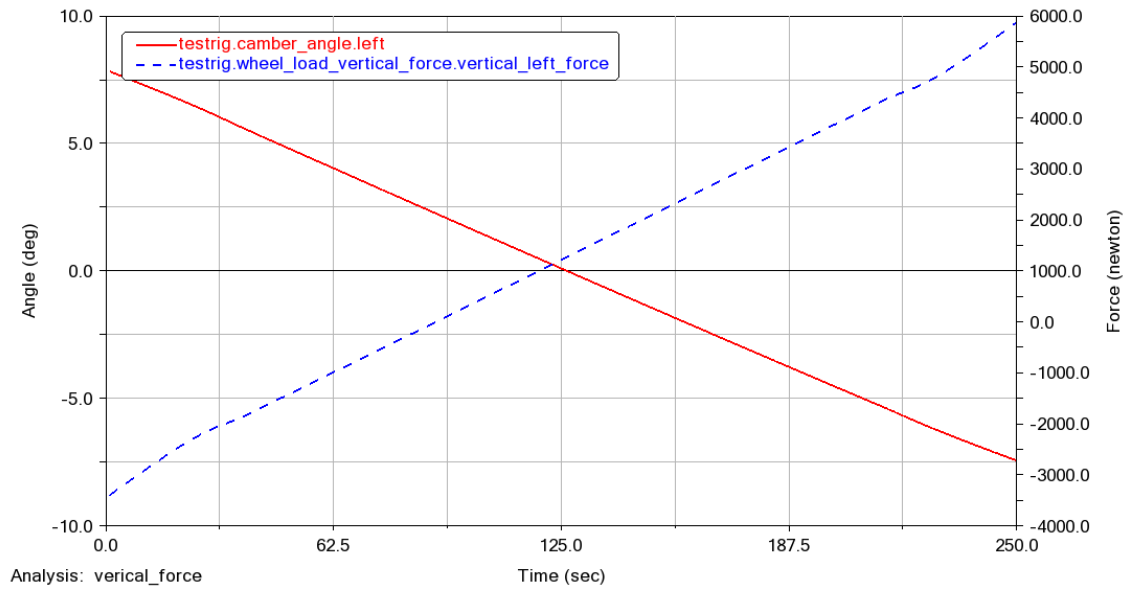


Figura 2.34: Comportamiento del ángulo camber en el vertical force multilink.

Fuente: Autores

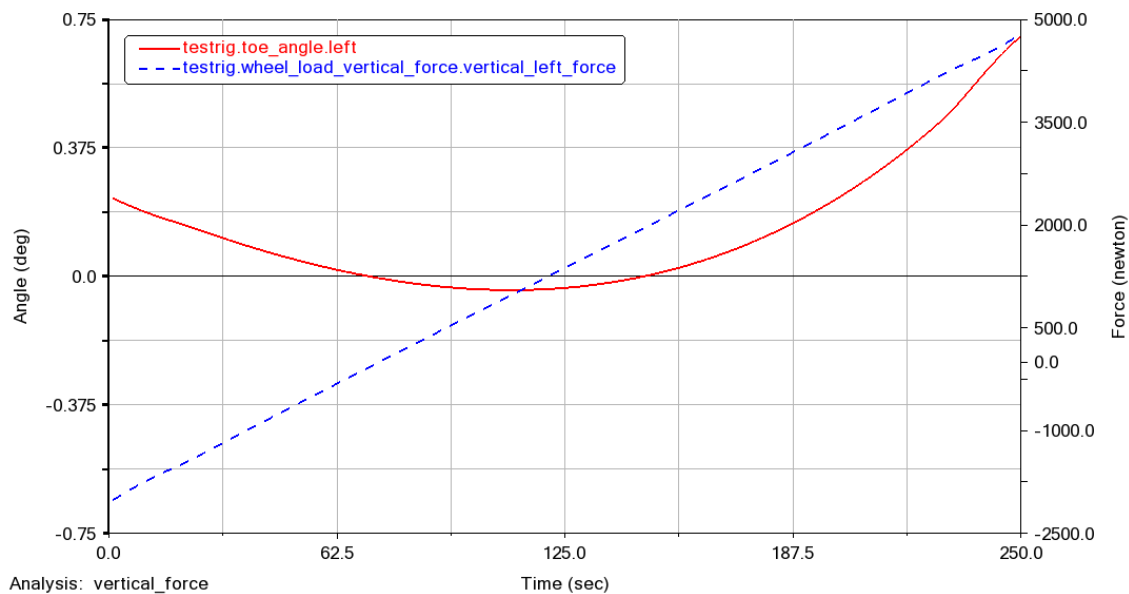


Figura 2.35: Comportamiento del ángulo toe en el vertical force multilink.

Fuente: Autores

2.3.4 Single Wheel Travel

La simulación dinámica *Single Wheel Travel* desplaza solo una rueda de la suspensión multilink de manera vertical, con esta simulación se evalúa como es el comportamiento de los ángulos de los neumáticos.

En la figura 2.36 se muestra el ángulo Camber de los dos neumáticos (izquierdo y derecho), y como indica las gráficas solo existe cambio en el ángulo de lado izquierdo donde se desplazó la rueda y el otro se mantiene en cero al ser una suspensión independiente.

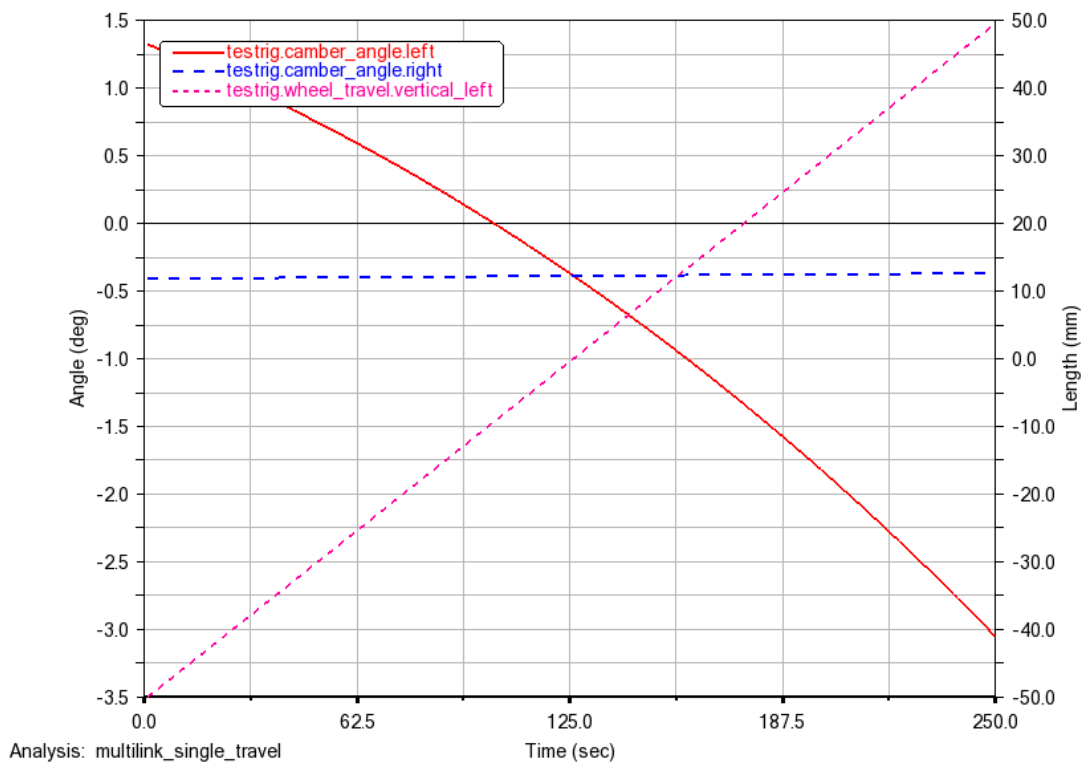


Figura 2.36: Comportamiento del ángulo camber en el *single wheel travel*.

Fuente: Autores

La figura 2.37 indica que ángulos Toe del neumático izquierdo y derecho se mantienen alrededor del cero, sin embargo, el ángulo del neumático izquierdo donde se realizó la simulación si posee una mayor variación en comparación al otro lado.

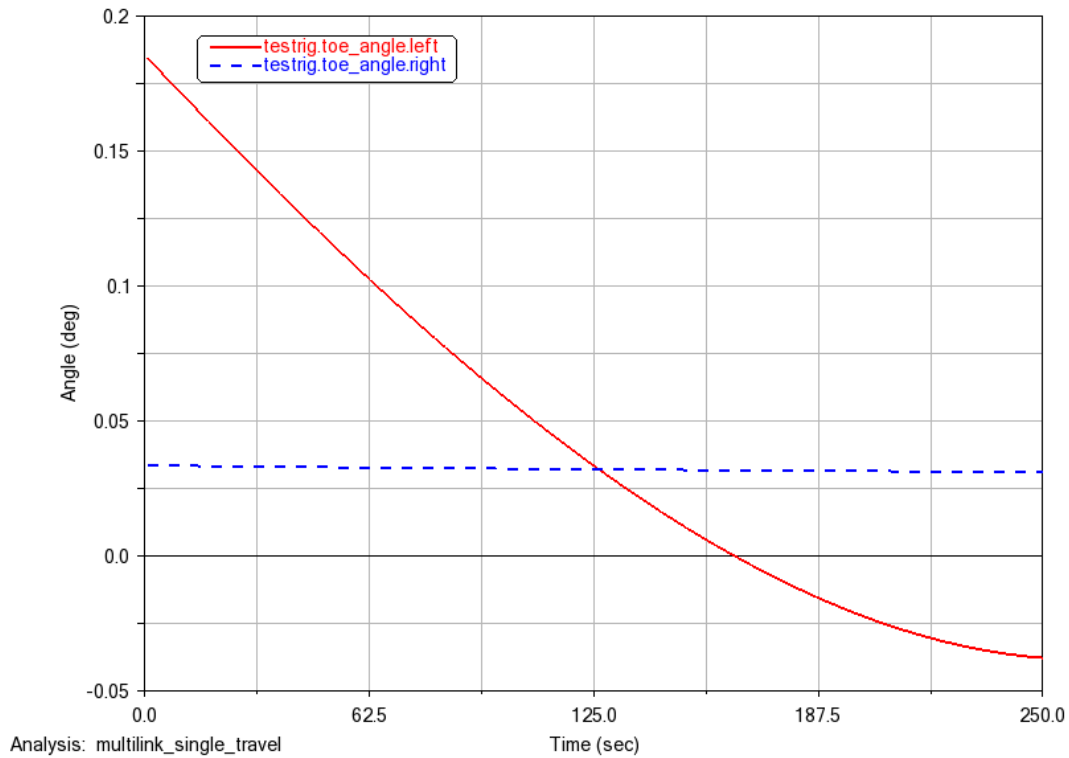


Figura 2.37: Comportamiento del ángulo toe en el single wheel travel.

Fuente: Autores

2.3.5 Variación de los parámetros de la suspensión multilink

Se consideran los siguientes parámetros a modificar en la suspensión multilink para evaluar el comportamiento de esta:

- Tamaño de los brazos de suspensión.
- La precarga del resorte.
- El tamaño del amortiguador.

Así, por tanto, se precede a realizar la modificación de los brazos de suspensión multilink para evaluar cómo se comporta la suspensión modificando su estructura y a su vez comparan los resultados que se obtiene con brazos de suspensión 50 mm más grandes y más pequeños con la configuración estándar. La figura 2.38 muestra el ángulo Camber de las configuraciones de la suspensión con brazos más grandes, con brazos más cortos y de la suspensión estándar donde se identifica que al reducir los brazos de suspensión el comportamiento es igual al diseño estándar, pero no sucede lo mismo cuando se alarga los brazos de suspensión, en este caso la variación del ángulo de Camber es menor, como lo indica el valor del eje vertical del ángulo camber.

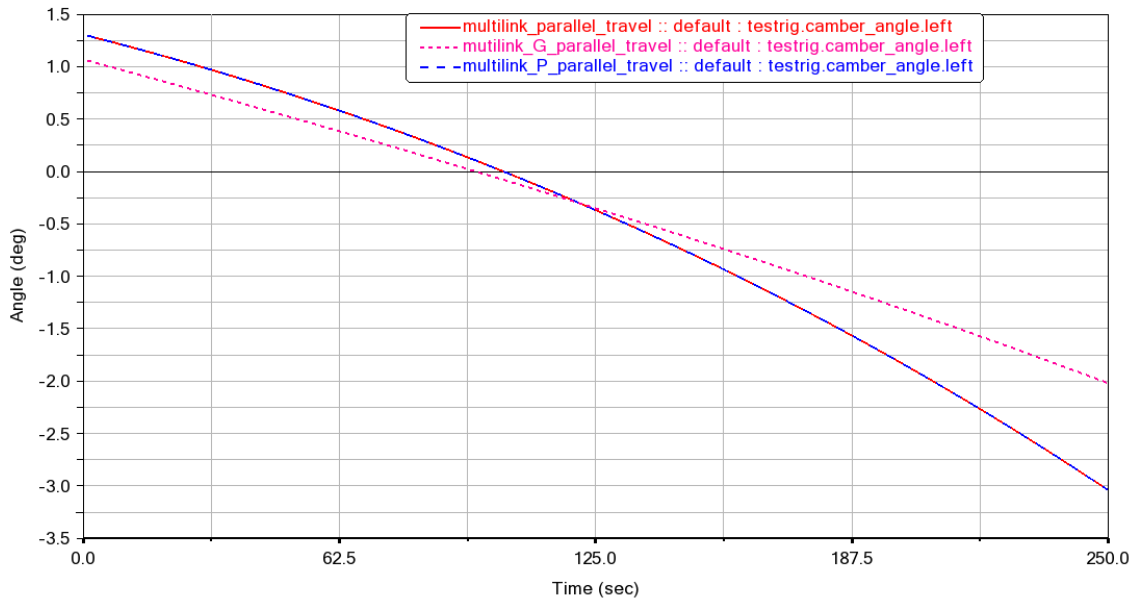


Figura 2.38: Ángulo camber de las configuraciones multilink.

Fuente: Autores

En la figura 2.39 se indica el ángulo Toe que no posee variación cuando se reduce los brazos de la suspensión en relación con la configuración inicial, sin embargo cuando se alarga los brazos se obtiene una variación menor del ángulo.

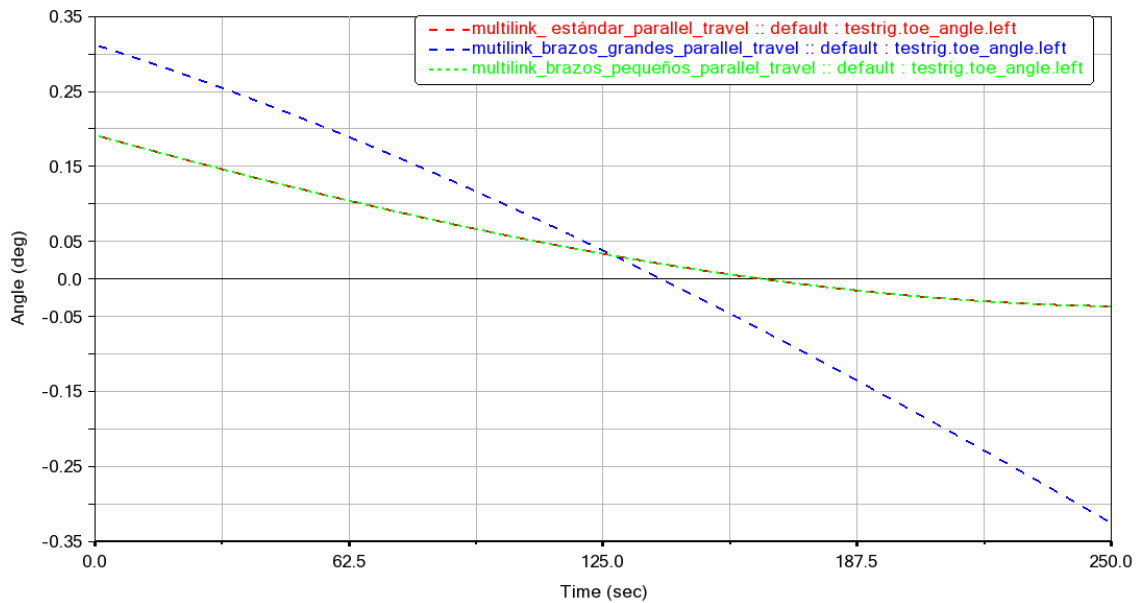


Figura 2.39: Ángulo toe de las configuraciones multilink.

Fuente: Autores

Además, se realiza un cambio en el tamaño del amortiguador y se procede a realizar la simulación con un amortiguador más grande y uno más pequeño. La figura 2.40 muestra los resultados del cambio del ángulo Camber de la suspensión con un amortiguador más

pequeño y un amortiguador más grande en comparación con el comportamiento del modelo estándar, estos resultados evidencian que no existe mayor variación en ninguno de los dos casos anteriormente expuestos

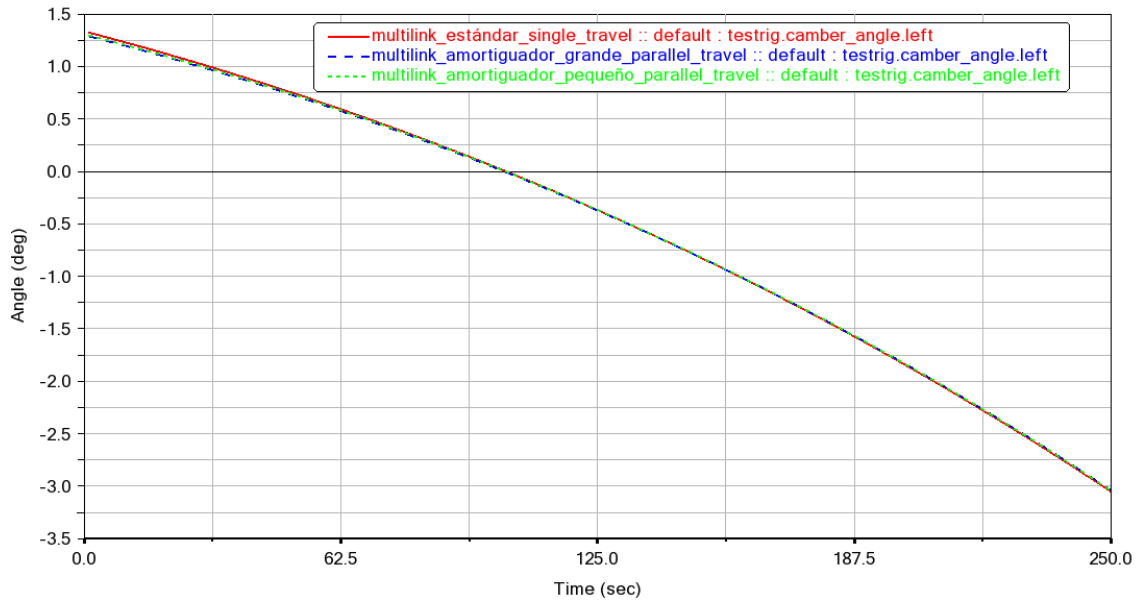


Figura 2.40: Ángulo camber con cambio en el tamaño del amortiguador.

Fuente: Autores

En la figura 2.40 muestra que no existe variación sustancial en el ángulo Toe al cambiar el tamaño del amortiguador en la suspensión multilink.

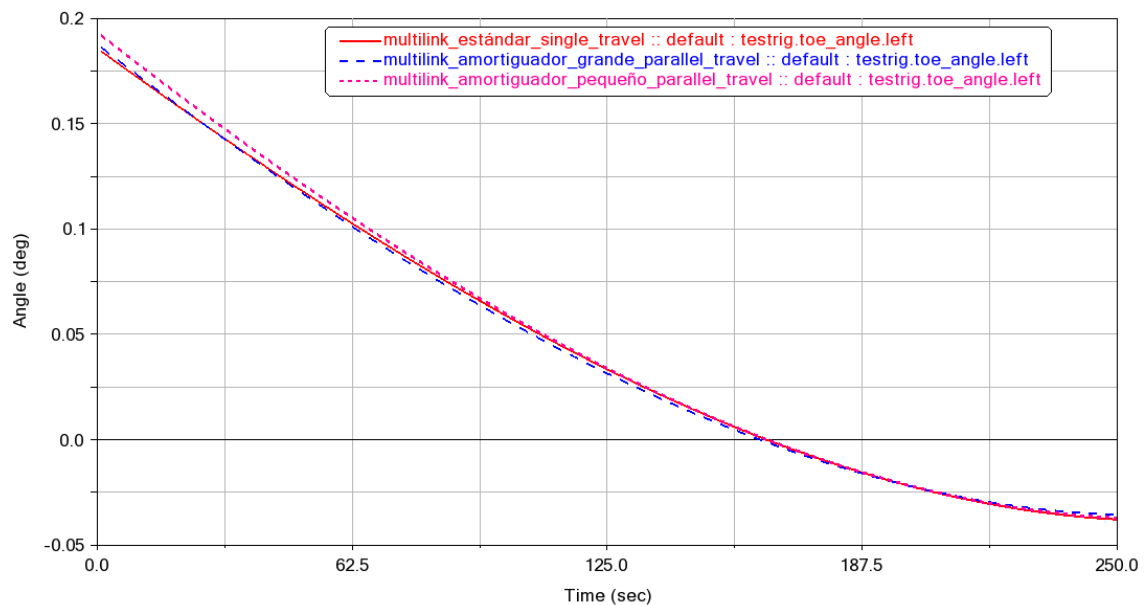


Figura 2.41: Ángulo toe con cambio en el tamaño del amortiguador.

Fuente: Autores

2.4 Suspensión de brazos articulados

Este tipo de suspensión está conformada por dos brazos que se articulan por un lado a la mangueta y por el otro lado al chasis, con un muelle y amortiguador en el centro de los dos brazos como lo indica la figura 2.36 del modelado de esta suspensión.



Figura 2.42: Suspensión de brazos articulados.

Fuente: Autores

El funcionamiento de la suspensión de brazos articulados es sencillo, cuando se mueve la rueda hacia arriba, se levantan los brazos en conjunto con la mangueta a este movimiento se opone el muelle y amortiguador que atenúa las oscilaciones transmitidas desde la calzada y para mantener las ruedas paralelas en las curvas el brazo superior es más corto, esto se evidencia en la figura 2.37 del ensamble de la suspensión de brazos articulados.

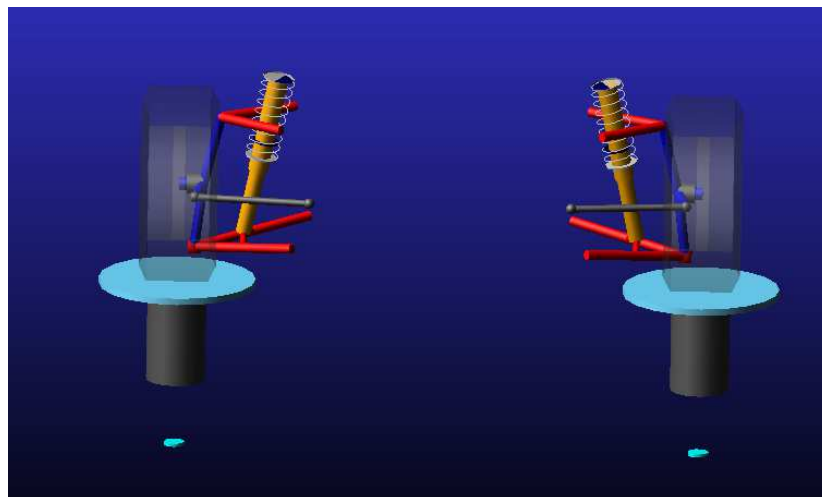


Figura 2.43: Ensamble de la suspensión de brazos articulados.

Fuente: Autores

2.4.1 Parallel Wheel Travel

La figura 2.38, 2.39 y 2.40 muestran los resultados del comportamiento de los ángulos Camber, Toe y Caster obtenidos de la simulación *Parallel Wheel Travel* de la suspensión de brazos de articulados, La figura 2.37 indica cómo se comporta el ángulo Camber con el desplazamiento vertical e la rueda, que posee una variación máxima negativa cercana a -1° .

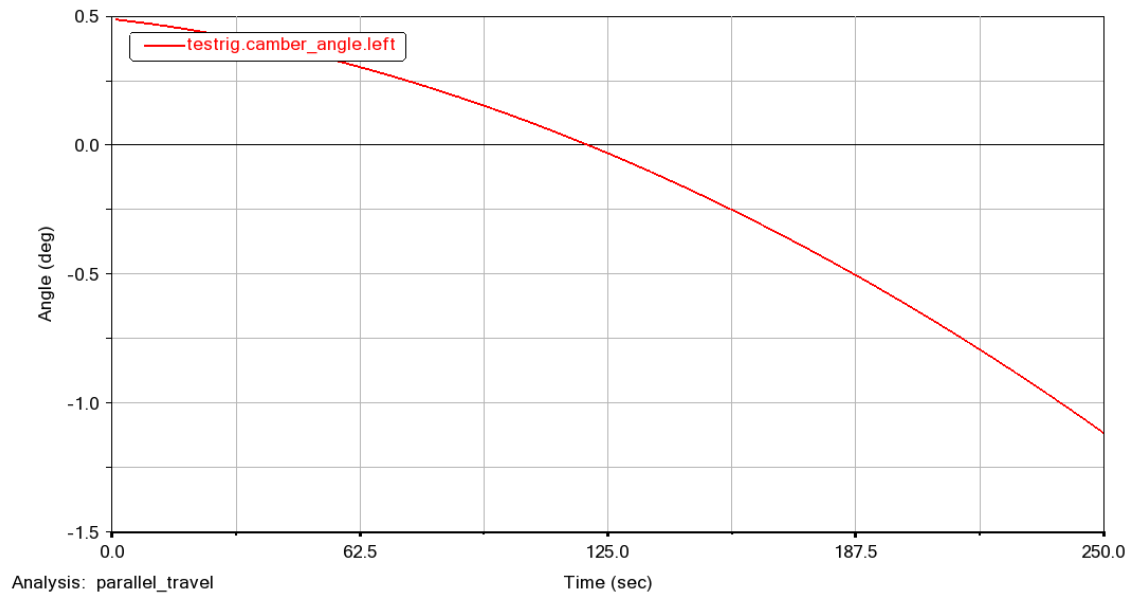


Figura 2.44: Ángulo camberr *Parallel Travel* suspensión brazos articulados.

Fuente: Autores

El ángulo Toe tiene una mayor variación de ángulo positiva con un valor de 2.5° . Al variar el ángulo Toe de forma positiva se consigue mejorar la estabilidad del vehículo, ya que con esto se contrarresta el efecto que se produce al aumentar las velocidades de que los neumáticos tienden a abrirse, logrando de esta forma que los neumáticos se mantengan rectos.

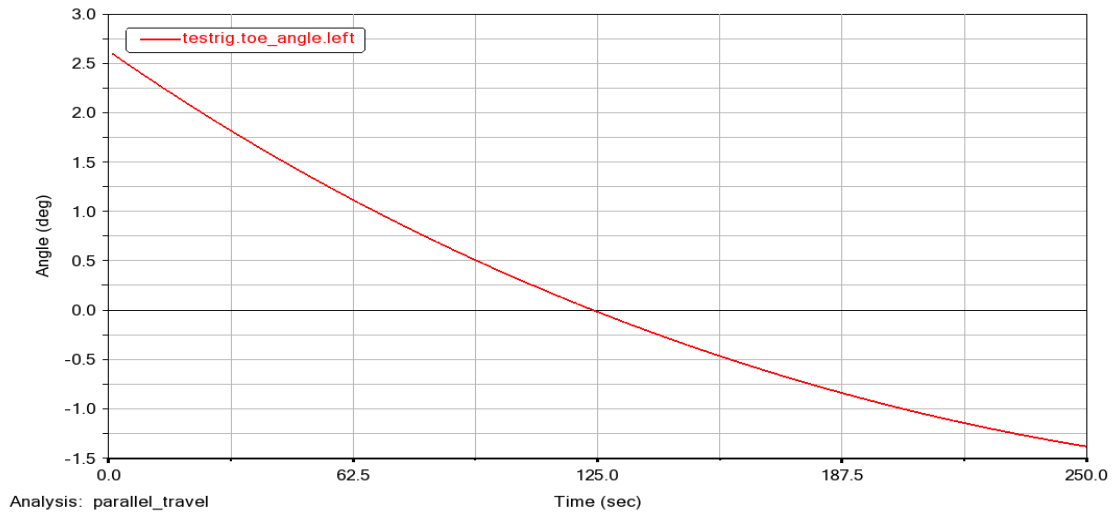


Figura 2.45: Ángulo toe Parallel Travel suspensión brazos articulados.

Fuente: Autores

También el ángulo Caster se ve afectado en la suspensión de brazos articulados al desplazar la rueda verticalmente este efecto se evidencia en la figura 2.39.

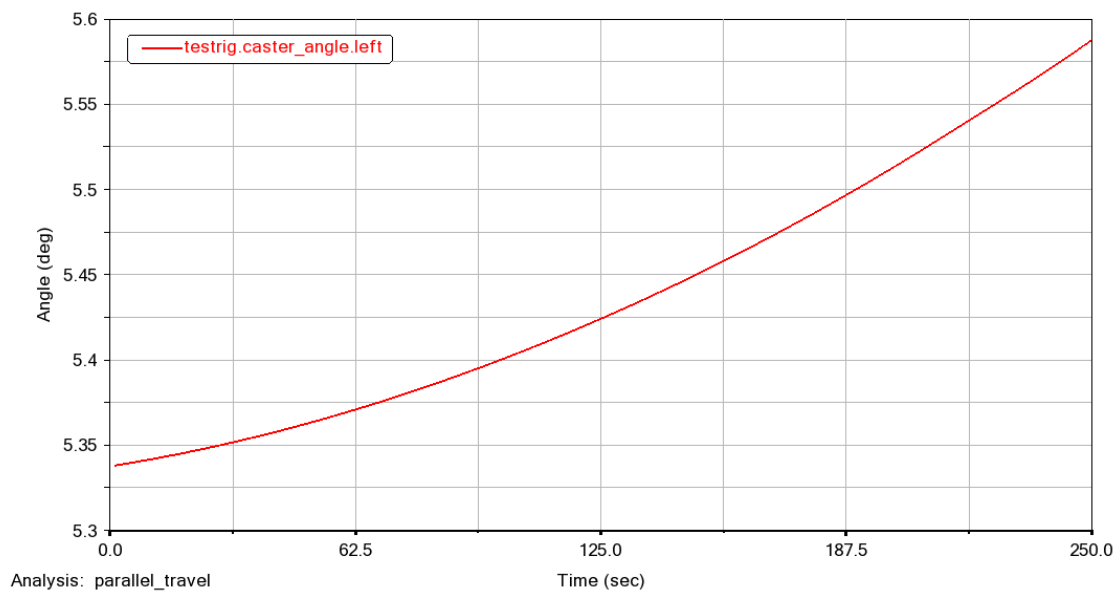


Figura 2.46: Ángulo caster Parallel Travel suspensión brazos articulados.

Fuente: Autores

2.4.2 Opposite Wheel Travel

Los resultados del análisis al desplazar la rueda desde abajo hacia arriba se indican en las figuras 2.40 y 2.41 muestran el comportamiento del ángulo Camber y Toe respectivamente donde se puede apreciar que la variación estos ángulos es similar.

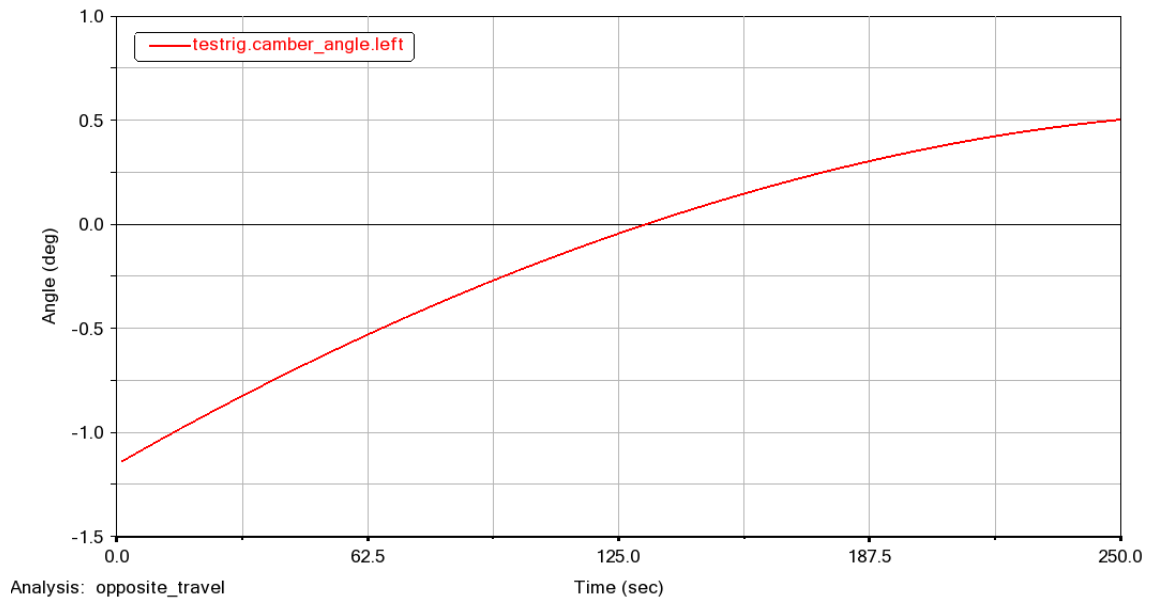


Figura 2.47: Ángulo camber opposite travel suspensión brazos articulados.

Fuente: Autores

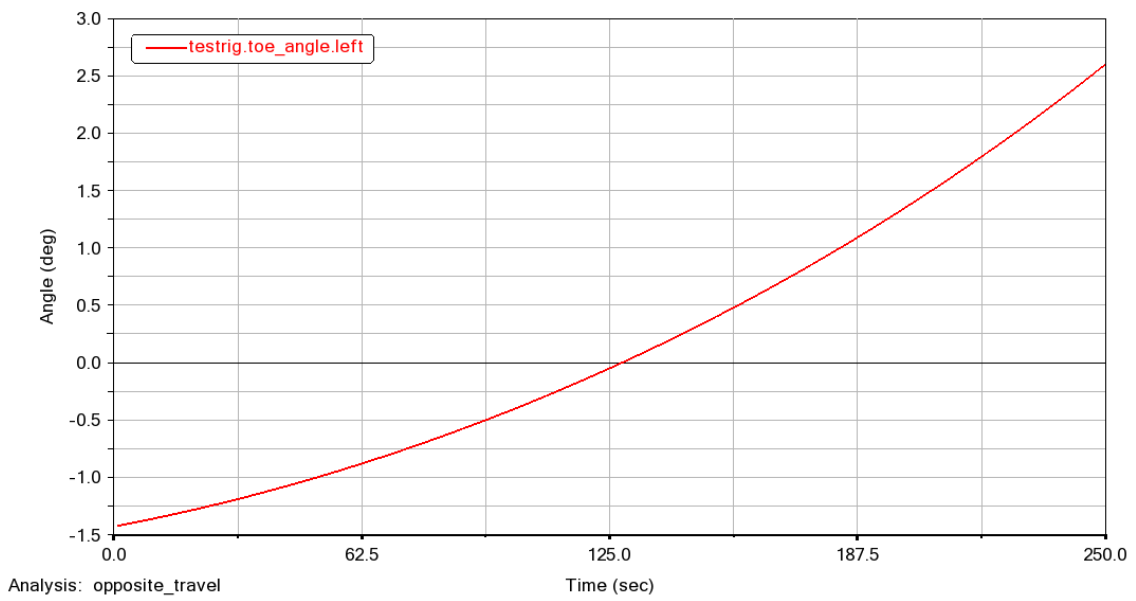


Figura 2.48: Ángulo toe opposite travel suspensión brazos articulados.

Fuente: Autores

En la figura 2.43 se muestra el comportamiento del ángulo Caster donde se aprecia que se mantiene alrededor de 5°

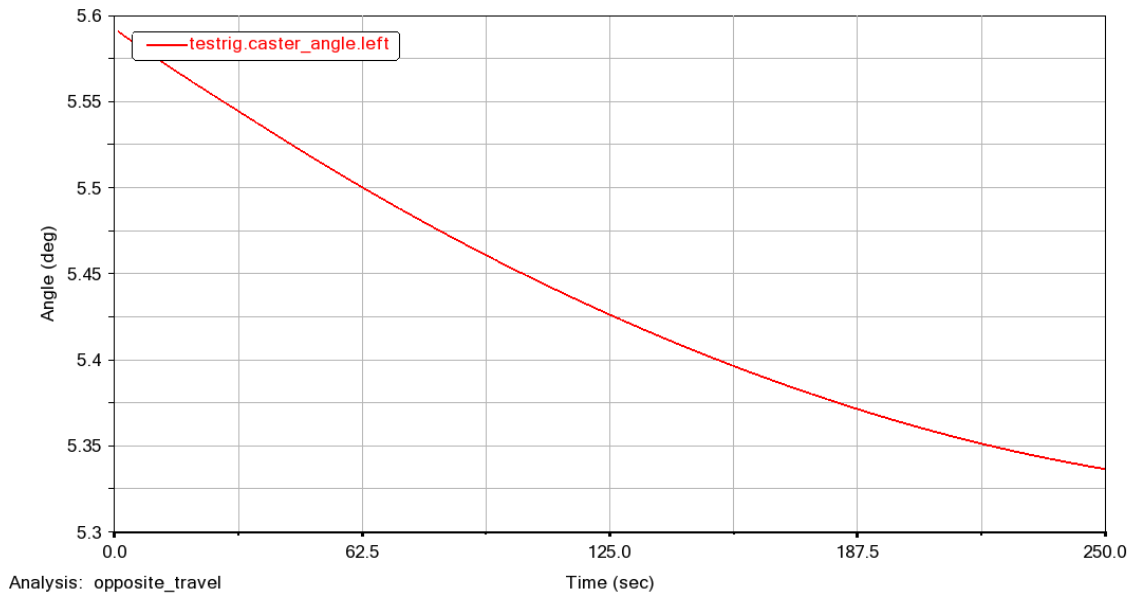


Figura 2.49: Ángulo caster opposite travel suspensión brazos articulados.

Fuente: Autores

2.4.3 Vertical Force

Al realizar la simulación de una fuerza sobre las ruedas del ensamble de la suspensión de brazos articulados el ángulo Toe se ve afectado de manera agresiva llegando a obtener valores de ángulos mayores a 15 grados, sin embargo el ángulo Camber se mantiene estable cercano a cero como lo muestra la figura 2.51

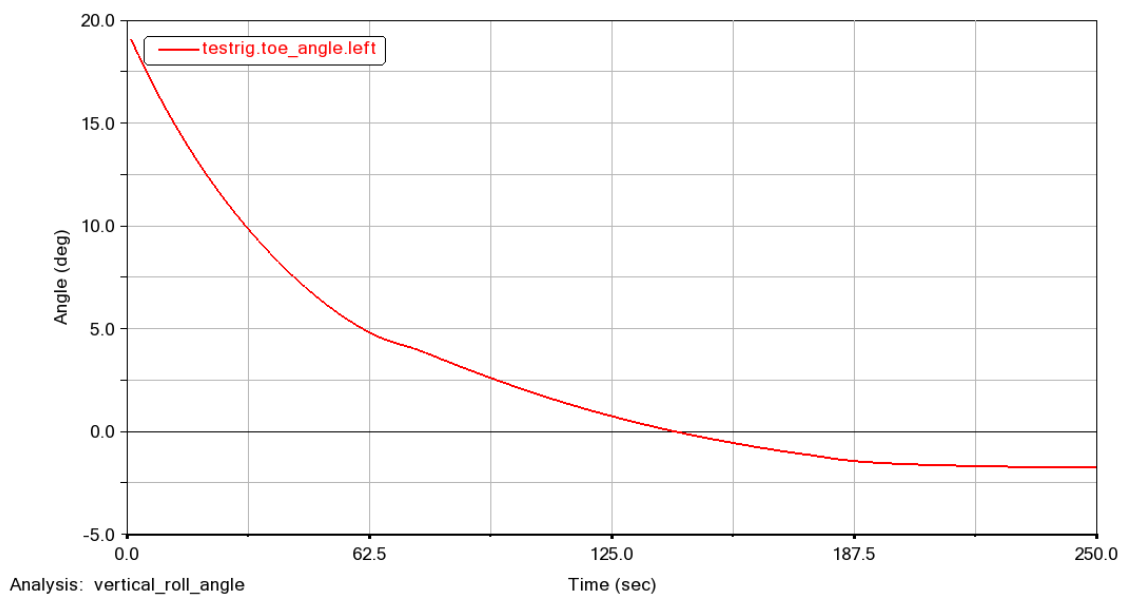


Figura 2.50: Ángulo toe vertical force suspensión brazos articulados.

Fuente: Autores

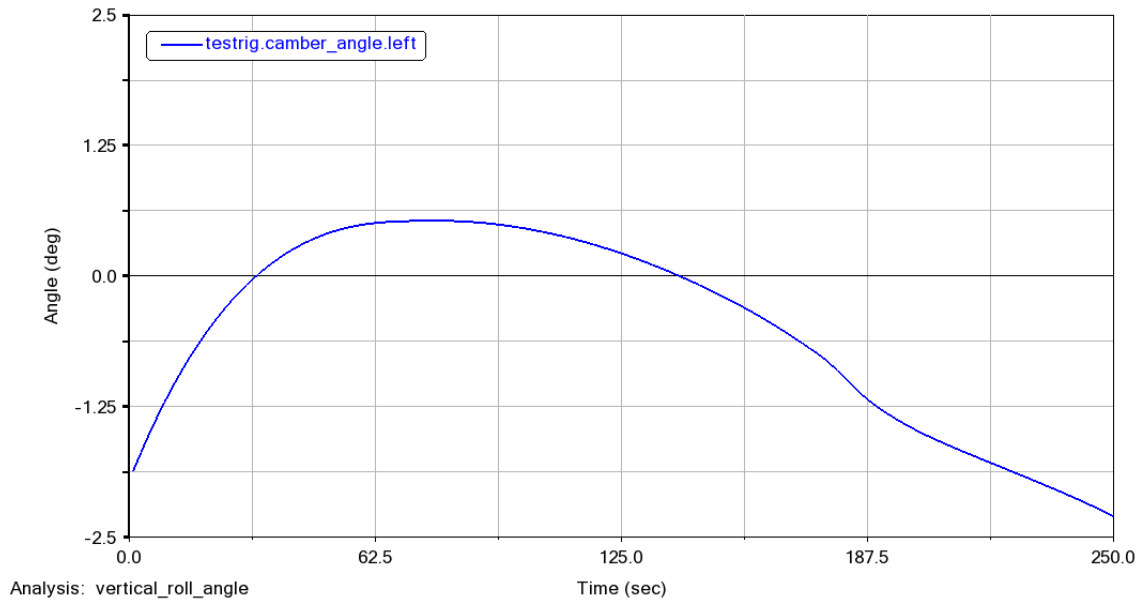


Figura 2.51: Ángulo toe ertical force suspensión brazos articulados.

Fuente: Autores

2.4.4 Single Wheel Travel

La simulación *Single Wheel Travel* desplaza solo una rueda de forma vertical, con esta simulación se puede evaluar el efecto que se produce de una rueda a otra.

En la figura 2.52 se indica el ángulo Camber de los dos neumáticos (izquierdo y derecho), y como muestra las curvas de evolución de los ángulos, solo existe cambio en el ángulo de lado izquierdo donde se desplazó la rueda y el ángulo de la otra rueda se mantiene neutro al ser una suspensión independiente no se transfiere el efecto que se produce en la otra rueda.

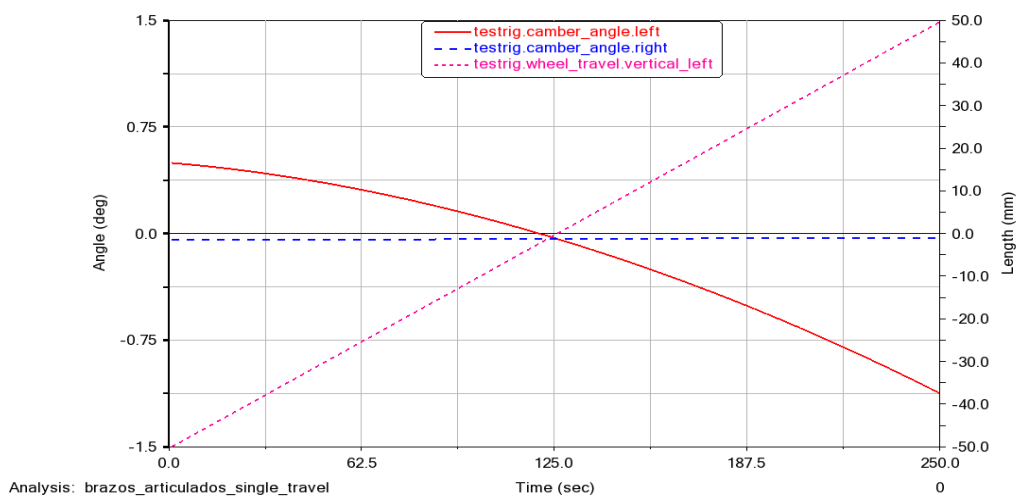


Figura 2.52: Comportamiento del ángulo camber en el single wheel travel.

Fuente: Autores

De igual forma que el ángulo Camber el ángulo Toe de la rueda derecha no se ve afectado en su valor como se puede ver en la figura 2.53.

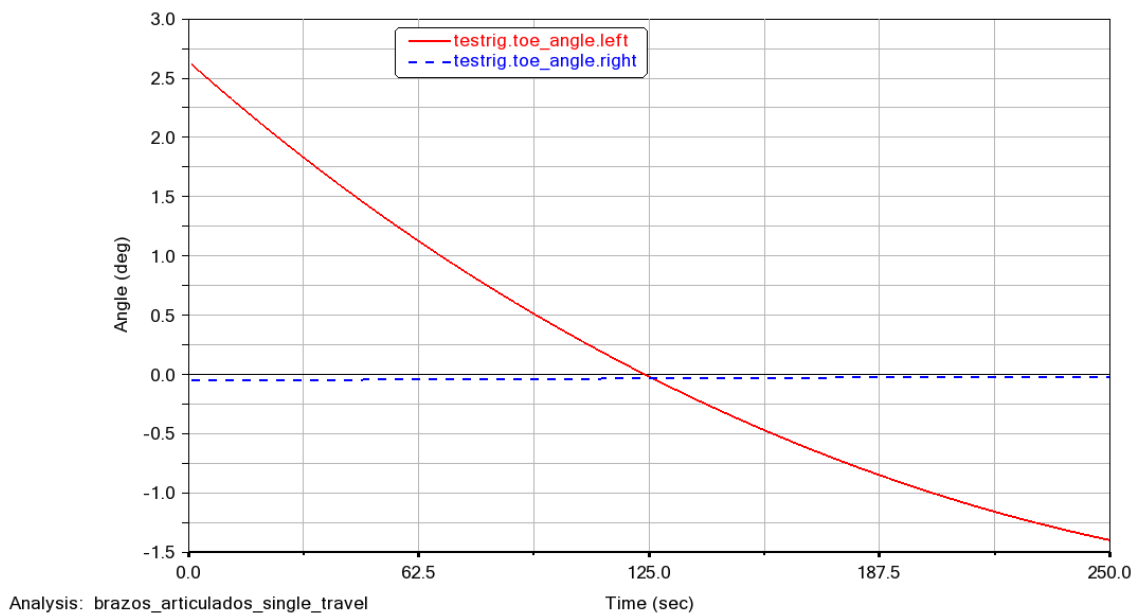


Figura 2.53: Comportamiento del ángulo toe en el single wheel travel.

Fuente: Autores

2.4.5 Variación de los parámetros de la suspensión de brazos articulados

Se procede a realizar el cambio de los siguientes parámetros en la suspensión de brazos articulados

- Tamaño del brazo inferior y superior.
- El tamaño del amortiguador.

Con la modificación de los brazos de suspensión inferior y superior se evalúa cómo se comporta la suspensión con los resultados que se obtiene con brazos de suspensión más grandes y más pequeños. La figura 2.54 muestra el ángulo Camber de acuerdo con los modificaciones realizadas en la suspensión, donde se identifica que al reducir 50 mm los brazos de suspensión la variación del Camber es mayor con relación a la configuración estándar, y con los brazos de suspensión alargados 50 mm se reduce el ángulo Camber negativo.

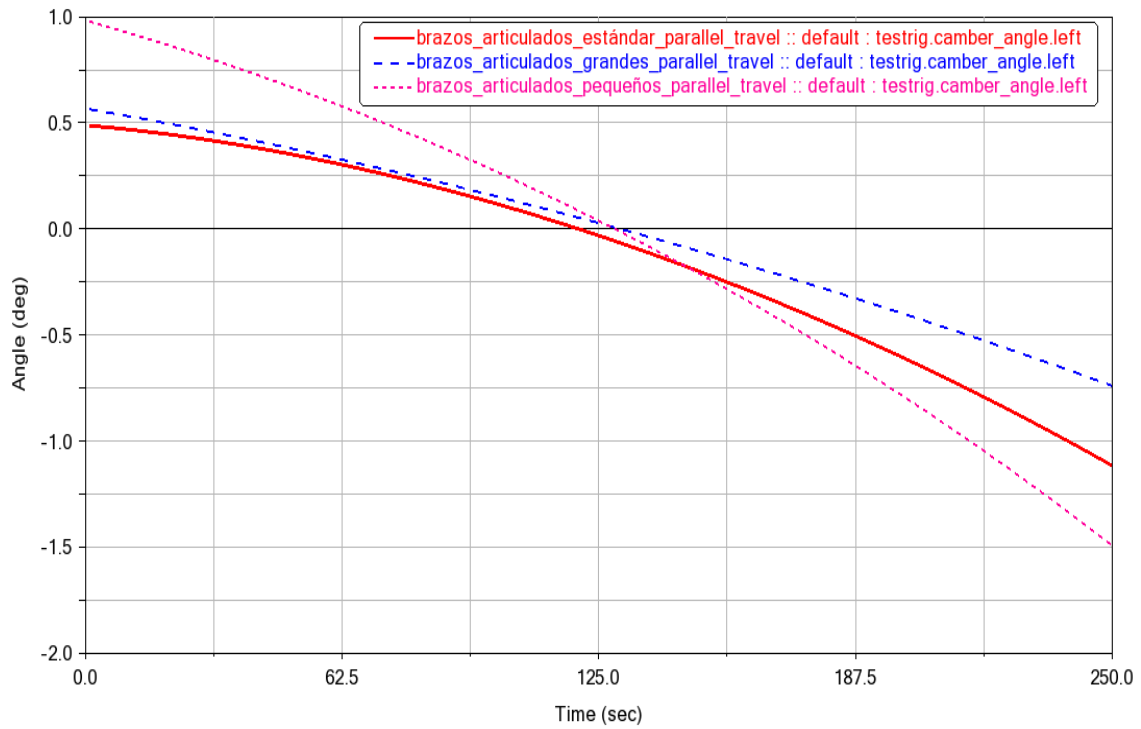


Figura 2.54: Ángulo camber con la modificación de los brazos de suspen

Fuente: Autores

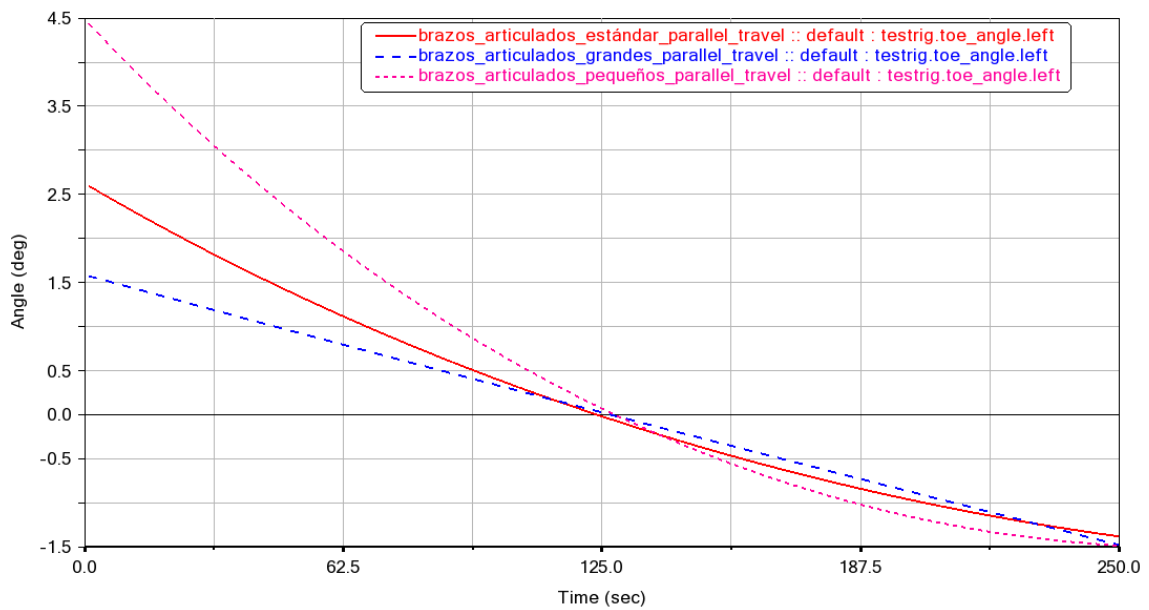


Figura 2.55: Ángulo toe con la modificación de los brazos de suspensión.

Fuente: Autores

En la figura 2.55 se puede ver que al incrementar el tamaño de los brazos se reduce el valor positivo del ángulo Toe, sin embargo cuando se reduce los brazos se obtiene una variación mayor del ángulo de hasta 4.5°.

Cambiado el tamaño del amortiguador se realiza la simulación con un amortiguador más grande y uno más pequeño en un 20% respectivamente. La figura 2.56 indica los resultados del cambio del ángulo Camber de la suspensión con un amortiguador más pequeño y un amortiguador más grande en comparación con el comportamiento del modelo estándar, estos resultados muestran que no existe mayor variación cuando se incrementa el tamaño del amortiguador, pero si aumenta el valor positivo del ángulo Toe cuando se posee un amortiguador más pequeño.

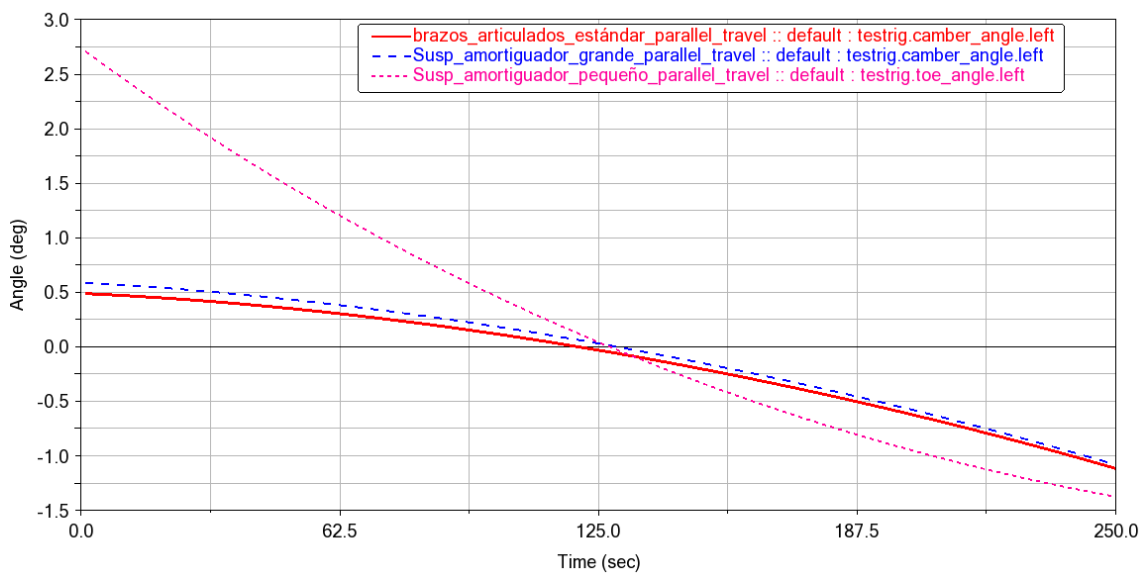


Figura 2.56: Ángulo camber con cambio en el tamaño del amortiguador.

Fuente: Autores

La figura 2.57 muestra que no existe variación sustancial en el ángulo Toe al cambiar el tamaño del amortiguador en la suspensión de brazos articulados

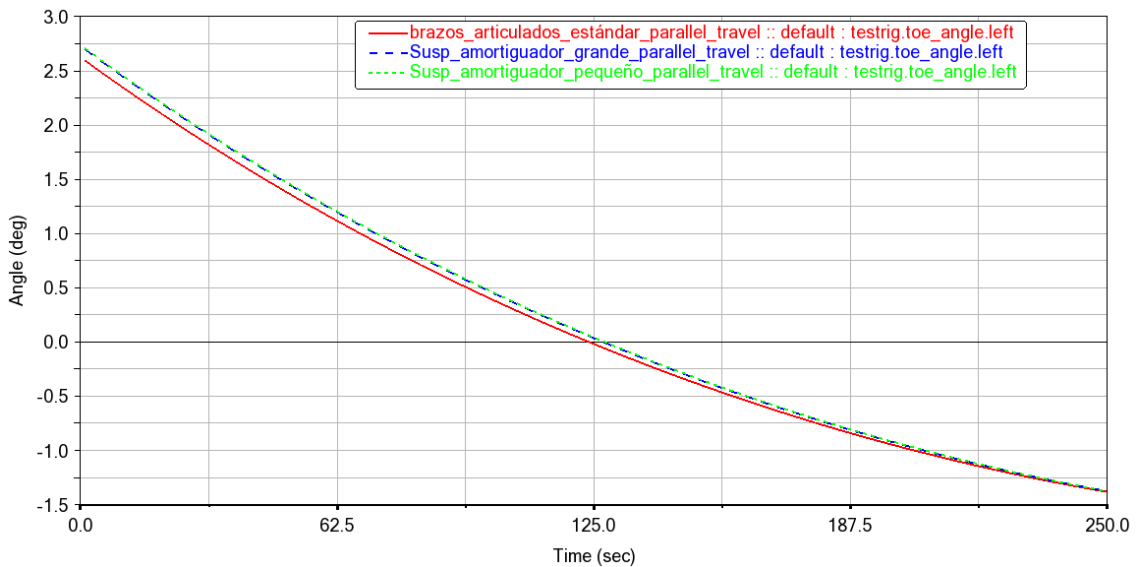


Figura 2.57: Ángulo toe con cambio en el tamaño del amortiguador.

Fuente: Autores

2.5 Suspensión rígida con resorte

Este tipo de suspensión tiene un eje rígido sobre el cual están soportadas las dos ruedas y son utilizadas comúnmente en el eje posterior del vehículo. En este tipo de suspensión está conformado además del eje rígido por resortes, brazos de control, amortiguadores y una barra de torsión; los brazos de control se encargan de la estabilidad del eje ya que estos están colocados entre el chasis y el eje rígido. En la figura 2.58 se indica la suspensión rígida con resorte modelada en el software Adams Car

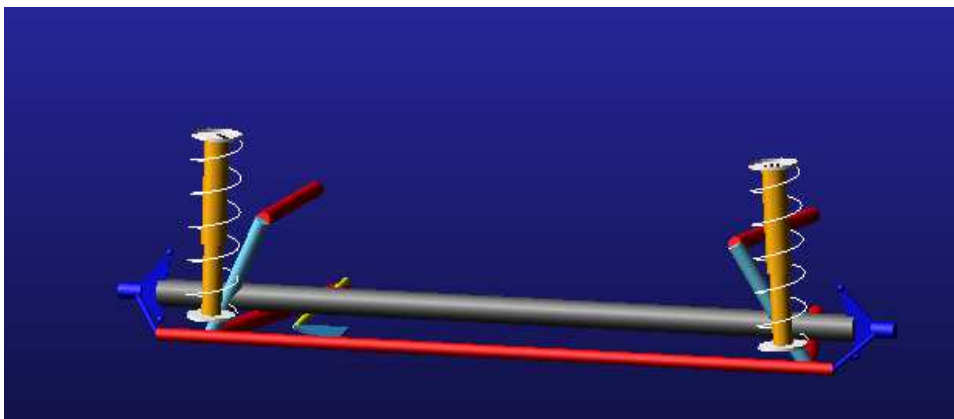


Figura 2.58: Suspensión rígida con resorte.

Fuente: Autores

Los brazos de control de la suspensión rígida con resorte están montados de manera longitudinal y unidos al eje rígido en ambos lados tal como se muestra en la figura 2.59 del diseño de la suspensión.

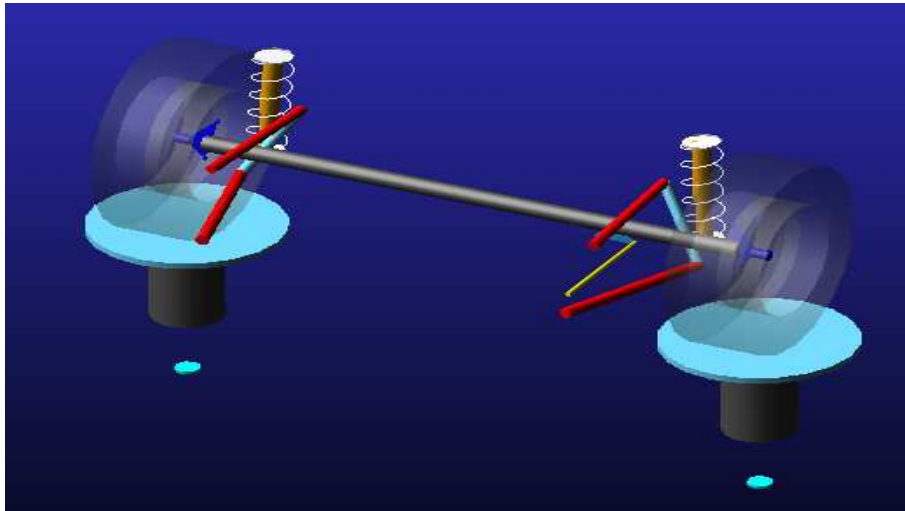


Figura 2.59: *Ensamble suspensión rígida con resorte.*

Fuente: Autores

2.5.1 Paralled Wheel Travel

Al tratarse de una suspensión de eje rígido la simulación manifiesta que no existe mayor variación en los ángulos Camber y Toe, estos se quedan entornno al cero como se puede ver en las figura 2.60 y 2.61 respectivamnete, por este motivo se descarta cambios de alineacion de las ruedas y al mantenerse las ruedas paralelas a la calzada se incrementa la vida util de los neumáticos al tener un desgaste uniforme.

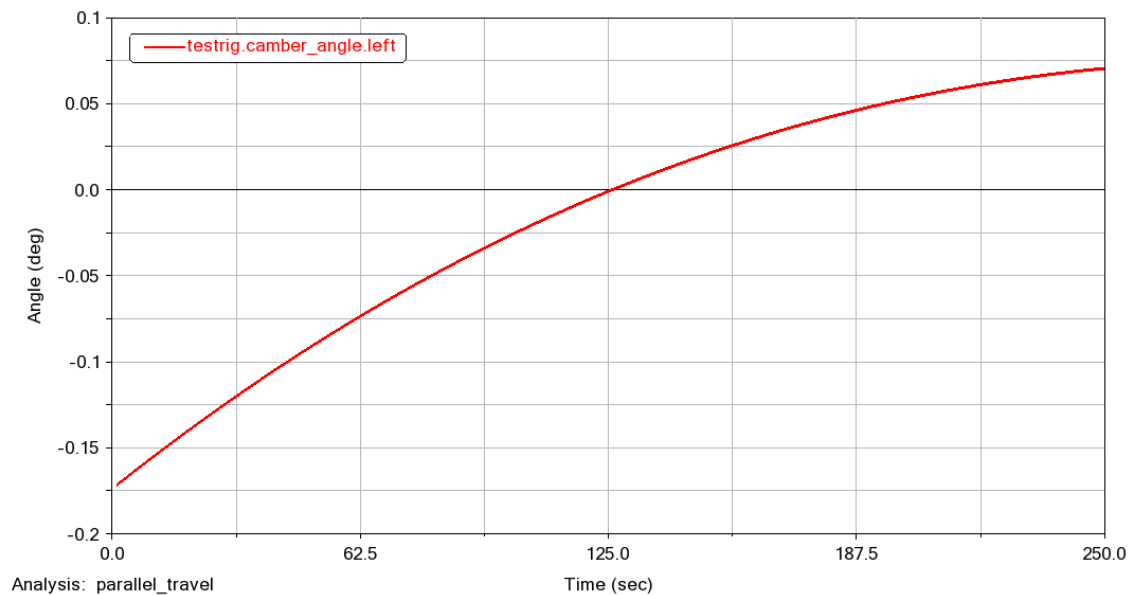


Figura 2.60: *Ángulo Camber Parallel Travel suspensión rígida con resorte.*

Fuente: Autores

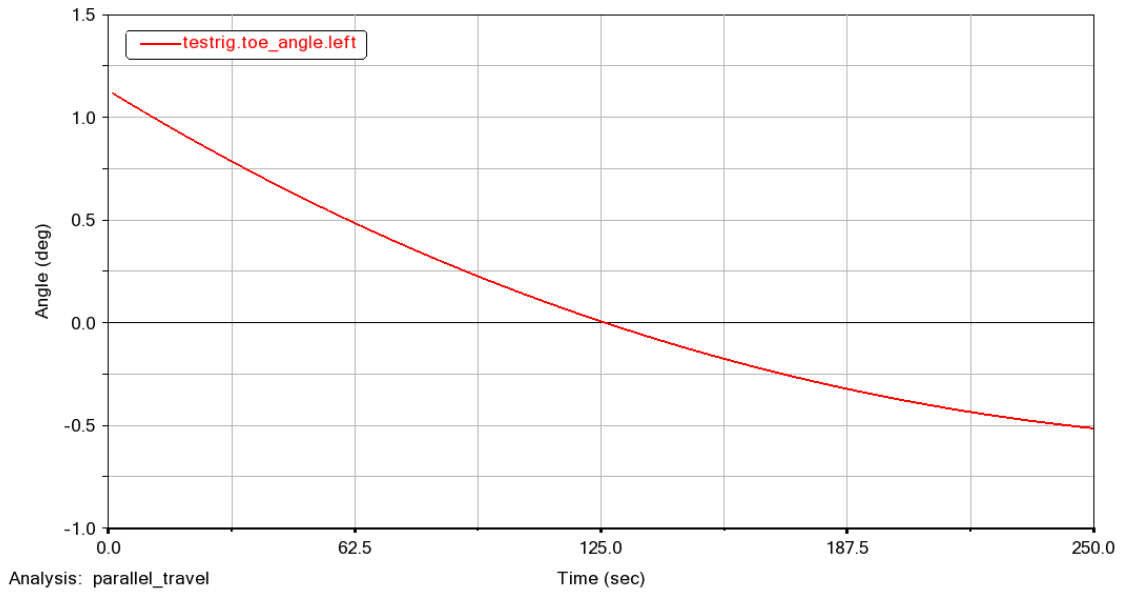


Figura 2.61: Ángulo Toe Parallel Travel suspensión rígida con resorte.

Fuente: Autores

De manera inversa a los ángulos Camber y Toe el ángulo Caster posee una variación máxima de hasta 9° como se aprecia en la figura 2.62.

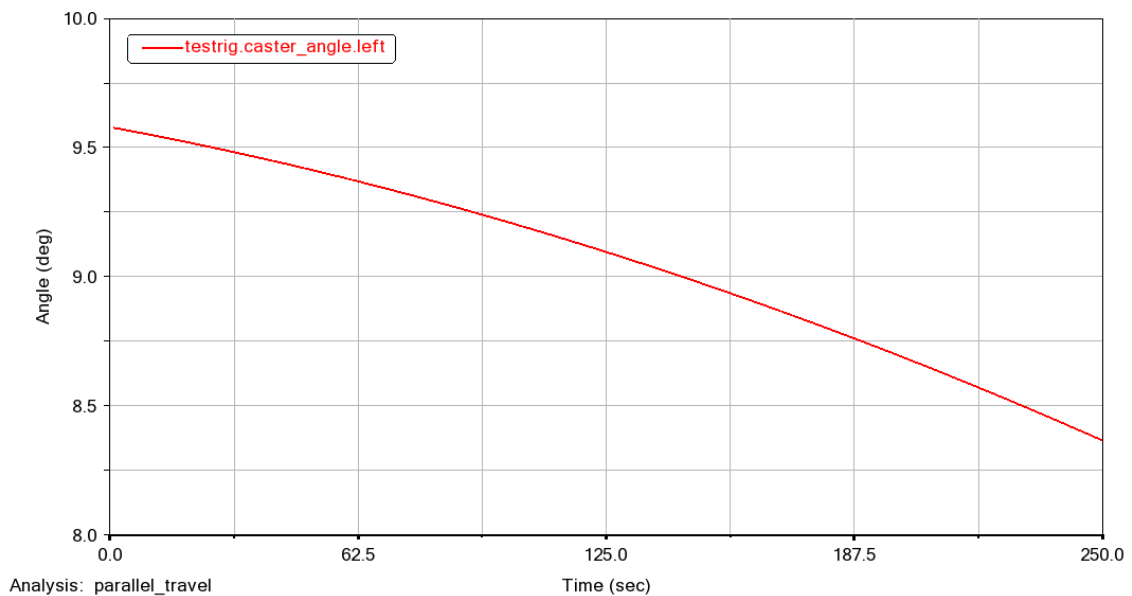


Figura 2.62: Ángulo Caster Parallel Travel suspensión rígida con resorte.

Fuente: Autores

2.5.2 Opposite Wheel Travel

De cauderdo con el análisis *Parallel Travel* no sucede lo mismo cuando se desplaza los centros de la rueda de arriba hacia abajo ya que los resultados de la simulación *Opposite Wheel Travel* muestran que la variación de los ángulos Camber y Toe es sustancial mientras el desplazamiento

del neumático de su centro es mayor como lo indican las figuras 2.63 y 2.64, es decir si la variación es alta (50mm), la variación del ángulo también es alta (3.5°)

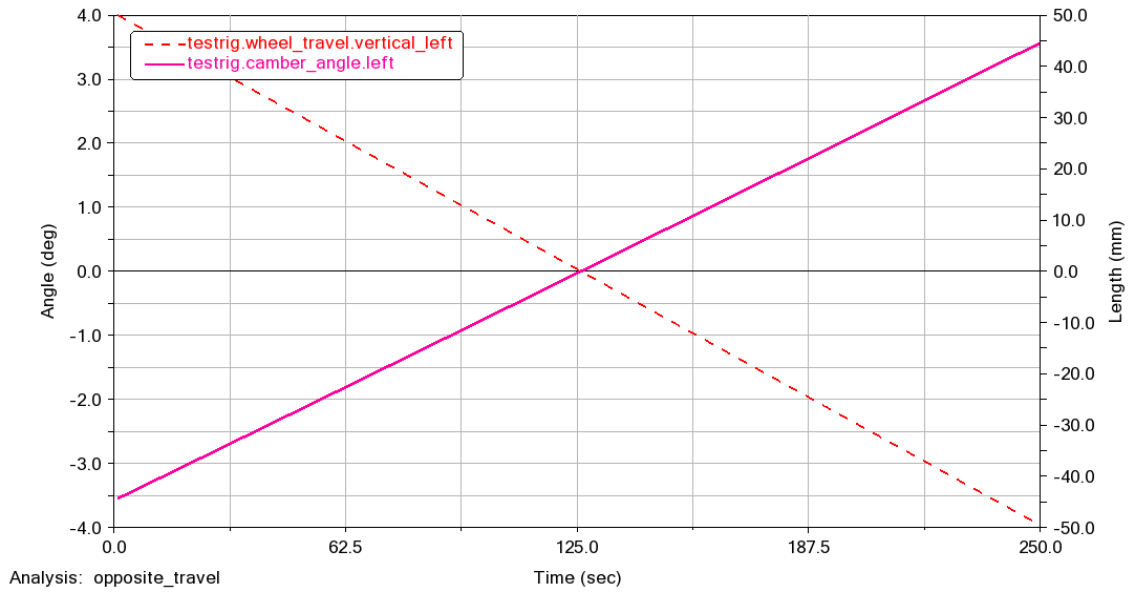


Figura 2.63: Ángulo Camber Opposite Wheel Travel suspensión rígida con resorte.

Fuente: Autores

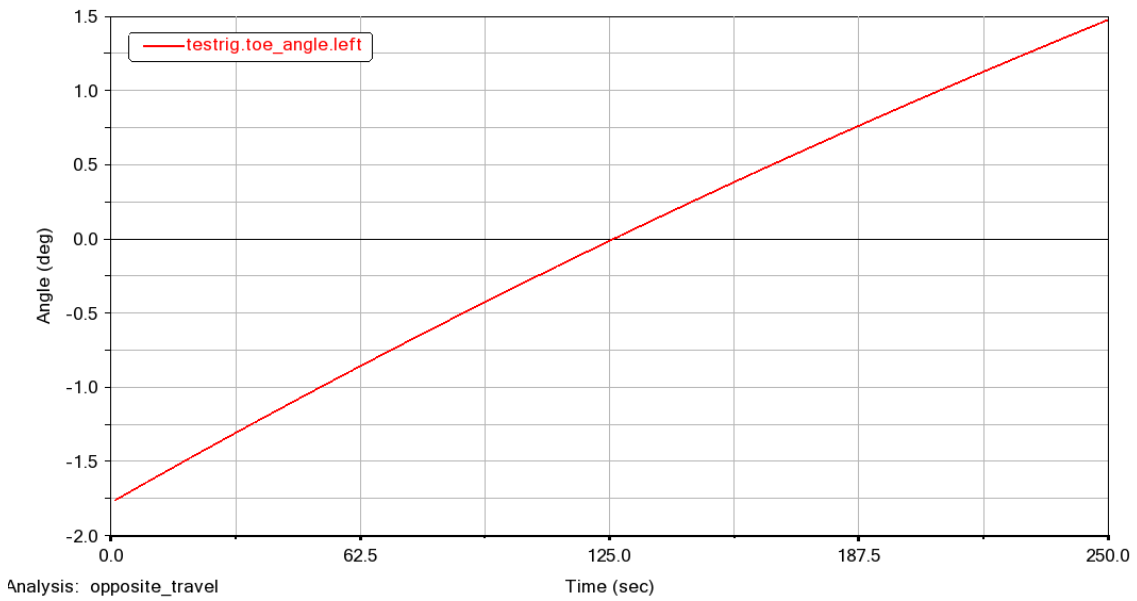


Figura 2.64: Ángulo Toe Opposite Wheel Travel suspensión rígida con resorte.

Fuente: Autores

El ángulo caster se mantiene alrededor de 9° al desplazarse las ruedas de abajo hacia arriba

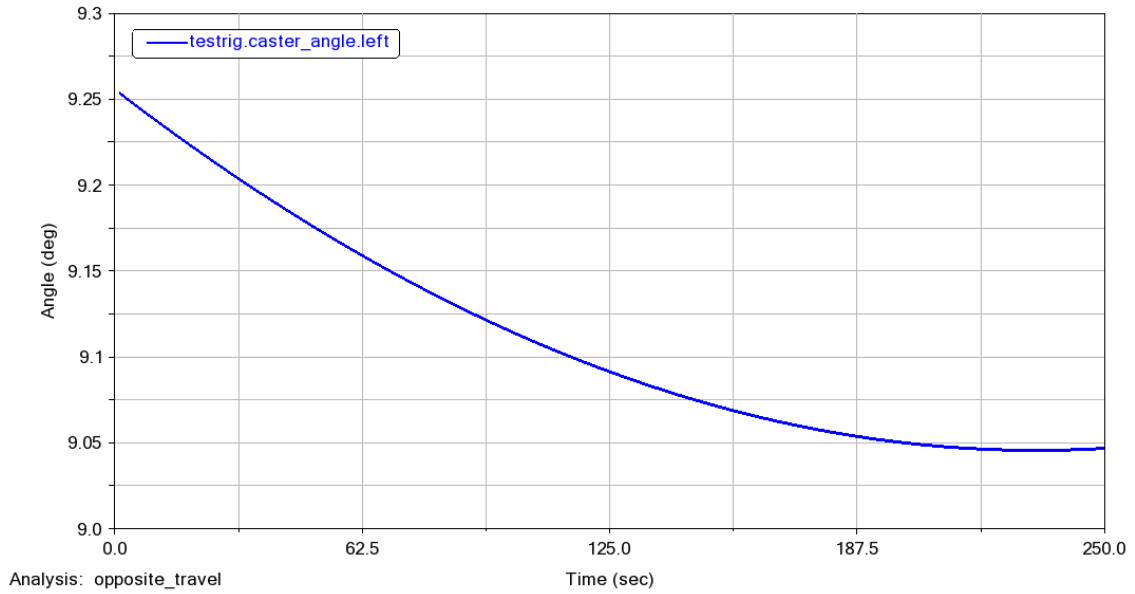


Figura 2.65: Ángulo Caster Opposite Travel suspensión rígida con resorte.

Fuente: Autores

2.5.3 Roll & Vertical Force

Como el movimiento de las ruedas izquierda y derecha es mutuo, se analiza que sucede al aplicar una carga sobre las ruedas. El resultado del análisis *Vertical Force* se indica en la figura 2.66 y 2.67 donde se observa que el comportamiento de los ángulos Toe y Camber es inversamente proporcional de acuerdo con la carga aplicada ya sea esta negativa o positiva.

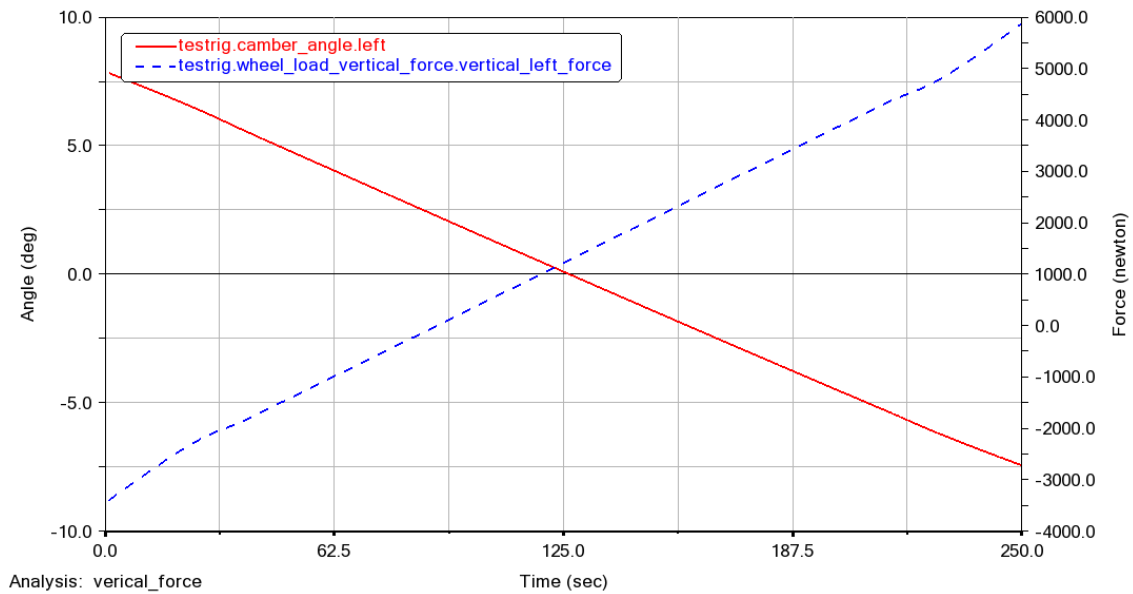


Figura 2.66: Ángulo Camber vertical force suspensión rígida con resorte.

Fuente: Autores

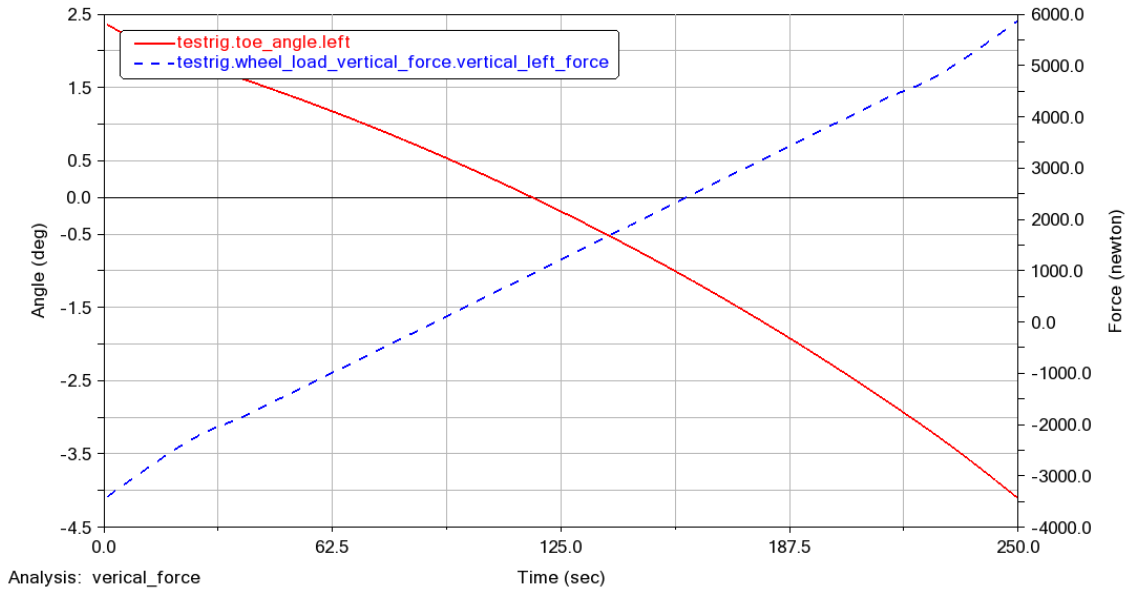


Figura 2.67: Ángulo Toe vertical force suspensión rígida con resorte.

Fuente: Autores

2.5.4 Single Wheel Travel

Se realiza la simulación dinámica de una sola rueda para comprobar la trasferencia del efecto que se produce en la otra rueda al estar unidas mediante un eje rígido, en las figuras 2.68 y 2.69 podemos evidenciar que existe un cambio similar en el comportamiento de los dos ángulos Toe y Camber.

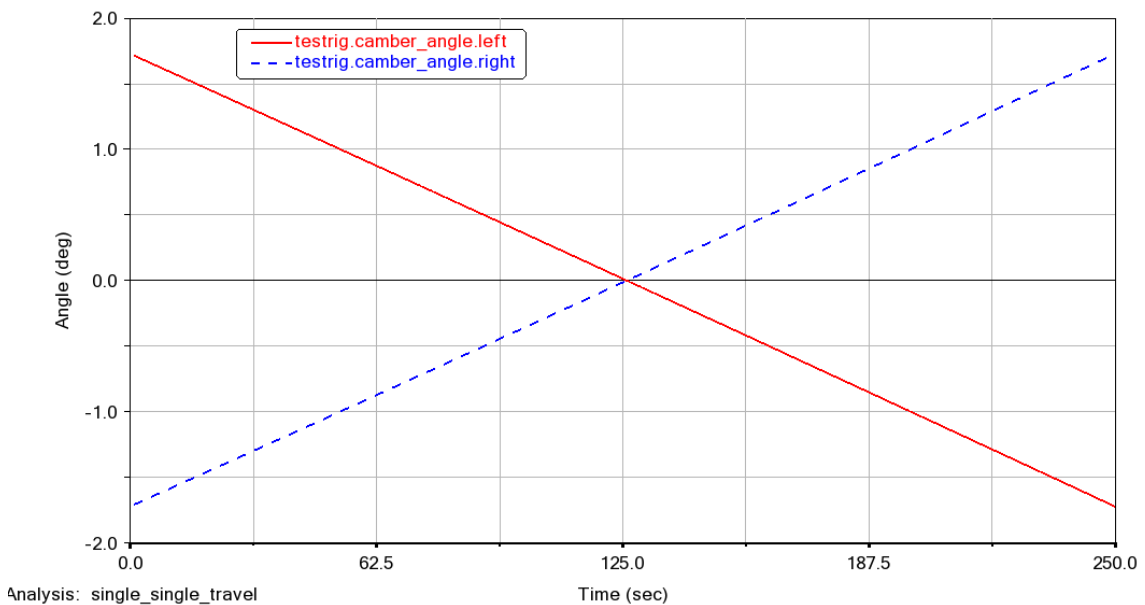


Figura 2.68: Ángulo Cmber single travel suspensión rígida con resorte.

Fuente: Autores

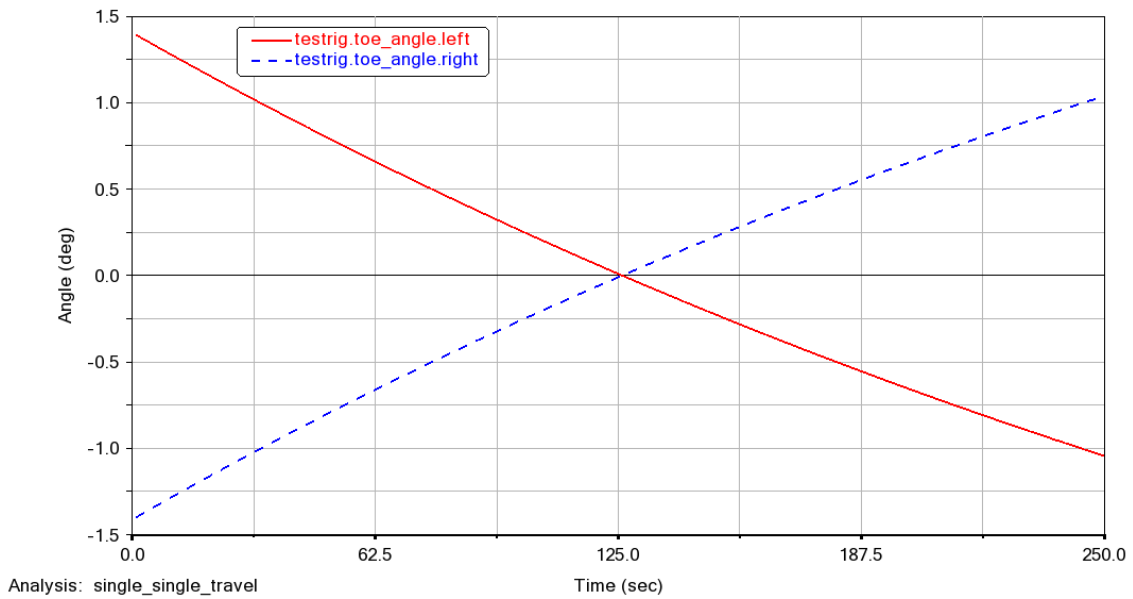


Figura 2.69: Ángulo Toe single travel suspensión rígida con resorte.

Fuente: Autores

2.5.5 Variación de los parámetros de la suspensión rígida con resorte

En la suspensión rígida con resorte se procedió a modificar los siguientes parámetros:

- Tamaño de los brazos de control.
- La precarga del resorte.
- El tamaño del amortiguador.

Para evaluar cómo se comporta la suspensión rígida con resorte se comparan los resultados que se obtiene con brazos de control 5 cm más grandes y con 5 cm más pequeños

La figura 2.70 muestra el ángulo Camber de las configuraciones de la suspensión con brazos más grandes, con brazos más cortos y de la suspensión estándar donde se identifica que al realizar los cambios en los brazos de control la variación en el ángulo Camber es mínima como lo indica el eje vertical del valor del ángulo.

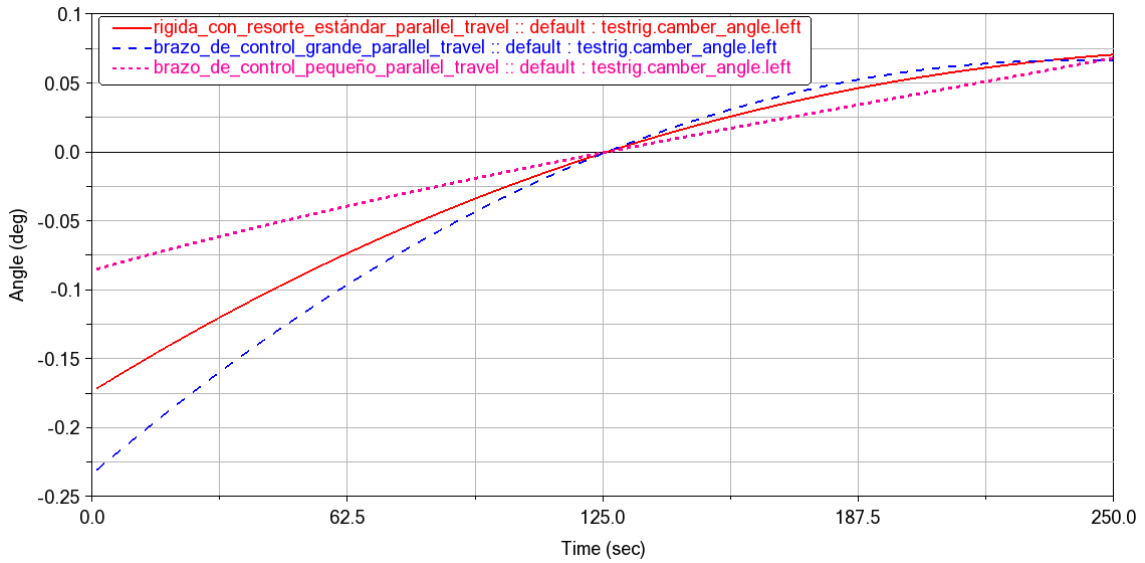


Figura 2.70: Ángulo camber con modificación en los brazos de control.

Fuente: Autores

La figura 2.71 indica que el ángulo Toe posee una reducción en el valor del ángulo cuando se reduce los brazos de control en relación con la configuración inicial, sin embargo cuando se alarga los brazos se obtiene una variación mayor en el ángulo

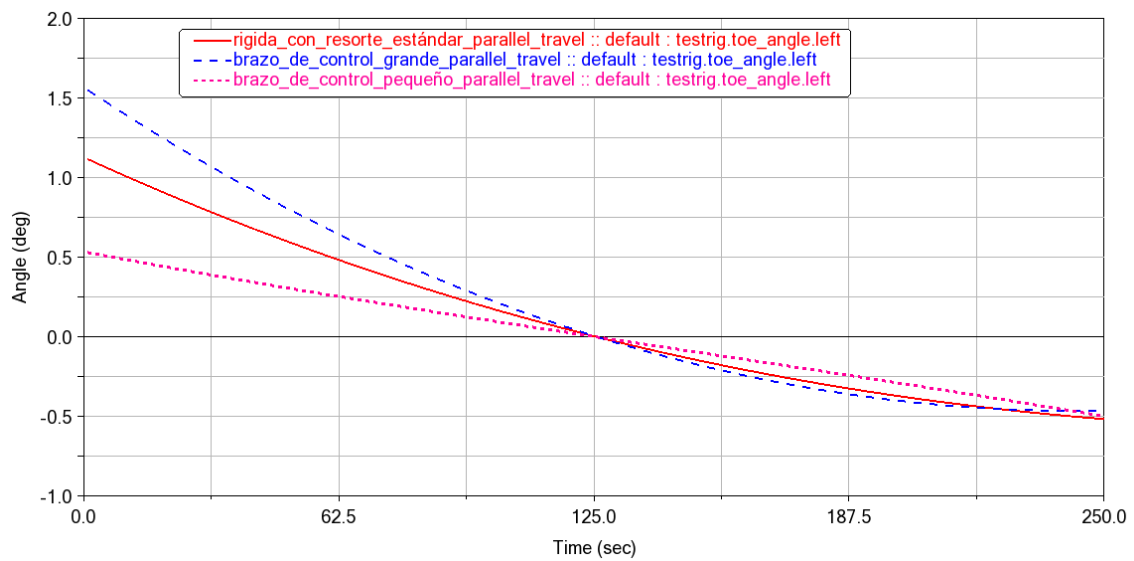


Figura 2.71: Ángulo toe con modificación en los brazos de control.

Fuente: Autores

Además, se realiza un cambio del 20% en el tamaño del amortiguador y se procede a realizar la simulación de desplazamiento vertical de las ruedas con un amortiguador más grande y uno más pequeño para evaluar el comportamiento de los ángulos, pero el único ángulo que se ve afectado es el ángulo Caster, cuya variación se indica en la figura 2.74

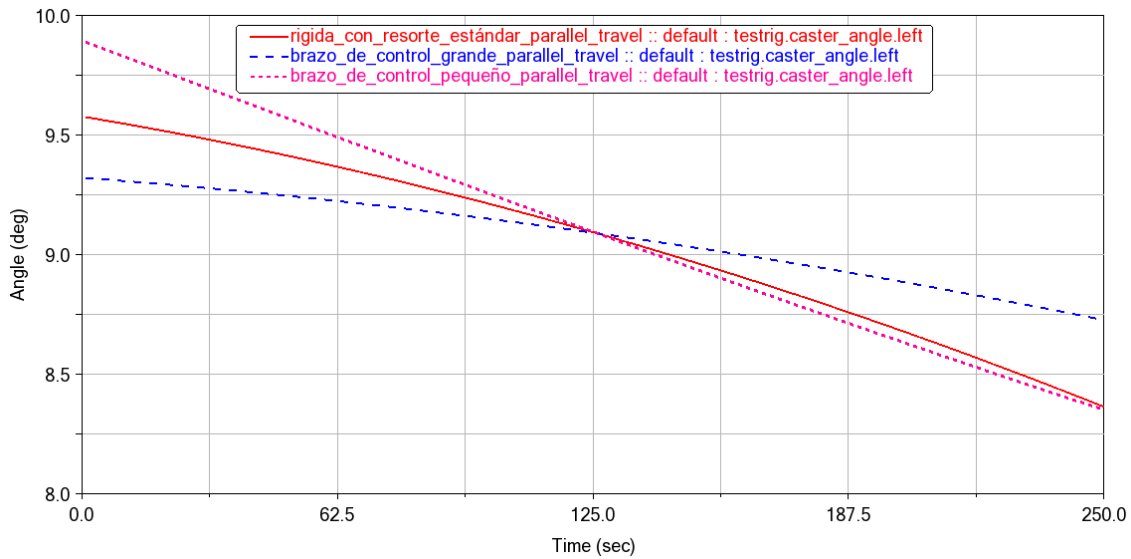


Figura 2.72: Ángulo caster con cambio en el tamaño del amortecedor.

Fuente: Autores

2.6 Suspensión rígida con ballesta.

Está compuesta por un eje rígido acompañado de amortiguadores y muelles compuestos por una serie de láminas de acero que tienen longitud decreciente y se utiliza como en el eje posterior del vehículo. Este sistema posee la una menor masa suspendida contribuyendo a una respuesta más rápida de las ruedas ante la velocidad. El modelado 3D en Adams Car del sistema de suspensión de ballesta se ilustra en la figura 2.75

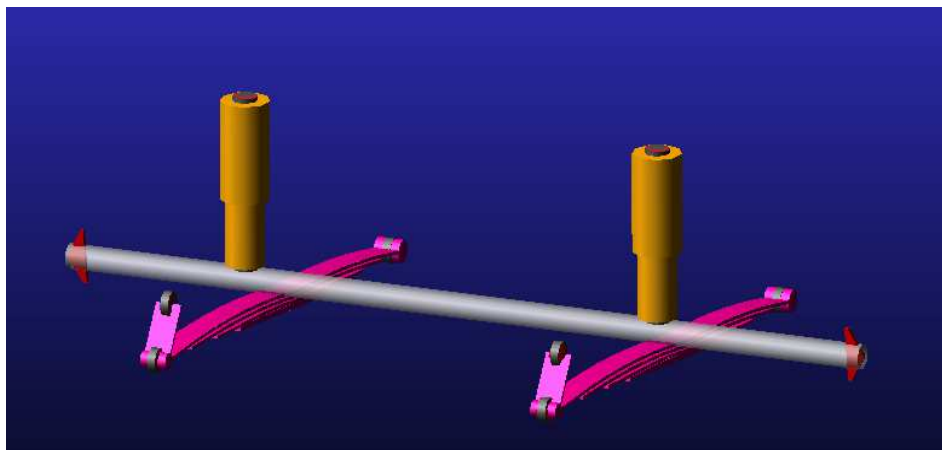


Figura 2.73: Suspensión con ballesta.

Fuente: Autores

En este tipo de suspensión el eje rígido se apoya contra el bastidor mediante las ballestas que hacen de elemento amortiguador de las oscilaciones. La figura 2.76 muestra el diseño completo de la suspensión rígida con ballesta.

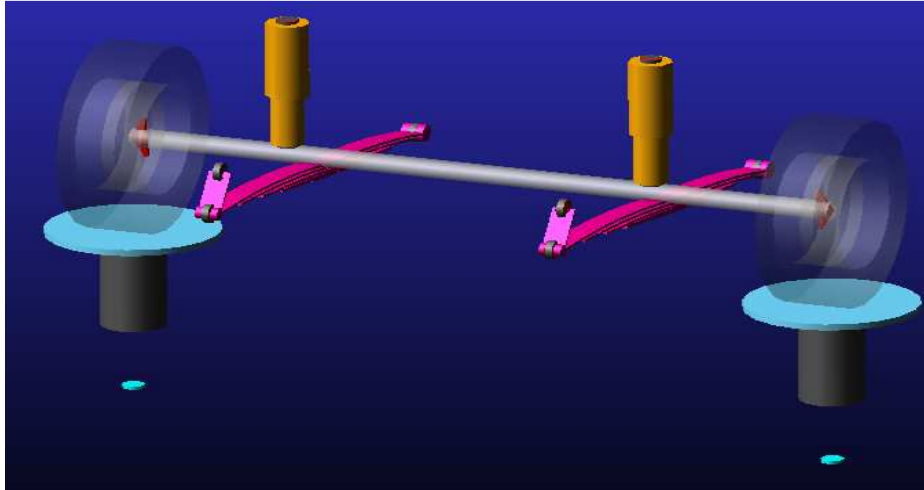


Figura 2.74: Ensamble suspensión rígida con ballesta.

Fuente: Autores

2.6.1 Parallel Wheel Travel

El análisis *Parallel Wheel Travel* que mueve los neumáticos de manera vertical de la suspensión rígida con ballesta muestra que no existe mayor variación en los ángulos Toe y Camber, como lo indica las figuras 2.78

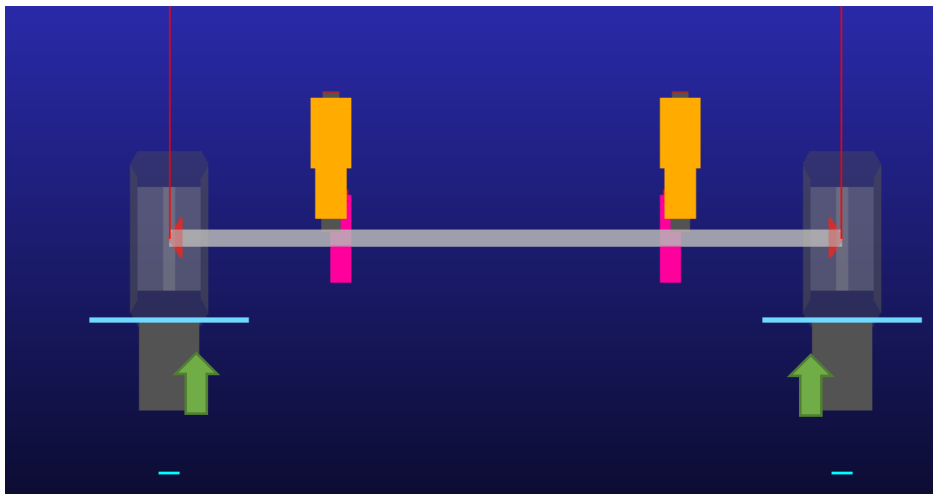


Figura 2.75: Paralled Wheel Travel.

Fuente: Autores

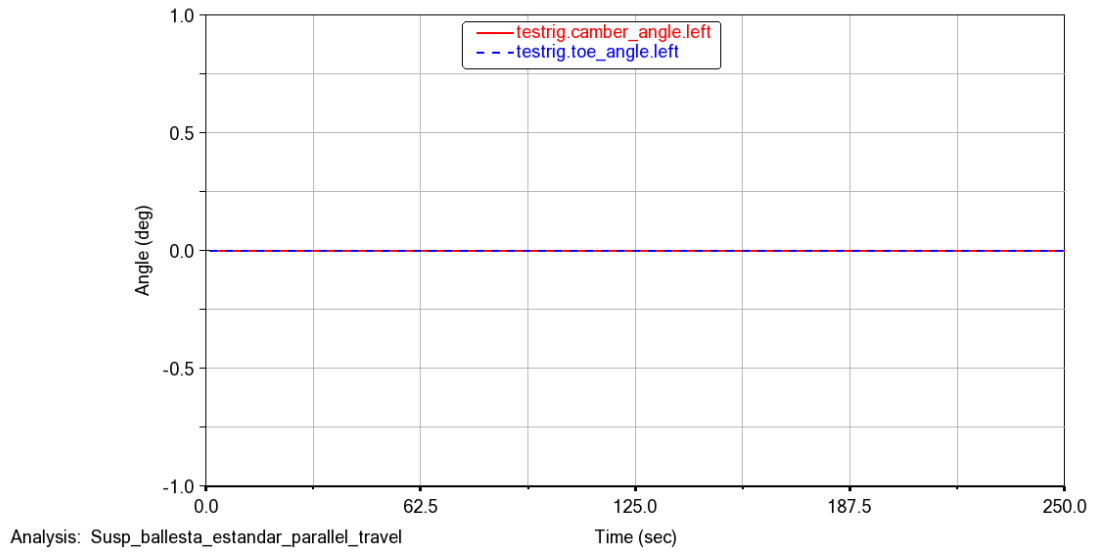


Figura 2.76: Ángulo camber y toe parallel travel suspensión de ballesta.

Fuente: Autores

La figura 2.79 muestra que existe una variación significativa en el ángulo Caster al desplazar de manera vertical las ruedas debido a que el sistema de suspensión se encuentra unido mediante las ballestas al bastidor que son elementos elásticos que permiten esta variación.

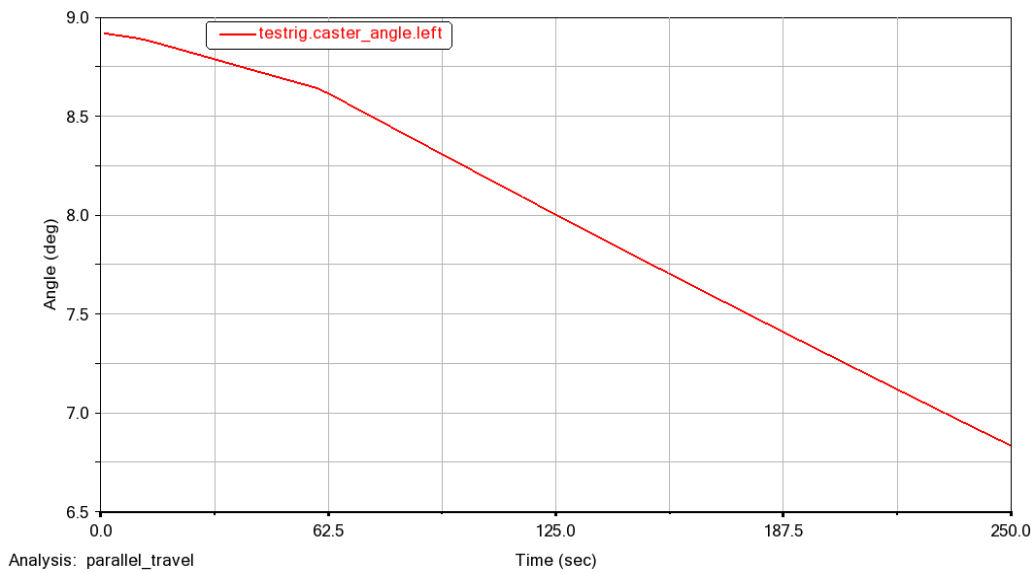


Figura 2.77: Ángulo Caster parallel travel suspensión de ballesta.

Fuente: Autores

2.6.2 Opposite Wheel Travel

Por otra parte, los resultados del análisis Opposite Wheel Travel de la figura 2.80 indican una variación inversamente proporcional al desplazamiento vertical de las ruedas en el ángulo Camber.

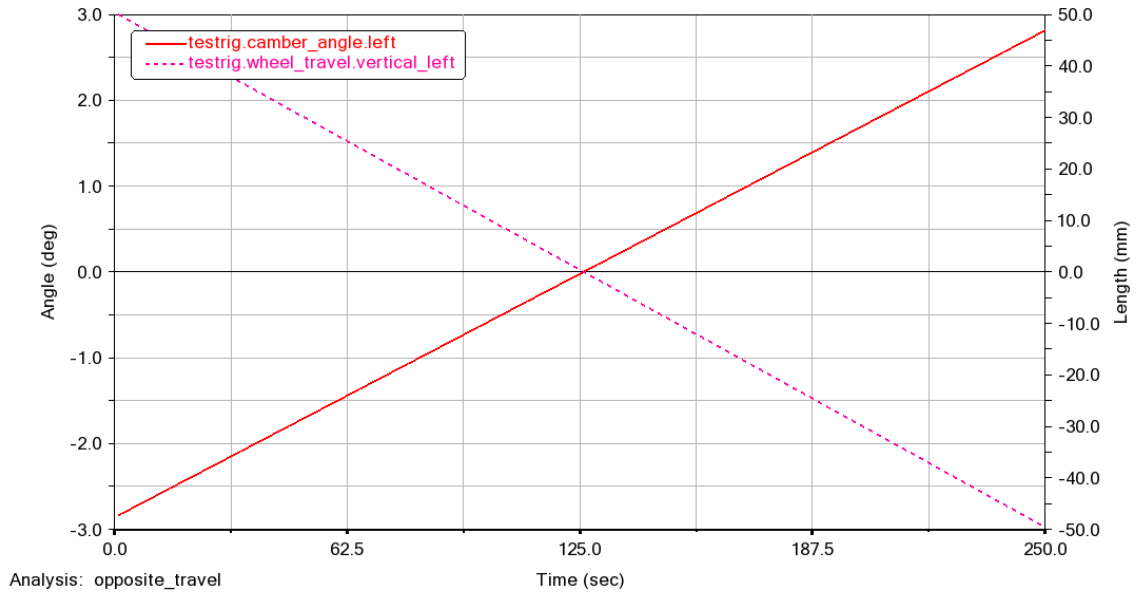


Figura 2.78: Ángulo Camber opposite travel suspensión con ballesta.

Fuente: Autores

En la figura 2.81 se muestra el ángulo Toe el cual presenta una menor variación en comparación al ángulo Camber

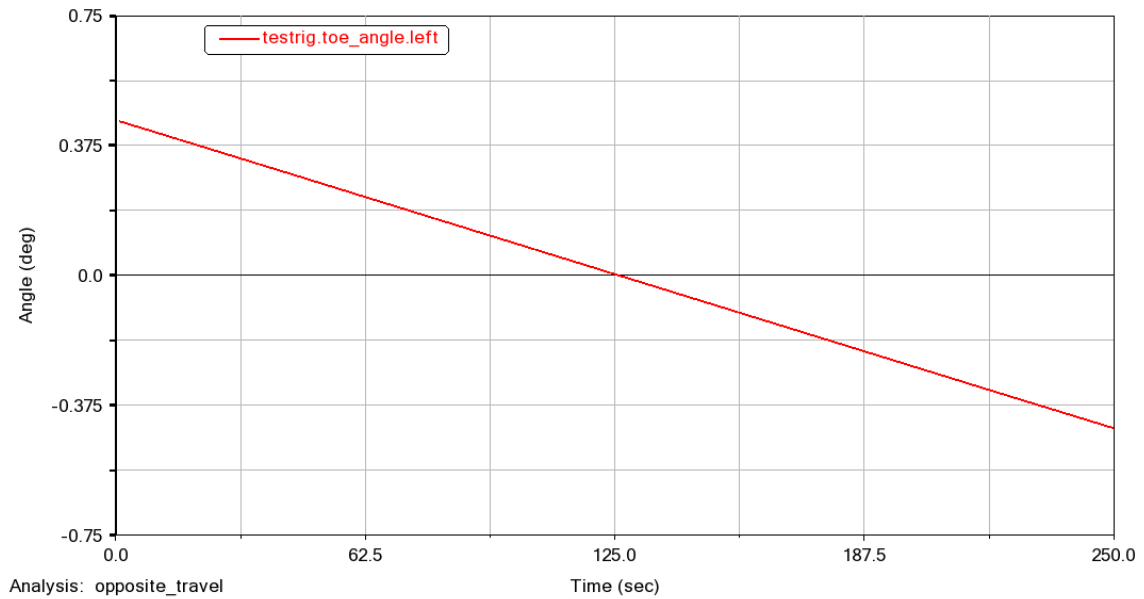


Figura 2.79: Ángulo Toe opposite travel suspensión con ballesta.

Fuente: Autores

Como se observa la figura 2.82 el ángulo caster posee una variación que se encuentra alrededor de 8° , al ser un sistema unido por ballestas permite esta variación.

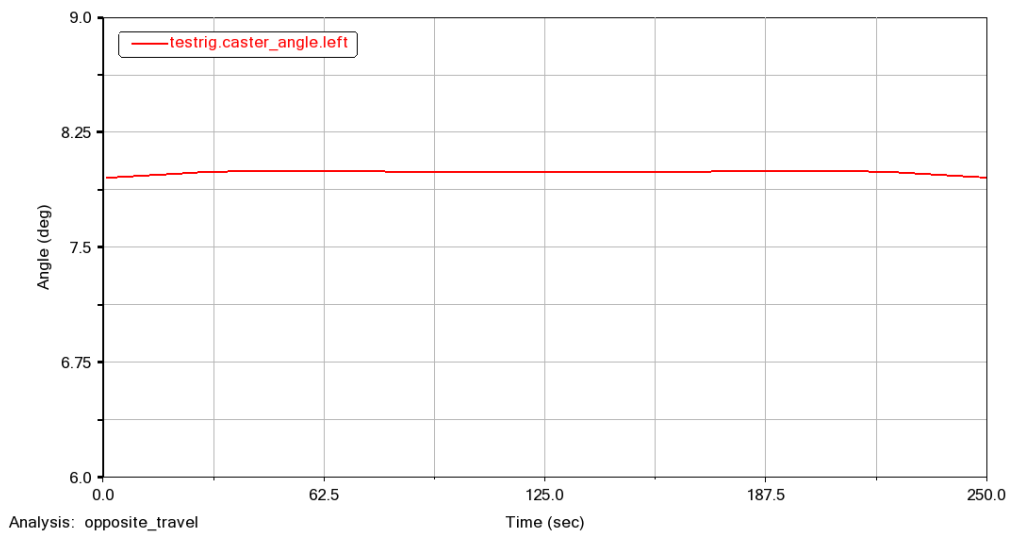


Figura 2.80: Ángulo caster opposite travel suspensión con ballesta.

Fuente: Autores

2.6.3 Vertical Force

Para simular el comportamiento de la suspensión con una carga; se realiza el análisis dinámico aplicando una carga sobre los neumáticos. La figura 2.83 muestra el comportamiento del ángulo Camber, donde se observa que el valor del ángulo aumenta según se incrementa la fuerza aplicada sobre el neumático, es decir a mayor fuerza mayor será el valor del ángulo de caída

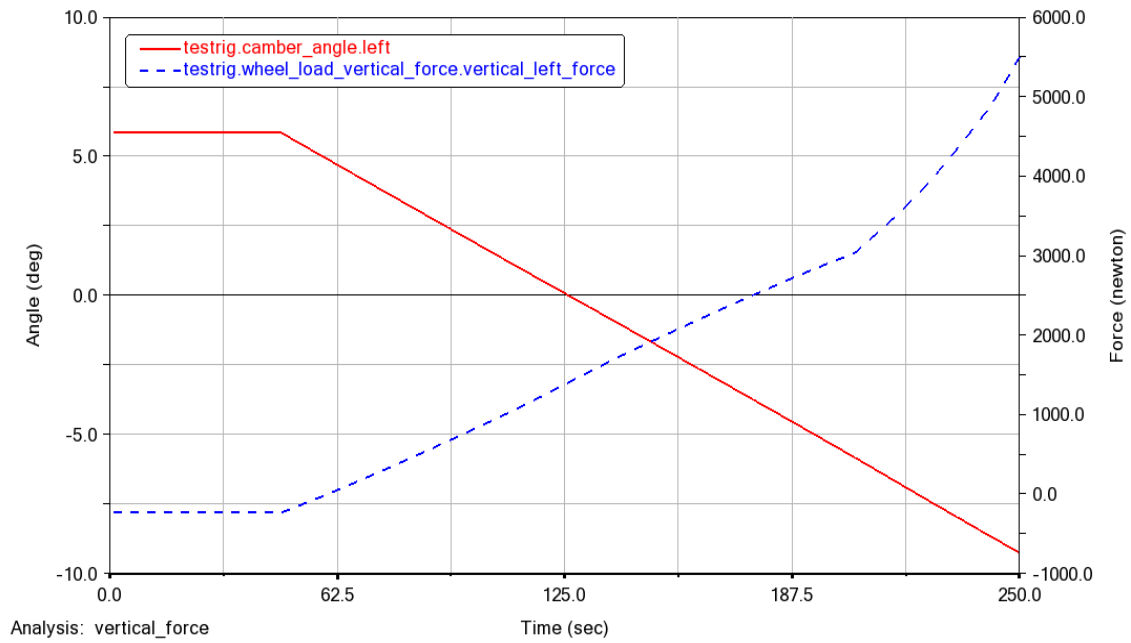


Figura 2.81: Ángulo camber vertical force suspensión con ballesta..

Fuente: Autores

La variación del ángulo toe con el análisis *Roll & Vertical Force* es mínima se mantiene alrededor del cero como lo muestra la figura 2.84.

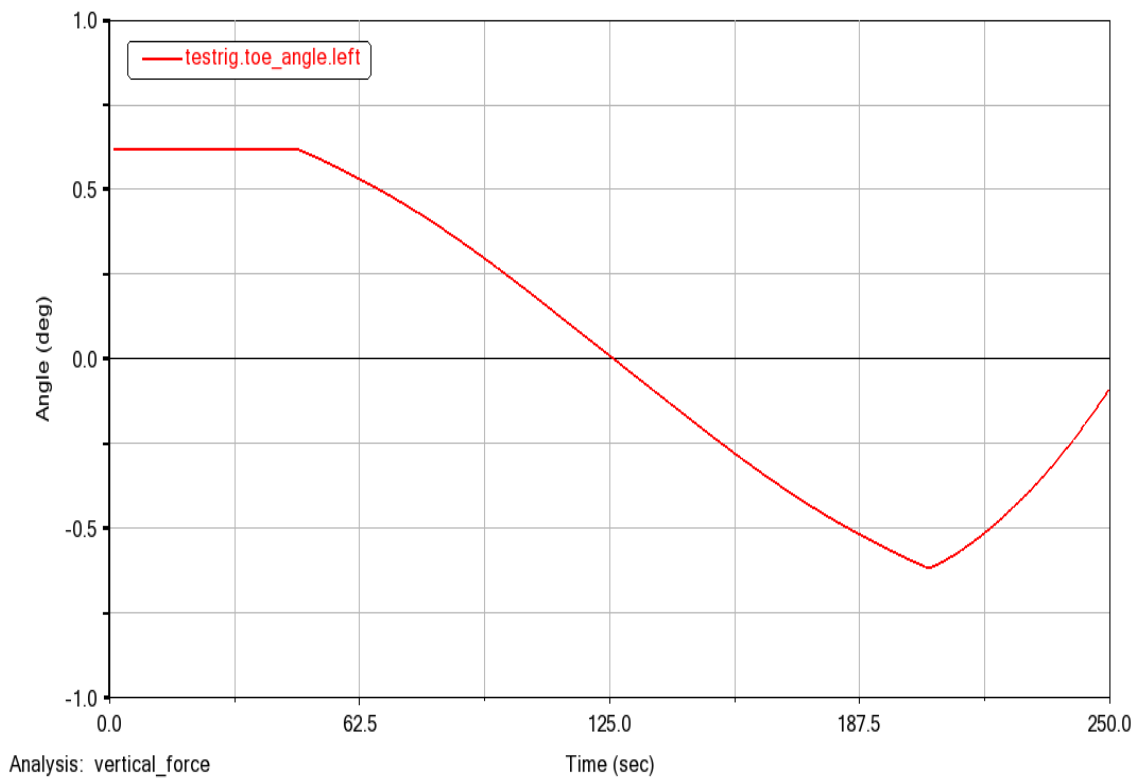


Figura 2.82: Ángulo toe vertical force suspensión con ballesta.

Fuente: Autores

2.6.4 Single Wheel Travel

La figura 2.85 muestra la variación del ángulo Camber de los dos neumáticos y de acuerdo a las líneas de comportamiento la variación es semejante, aunque el análisis se realizó en una sola rueda, con esto se deduce que se transmite el efecto hacia la otra rueda al estar conectadas mediante un eje rígido.

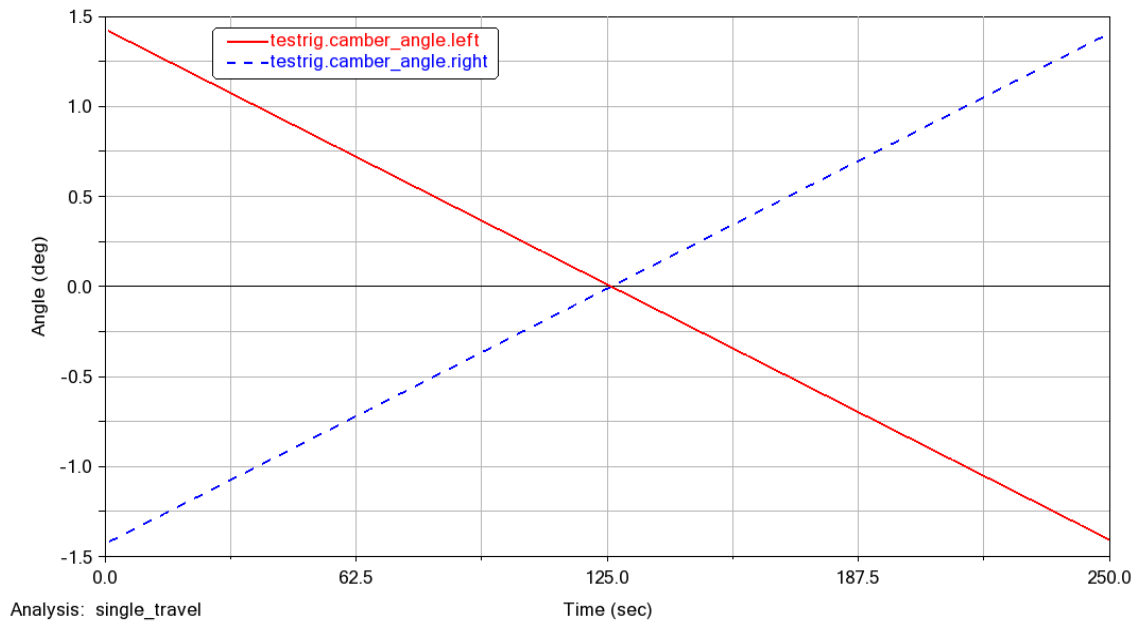


Figura 2.83: Ángulo camber single travel suspensión con ballesta.

Fuente: Autores

De igual forma que el ángulo de caída el ángulo Toe posee una variación similar en los neumáticos izquierdo y derecho.

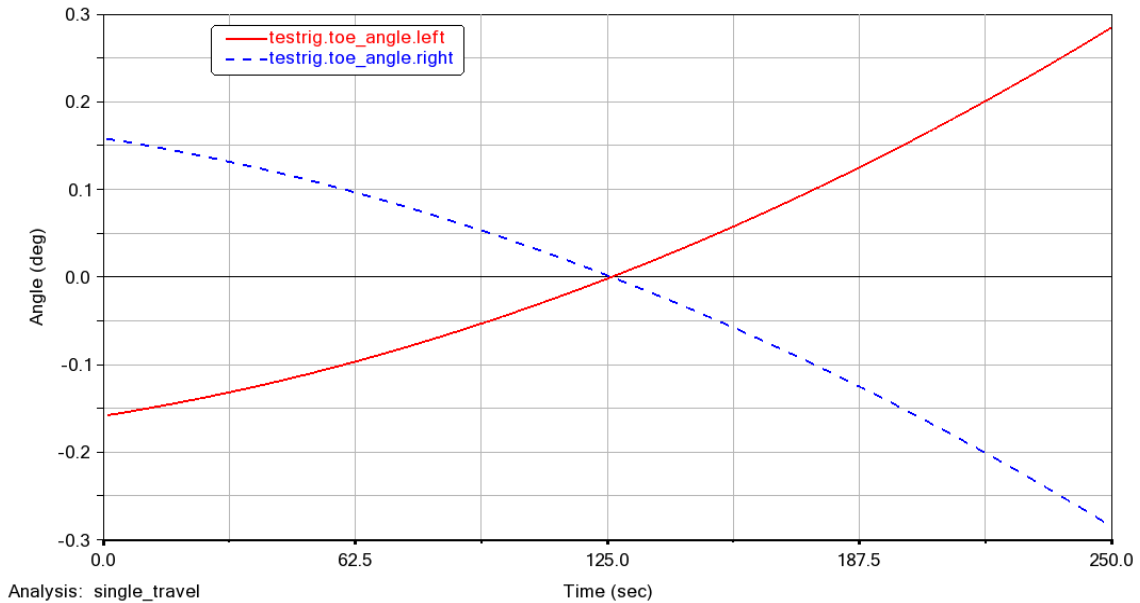


Figura 2.84: Ángulo toe single travel suspensión con ballesta.

Fuente: Autores

2.6.5 Variación de los parámetros de la suspensión rígida con ballesta

En la suspensión rígida con ballesta se realizan las siguientes modificaciones:

- El número de ballestas
- La precarga del resorte.
- El tamaño del amortiguador.

Para evaluar cómo se comporta la suspensión modificando el número de ballestas se procede a reducir y aumentar el número de estas con el fin de comparar los resultados con la configuración estándar.

La figura 2.87 muestra el ángulo Camber de las configuraciones de la suspensión de ballesta al realizar la simulación *Parallel Wheel Travel* donde se puede ver que no existe variación en el valor de ángulo Camber, manteniéndose neutro, al tratarse de una suspensión rígida el valor se encuentra en cero como lo indica el eje vertical del valor del ángulo (Angle)

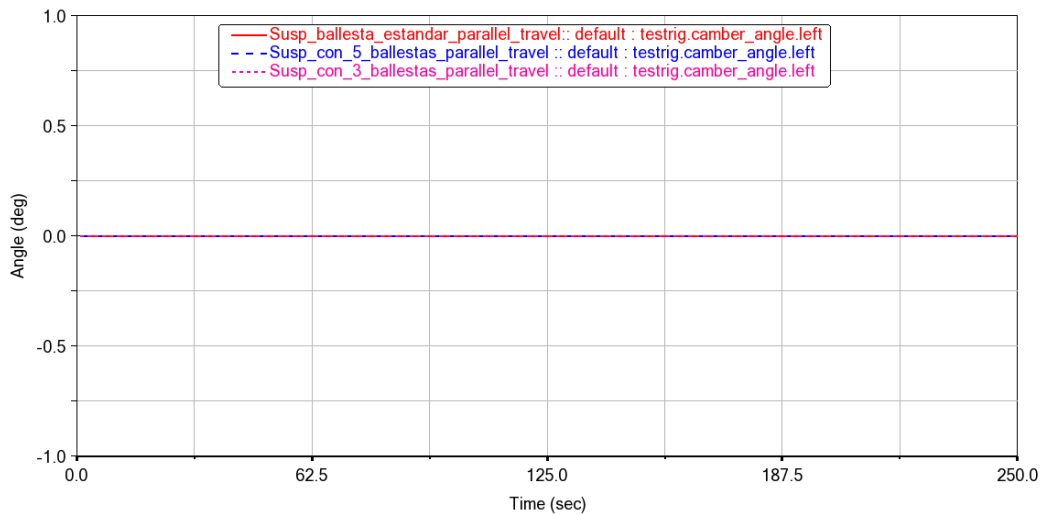


Figura 2.85: Ángulo camber de las configuraciones multilink.

Fuente: Autores

Además, se realiza un cambio en el tamaño del amortiguador para ver el efecto que este cambio produciría; pero como lo indica la figura 2.88 no existe mayor variación en los ángulos manteniéndose sobre la configuración estándar.

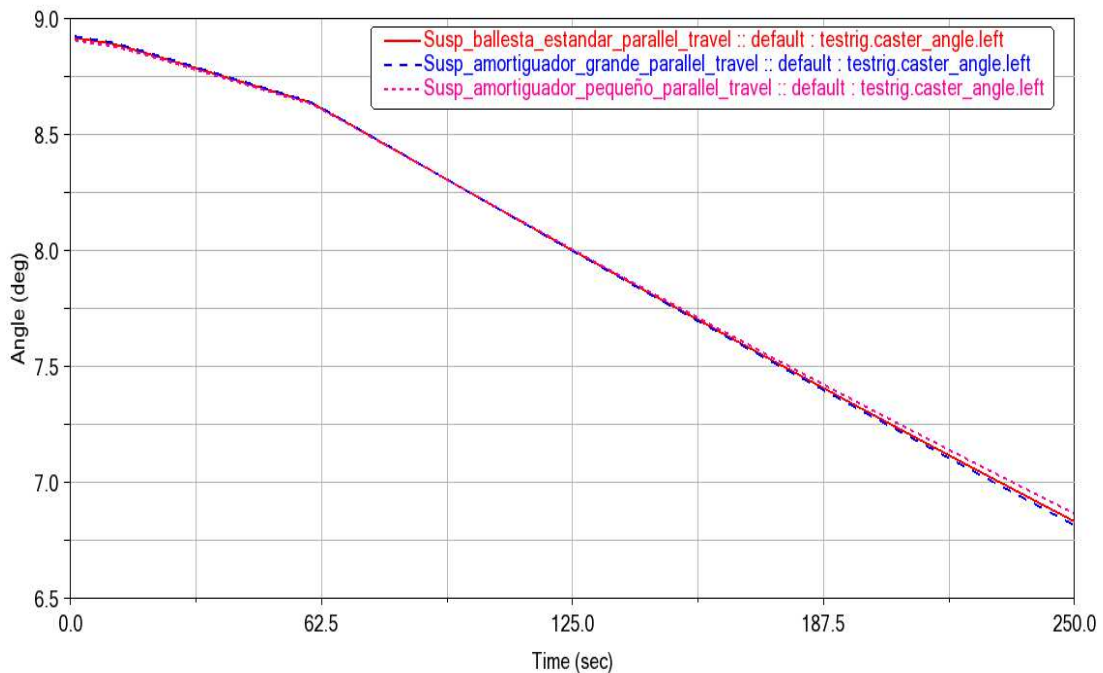


Figura 2.86: Ángulo camber con cambio en el tamaño del amortiguador.

Fuente: Autores

Después de haber analizado diferentes tipos de suspensión se concluye que el sistema más eficaz es el sistema de suspensión McPherson, ya que es un sistema simple y ofrece muy buenas prestaciones.

A continuación, se propone un ejemplo basado en el libro de Aparicio referente a la dinámica de un automóvil, en donde se realizará la aplicación del programa en la resolución del mismo.

Ejemplo:

Un vehículo automóvil presenta las siguientes características:

* Masa suspendida 1500 kg.

Distancia del centro de gravedad a los ejes:

* Delantero 1,5 m.

* Trasero 1,6 m. (en proyección sobre la superficie de rodadura)

Rigideces combinadas de suspensión y neumáticos:

* En el eje delantero 36 kN/m.

* En el eje trasero 39 kN/m.

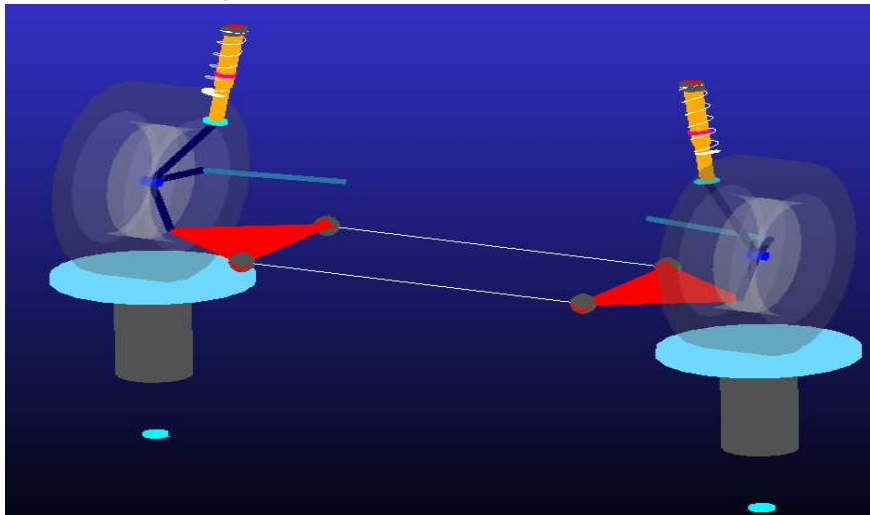
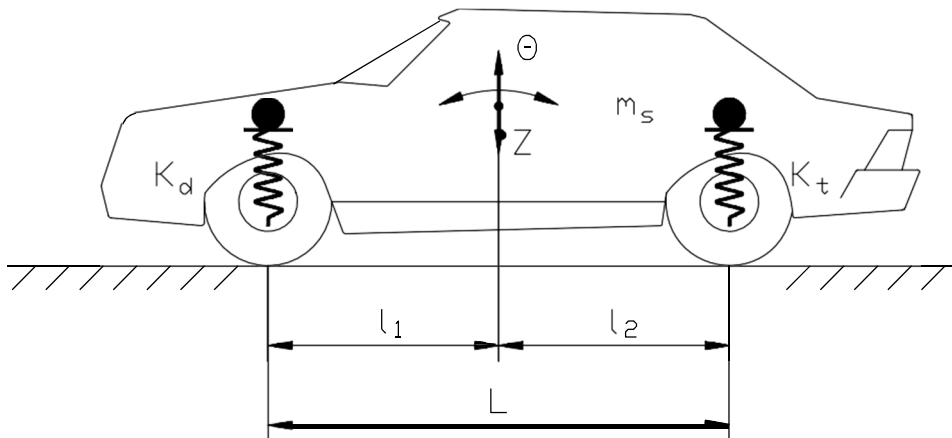
Se realiza un ensayo haciendo circular el vehículo sobre una pista especial con ondulaciones de longitud de onda igual a 3,1 m. La masa suspendida entra en resonancia al alcanzar la velocidad de 12,5 Km/h.

Calcular:

- El momento de inercia de la masa suspendida respecto a un eje transversal que contiene al centro de gravedad (OY).
- A qué otra velocidad volverá a presentarse el fenómeno de resonancia.
- Las posiciones de los centros de oscilación.
- Cuando el vehículo está completamente cargado, su masa suspendida es de 2000 kg y el centro de gravedad no cambia de posición. En estas condiciones se observa que los choques de las ruedas de un eje sobre irregularidades de la calzada producen oscilaciones que no afectan a los puntos de amarre de la suspensión del eje contrario. Estimar el momento de inercia en este caso y el valor de las frecuencias naturales.

SOLUCION:

Considerando el esquema de vehículo con dos grados de libertad, las ecuaciones diferenciales del movimiento de la masa suspendida, pueden expresarse en la forma:



$$\ddot{Z} + D_1 \cdot Z + D_2 \cdot \theta = 0$$

$$\ddot{\theta} + D_3 \cdot \theta + \frac{D_2}{r_y^2} \cdot Z = 0$$

Teniendo en cuenta los siguientes valores:

$$K_d = 36 \text{ kN/m.} \quad K_t = 39 \text{ kN/m} \quad m_s = 1500 \text{ kg.}$$

$$l_1 = 1,5 \text{ m.} \quad l_2 = 1,6 \text{ m.} \quad r_y = \text{radio de giro respecto a OY}$$

$$D_1 = 50 \text{ s}^{-2}; D_2 = 5,6 \text{ m s}^{-2}; D_3 = \frac{120,56}{r^2} \cdot \text{s}^{-2}$$

Por otra parte, la expresión (1) para soluciones del tipo:

$$Z = Z \cdot \cos \omega_n t$$

$$\theta = \theta \cdot \cos \omega_n t$$

Permite obtener:

$$\omega_{1,2}^2 = \frac{1}{2} \cdot (D_1 + D_3) \pm \sqrt{\frac{1}{4} \cdot (D_1 - D_3)^2 - \left(\frac{D_2}{r_y}\right)^2}$$

Siendo ω_1 y ω_2 las frecuencias naturales de oscilación vertical y de cabeceo.

- El ensayo que se realiza excita en el vehículo un movimiento de vibración vertical puesto que la longitud de onda de la ondulación de la calzada coincide con la batalla del vehículo. Como normalmente la frecuencia natural vertical suele ser la de menor valor consideraremos que su valor es:

$$\omega_1^2 = \frac{1}{2} \cdot (D_1 + D_3) - \sqrt{\frac{1}{4} \cdot (D_1 - D_3)^2 - \left(\frac{D_2}{r}\right)^2}$$

Por otro lado, la frecuencia de excitación es:

$$f = \frac{V}{l_0} = \frac{\frac{12,5}{3,6}}{3,1} = 1,12 \text{ Hz}$$

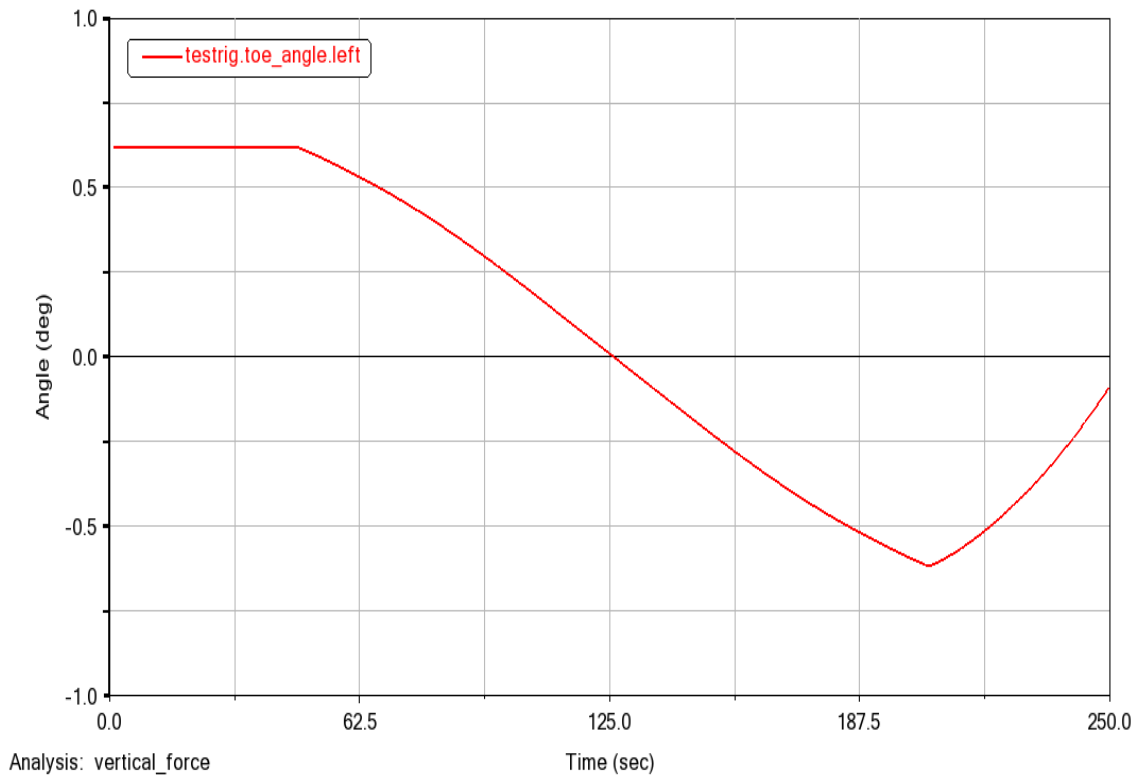
Considerando que:

$$\omega_1 = 2 \cdot \pi \cdot f = 7,037 \text{ rads} \cdot \text{s}^{-1}$$

Sustituyendo los valores conocidos:

$$r = 1,056 \text{ m}$$

$$I_{ys} = m_s \cdot r^2 = 1500 \cdot 1,056^2 = 1672,7 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$



- La siguiente frecuencia natural se obtiene:

$$\omega_2^2 = \frac{1}{2} \cdot (D_1 + D_3) + \sqrt{\frac{1}{4} \cdot (D_1 - D_3)^2 - \left(\frac{D_2}{r}\right)^2}$$

$$D_3 = \frac{120,56}{1,056^2} = 108,03s^{-2}$$

Al sustituir valores se obtiene:

$$\omega_2^2 = \frac{1}{2} \cdot (50 + 108,03) + \sqrt{\frac{1}{4} \cdot (50 - 108,03)^2 - \left(\frac{5,6}{1,056}\right)^2}$$

$$\omega_2^2 = 107,54; \omega_2 = 10,37rad \cdot s^{-1}; f_2 = \frac{\omega_2}{2 \cdot \pi} = 1,65Hz$$

$$V = 3,1 \cdot 1,65 \cdot 3,6 = 18,41km/h$$

- Para verificar la suposición de que ω_1 coincide con la frecuencia natural vertical, calcularemos las posiciones de los centros de oscilación:

$$l_{01} = \frac{D_2}{\omega_1^2 - D_1} = \frac{5,6}{49,52 - 50} = 11,66m$$

$$l_{02} = \frac{D_2}{\omega_2^2 - D_1} = \frac{5,6}{107,54 - 50} = 0,97m$$

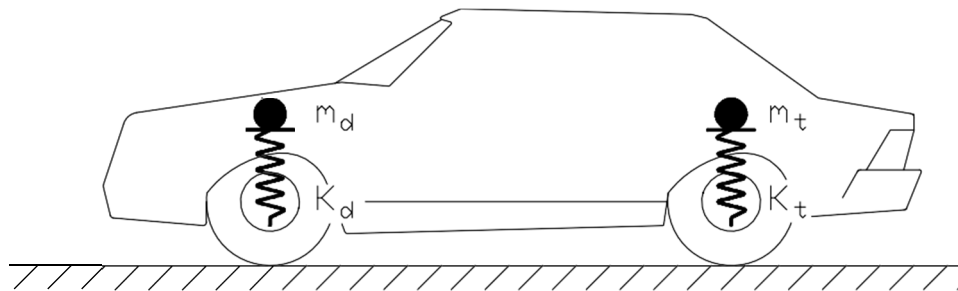
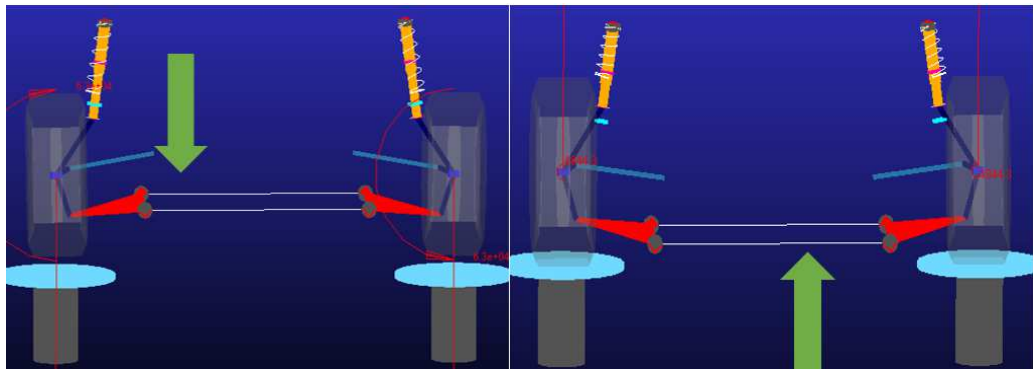
Se comprueba que, ω_1 corresponde a la frecuencia natural de vibración vertical y ω_2 al modo de cabeceo.

- La condición expresada significa que se cumple $l_{01} = l_1$ y $l_{02} = l_2$ o lo mismo que:

$$r^2 = l_1 \cdot l_2 = 1,5 \cdot 1,6 = 1,43$$

$$I_{ys} = 1000 \cdot 2,4 = 4800 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

En este caso puede suponerse que el sistema se comporta como dos masas concentradas en los puntos de amarre de la suspensión de los ejes, anterior y posterior y las frecuencias naturales de vibración serán:

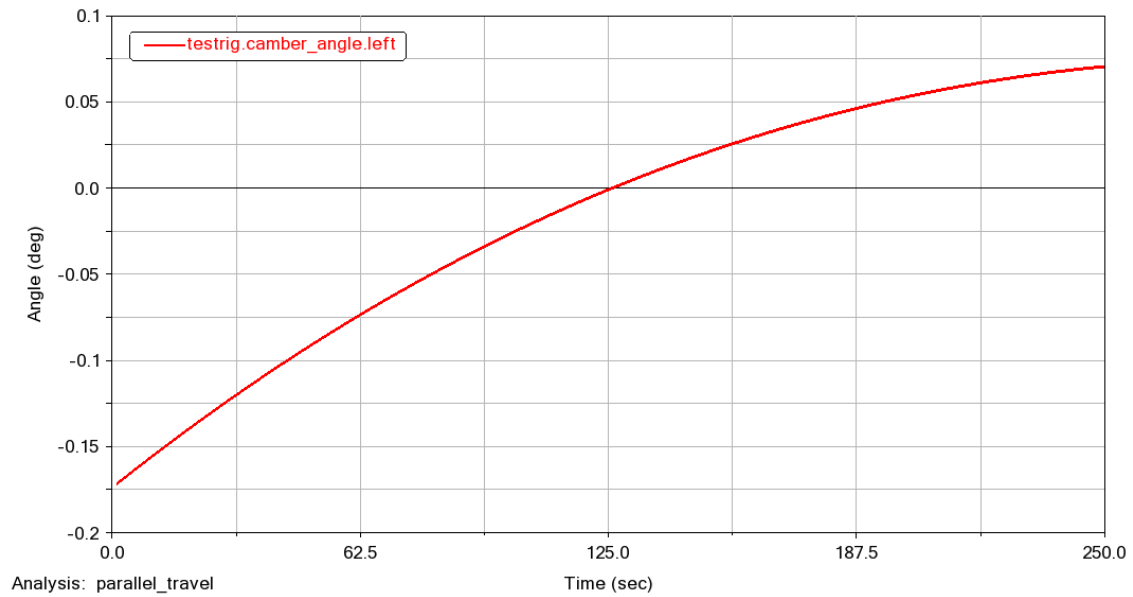


$$m_d = \frac{m_s \cdot l_2}{L} \quad \omega_{n1} = \sqrt{\frac{K_d \cdot L}{m_s \cdot l_2}}$$

$$m_t = \frac{m_s \cdot l_1}{L} \quad \omega_{n2} = \sqrt{\frac{K_t \cdot L}{m_s \cdot l_1}}$$

$$\omega_{n1} = \sqrt{\frac{36000 \cdot 3,1}{2000 \cdot 1,6}} = \frac{5,91 \text{rad}}{\text{s}^{-1}} \quad f_{n1} = 0,94 \text{Hz}$$

$$\omega_{n2} = \sqrt{\frac{39000 \cdot 3,1}{2000 \cdot 1,5}} = \frac{6,348 \text{rad}}{\text{s}^{-1}} \quad f_{n2} = 1,01 \text{Hz}$$



CAPÍTULO III

3 GUÍAS PARA EL ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DINÁMICO DE LA SUSPENSIÓN

Descripción General

En la presente sección se desarrollan las guías de apoyo necesarias para el diseño y análisis de un sistema de suspensión en el programa Adams Car. Se destacan los puntos necesarios e indispensables para diseño y posterior análisis dinámico que permite evaluar el funcionamiento de la suspensión.

Alcance


El presente estándar será aplicado a toda la documentación referente a informes de prácticas de centros de simulación de la carrera de Ingeniería Automotriz en la Universidad Politécnica Salesiana.

Formatos

- Formato de Informe de Práctica de centros de Simulación – para Estudiantes

3.1 Guías para el diseño de suspensiones.

3.1.1 Guía de suspensión McPherson

		GUÍA PARA EL DISEÑO DE SUSPENSIONES AUTOMOTRICES	
CARRERA: Ingeniería Mecánica Automotriz		ASIGNATURA:	
NRO. PRÁCTICA:		TÍTULO PRÁCTICA: Exportación y edición de la suspensión McPherson	
OBJETIVOS <ul style="list-style-type: none">• Realizar la exportación la suspensión McPherson• Editar los parámetros de la suspensión			
Marco teórico, Herramientas y equipos necesarios para la realización de la práctica. <p>ADAMS (acrónimo de Automated Dynamic Analysis of Mechanical Systems) es un software de simulación de dinámica multi-cuerpo equipado con solucionadores numéricos Fortran y C++. MSC Software generalmente soporta los dos sistemas operativos Linux y Microsoft Windows.</p>			

MSC.Adams es el nombre comercial del software en el cual se realizan análisis sobre mecanismos. Posee varios modelos que facilitan realizar simulaciones, mediante animaciones, ejecutar análisis de vibraciones, efectuar análisis de esfuerzos, etcétera.

Los estudiantes que pongan en práctica esta guía deben referirse a las normas de seguridad establecidas por la UPS para el uso de laboratorios, además, deben contar con las siguientes herramientas:

- Computador con Adams Car

INSTRUCCIONES

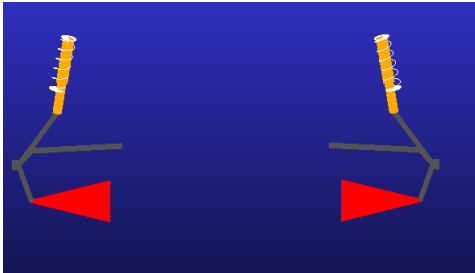


Figura 1: Suspension McPherson

1. Encienda el computador e ingrese a Adams car

2. Modificación hardpoints de la suspensión

3. Edición de los marcos

4. Edición de las partes

5. Edición de las piezas de montaje

6. Modificación de las articulaciones

ACTIVIDADES POR DESARROLLAR

1. Encienda el computador e ingrese a Adams car

EL Software Adams Car dispone de un amplio catálogo con diferentes plantillas de suspensiones que puede ser importadas y editadas. Para exportar una suspensión y poder editarla en el software Adams Car abra el programa en su interfaz *Template Builder*



Figura 2. Interfaz de Inicio Adams Car.

Una vez dentro del programa seleccione *File » Open Template*, luego de clic derecho en el espacio en blanco y seleccione *Search » <acar_shared>* y busque dentro de la librería de Adams la suspensión a exportar, por ejemplo, la suspensión *_macpherson.tpl* que está disponible en esta librería

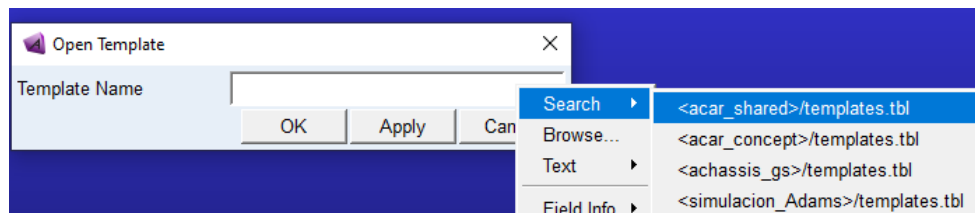


Figura 3. Ventana *OpenTemplate*.

Una vez realizada la selección, dar clic en *Apply* y cerrar la ventana.

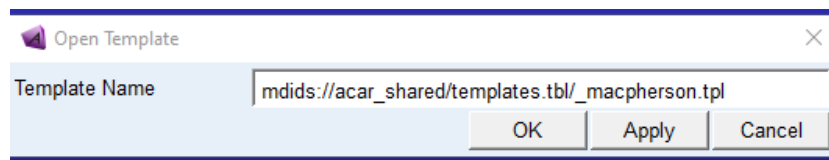


Figura 4. Selección suspensión.

La suspensión exportada se muestra en el espacio de trabajo de Adams como lo indica la figura 5.

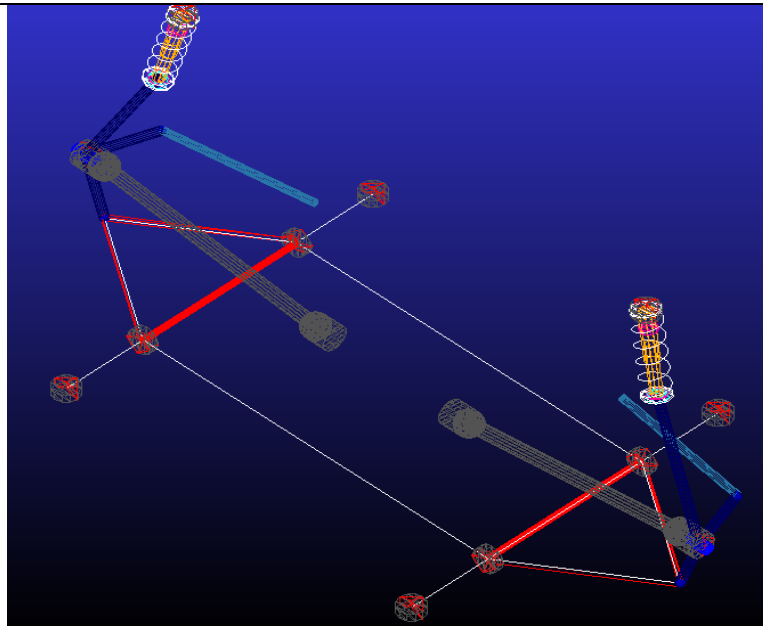


Figura 5. Template suspensión McPherson.

En el Template de la suspensión exportada se pueden editar todos los puntos de conexión que contienen las respectivas medidas de la suspensión, esto puntos de conexión se denominan *Hardpoints*.

2. Edición de los hardpoints

Para acceder a los hardpoints de clic en el menú de la izquierda en carpeta denomina *Hardpoints* donde se encuentran todos los puntos de los cuales está conformada la suspensión.

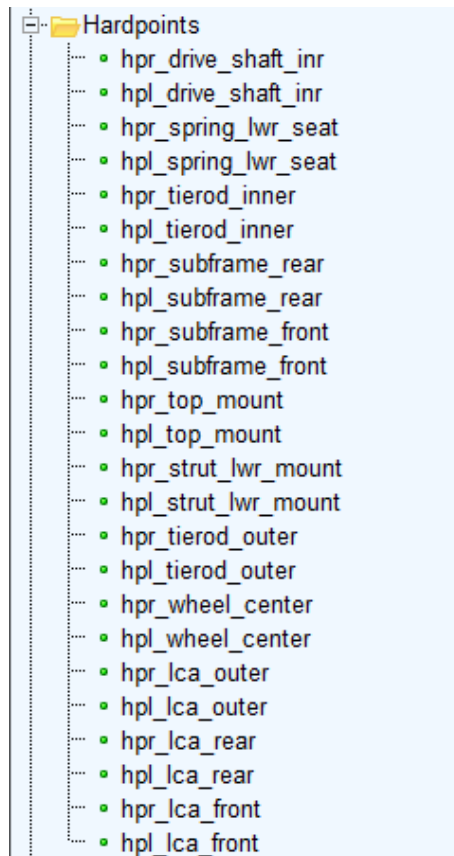


Figura 6. Hardpoints de la suspensión McPherson.

De clic derecho sobre el punto que desee modificar y se mostraran diferentes opciones como: Modificar, renombrar, copiar, desactivar, entre otras.

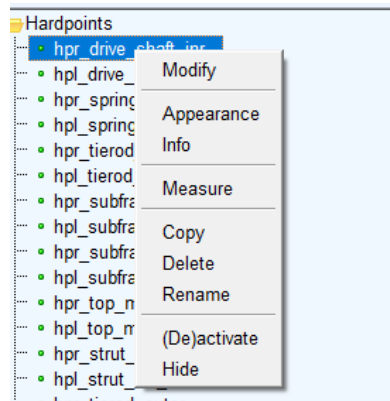


Figura 7: Opciones de un Hardpoint.

Si selecciona la opción modificar (Modify) se abre la ventana *Modify Hardpoint Location*, en esta ventana se puede modificar la ubicación del punto mediante la casilla *Location*.

Los valores tanto de X, Y, y Z representan los puntos de conexión de la suspensión al modificar estos valores se modifica también el tamaño de la suspensión.

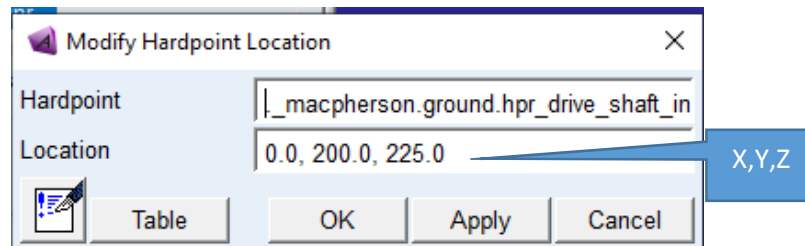



Figura 8: Modificación de un Hardpoint.

También se pueden modificar todos los puntos dando clic en , esta opción muestra todos los puntos de la suspensión con sus valores.

Hardpoint Modification Table

	loc_x	loc_y	loc_z	remarks
hpl_drive_shaft_inr	0.0	-200.0	225.0	(none)
hpl_lca_front	-200.0	-450.0	150.0	(none)
hpl_lca_outer	0.0	-750.0	150.0	(none)
hpl_lca_rear	200.0	-450.0	150.0	(none)
hpl_spring_lwr_seat	40.0	-650.0	600.0	(none)
hpl_strut_lwr_mount	40.0	-650.0	600.0	(none)
hpl_subframe_front	-400.0	-450.0	150.0	(none)
hpl_subframe_rear	400.0	-450.0	150.0	(none)
hpl_tierod_inner	200.0	-400.0	300.0	(none)
hpl_tierod_outer	150.0	-750.0	300.0	(none)
hpl_top_mount	57.5	-603.8	800.0	(none)
hpl_wheel_center	0.0	-800.0	300.0	(none)

Display: Single and Left Right Both Filter: * Apply

Figura 9: Ubicación de los hardpoints de la suspensión.

Para poder identificar los puntos con sus respectivos nombres presione la tecla **Ctrl+V** y se mostraran las etiquetas de cada uno de los nombres.

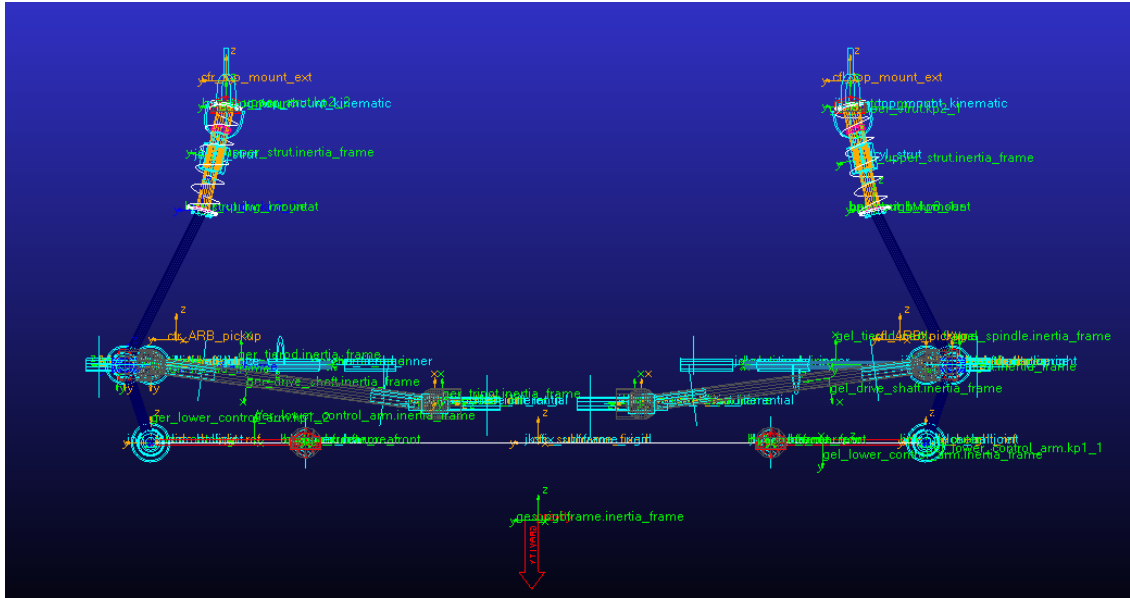


Figura 10: Suspensión etiquetas

3. Editar los marcos de construcción (Construction Frames)

Los *construction frames* son bloques básicos de construcción que almacenan la orientación de los puntos, para modificar los marcos de construcción de clic en el menú de la izquierda de los *Construction Frames* y se mostraran todos los marcos de construcción.

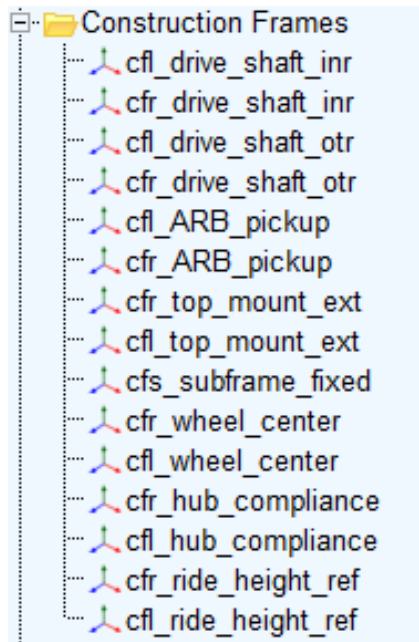


Figura 10: Marcos de construcción.

Algunos marcos de construcción dependen de algunas variables como: por ejemplo, la orientación de la rueda que depende del ángulo de convergencia/divergencia (toe) y ángulo el de caída (camber).

Estas variables se pueden modificar dando clic en el menú *Parameter Variables* » *Clic* derecho sobre la variable a modificar y *Modify*.

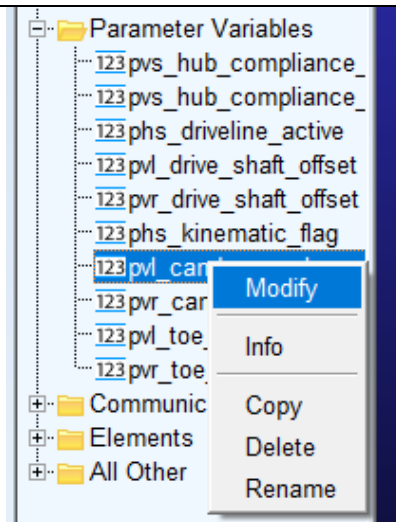


Figura 11: Modificación Variable

Al realizar clic en Modify se muestra la ventana de propiedades de la variable

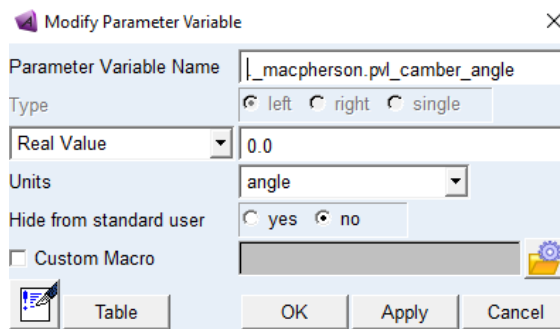


Figura 12: Propiedades Variables

Para modificar cualquier marco de clic derecho sobre un marco y aparecerá las opciones para realizar la modificación

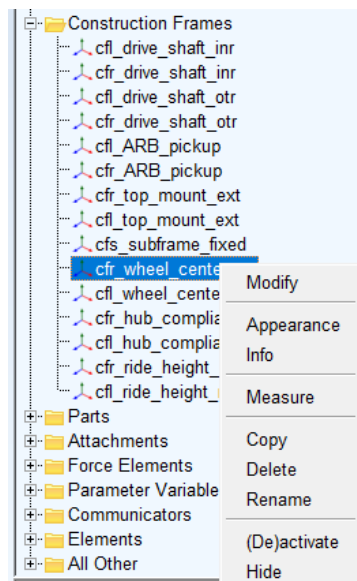


Figura 13: Marcos de construcción.

Al dar clic en modificar (Modify) se muestra la ventana de modificación, donde se puede modificar los parámetros

del marco como: las coordenadas de referencia (Coordinate Reference), la locación (Location) y las variables de dependencia.

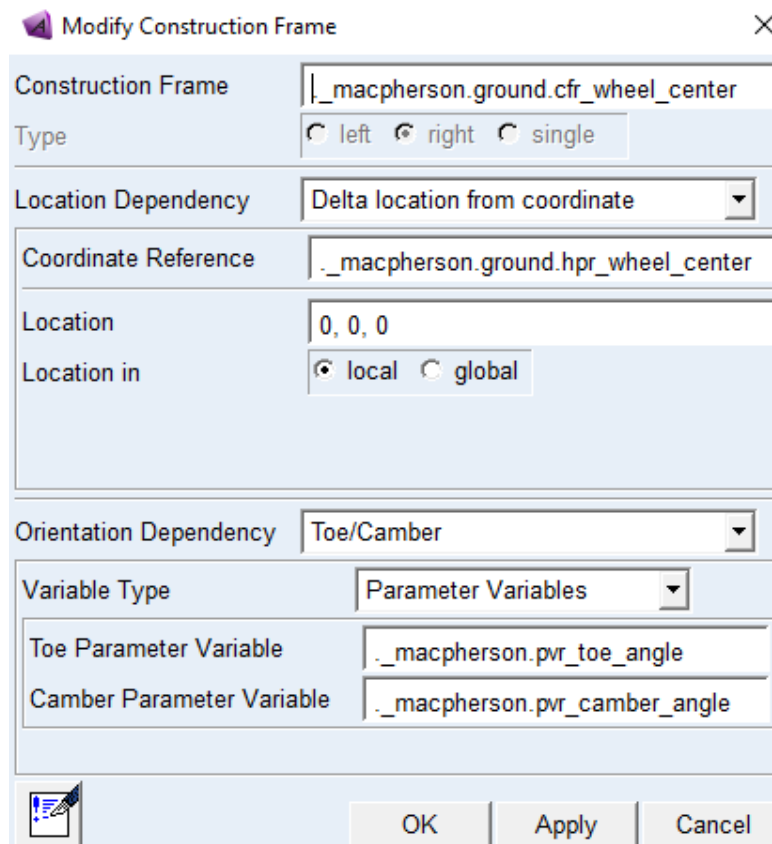


Figura 14: Modificación del marco de construcción.

4. Editar las piezas de montaje (Mount Parts)

Estas piezas sirven para comunicar las plantillas entre sí y también sirven de soporte para los amortiguadores y espirales, para modificarlas diríjase al menú *Parts* » *Mount Parts*

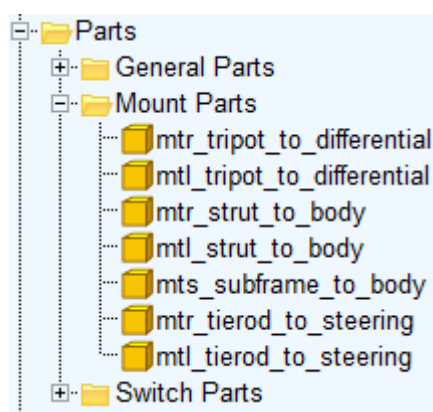


Figura 15: Piezas de montaje.

Luego elija el marco a modificar, de clic derecho y elija la opción *Modify*. En la ventana de modificación de partes se puede modificar la coordenada de referencia (Coordinate Reference) que es sobre la cual está el marco y el Minor Role que va de acuerdo con el tipo de suspensión puede ser frontal, posterior, heredado o remolque.

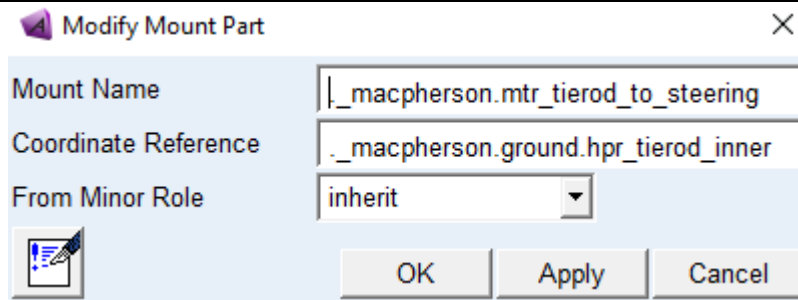


Figura 16: Modificación de las piezas de montaje.

5. Modificación de las partes (General Parts)

La suspensión está compuesta de diversas partes que se alojan en el menú *General Parts* y se pueden modificar dando clic derecho y luego en *Modify*

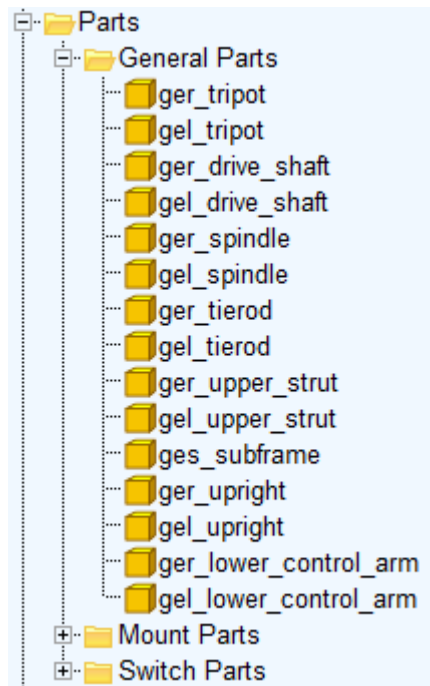


Figura 17: Partes generales.

La figura 18 muestra los parámetros de construcción de una barra de la suspensión y pueden ser modificados según sea necesario, como las coordenadas de referencia (Coordinate Reference) , la dependencia de orientación (Orientation Dependence) e incluso las propiedades mecánicas como masa del material.

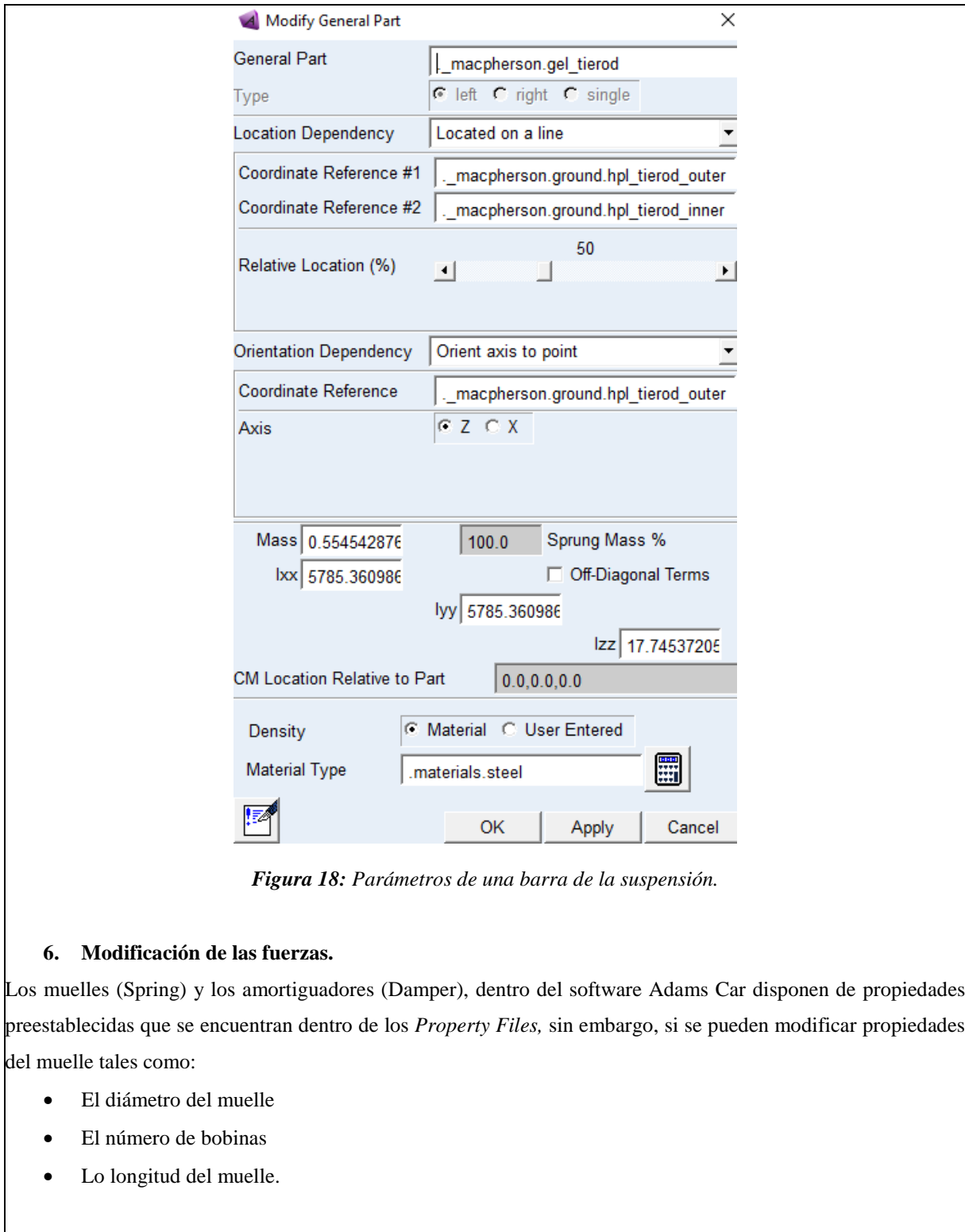


Figura 18: Parámetros de una barra de la suspensión.

6. Modificación de las fuerzas.

Los muelles (Spring) y los amortiguadores (Damper), dentro del software Adams Car disponen de propiedades preestablecidas que se encuentran dentro de los *Property Files*, sin embargo, si se pueden modificar propiedades del muelle tales como:

- El diámetro del muelle
- El número de bobinas
- Lo longitud del muelle.

Para modificar las propiedades del muelle se accede al menú Force Elements

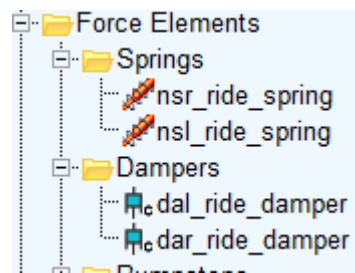


Figura 15: Fuerzas de la suspensión.

Luego de clic derecho en el muelle o amortiguador a modificar y seleccione la opción *Modify*, ya en la ventana de propiedades del muelle se pueden modificar el diámetro (Spring Diameter) y el número de bobinas (Number of Coils).

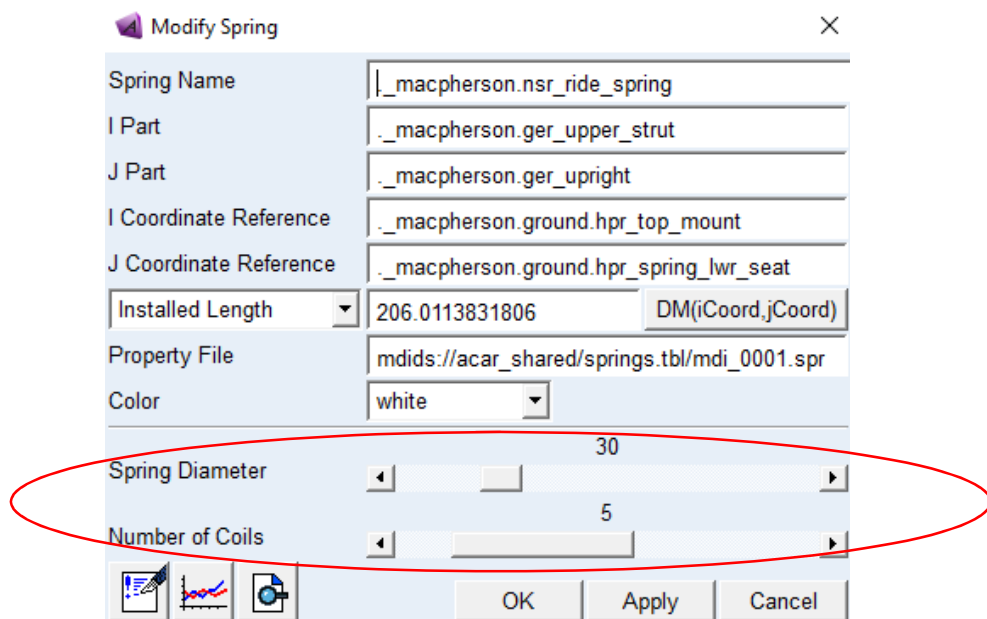


Figura 16: Ventana de modificación spring.

Para modificar el amortiguador de clic derecho sobre el cual desee modificar y luego seleccione *Modify*, ya dentro de la ventana de modificación del amortiguador se puede cambiar su diámetro dentro de su propiedad *Damper Diameter*

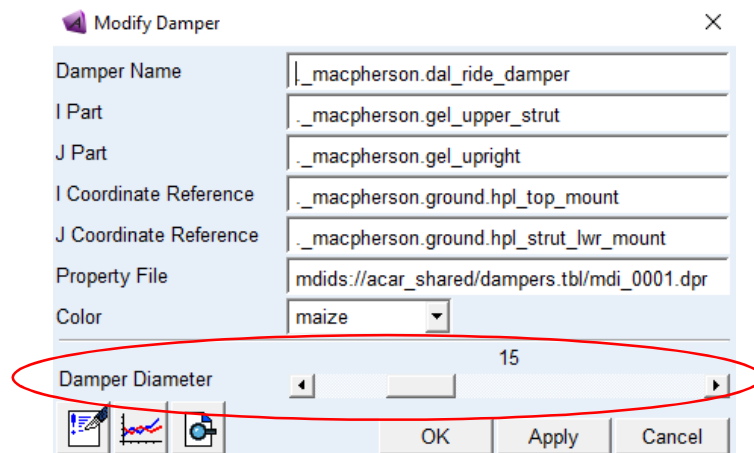


Figura 17: Ventana de modificación del amortiguador.

7. Modificación de las articulaciones (Joints)

Todas las partes de la suspensión están conectadas mediante articulaciones que pueden ser de diferentes tipos como: cilíndrica, esférica, revolución, entre otras.

Las juntas se pueden modificar desde el menú *Attachments*

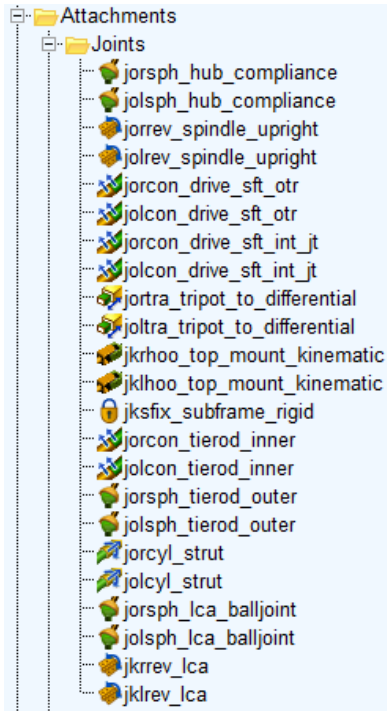


Figura 18: Tipos de uniones de la suspensión.

Para realizar la modificación de las uniones de clic derecho en la unión a modificar, clic en *Modify* y se mostrara la ventana de parámetros. Para modificar el tipo de conexión de clic en la opción *Join Type* y se mostraran los diferentes tipos de uniones como las que se muestran en la figura 19, entre otras.

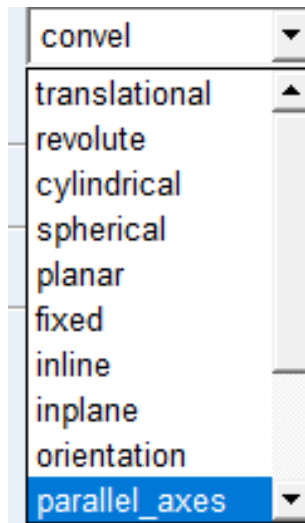


Figura 19: Join Type.

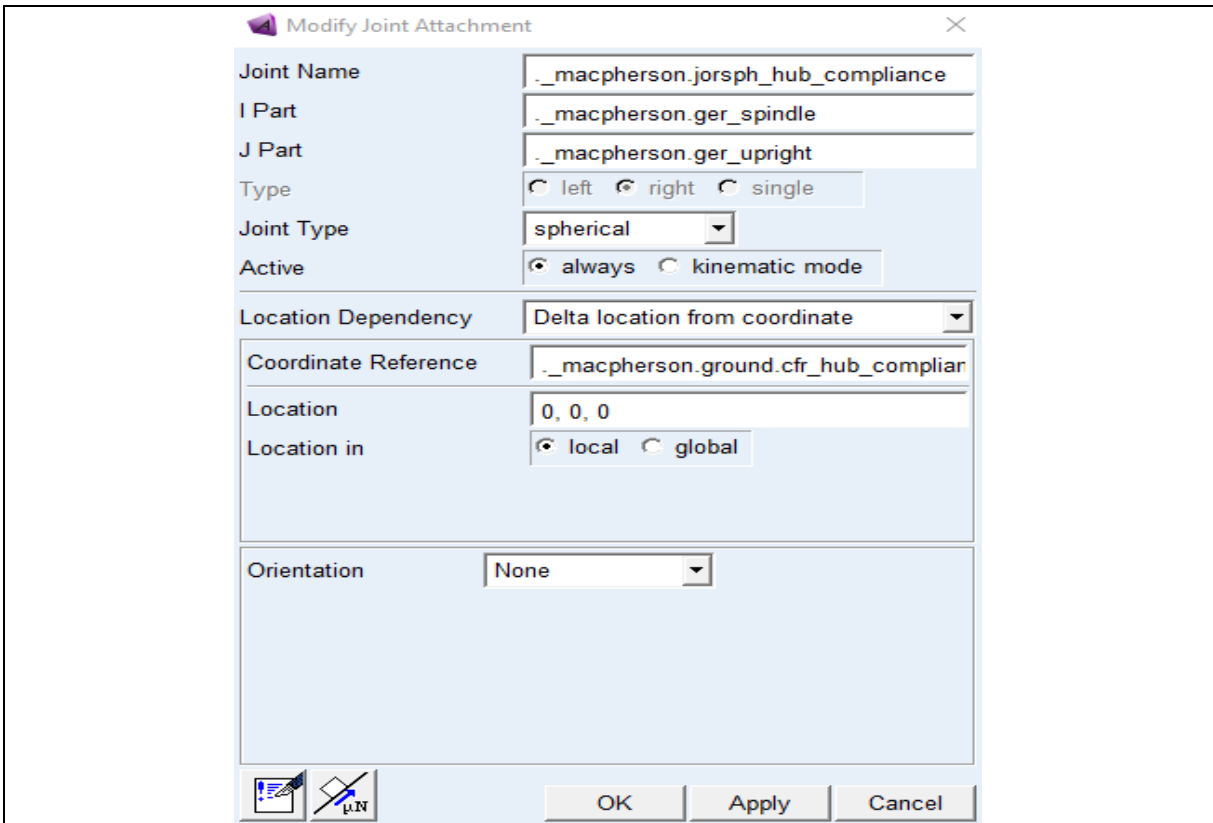


Figura 20: Parametros uniones.

Enumere los diferentes ángulos que rigen el comportamiento de la suspensión

RESULTADO(S) OBTENIDO(S):

1. Realizar un informe con los pasos para exportar y modificar la suspensión en Adams Car.
2. Presentar los resultados de la modificación de la suspensión con todos los elementos que la conforman

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

PREGUNTAS

Encierre en un círculo la respuesta correcta

Mediante cual parámetros se puede modificar las dimensiones de una suspensión en Adams Car:

- Con los valores los hardpoints
- Con las propiedades de las partes generales
- Con las propiedades de las partes de montaje
- Con los conectores de la suspensión

Las uniones o joints de la suspensión sirven para:

- Unir las partes generales
- Unir las partes generales y restringir el movimiento de estas
- Restringir los movimientos de las partes
- Evitar el movimiento de las partes.

Las piezas de montaje sirven para:

- Conectar las plantillas entre sí y sirven de soporte para los amortiguadores y espirales
- Para crear las partes generales
- Para crear los marcos de construcción

3.1.2 Guía de suspensión multilink


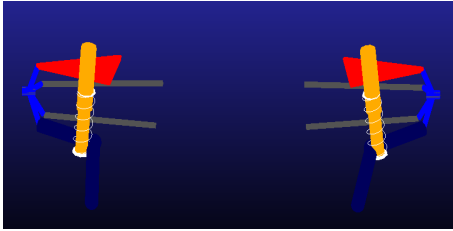
		GUÍA PARA EL DISEÑO DE SUSPENSIONES AUTOMOTRICES	
CARRERA: Ingeniería Mecánica Automotriz		ASIGNATURA:	
NRO. PRÁCTICA:		TÍTULO PRÁCTICA: Exportación y edición multilink	
OBJETIVOS <ul style="list-style-type: none"> Realizar la exportación la suspensión multilink Editar los parámetros de la suspensión 			
Marco teórico, Herramientas y equipos necesarios para la realización de la práctica. <p>ADAMS (acrónimo de Automated Dynamic Analysis of Mechanical Systems) es un software de simulación de dinámica multi-cuerpo equipado con solucionadores numéricos Fortran y C++. MSC Software generalmente soporta los dos sistemas operativos Linux y Microsoft Windows.</p> <p>MSC.Adams es el nombre comercial del software en el cual se realizan análisis sobre mecanismos. Posee varios modelos que facilitan realizar simulaciones, mediante animaciones, ejecutar análisis de vibraciones, efectuar análisis de esfuerzos, etcétera.</p> <p>Los estudiantes que pongan en práctica esta guía deben referirse a las normas de seguridad establecidas por la UPS para el uso de laboratorios, además, deben contar con las siguientes herramientas:</p> <ul style="list-style-type: none"> Computador con Adams Car 			
INSTRUCCIONES		<ol style="list-style-type: none"> Encienda el computador e ingrese a Adams car 	
 <p><i>Figura 1: Suspensión multilink</i></p>		<ol style="list-style-type: none"> Modificación hardpoints de la suspensión 	
		<ol style="list-style-type: none"> Edición de los marcos 	
		<ol style="list-style-type: none"> Edición de las partes 	
		<ol style="list-style-type: none"> Edición de las piezas de montaje 	
		<ol style="list-style-type: none"> Modificación de las articulaciones 	
ACTIVIDADES POR DESARROLLAR			
<ol style="list-style-type: none"> Encienda el computador e ingrese a Adams car <p>Inicie el programa Adams Car en su interfaz <i>Template Builder</i></p>			



Figura 2. Ventana de Inicio de Adams Car.

Una vez dentro del programa seleccione *File » Open Template*, luego de clic derecho en el espacio en blanco y seleccione *Search » <acar_shared>* y busque dentro de la librería de Adams la suspensión a exportar, en este caso seleccione la suspensión *_multi_link.tpl*

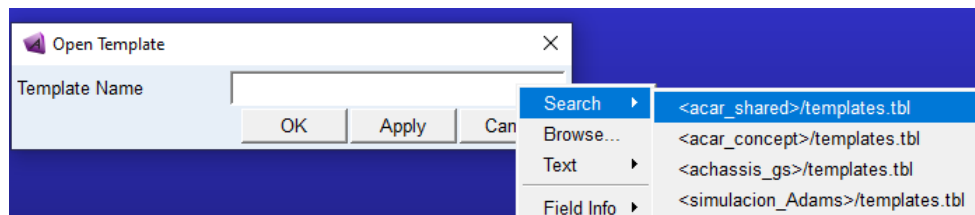


Figura 3. Ventana *OpenTemplate*.

Una vez realizada la selección, dar clic en *OK*.

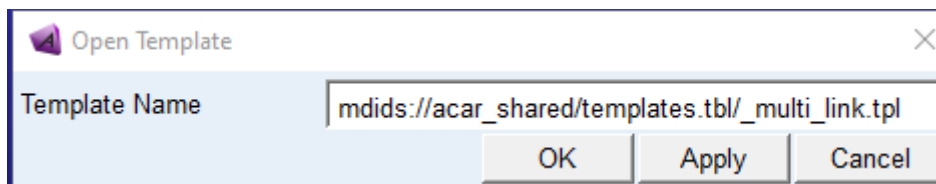


Figura 4. Selección suspensión.

La suspensión exportada se muestra en el espacio de trabajo de Adams como lo muestra la figura 5.

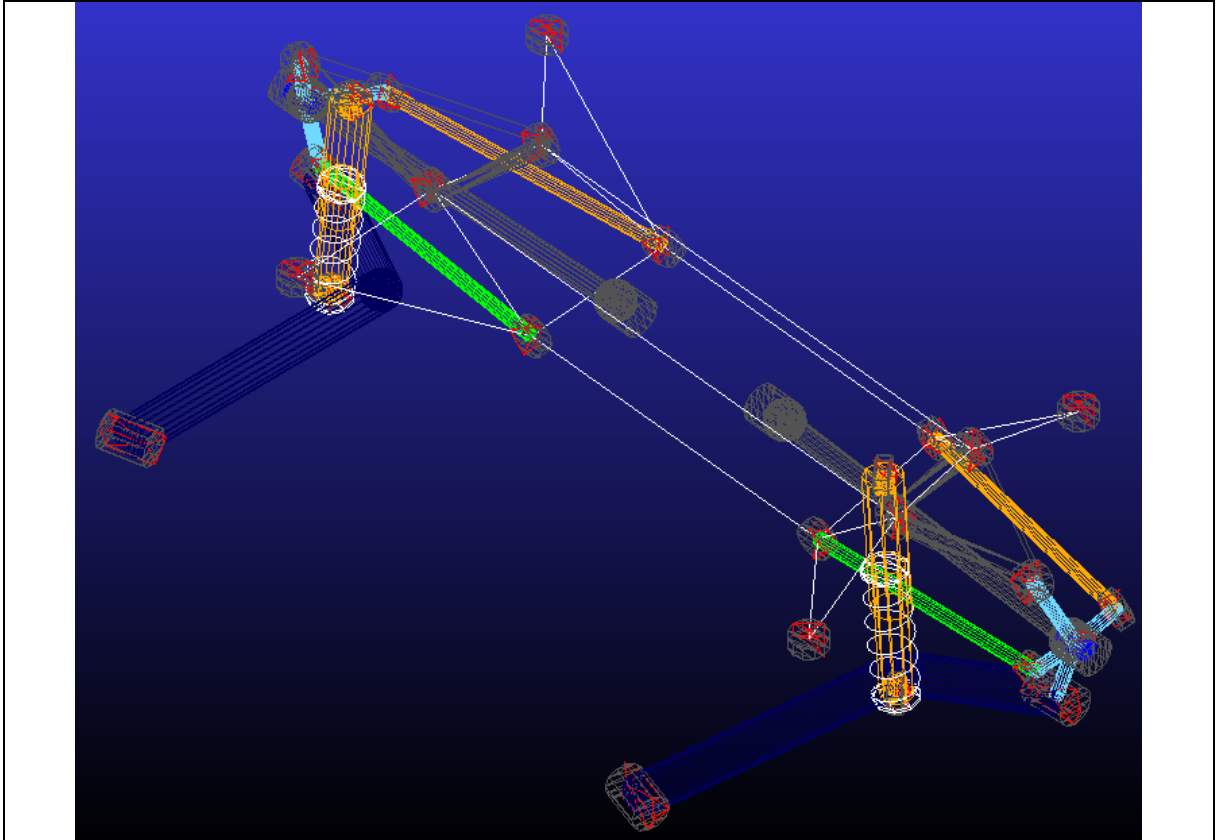


Figura 5. Template suspensión Multilink.

En el Template de la suspensión exportada se pueden editar todos los puntos de conexión que contienen las respectivas medidas de la suspensión, estos puntos de conexión se denominan *Hardpoints*.

2. Edición de los hardpoints

Para acceder a los hardpoints de clic en el menú de la izquierda en carpeta denominada *Hardpoints* donde se encuentran todos los puntos de los cuales está conformada la suspensión.

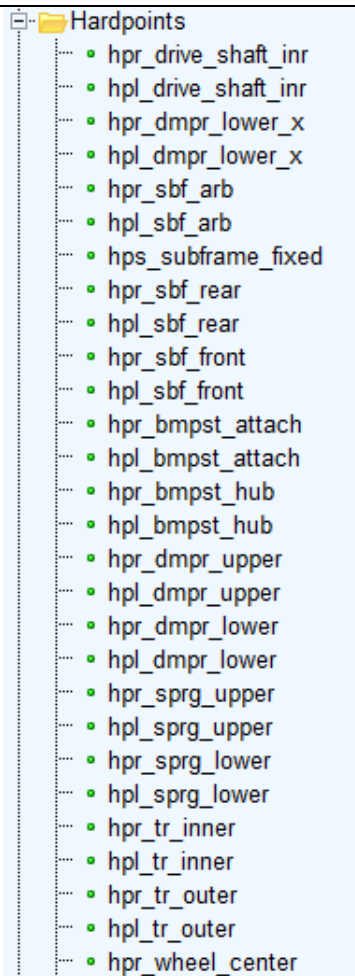


Figura 6. Hardpoints de la suspensión McPherson.

De clic derecho sobre el punto que desee modificar y se mostraran diferentes opciones como: Modificar, renombrar, copiar, desactivar, entre otras

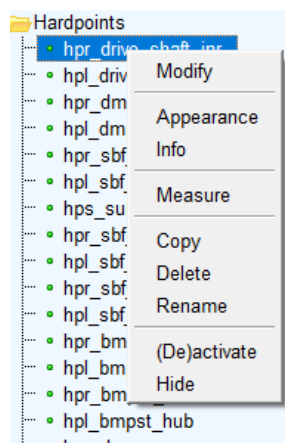


Figura 7: Opciones de un Hardpoint.

Si selecciona la opción modificar (Modify) se abre la ventana *Modify Hardpoint Location* , en esta ventana se puede modificar la ubicación del punto mediante la casilla *Location*

Los valores tanto de X, Y, y Z representan los puntos de conexión de la suspensión al modificar estos valores se modifica también el tamaño de la suspensión.

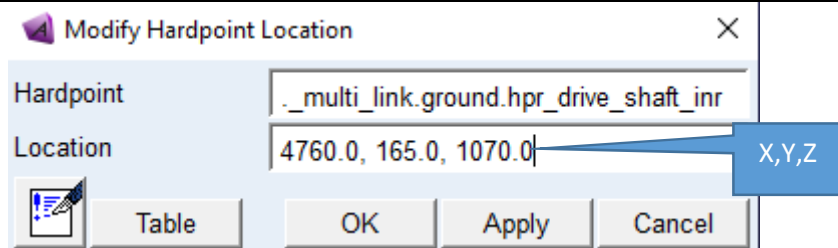


Figura 8: Modificación de un Hardpoint.

También se pueden modificar todos los puntos dando clic en **Table**, esta opción muestra todos los puntos de la suspensión con sus valores.

	loc_x	loc_y	loc_z	remarks
hpl_bmpst_attach	4773.0	-607.0	1286.0	(none)
hpl_bmpst_hub	4771.0	-668.0	1147.0	(none)
hpl_dmpr_lower	4590.0	-554.0	931.0	(none)
hpl_dmpr_lower_x	4756.66	-429.0	931.0	(none)
hpl_dmpr_upper	4598.0	-520.0	1326.0	(none)
hpl_drive_shaft_inr	4760.0	-165.0	1070.0	(none)
hpl_ll_inner	4710.0	-280.0	955.0	(none)
hpl_ll_outer	4716.0	-698.0	988.0	(none)
hpl_sbf_arb	4888.0	-372.0	1004.0	(none)
hpl_sbf_front	4472.0	-500.0	1082.0	(none)
hpl_sbf_rear	4980.0	-520.0	1182.0	(none)
hpl_sprg_lower	4590.0	-554.0	929.0	(none)
hpl_sprg_upper	4590.0	-531.0	1156.0	(none)
hpl_tl_aft	4740.0	-716.0	936.0	(none)
hpl_tl_aft_z	4740.0	-816.0	946.0	(none)
hpl_tl_forward	4141.0	-496.0	1005.0	(none)
hpl_tl_forward_z	4115.0	-588.0	1005.0	(none)
hpl_tr_inner	4953.0	-265.0	969.0	(none)
hpl_tr_outer	4859.0	-714.0	1019.0	(none)

Display: Single and Left Right Both Filter: **Apply** **Close**

Figura 9: Ubicación de los hardpoints de la suspensión.

Para poder identificar los puntos con sus respectivos nombres presione la tecla Ctrl+V y se mostraran las etiquetas de cada uno de los nombres de los hardpoints.

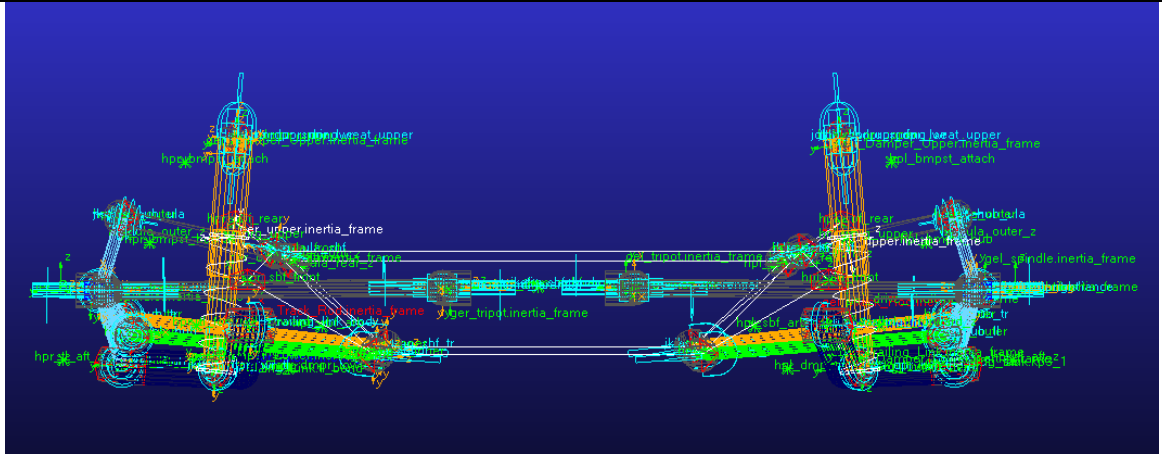


Figura 10: Etiquetas de la suspensión.

3. Editar los marcos de construcción (Construction Frames)

Los *construction frames* son bloques básicos de construcción que almacenan la orientación de los puntos, para modificar los marcos de construcción de clic en el menú de la izquierda de los *Construction Frames* y se mostrarán todos los marcos de construcción.

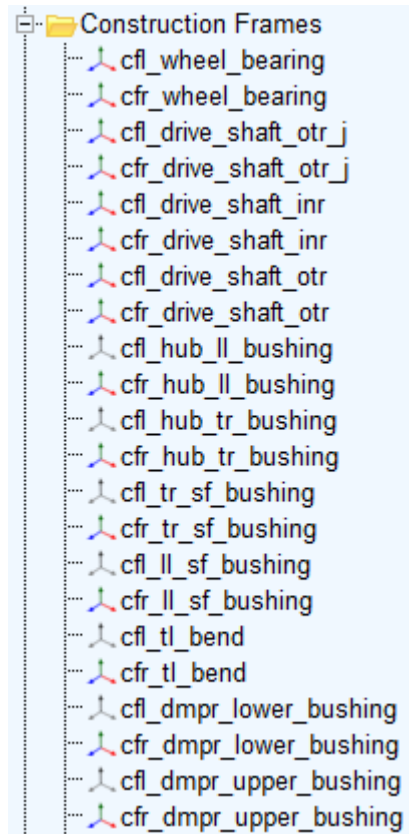


Figura 10: Marcos de construcción.

Algunos marcos de construcción dependen de algunas variables como: por ejemplo, la orientación de la rueda que depende del ángulo de convergencia/divergencia (toe) y ángulo el de caída (camber).

Estas variables se pueden modificar dando clic en el menú *Parameter Variables* » *Clic derecho* sobre la variable a modificar y seleccione *Modify*.

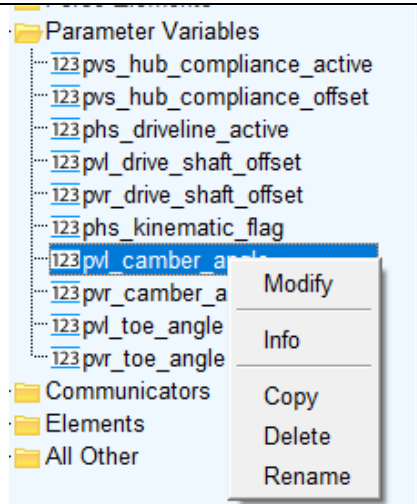


Figura 11: Modificación Variable

Al realizar clic en Modify se muestra la ventana de propiedades de la variable

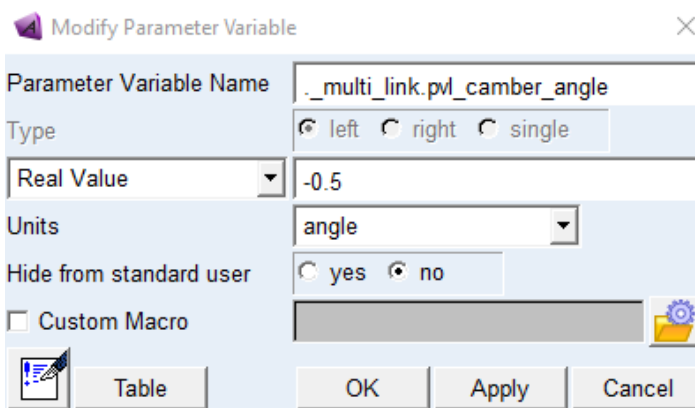


Figura 12: Propiedades Variables

Para modificar cualquier marco de clic derecho sobre un marco y aparecerá las opciones para realizar la modificación

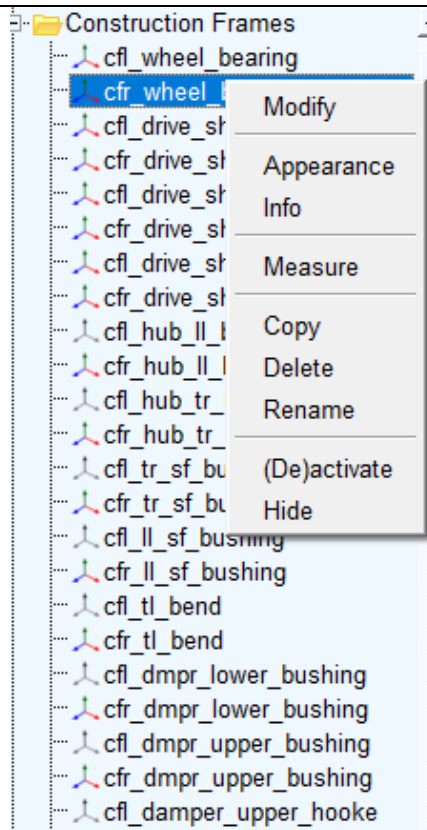


Figura 13: Marcos de construcción.

Al dar clic en modificar (Modify) se muestra la ventana de modificación, donde se puede modificar los parámetros del marco como: las coordenadas de referencia (Coordinate Reference), la locación (Location) y las variables de dependencia.

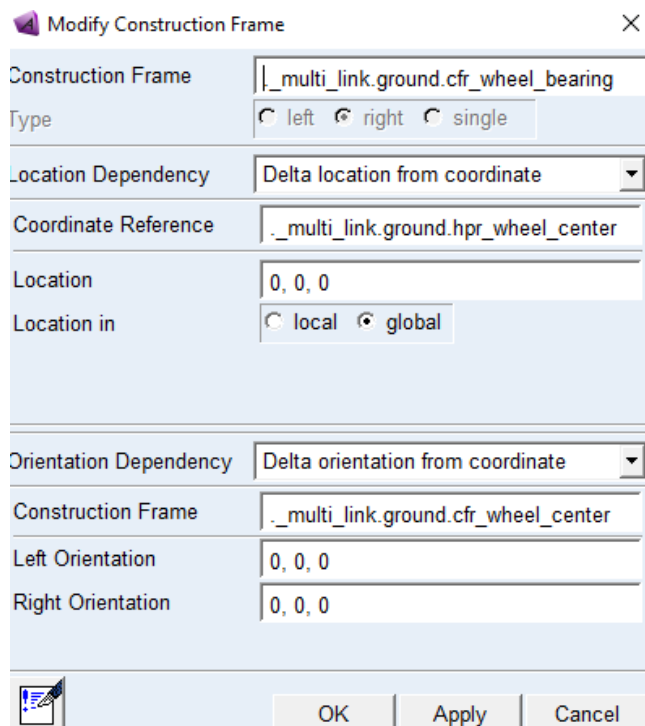


Figura 14: Modificación del marco de construcción.

4. Editar las piezas de montaje (Mount Parts)

Estas piezas sirven para comunicar las plantillas entre sí y también sirven de soporte para los amortiguadores y espirales, para modificarlas diríjase al menú *Parts* » *Mount Parts*

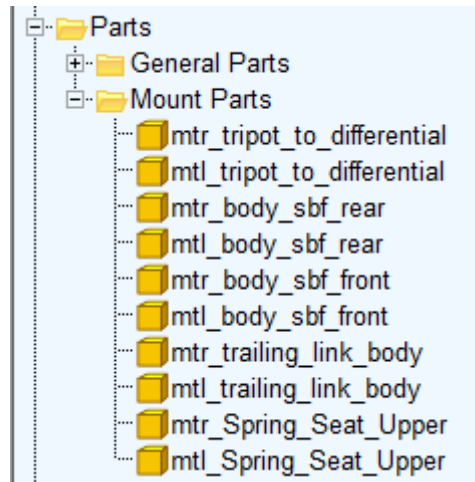


Figura 15: Piezas de montaje.

Luego elija el marco a modificar, de clic derecho y seleccione la opción *Modificar*. En la ventana de modificación de partes se puede modificar la coordenada de referencia (Coordinate Reference) que es sobre la cual está el marco y el Minor Role que va de acuerdo con el tipo de suspensión puede ser frontal, posterior, heredado o remolque.

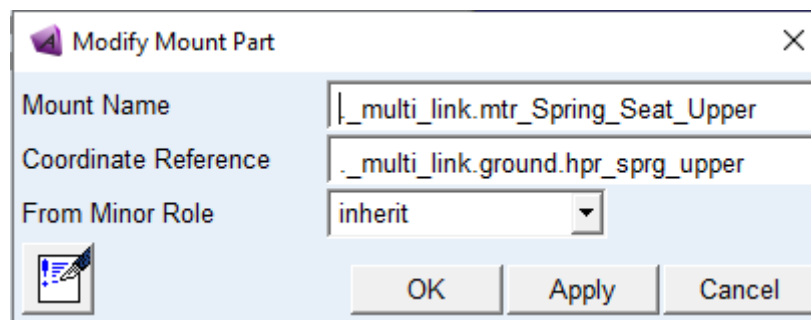


Figura 16: Modificación de las piezas de montaje.

5. Modificación de las partes (General Parts)

La suspensión está compuesta de diversas partes que se alojan en el menú *General Parts* y se pueden modificar dando clic derecho y luego seleccionar *Modificar*

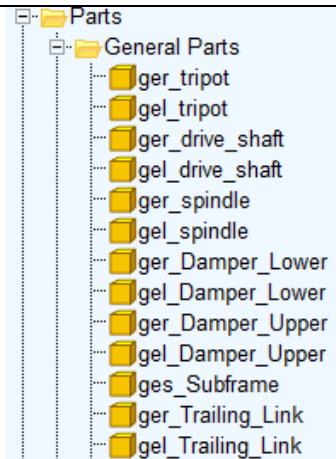


Figura 17: Partes generales.

La figura 18 muestra los parámetros de construcción de una barra y pueden ser modificados según sea necesario, como las coordenadas de referencia (Coordinate Reference) , la dependencia de orientación (Orientation Dependence) e incluso las propiedades mecánicas como masa del material.

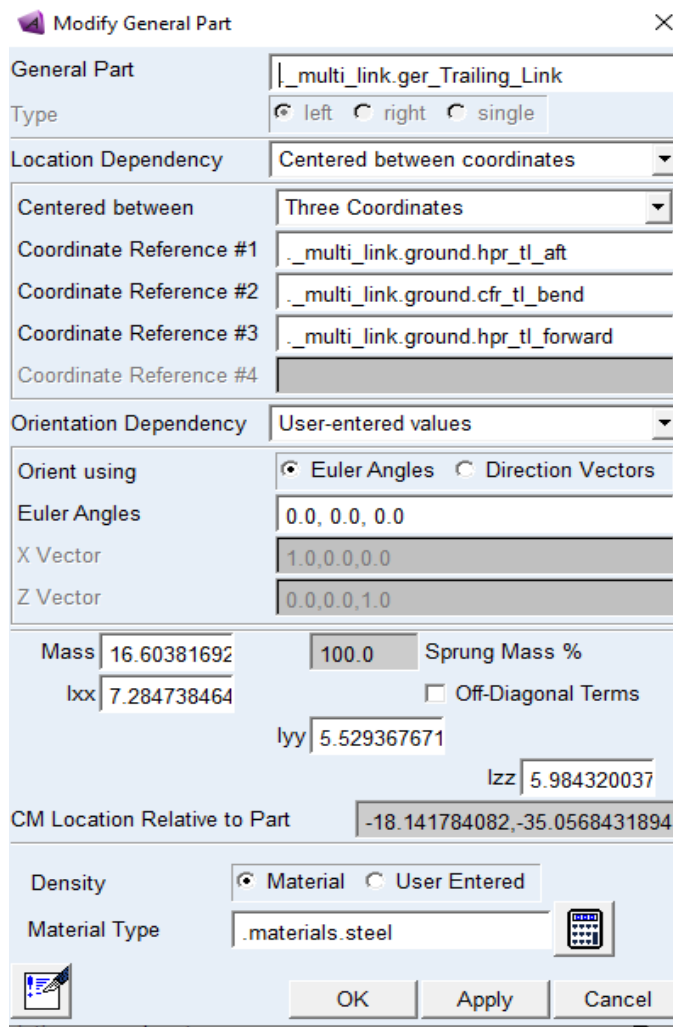


Figura 18: Parámetros de una barra de la suspensión.

6. Modificación de las fuerzas.

Los muelles (Spring) y los amortiguadores (Damper), dentro del software Adams Car disponen de propiedades preestablecidas que se encuentran dentro de los *Property Files*, sin embargo, si se pueden modificar propiedades del muelle tales como:

- El diámetro del muelle
- El número de bobinas
- Lo longitud del muelle.

Para modificar las propiedades del muelle se accede al menú Force Elements

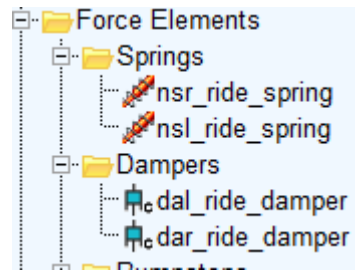


Figura 15: Fuerzas de la suspensión.

Luego de clic derecho en el muelle o amortiguador a modificar y seleccione la opción *Modify*, ya en la ventana de propiedades del muelle se pueden modificar el diámetro (Spring Diameter) y el número de bobinas (Number of Coils).

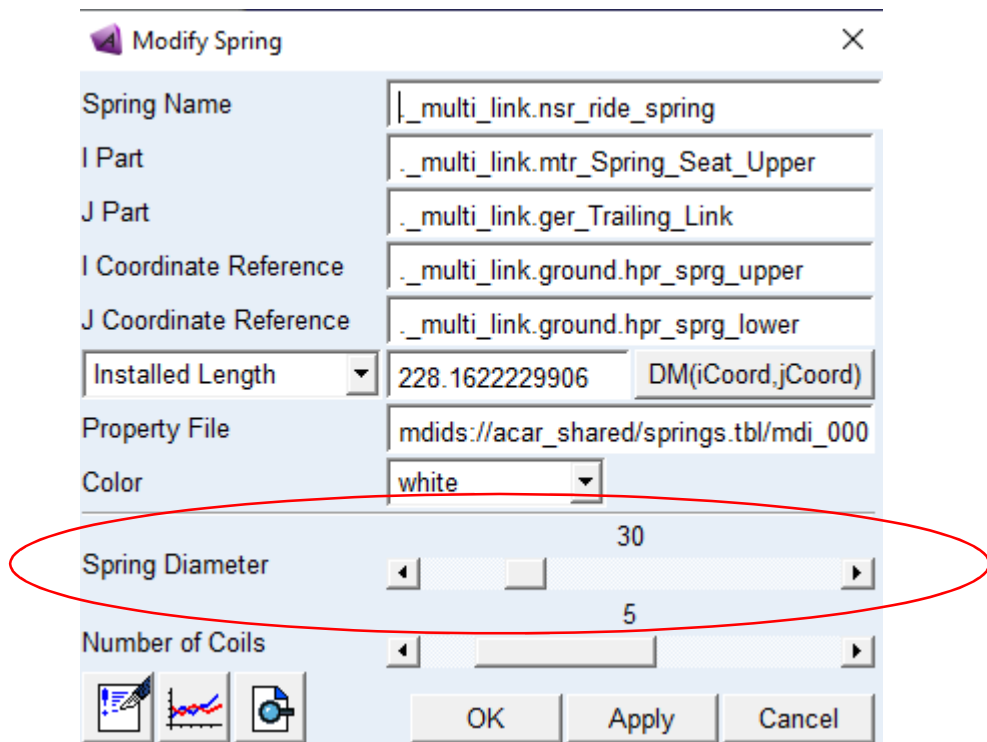


Figura 16: Ventana de modificación spring.

Para modificar el amortiguador de clic derecho sobre el cual desee modificar y luego seleccione *Modify* ya dentro de la ventana de modificación del amortiguador se puede cambiar su diámetro dentro de su propiedad *Damper Diameter*

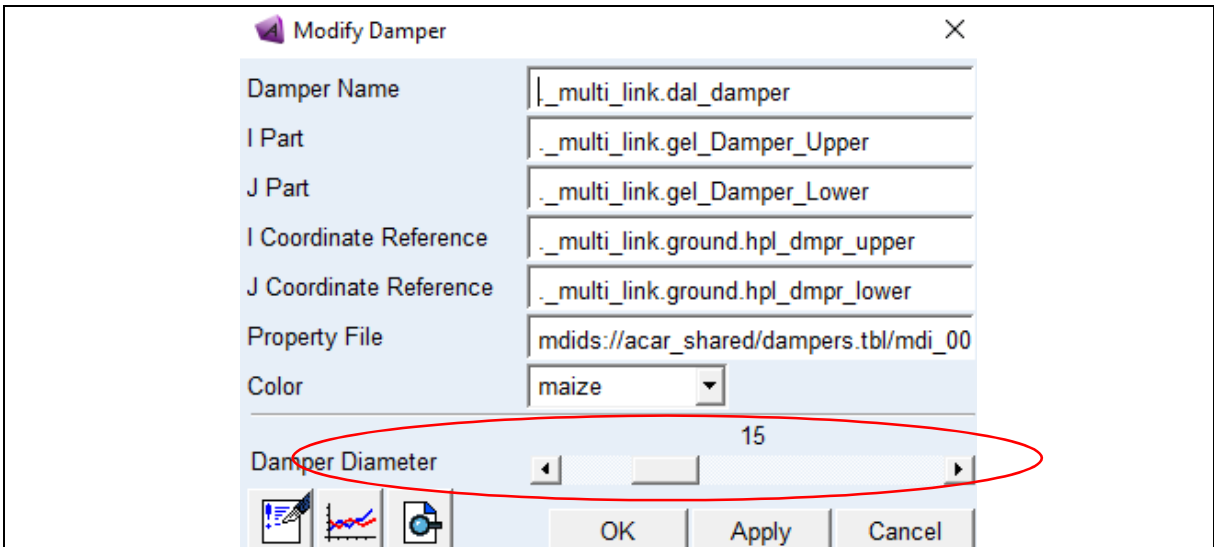


Figura 17: Ventana de modificación del amortiguador.

7. Modificación de las articulaciones (Joints)

Todas las partes de la suspensión están conectadas mediante articulaciones que pueden ser de diferentes tipos como: cilíndrica, esférica, revolución, entre otras.

Las juntas se pueden modificar desde el menú *Attachments*

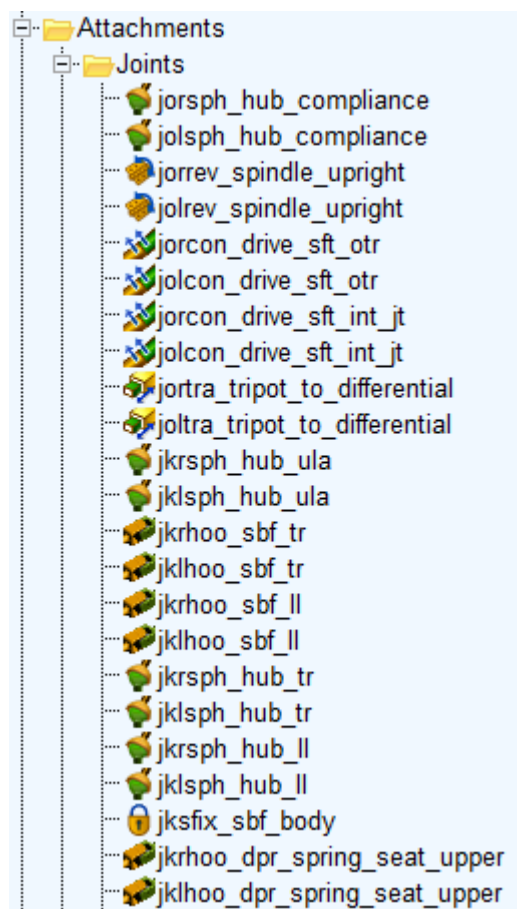


Figura 18: Tipos de uniones de la suspensión.

Para realizar la modificación de las uniones de clic derecho en la unión a modificar, clic en *Modify* y se mostrara

la ventana de parámetros. Para modificar el tipo de conexión de clic en la opción *Join Type* y se mostraran los diferentes tipos de uniones como las que se muestran en la figura 19, entre otras.

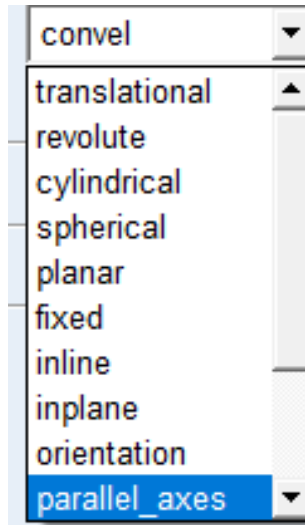


Figura 19: Join Type.

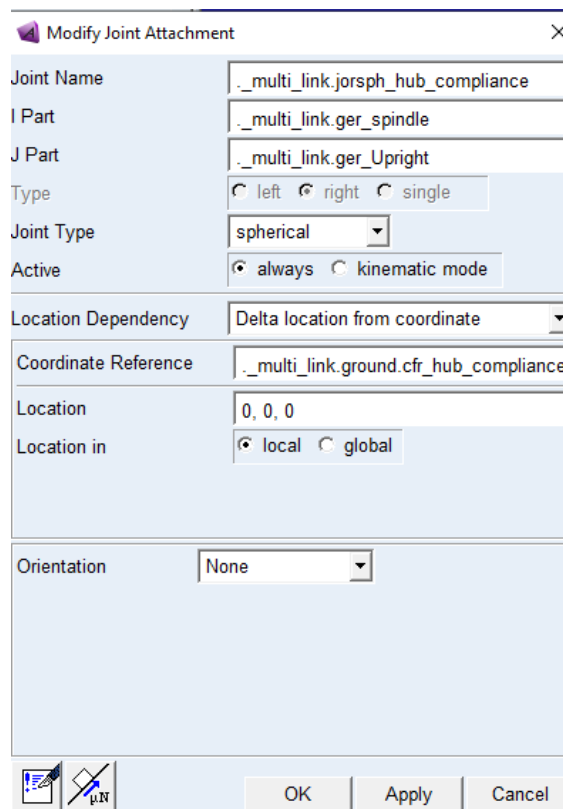


Figura 20: Parametros uniones.

Enumere los diferentes ángulos que rigen el comportamiento de la suspensión

RESULTADO(S) OBTENIDO(S):

1. Realizar un informe con los pasos para exportar y modificar la suspensión en Adams Car.
2. Presentar los resultados de la modificación de la suspensión con todos los elementos que la conforman

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

PREGUNTAS

Encierre en un círculo la respuesta correcta

Mediante cual parámetros se puede modificar las dimensiones de una suspensión en Adams Car:

- Con los valores los hardpoints
- Con las propiedades de las partes generales
- Con las propiedades de las partes de montaje
- Con los conectores de la suspensión

Las uniones o joints de la suspensión sirven para:

- Unir las partes generales
- Unir las partes generales y restringir el movimiento de estas
- Restringir los movimientos de las partes
- Evitar el movimiento de las partes.

Las piezas de montaje sirven para:

- Conectar las plantillas entre sí y sirven de soporte para los amortiguadores y espirales
- Para crear las partes generales
- Para crear los marcos de construcción

3.1.3 Guía de suspensión de brazos articulados



		GUÍA PARA EL DISEÑO DE SUSPENSIONES AUTOMOTRICES	
CARRERA: Ingeniería Mecánica Automotriz		ASIGNATURA:	
NRO. PRÁCTICA:		TÍTULO PRÁCTICA: exportación y edición de la suspensión de brazos articulados	
OBJETIVOS <ul style="list-style-type: none"> Realizar la exportación la suspensión de brazos articulados Editar los parámetros de la suspensión 			
Marco teórico, Herramientas y equipos necesarios para la realización de la práctica. <p>ADAMS (acrónimo de Automated Dynamic Analysis of Mechanical Systems) es un software de simulación de dinámica multi-cuerpo equipado con solucionadores numéricos Fortran y C++. MSC Software generalmente soporta los dos sistemas operativos Linux y Microsoft Windows.</p> <p>MSC.Adams es el nombre comercial del software en el cual se realizan análisis sobre mecanismos. Posee varios modelos que facilitan realizar simulaciones, mediante animaciones, ejecutar análisis de vibraciones, efectuar análisis de esfuerzos, etcétera.</p> <p>Los estudiantes que pongan en práctica esta guía deben referirse a las normas de seguridad establecidas por la UPS para el uso de laboratorios, además, deben contar con las siguientes herramientas:</p> <ul style="list-style-type: none"> Computador con Adams Car 			
INSTRUCCIONES		1. Encienda el computador e ingrese a Adams car	
		2. Modificación hardpoints de la suspensión	
		3. Edición de los marcos	
		4. Edición de las partes	
		5. Edición de las piezas de montaje	
Figura 1: Suspensión de brazos articulados		6. Modificación de las articulaciones	
ACTIVIDADES POR DESARROLLAR			
1. Encienda el computador e ingrese a Adams car			
Inicie el programa Adams Car en su interfaz <i>Template Builder</i>			



Figura 2. Interfaz de Inicio Adams Car.

Una vez dentro del programa seleccione *File » Open Template*, luego de clic derecho en el espacio en blanco y seleccione *Search » <acar_shared>* y busque dentro de la librería de Adams la suspensión a exportar, en este caso seleccione la suspensión *_double_wishbone.tpl*

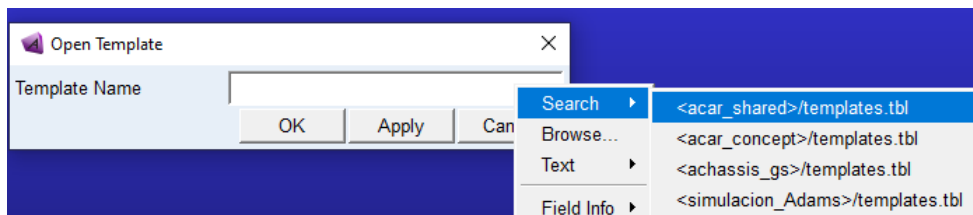


Figura 3. Ventana *OpenTemplate*.

Una vez realizada la selección, dar clic en *Apply* y cerrar la ventana.

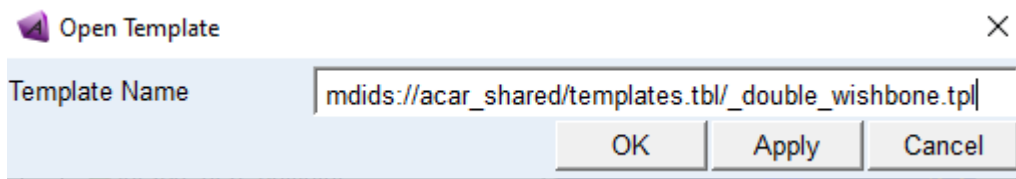


Figura 4. Selección suspensión.

La suspensión exportada se muestra en el espacio de trabajo de Adams como lo indica la figura 5.

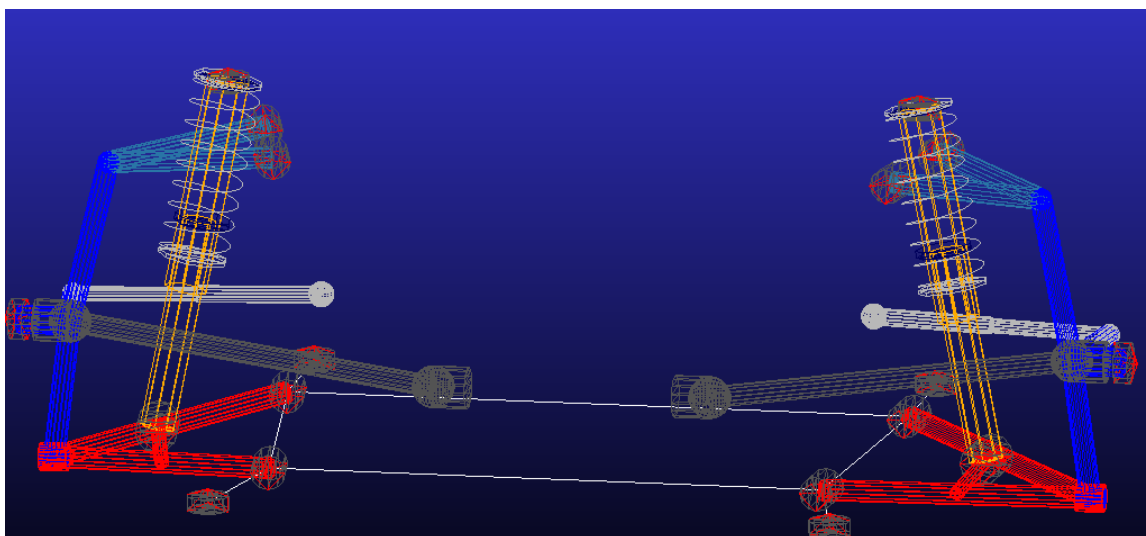


Figura 5. Template suspensión de brazos articulados

En el Template de la suspensión exportada se pueden editar todos los puntos de conexión que contienen las respectivas medidas de la suspensión, esto puntos de conexión se denominan *Hardpoints*.

2. Edición de los hardpoints

Para acceder a los hardpoints de clic en el menú de la izquierda en carpeta denominada *Hardpoints* donde se encuentran todos los puntos de los cuales está conformada la suspensión.

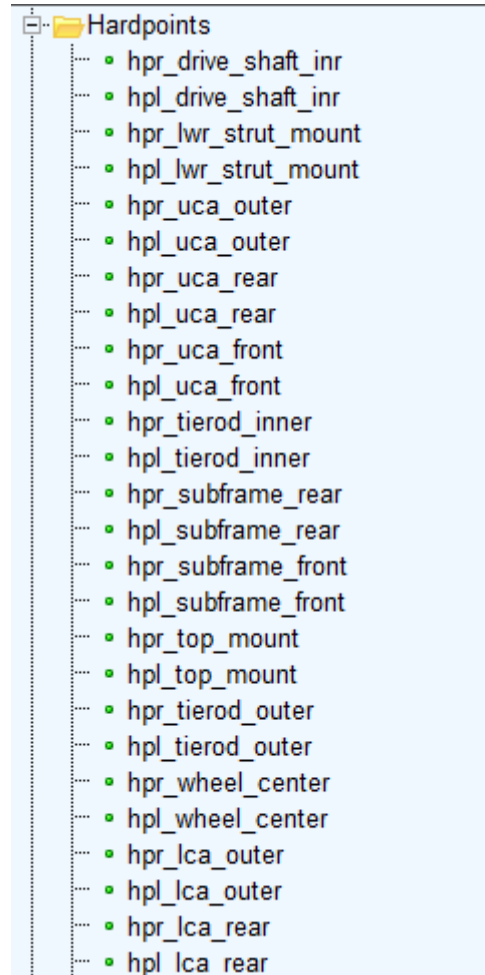


Figura 6. Hardpoints de la suspensión de brazos articulados

De clic derecho sobre el punto que desee modificar y se mostraran diferentes opciones como: Modificar, renombrar, copiar, desactivar, entre otras opciones.

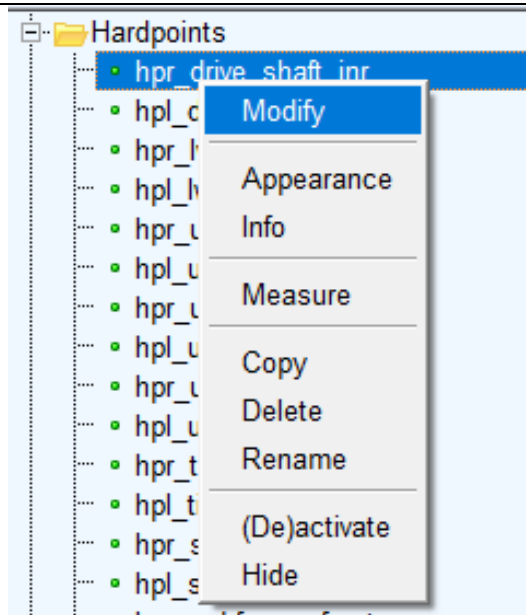


Figura 7: Opciones de un Hardpoint.

Si selecciona la opción modificar (Modify) se abre la ventana *Modify Hardpoint Location*, en esta ventana se puede modificar la ubicación del punto mediante la casilla *Location*

Los valores tanto de X, Y, y Z representan los puntos de conexión de la suspensión al modificar estos valores se modifica también el tamaño de la suspensión.

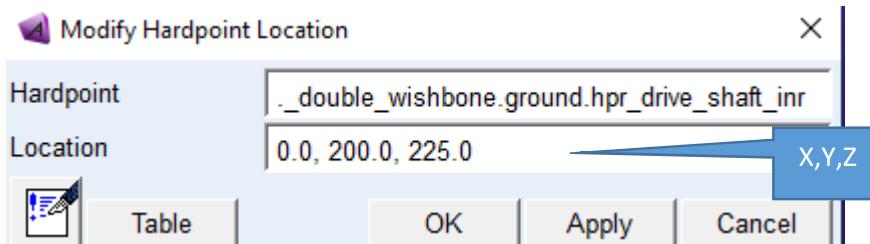


Figura 8: Modificación de un Hardpoint.

También se pueden modificar todos los puntos dando clic en , esta opción muestra todos los puntos de la suspensión con sus valores.

4 Hardpoint Modification Table

	loc_x	loc_y	loc_z	remarks
hpl_drive_shaft_inr	0.0	-200.0	225.0	(none)
hpl_lca_front	-200.0	-400.0	150.0	(none)
hpl_lca_outer	0.0	-750.0	100.0	(none)
hpl_lca_rear	200.0	-450.0	155.0	(none)
hpl_lwr_strut_mount	0.0	-600.0	150.0	(none)
hpl_subframe_front	-400.0	-450.0	150.0	(none)
hpl_subframe_rear	400.0	-450.0	150.0	(none)
hpl_tierod_inner	200.0	-400.0	300.0	(none)
hpl_tierod_outer	150.0	-750.0	300.0	(none)
hpl_top_mount	40.0	-500.0	650.0	(none)
hpl_uca_front	100.0	-450.0	525.0	(none)
hpl_uca_outer	40.0	-675.0	525.0	(none)
hpl_uca_rear	250.0	-490.0	530.0	(none)
hpl_wheel_center	0.0	-800.0	300.0	(none)

Display: Single and Left Right Both Filter: * Apply

Figura 9: Ubicación de los hardpoints de la suspensión.

Para poder identificar los puntos con sus respectivos nombres presione la tecla Ctrl+V y se mostraran las etiquetas de cada uno de los nombres de los hardpoints.

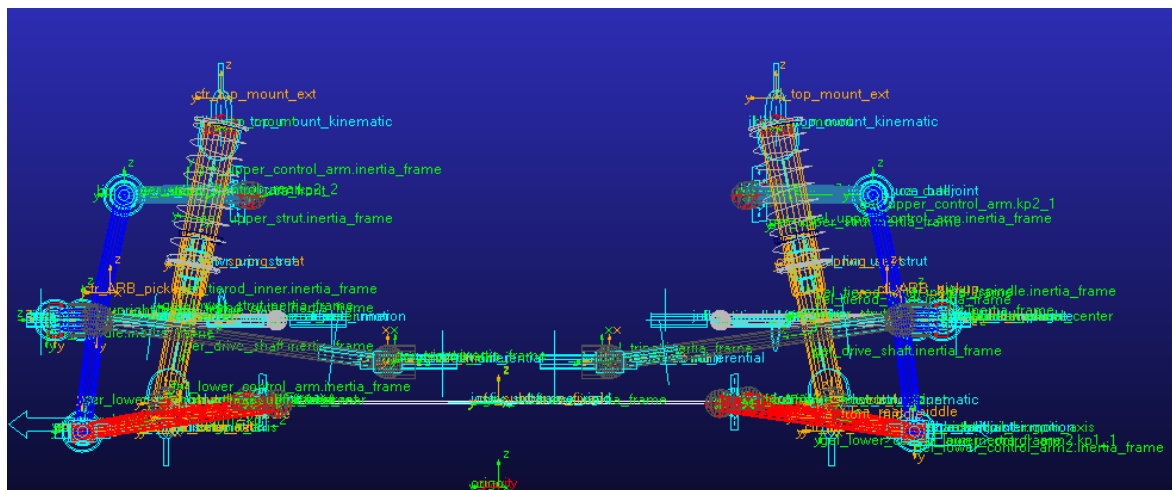


Figura 10: Etiquetas de la suspensión.

3. Editar los marcos de construcción (Construction Frames)

Los *construction frames* son bloques básicos de construcción que almacenan la orientación de los puntos, para modificar los marcos de construcción de clic en el menú de la izquierda de los *Construction Frames* y se mostraran todos los marcos de construcción.

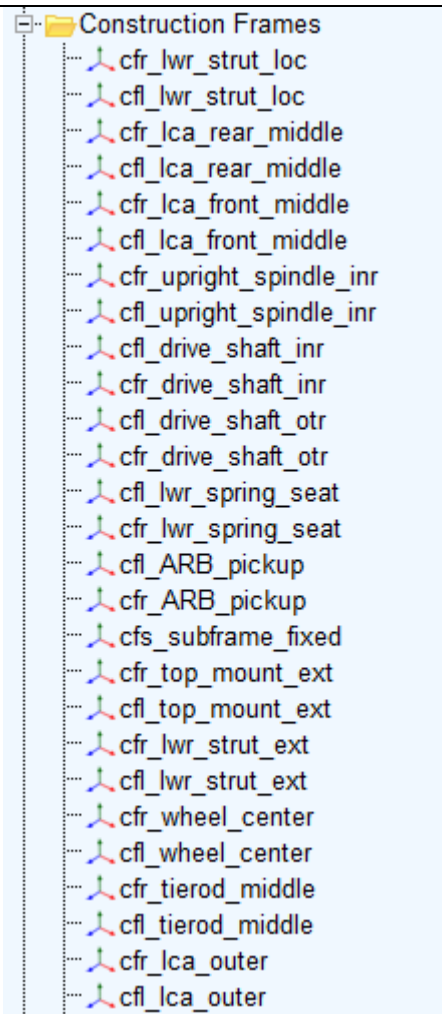


Figura 10: Marcos de construcción.

Algunos marcos de construcción dependen de algunas variables como: por ejemplo, la orientación de la rueda que depende del ángulo de convergencia/divergencia (toe) y ángulo el de caída (camber).

Estas variables se pueden modificar dando clic en el menú *Parameter Variables* » *Clic* derecho sobre la variable a modificar y *Modify*.

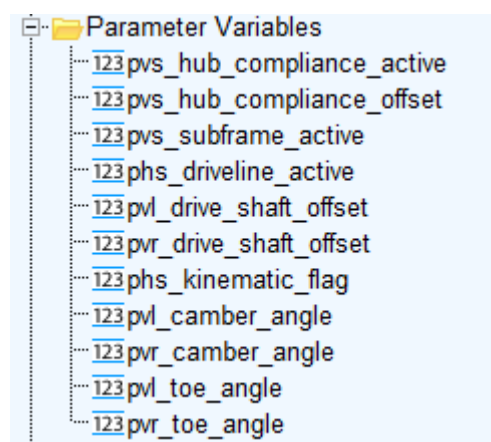


Figura 11: Modificación Variable

Para cambiar las propiedades de una variable de clic derecho sobre un variable y seccione la opción *Modify*.

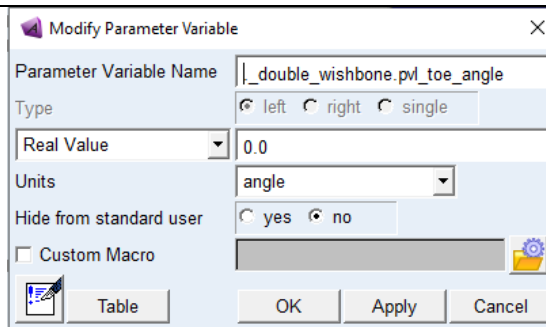


Figura 12: Propiedades Variables

Para modificar cualquier marco de clic derecho sobre un marco y aparecerá las opciones para realizar la modificación

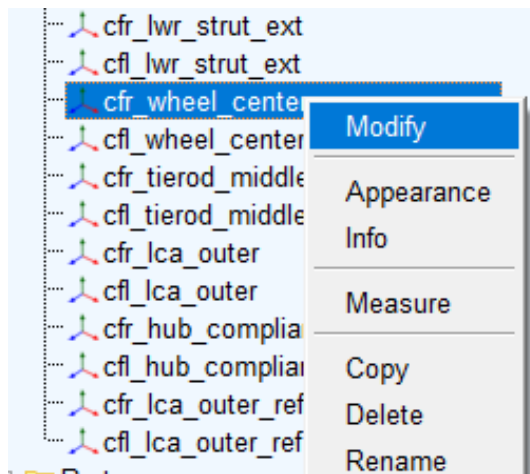


Figura 13: Marcos de construcción.

Al dar clic en modificar (Modify) se muestra la ventana de modificación, donde se puede modificar los parámetros del marco como: las coordenadas de referencia (Coordinate Reference), la locación (Location) y las variables de dependencia.

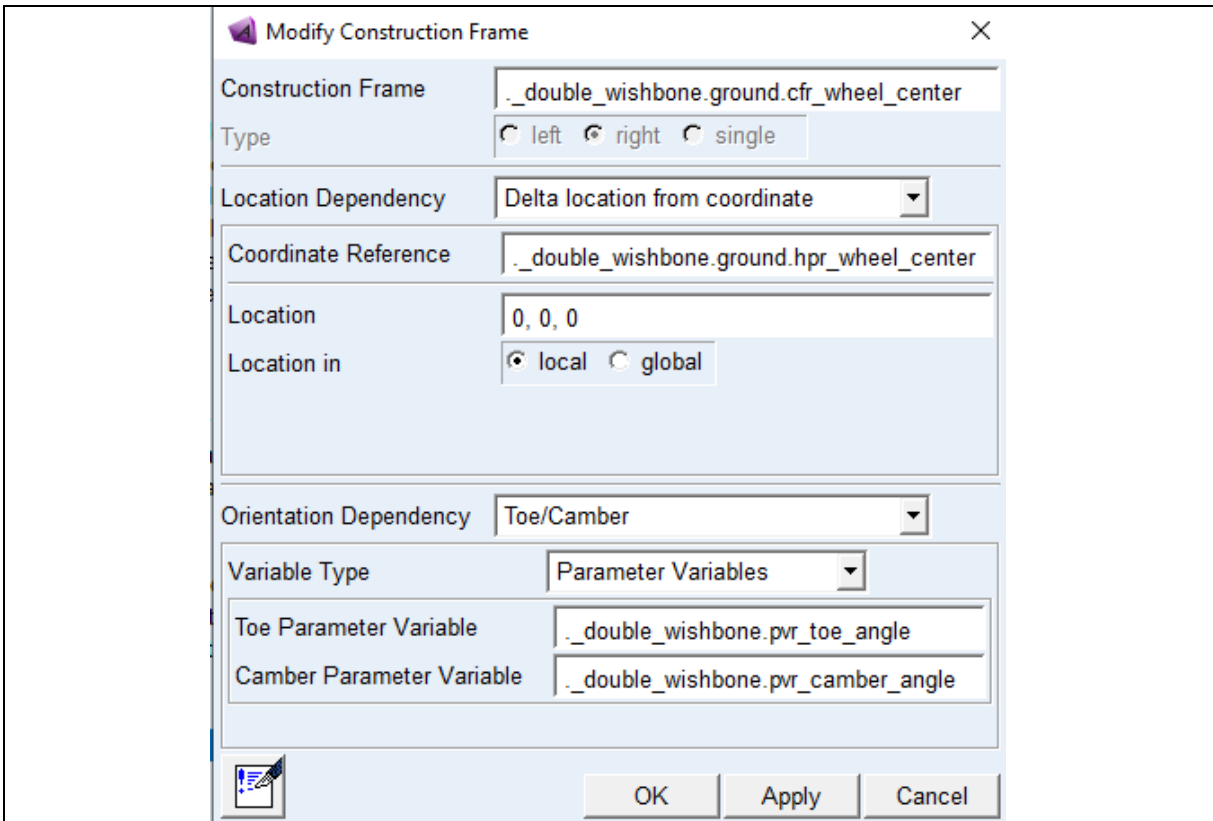


Figura 14: Modificación del marco de construcción.

4. Editar las piezas de montaje (Mount Parts)

Estas piezas sirven para comunicar las plantillas entre sí y también sirven de soporte para los amortiguadores y espirales, para modificar diríjase al menú *Parts* » *Mount Parts*

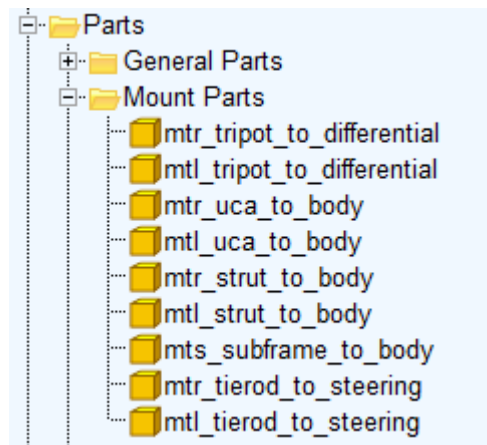


Figura 15: Piezas de montaje.

Luego elija el marco a modificar, de clic derecho y elija la opción *Modify*. En la ventana de modificación de partes se puede modificar la coordenada de referencia (Coordinate Reference) que es sobre la cual está el marco y el Minor Role que va de acuerdo con el tipo de suspensión puede ser frontal, posterior, heredado o remolque.

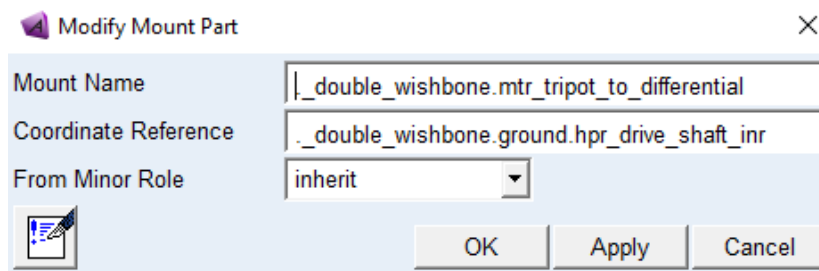


Figura 16: Modificación de las piezas de montaje.

5. Modificación de las partes (General Parts)

La suspensión está compuesta de diversas partes que se alojan en el menú *General Parts* y se pueden modificar dando clic derecho y luego seleccionar *Modify*

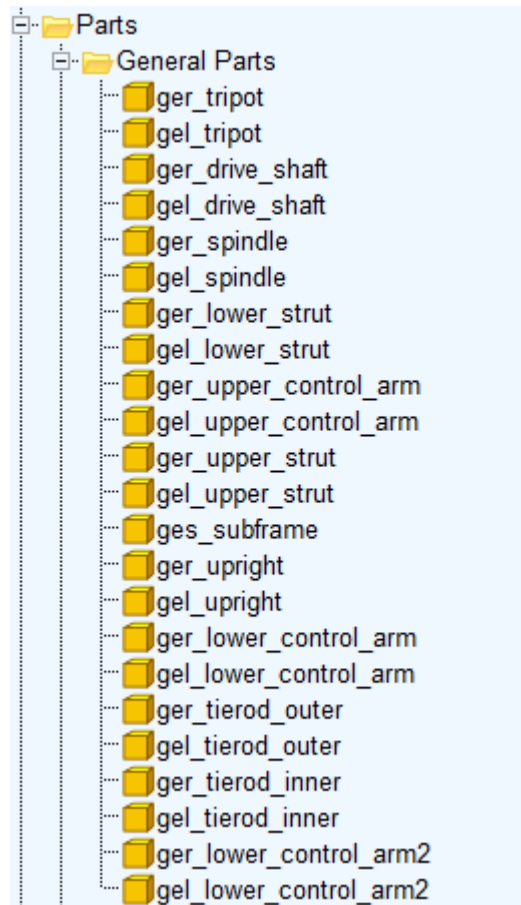


Figura 17: Partes generales.

La figura 18 muestra los parámetros de construcción de un brazo de la suspensión y pueden ser modificados según sea requiera, las coordenadas de referencia (Coordinate Reference), la dependencia de orientación (Orientation Dependence) e incluso las propiedades mecánicas como masa del material.

Modify General Part

General Part: `_double_wishbone.ger_upper_control_arm`

Type: left right single

Location Dependency: Centered between coordinates

Centered between: Three Coordinates

Coordinate Reference #1: `_double_wishbone.ground.hpr_uca_rear`

Coordinate Reference #2: `_double_wishbone.ground.hpr_uca_front`

Coordinate Reference #3: `_double_wishbone.ground.hpr_uca_outer`

Coordinate Reference #4: [Empty]

Orientation Dependency: Orient to zpoint-xpoint

Coordinate Reference #1: `_double_wishbone.ground.hpr_uca_outer`

Coordinate Reference #2: `_double_wishbone.ground.hpr_uca_front`

Axes: ZX XZ

Mass: `4.639404499` `100.0` Sprung Mass %

lxx: `2.419889899` Off-Diagonal Terms

lyy: `3.123270325`

lzz: `7386.361789`

CM Location Relative to Part: `-2.2372176837,0.0,25.010316486`

Density: Material User Entered

Material Type: `.materials.steel`

Buttons: [OK] [Apply] [Cancel]

Figura 18: Parámetros de un brazo de la suspensión.

6. Modificación de las fuerzas.

Los muelles (Spring) y los amortiguadores (Damper), dentro del software Adams Car disponen de propiedades preestablecidas que se encuentran dentro de los *Property Files*, sin embargo, si se pueden modificar propiedades del muelle tales como:

- El diámetro del muelle.
- El número de bobinas.
- Lo longitud del muelle.

Para modificar las propiedades del muelle se accede al menú Force Elements

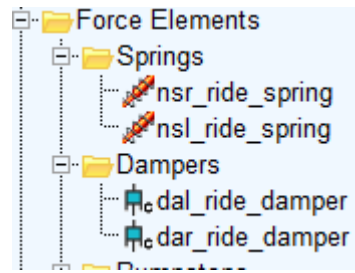


Figura 15: Fuerzas de la suspensión.

Luego de clic derecho en el muelle o amortiguador a modificar y seleccione la opción *Modify*, ya en la ventana de propiedades del muelle se pueden modificar el diámetro (Spring Diameter) y el número de bobinas (Number of Coils).

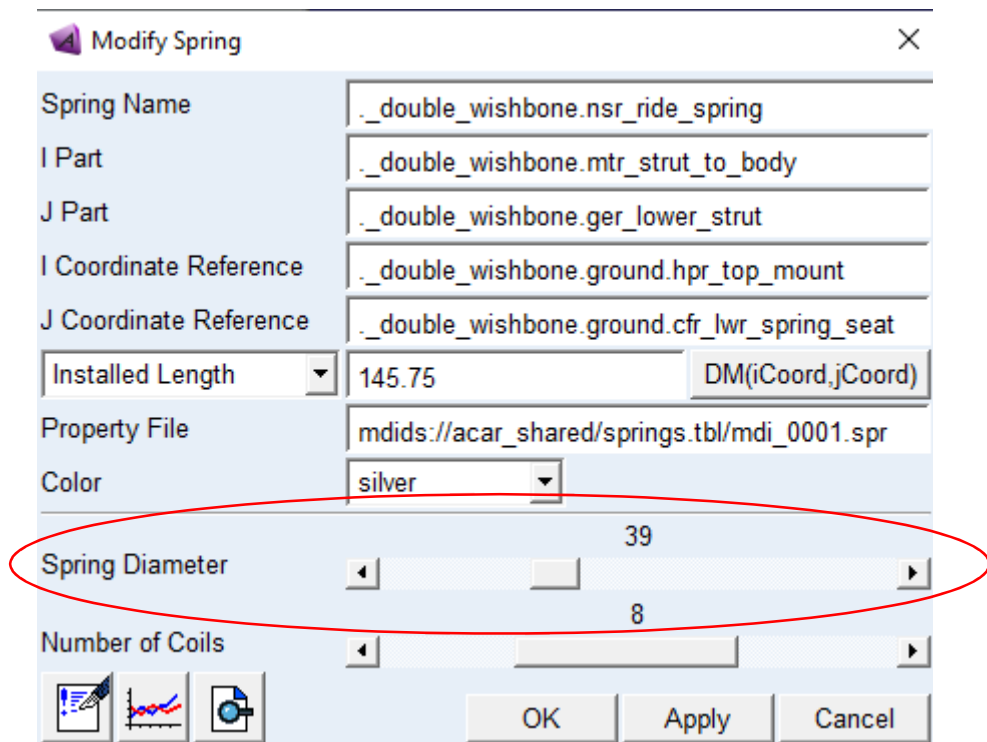


Figura 16: Ventana de modificación spring.

Para modificar el amortiguador de clic derecho sobre el cual desee modificar y luego seleccione *Modify* ya dentro de la ventana de modificación del amortiguador se puede cambiar su diámetro dentro de su propiedad *Damper Diameter*

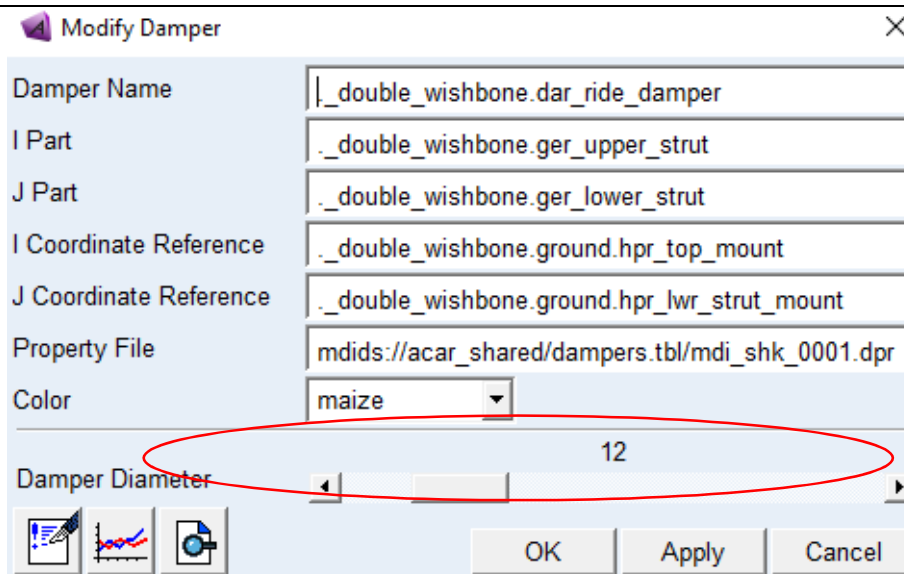


Figura 17: Ventana de modificación del amortiguador.

7. Modificación de las articulaciones (Joints)

Todas las partes de la suspensión están conectadas mediante articulaciones que pueden ser de diferentes tipos como: cilíndrica, esférica, revolución, entre otras.

Las juntas se pueden modificar desde el menú *Attachments*

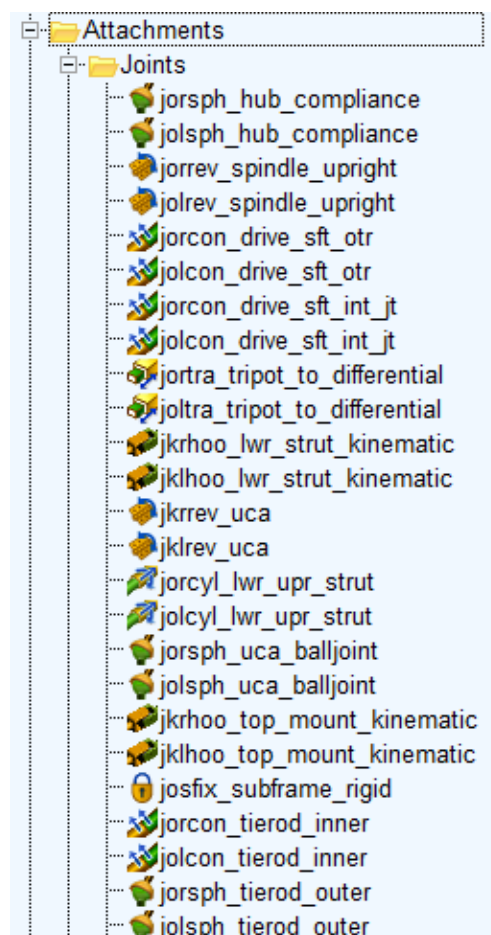


Figura 18: Tipos de uniones de la suspensión.

Para realizar la modificación de las uniones de clic derecho en la unión a modificar, clic en *Modify* y se mostrara

la ventana de parámetros. Para modificar el tipo de conexión de clic en la opción *Join Type* y se mostraran los diferentes tipos de uniones como las que se muestran en la figura 19, entre otras.

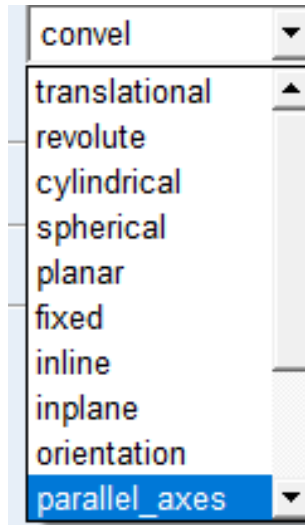


Figura 19: Join Type.

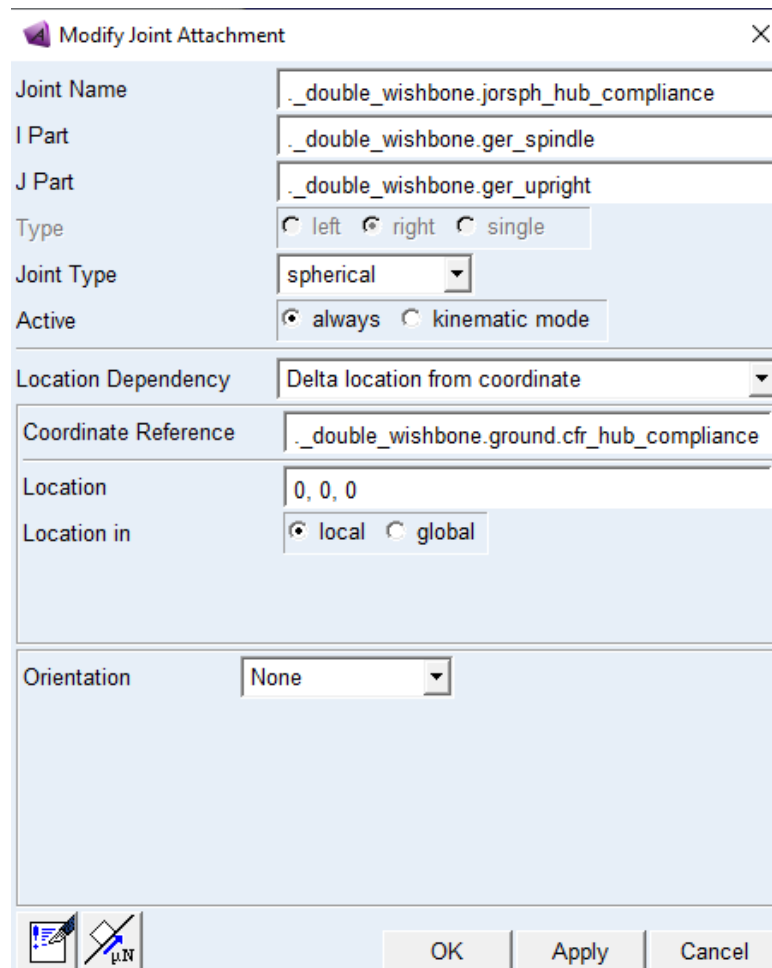


Figura 20: Parametros uniones.

Enumere los diferentes ángulos que rigen el comportamiento de la suspensión

RESULTADO(S) OBTENIDO(S):

1. Realizar un informe con los pasos para exportar y modificar la suspensión en Adams Car.
2. Presentar los resultados de la modificación de la suspensión con todos los elementos que la conforman

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

PREGUNTAS

Encierre en un círculo la respuesta correcta

Mediante cual parámetros se puede modificar las dimensiones de una suspensión en Adams Car:

- Con los valores los hardpoints
- Con las propiedades de las partes generales
- Con las propiedades de las partes de montaje
- Con los conectores de la suspensión

Las uniones o joints de la suspensión sirven para:

- Unir las partes generales
- Unir las partes generales y restringir el movimiento de estas
- Restringir los movimientos de las partes
- Evitar el movimiento de las partes.

Las piezas de montaje sirven para:

- Conectar las plantillas entre sí y sirven de soporte para los amortiguadores y espirales
- Para crear las partes generales
- Para crear los marcos de construcción

3.1.4 Guía de suspensión rígida con resorte


		GUÍA PARA EL DISEÑO DE SUSPENSIONES AUTOMOTRICES	
CARRERA: Ingeniería Mecánica Automotriz		ASIGNATURA:	
NRO. PRÁCTICA:		TÍTULO PRÁCTICA: Exportación y edición rígida con resorte	
OBJETIVOS <ul style="list-style-type: none"> Realizar la exportación la suspensión rígida con resorte Editar los parámetros de la suspensión 			
Marco teórico, Herramientas y equipos necesarios para la realización de la práctica. <p>ADAMS (acrónimo de Automated Dynamic Analysis of Mechanical Systems) es un software de simulación de dinámica multi-cuerpo equipado con solucionadores numéricos Fortran y C++. MSC Software generalmente soporta los dos sistemas operativos Linux y Microsoft Windows.</p> <p>MSC.Adams es el nombre comercial del software en el cual se realizan análisis sobre mecanismos. Posee varios modelos que facilitan realizar simulaciones, mediante animaciones, ejecutar análisis de vibraciones, efectuar análisis de esfuerzos, etcétera.</p> <p>Los estudiantes que pongan en práctica esta guía deben referirse a las normas de seguridad establecidas por la UPS para el uso de laboratorios, además, deben contar con las siguientes herramientas:</p> <ul style="list-style-type: none"> Computador con Adams Car 			
INSTRUCCIONES		1. Encienda el computador e ingrese a Adams car	
		2. Modificación hardpoints de la suspensión	
<p><i>Figura 1: suspensión rígida con resorte</i></p>		3. Edición de los marcos	
		4. Edición de las partes	
		5. Edición de las piezas de montaje	
		6. Modificación de las articulaciones	
ACTIVIDADES POR DESARROLLAR			
1. Encienda el computador e ingrese a Adams car			
Inicie el programa Adams Car en su interfaz <i>Template Builder</i>			



Figura 2. Interfaz de Inicio Adams Car.

Una vez dentro del programa seleccione *File » Open Template*, luego de clic derecho en el espacio en blanco y seleccione *Search » <acar_shared>* y busque dentro de la librería de Adams la suspensión a exportar, en este caso seleccione la suspensión *_quad_link_axle.tpl*

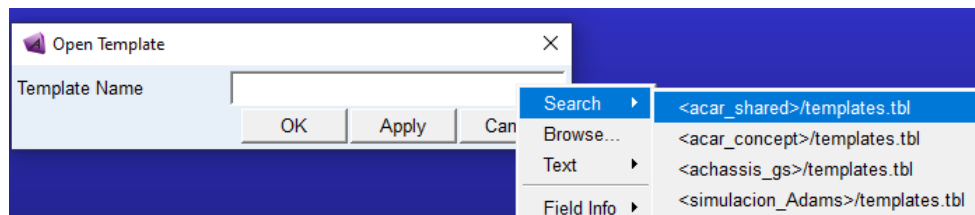


Figura 3. Ventana *OpenTemplate*.

Una vez realizada la selección, dar clic en *OK*.

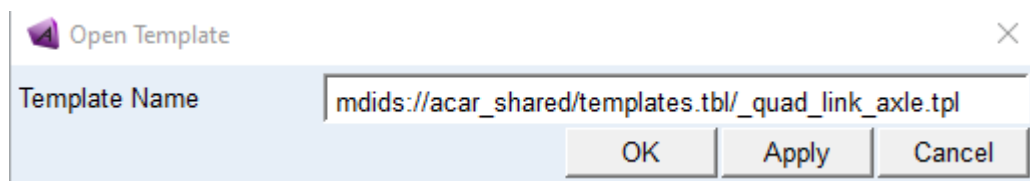


Figura 4. Selección suspensión.

La suspensión exportada se muestra en el espacio de trabajo de Adams como lo ilustra la figura 5.

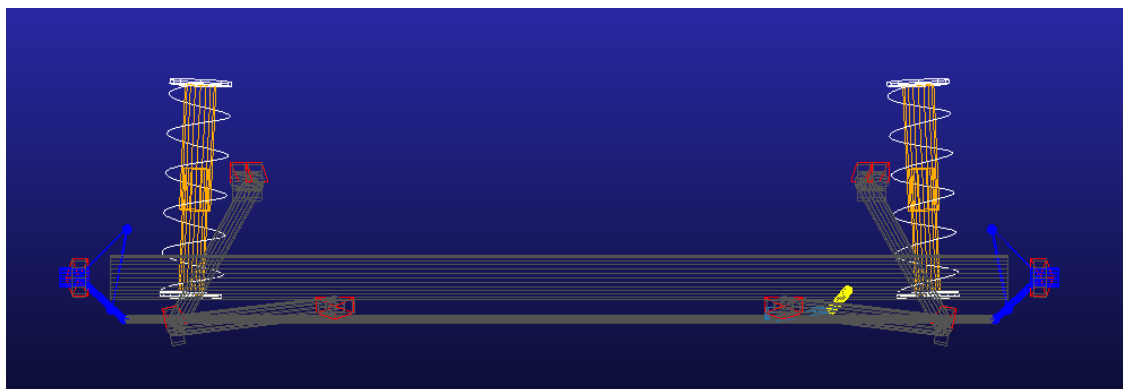


Figura 5. Template suspensión de brazos articulados

En el Template de la suspensión exportada se pueden editar todos los puntos de conexión que contienen las respectivas medidas de la suspensión, esto puntos de conexión se denominan *Hardpoints*.

2. Edición de los hardpoints

Para acceder a los hardpoints de clic en el menú de la izquierda en carpeta denominada *Hardpoints* donde se encuentran todos los puntos de los cuales está conformada la suspensión.

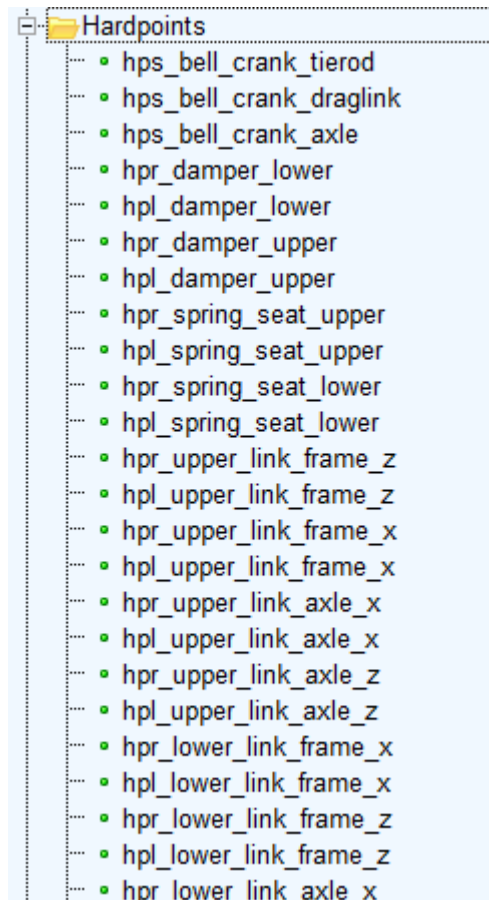


Figura 6. Hardpoints de la suspensión de brazos articulados

De clic derecho sobre el punto que desee modificar y se mostraran diferentes opciones como: modificar, renombrar, copiar, desactivar, entre otras opciones.

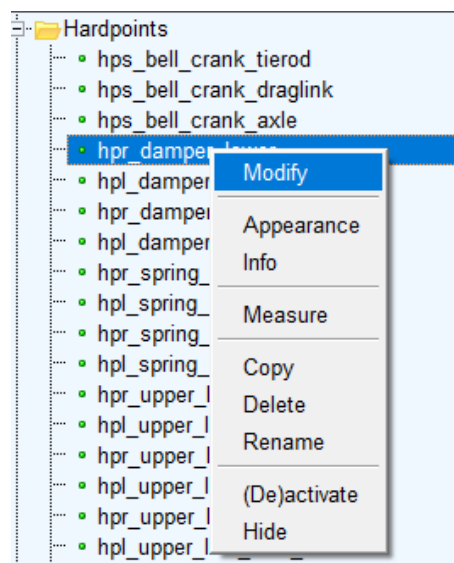


Figura 7: Opciones de un Hardpoint.

Si selecciona la opción modificar (Modify) se abre la ventana *Modify Hardpoint Location*, en esta ventana se

puede modificar la ubicación del punto mediante la casilla *Location*

Los valores tanto de X, Y, y Z representan los puntos de conexión de la suspensión al modificar estos valores se modifica también el tamaño de la suspensión.

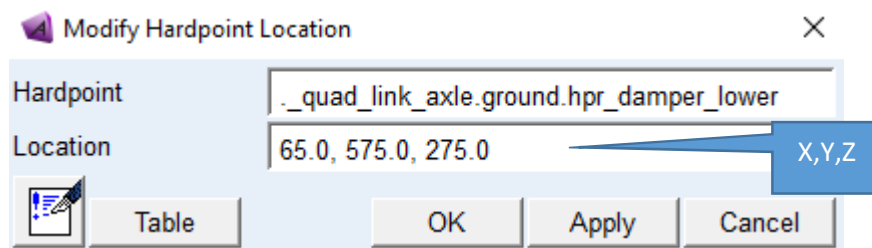



Figura 8: Modificación de un Hardpoint.

También se pueden modificar todos los puntos dando clic en , esta opción muestra todos los puntos de la suspensión con sus valores.

	loc_x	loc_y	loc_z	remarks
hpl_axle_tube_outer	0.0	-700.0	300.0	(none)
hpl_damper_lower	65.0	-575.0	275.0	(none)
hpl_damper_upper	80.0	-560.0	600.0	(none)
hpl_kingpin	-5.0	-700.0	250.0	(none)
hpl_kingpin_axis_point	15.0	-675.0	375.0	(none)
hpl_lower_link_axle	-10.0	-600.0	225.0	(none)
hpl_lower_link_axle_x	-10.0	-600.0	345.0	(none)
hpl_lower_link_axle_z	-10.0	-500.0	245.0	(none)
hpl_lower_link_frame	-450.0	-350.0	255.0	(none)
hpl_lower_link_frame_x	-450.0	-350.0	355.0	(none)
hpl_lower_link_frame_z	-450.0	-500.0	255.0	(none)
hpl_spring_seat_lower	65.0	-575.0	275.0	(none)
hpl_spring_seat_upper	80.0	-560.0	600.0	(none)
hpl_tierod_outer	75.0	-680.0	235.0	(none)

Figura 9: Ubicación de los hardpoints de la suspensión.

Para poder identificar los puntos con sus respectivos nombres presione la tecla Ctrl+V y se mostrarán las etiquetas de cada uno de los nombres de los hardpoints.

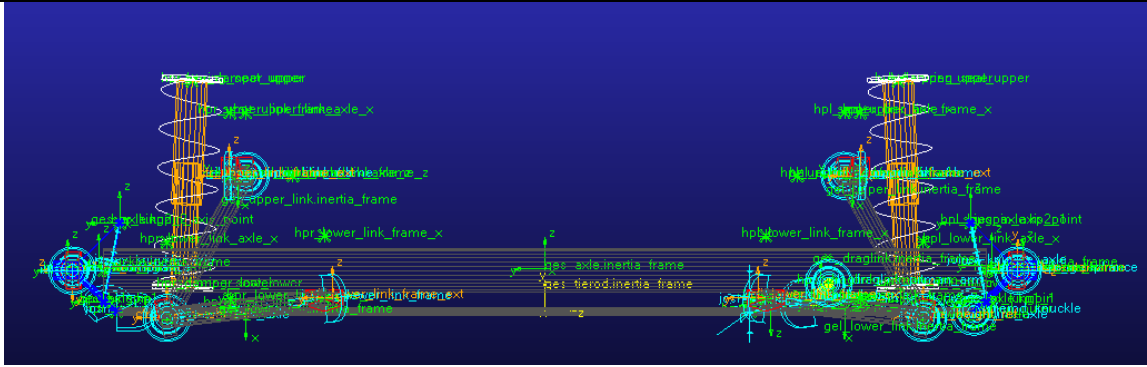


Figura 10: Etiquetas de la suspensión.

3. Editar los marcos de construcción (Construction Frames)

Los *construction frames* son bloques básicos de construcción que almacenan la orientación de los puntos, para modificar los marcos de construcción de clic en el menú de la izquierda de los *Construction Frames* y se mostrarán todos los marcos de construcción.

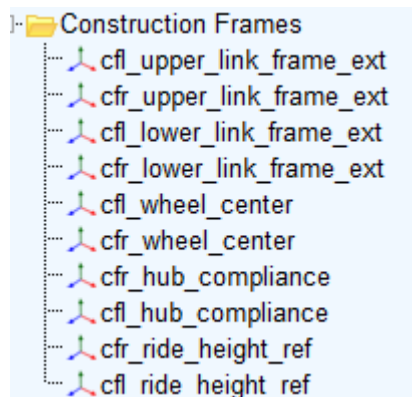


Figura 10: Marcos de construcción.

Algunos marcos de construcción dependen de algunas variables como: por ejemplo, la orientación de la rueda que depende del ángulo de convergencia/divergencia (toe) y ángulo el de caída (camber).

Estas variables se pueden modificar dando clic en el menú *Parameter Variables* » Clic derecho sobre la variable a modificar y *Modify*.

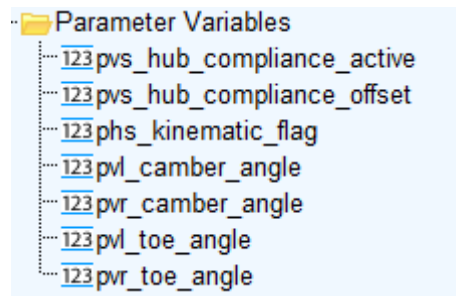


Figura 11: Modificación Variable

Para cambiar las propiedades de una variable de clic derecho sobre un variable y seccione la opción *Modify*.

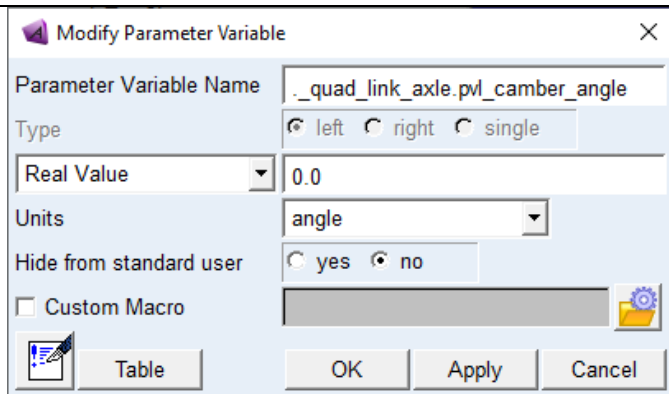


Figura 12: Propiedades Variables

Para modificar cualquier marco de clic derecho sobre un marco y aparecerá las opciones para realizar la modificación

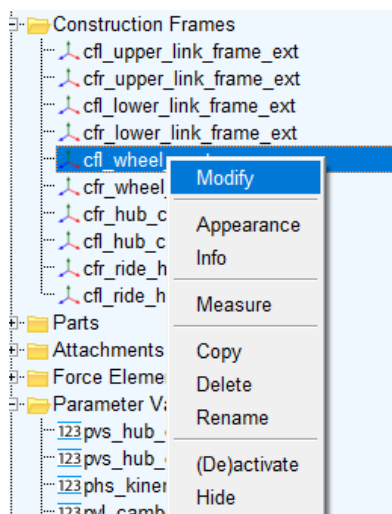


Figura 13: Marcos de construcción.

Al dar clic en modificar (Modify) se muestra la ventana de modificación, donde se puede modificar los parámetros del marco como: las coordenadas de referencia (Coordinate Reference), la locación (Location) y las variables de dependencia.

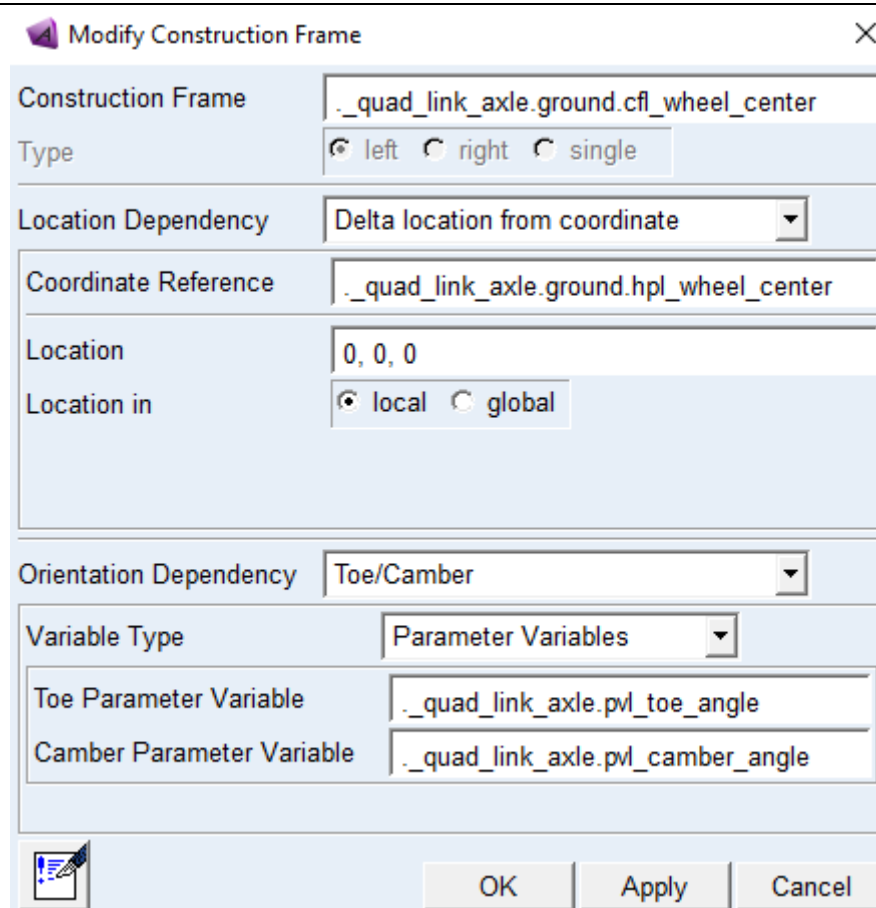


Figura 14: Modificación del marco de construcción.

4. Editar las piezas de montaje (Mount Parts)

Estas piezas sirven para comunicar las plantillas entre sí y también sirven de soporte para los amortiguadores y espirales, para modificar diríjase al menú *Parts* » *Mount Parts*

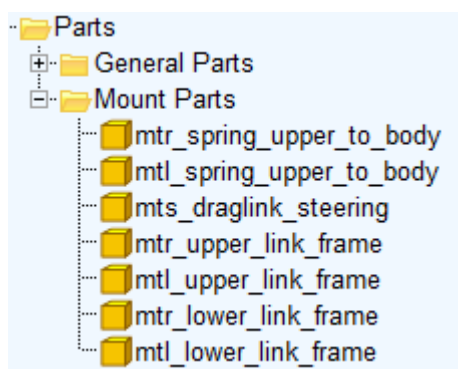


Figura 15: Piezas de montaje.

Luego elija el marco a modificar, de clic derecho y elija la opción *Modify*. En la ventana de modificación de partes se puede modificar la coordenada de referencia (Coordinate Reference) que es sobre la cual está el marco y el Minor Role que va de acuerdo con el tipo de suspensión puede ser frontal, posterior, heredado o remolque.

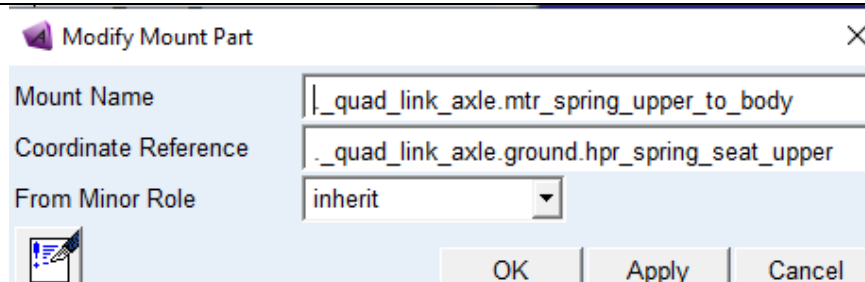


Figura 16: Modificación de las piezas de montaje.

5. Modificación de las partes (General Parts)

La suspensión está compuesta de diversas partes que se alojan en el menú *General Parts* y se pueden modificar dando clic derecho y luego seleccionar *Modify*

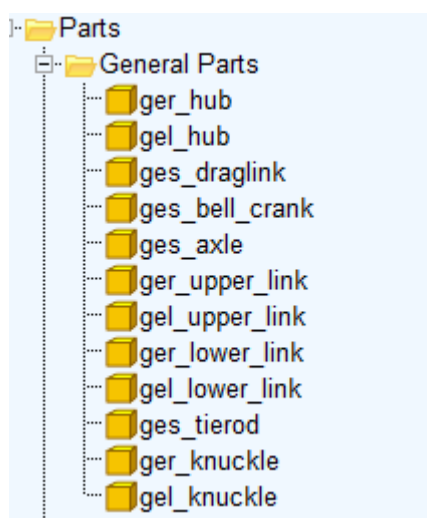


Figura 17: Partes generales.

La figura 18 muestra los parámetros de construcción de una barra de la suspensión y pueden ser modificados según sea requiera, las coordenadas de referencia (Coordinate Reference), la dependencia de orientación (Orientation Dependence) e incluso las propiedades mecánicas como masa del material.

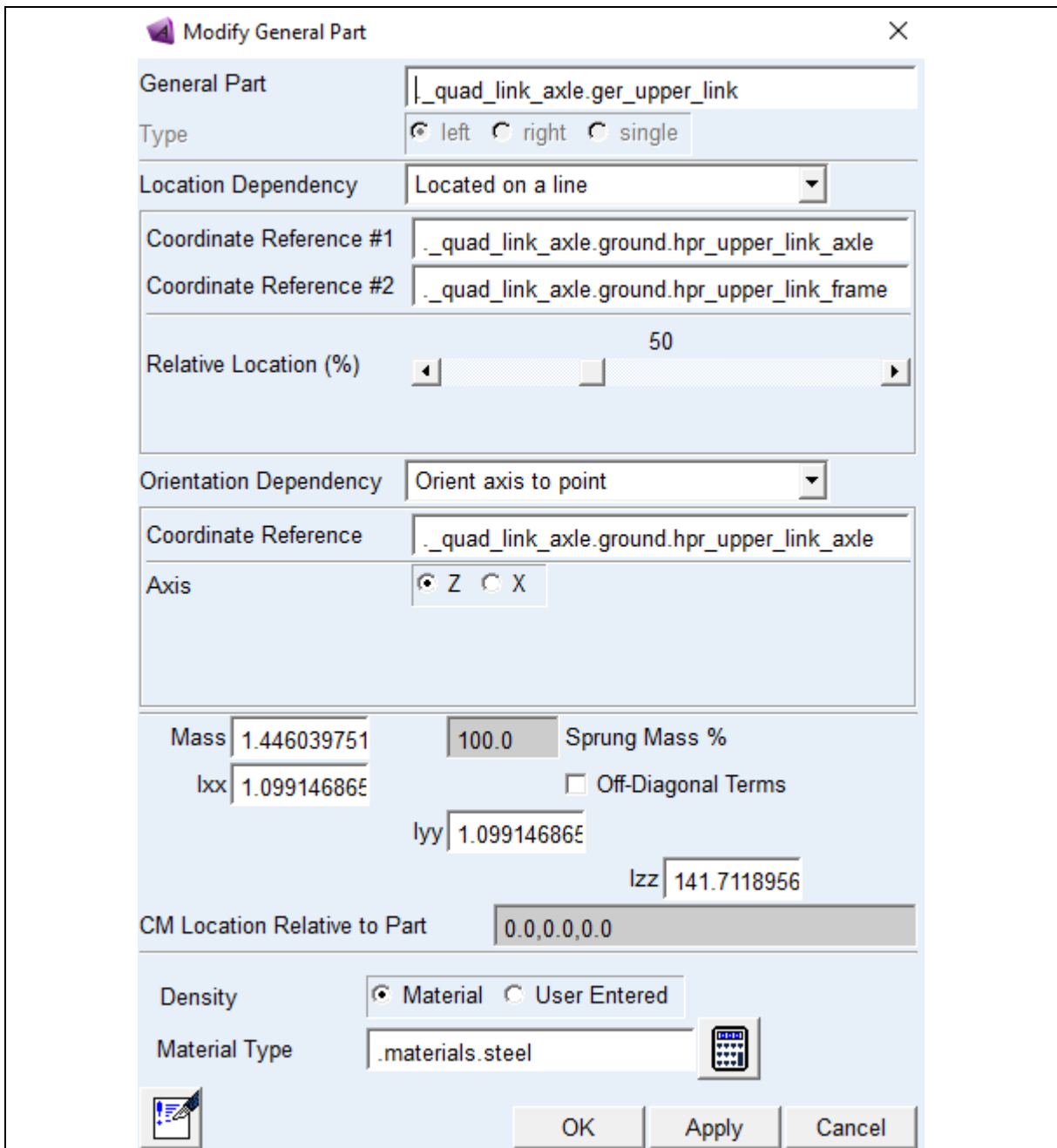


Figura 18: Parámetros de una barra de la suspensión.

6. Modificación de las fuerzas.

Los muelles (Spring) y los amortiguadores (Damper), dentro del software Adams Car disponen de propiedades preestablecidas que se encuentran dentro de los *Property Files*, sin embargo, si se pueden modificar propiedades del muelle tales como:

- El diámetro del muelle
- El número de bobinas
- Lo longitud del muelle.

Para modificar las propiedades del muelle se accede al menú Force Elements

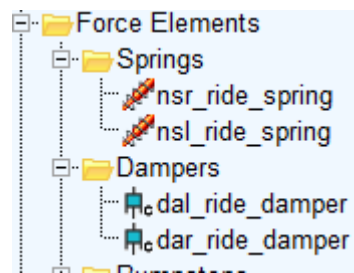


Figura 15: Fuerzas de la suspensión.

Luego de clic derecho en el muelle o amortiguador a modificar y seleccione la opción *Modify*, ya en la ventana de propiedades del muelle se pueden modificar el diámetro (Spring Diameter) y el número de bobinas (Number of Coils).

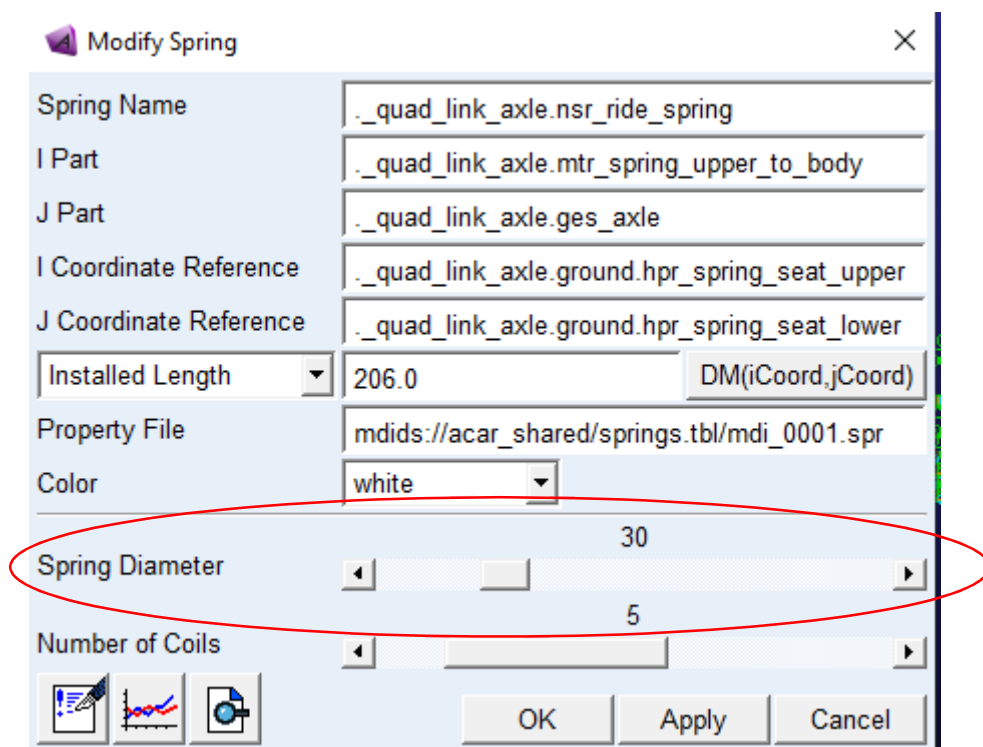


Figura 16: Ventana de modificación spring.

Para modificar el amortiguador de clic derecho sobre el cual desee modificar y luego seleccione *Modify* ya dentro de la ventana de modificación del amortiguador se puede cambiar su diámetro dentro de su propiedad *Damper Diameter*

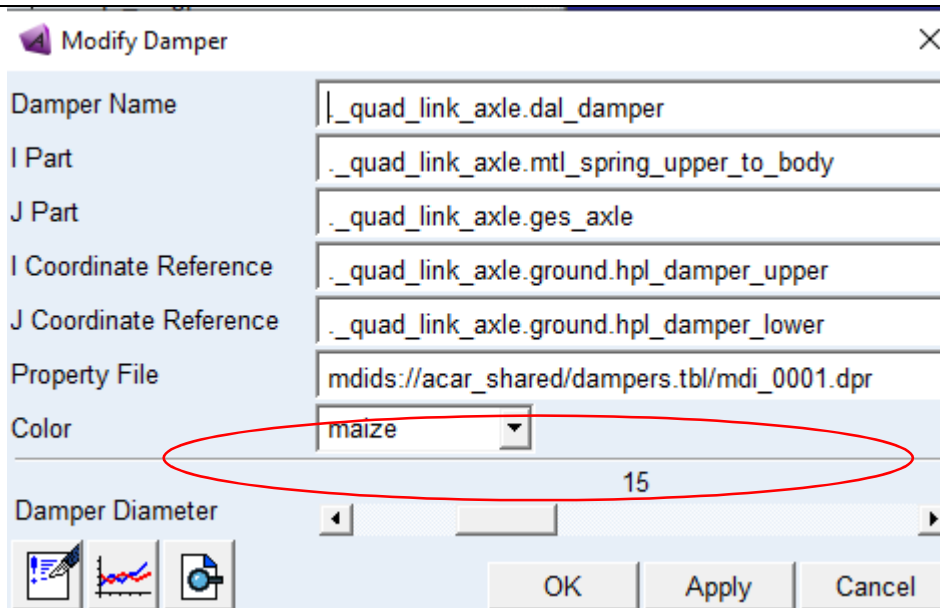


Figura 17: Ventana de modificación del amortiguador.

7. Modificación de las articulaciones (Joints)

Todas las partes de la suspensión están conectadas mediante articulaciones que pueden ser de diferentes tipos como: cilíndrica, esférica, revolución, entre otras.

Las juntas se pueden modificar desde el menú *Attachments*

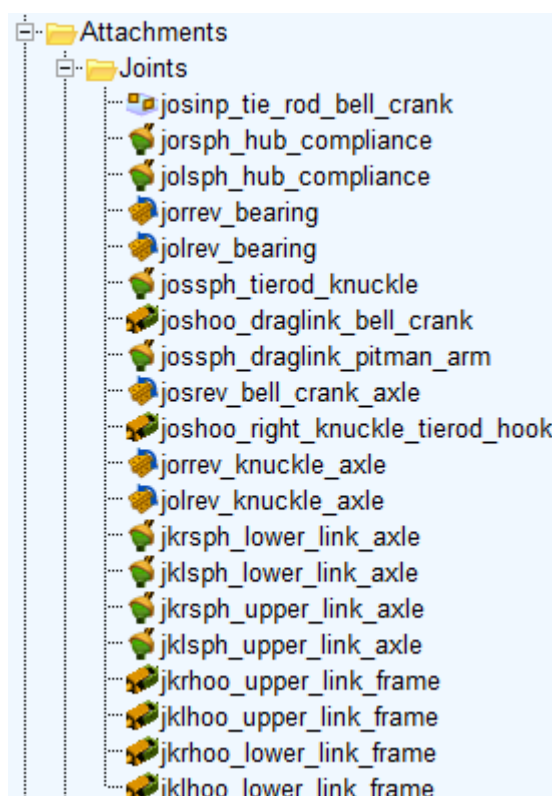


Figura 18: Tipos de uniones de la suspensión.

Para realizar la modificación de las uniones de clic derecho en la unión a modificar, clic en *Modify* y se mostrara la ventana de parámetros. Para modificar el tipo de conexión de clic en la opción *Join Type* y se mostraran los diferentes tipos de uniones como las que se muestran en la figura 19, entre otras.

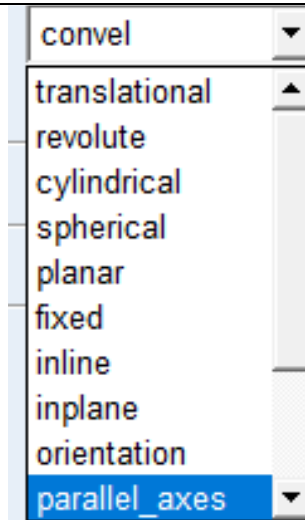


Figura 19: Join Type.

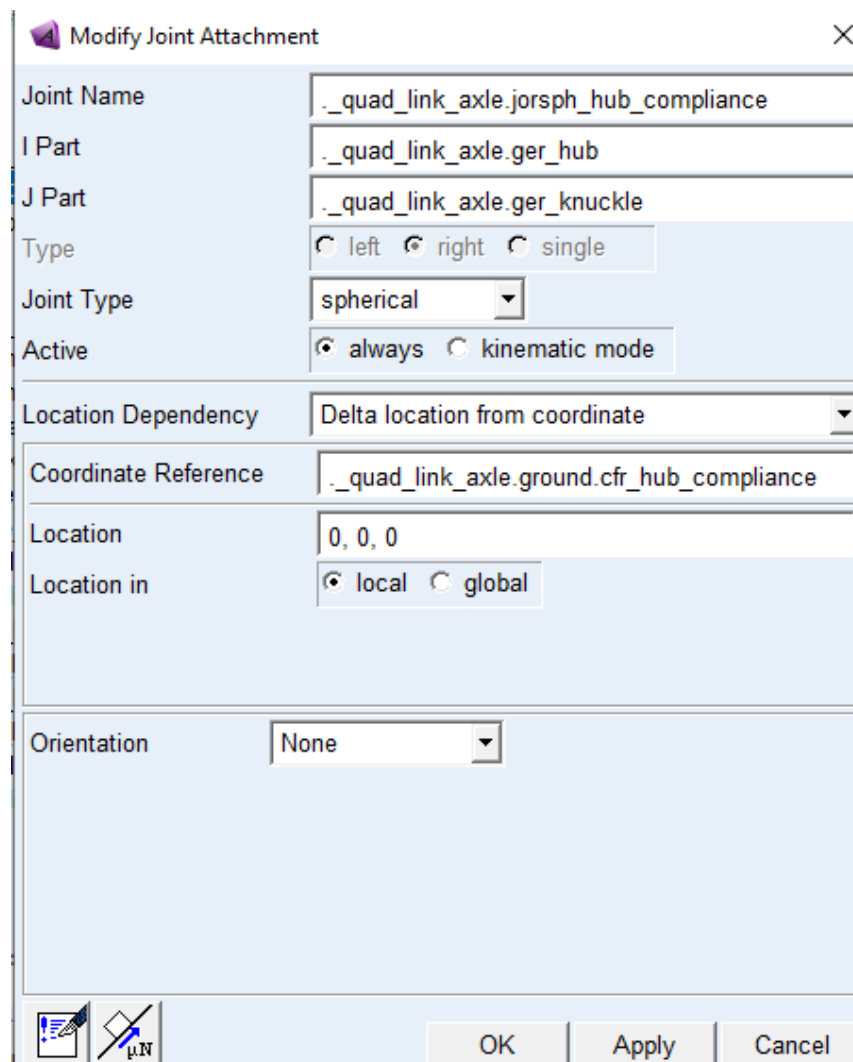


Figura 20: Parametros uniones.

Enumere los diferentes ángulos que rigen el comportamiento de la suspensión

RESULTADO(S) OBTENIDO(S):

- 1. Realizar un informe con los pasos para exportar y modificar la suspensión en Adams Car.
- 2. Presentar los resultados de la modificación de la suspensión con todos los elementos que la conforman

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

PREGUNTAS

Encierre en un círculo la respuesta correcta

Mediante cual parámetros se puede modificar las dimensiones de una suspensión en Adams Car:

- Con los valores los hardpoints
- Con las propiedades de las partes generales
- Con las propiedades de las partes de montaje
- Con los conectores de la suspensión


Las uniones o joints de la suspensión sirven para:

- Unir las partes generales
- Unir las partes generales y restringir el movimiento de estas
- Restringir los movimientos de las partes
- Evitar el movimiento de las partes.

Las piezas de montaje sirven para:

- Conectar las plantillas entre sí y sirven de soporte para los amortiguadores y espirales
- Para crear las partes generales
- Para crear los marcos de construcción

3.1.5 Guía de suspensión rígida con ballestas

		GUÍA PARA EL DISEÑO DE SUSPENSIONES AUTOMOTRICES	
CARRERA: Ingeniería Mecánica Automotriz		ASIGNATURA:	
NRO. PRÁCTICA:		TÍTULO PRÁCTICA: exportación y edición de la suspensión rígida con ballestas	
OBJETIVOS <ul style="list-style-type: none"> Realizar la exportación la suspensión rígida con ballesta Editar los parámetros de la suspensión 			
Marco teórico, Herramientas y equipos necesarios para la realización de la práctica. <p>ADAMS (acrónimo de Automated Dynamic Analysis of Mechanical Systems) es un software de simulación de dinámica multi-cuerpo equipado con solucionadores numéricos Fortran y C++. MSC Software generalmente soporta los dos sistemas operativos Linux y Microsoft Windows.</p> <p>MSC.Adams es el nombre comercial del software en el cual se realizan análisis sobre mecanismos. Posee varios modelos que facilitan realizar simulaciones, mediante animaciones, ejecutar análisis de vibraciones, efectuar análisis de esfuerzos, etcétera.</p> <p>Los estudiantes que pongan en práctica esta guía deben referirse a las normas de seguridad establecidas por la UPS para el uso de laboratorios, además, deben contar con las siguientes herramientas:</p> <ul style="list-style-type: none"> Computador con Adams Car 			
INSTRUCCIONES		1. Encienda el computador e ingrese a Adams car	
		2. Modificación hardpoints de la suspensión	
		3. Edición de los marcos	
		4. Edición de las partes	
		5. Edición de las piezas de montaje	
		6. Modificación de las articulaciones	
<p><i>Figura 1: Suspensión rígida con resorte</i></p>			

ACTIVIDADES POR DESARROLLAR

1. Encienda el computador e ingrese a Adams car

Se ingresa al programa Adams Car en su interfaz *Template Builder*



Figura 2. Interfaz de Inicio Adams Car.

Una vez dentro del programa seleccione *File » Open Template*, luego de clic derecho en el espacio en blanco y seleccione *Search » <acar_shared>* y busque dentro de la librería de Adams la suspensión a exportar, en este caso seleccione la suspensión *_example_susp_leaf.tpl*

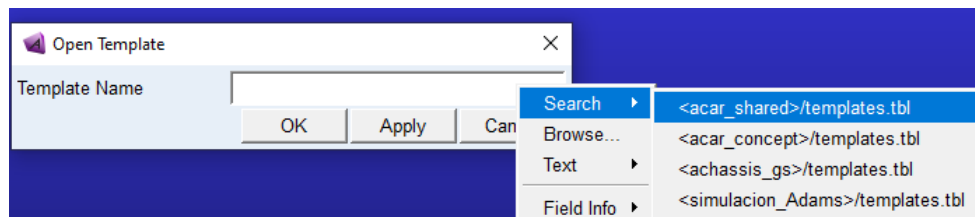


Figura 3. Ventana *OpenTemplate*.

Una vez realizada la selección, dar clic en *Apply* y cerrar la ventana.

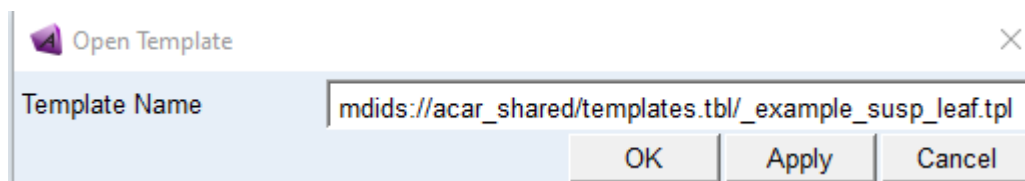


Figura 4. Selección suspensión.

La suspensión exportada se muestra en el espacio de trabajo de Adams como lo indica la figura 5.

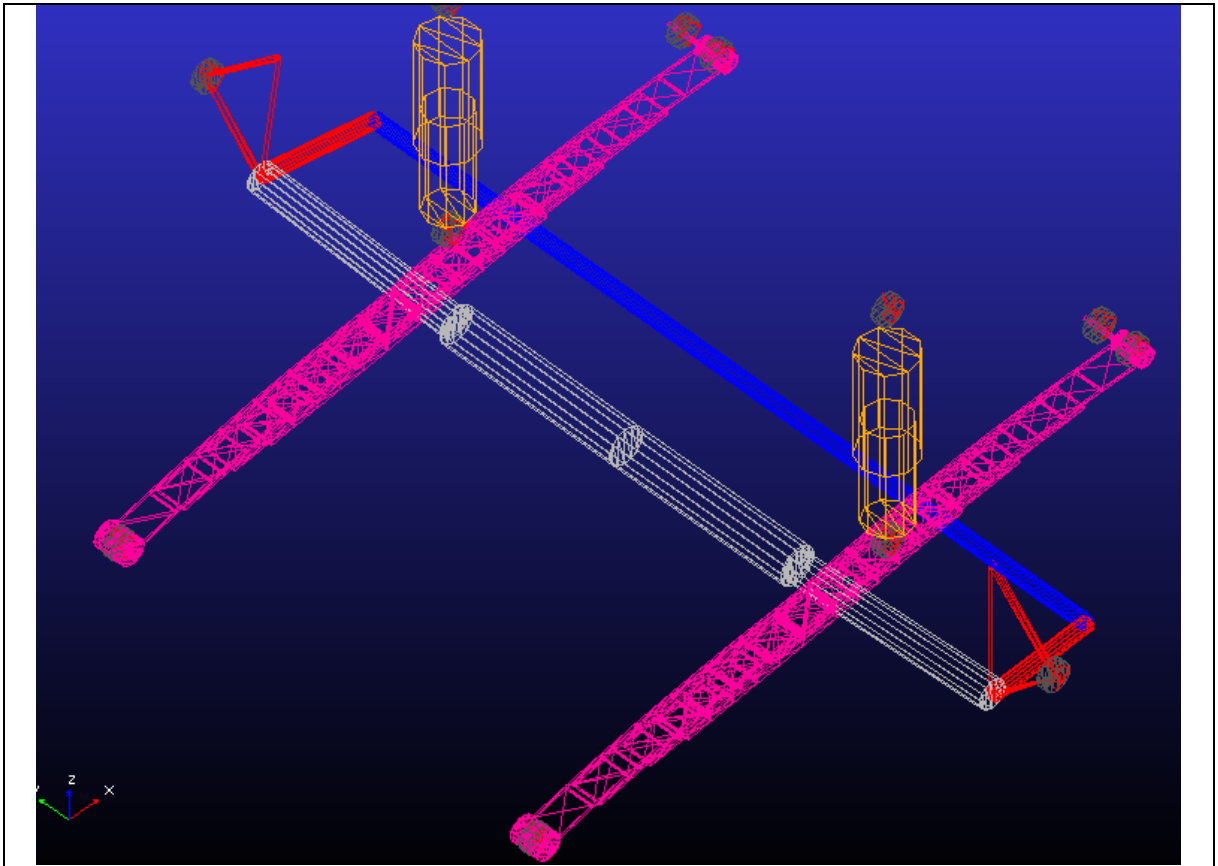


Figura 5. Template suspensión de brazos articulados

En el Template de la suspensión exportada se pueden editar todos los puntos de conexión que contienen las respectivas medidas de la suspensión, estos puntos de conexión se denominan *Hardpoints*.

2. Edición de los hardpoints

Para acceder a los hardpoints de clic en el menú de la izquierda en carpeta denominada *Hardpoints* donde se encuentran todos los puntos de los cuales está conformada la suspensión.

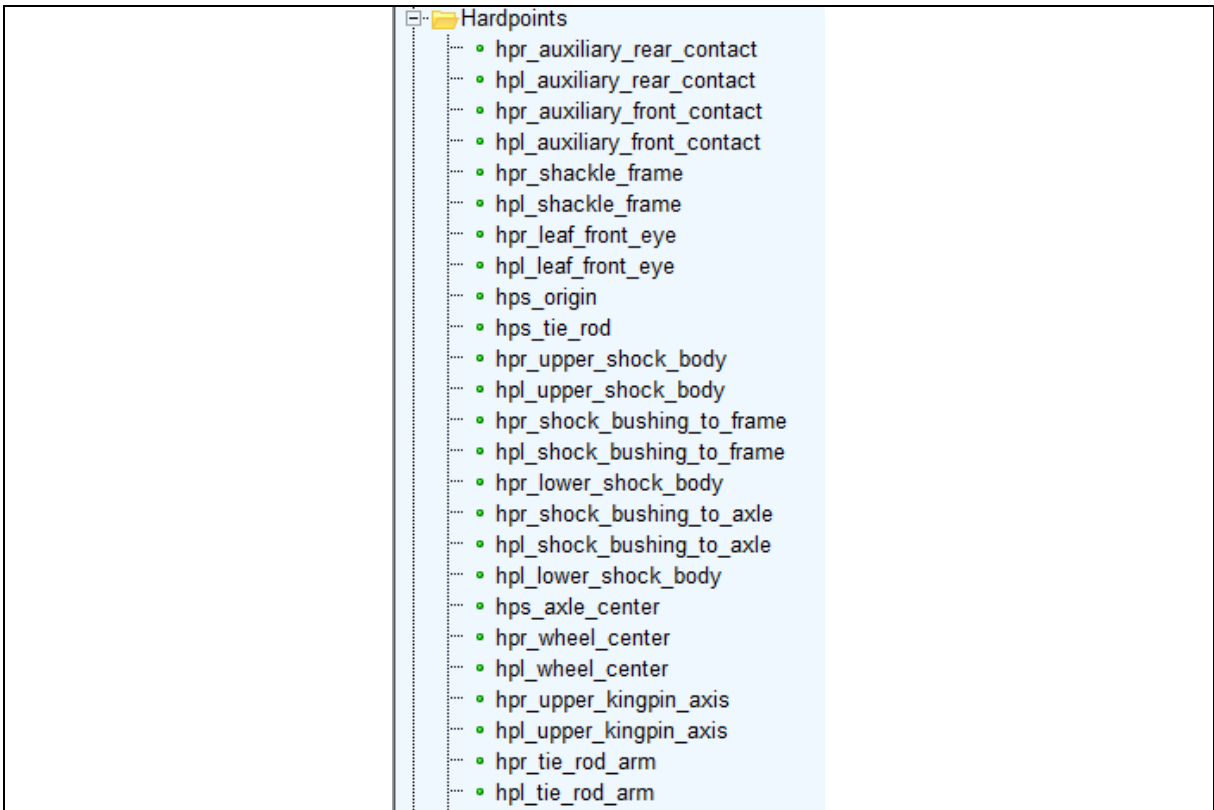


Figura 6. Hardpoints de la suspensión de brazos articulados

De clic derecho sobre el punto que desee modificar y se mostraran diferentes opciones como: Modificar, renombrar, copiar, desactivar, entre otras opciones.

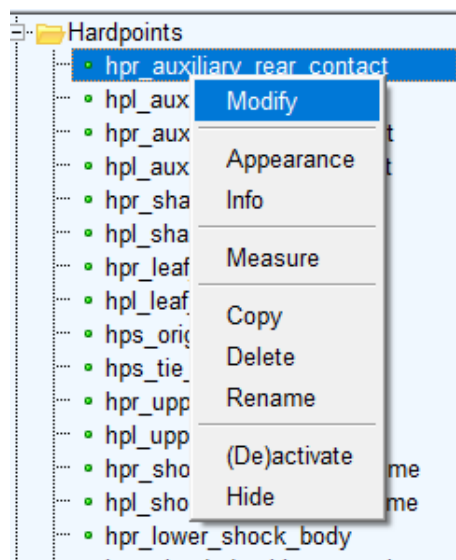


Figura 7: Opciones de un Hardpoint.

Si selecciona la opción modificar (Modify) se abre la ventana *Modify Hardpoin Location* , en esta ventana se puede modificar la ubicación del punto mediante la casilla *Location*

Los valores tanto de X, Y, y Z representan los puntos de conexión de la suspensión al modificar estos valores se modifica también el tamaño de la suspensión.

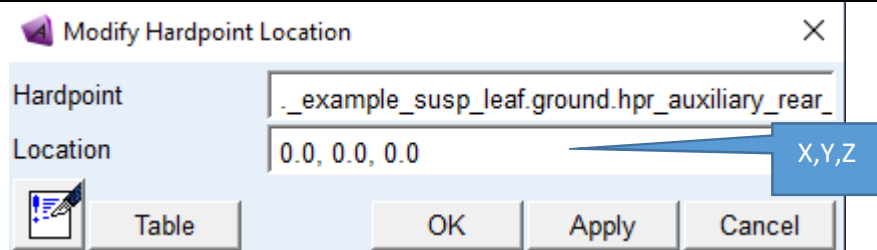



Figura 8: Modificación de un Hardpoint.

También se pueden modificar todos los puntos dando clic en , esta opción muestra todos los puntos de la suspensión con sus valores.

	loc_x	loc_y	loc_z	remarks
hpl_auxiliary_front_contact	0.0	0.0	0.0	(none)
hpl_auxiliary_rear_contact	0.0	0.0	0.0	(none)
hpl_axle_1	4438.48	-407.35	484.0	(none)
hpl_leaf_front_eye	3722.7	-497.06	404.1	(none)
hpl_leafspring_front_axle	4436.39	-405.09	623.03	(none)
hpl_lower_kingpin_axis	4437.0	-875.0	509.0	(none)
hpl_lower_shock_body	4537.0	-525.0	609.0	(none)
hpl_shackle_frame	5070.3	-497.06	675.43	(none)
hpl_shock_bushing_to_axle	4537.0	-525.0	559.0	(none)
hpl_shock_bushing_to_frame	4537.0	-525.0	1109.0	(none)
hpl_tie_rod_arm	4687.0	-850.0	484.0	(none)
hpl_upper_kingpin_axis	4457.0	-855.0	789.0	(none)
hpl_upper_shock_body	4537.0	-525.0	1009.0	(none)
hpl_wheel_center	4447.6	-1010.0	644.0	(none)
hps_axle_center	4437.0	-0.32	484.0	(none)
hps_origin	2337.0	0.0	-91.0	(none)
hps_tie_rod	4647.4	838.41075	494.01	(none)

Figura 9: Ubicación de los hardpoints de rígida con ballesta.

Para poder identificar los puntos con sus respectivos nombres presione la tecla Ctrl+V y se mostraran las etiquetas de cada uno de los nombres de los hardpoints.

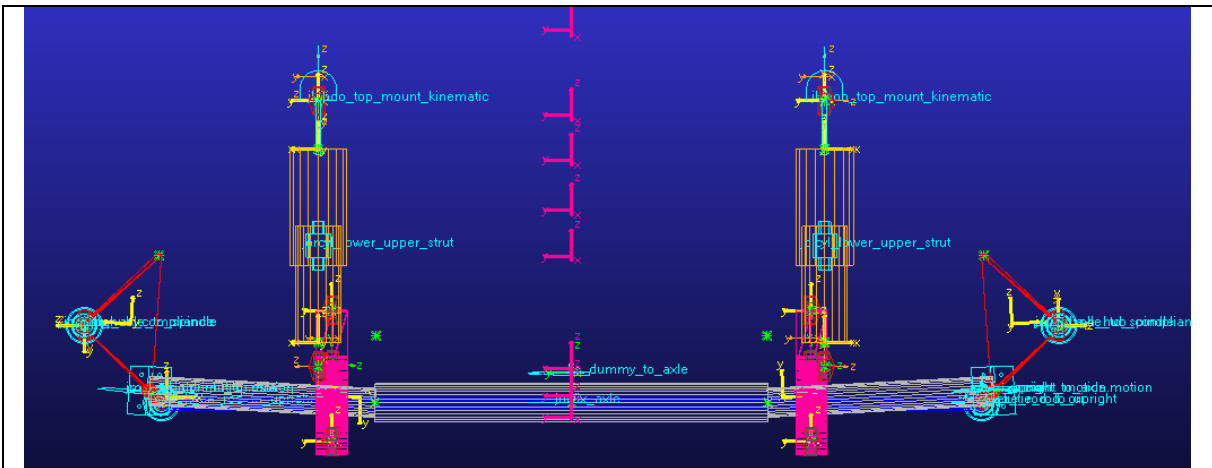


Figura 10: Etiquetas de la suspensión.

3. Editar los marcos de construcción (Construction Frames)

Los *construction frames* son bloques básicos de construcción que almacenan la orientación de los puntos, para modificar los marcos de construcción de clic en el menú de la izquierda de los *Construction Frames* y se mostrarán todos los marcos de construcción.

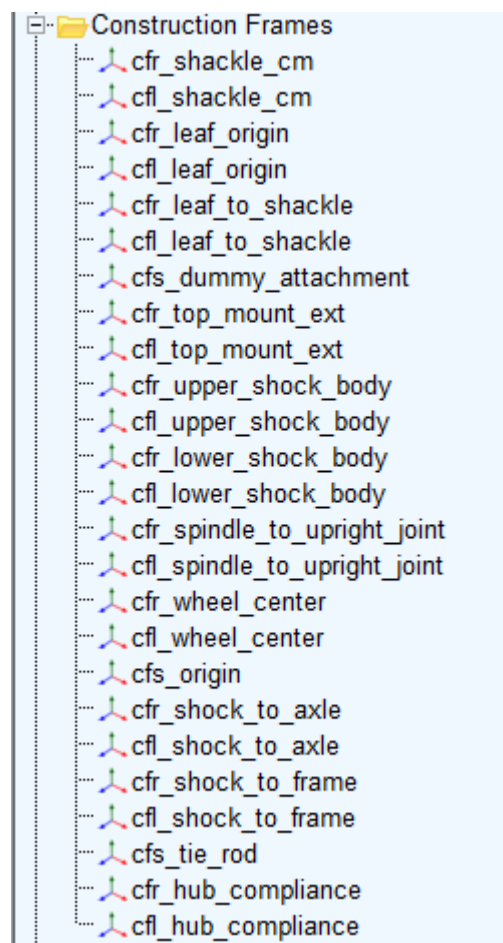


Figura 10: Marcos de construcción.

Algunos marcos de construcción dependen de algunas variables como: por ejemplo, la orientación de la rueda que depende del ángulo de convergencia/divergencia (toe) y ángulo el de caída (camber).

Estas variables se pueden modificar dando clic en el menú *Parameter Variables* » Clic derecho sobre la variable

a modificar y *Modify*.

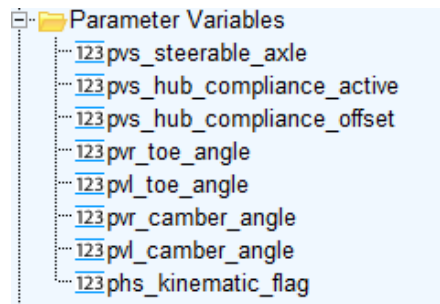


Figura 11: *Modificación Variable*

Para cambiar las propiedades de una variable de clic derecho sobre un variable y seccione la opción *Modify*.

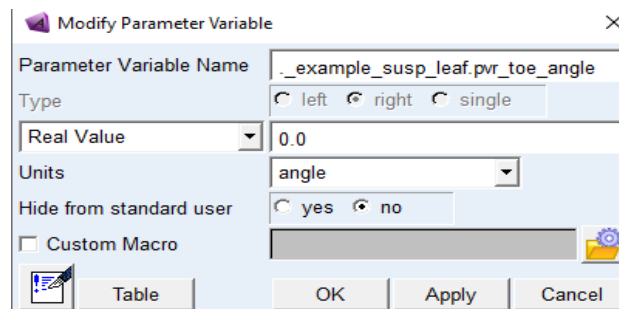


Figura 12: *Propiedades Variables*

Para modificar cualquier marco de clic derecho sobre un marco y aparecerá las opciones para realizar la modificación

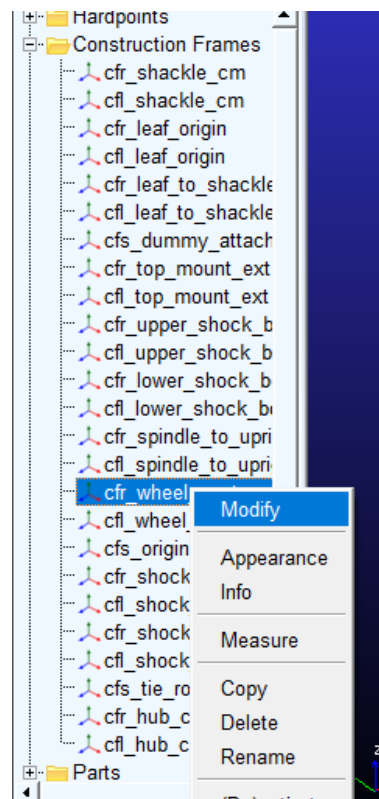


Figura 13: *Marcos de construcción.*

Al dar clic en modificar (*Modify*) se muestra la ventana de modificación, donde se puede modificar los parámetros

del marco como: las coordenadas de referencia (Coordinate Reference), la locación (Location) y las variables de dependencia.

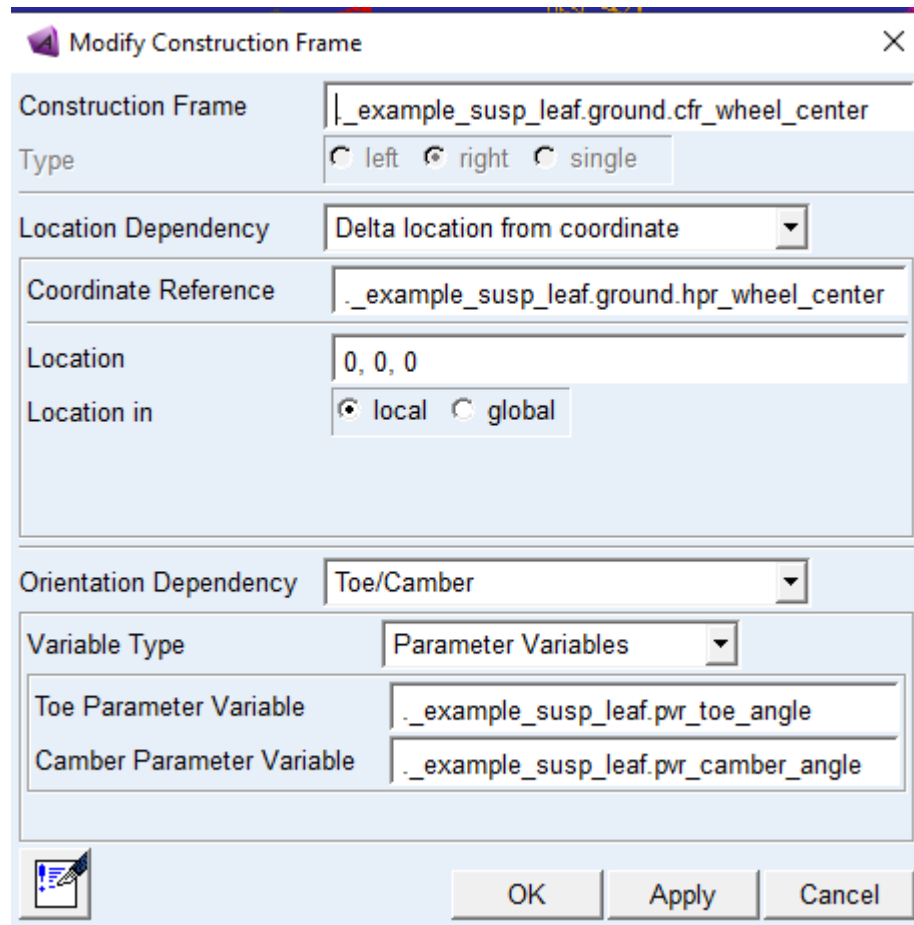


Figura 14: Modificación del marco de construcción.

4. Editar las piezas de montaje (Mount Parts)

Estas piezas sirven para comunicar las plantillas entre sí y también sirven de soporte para los amortiguadores y espirales, para modificar diríjase al menú *Parts* » *Mount Parts*

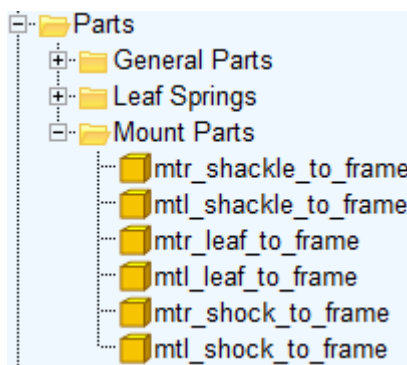


Figura 15: Piezas de montaje.

Luego elija el marco a modificar, de clic derecho y elija la opción *Modify*. En la ventana de modificación de partes se puede modificar la coordenada de referencia (Coordinate Reference) que es sobre la cual está el marco y el Minor Role que va de acuerdo con el tipo de suspensión puede ser frontal, posterior, heredado o remolque.

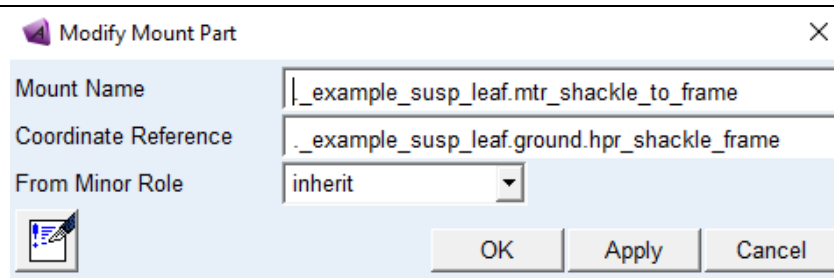


Figura 16: Modificación de las piezas de montaje.

5. Modificación de las partes (General Parts)

La suspensión está compuesta de diversas partes que se alojan en el menú *General Parts* y se pueden modificar dando clic derecho y luego seleccionar *Modify*

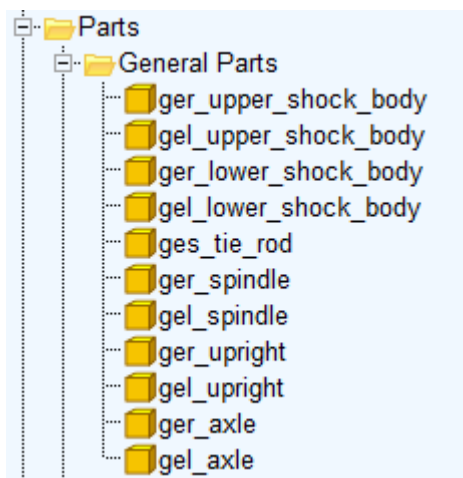


Figura 17: Partes generales.

La figura 18 muestra los parámetros de construcción del spindle que es la parte sobre la cual giran las ruedas de la suspensión y pueden ser modificados según sea requiera, las coordenadas de referencia (Coordinate Reference) , la dependencia de orientación (Orientation Dependence) e incluso las propiedades mecánicas como masa del material.

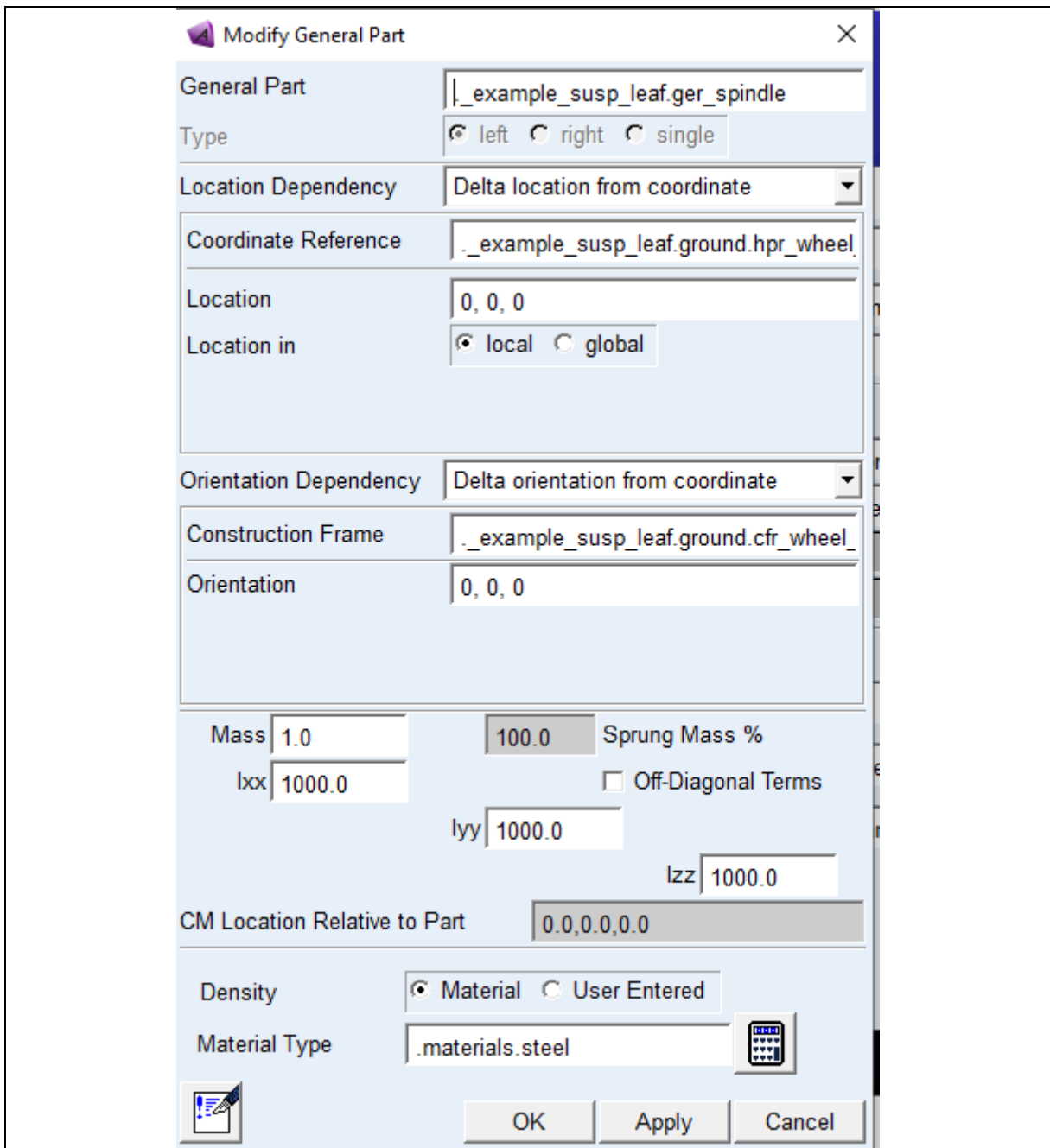


Figura 18: Parámetros de una barra de la suspensión.

6. Modificación de las fuerzas.

Las ballestas (Leaf) y los amortiguadores (Damper) dentro del software Adams Car disponen de propiedades preestablecidas que se encuentran dentro de los *Property Files*, sin embargo, si se pueden modificar las propiedades de las ballestas tales como:

- El número de ballestas (Number of levels)
- El número de chips (Number of clips)

Para modificar las propiedades de la ballesta seleccione al menú *Parts >> Leaf Springs*

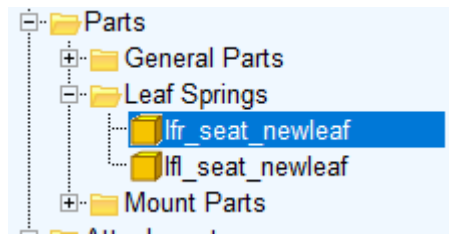


Figura 19: Leaf Springs.

Luego para acceder a la ventana de modificación de las ballestas de clic derecho sobre *lfr_seat_newleaf* y en *Modify*

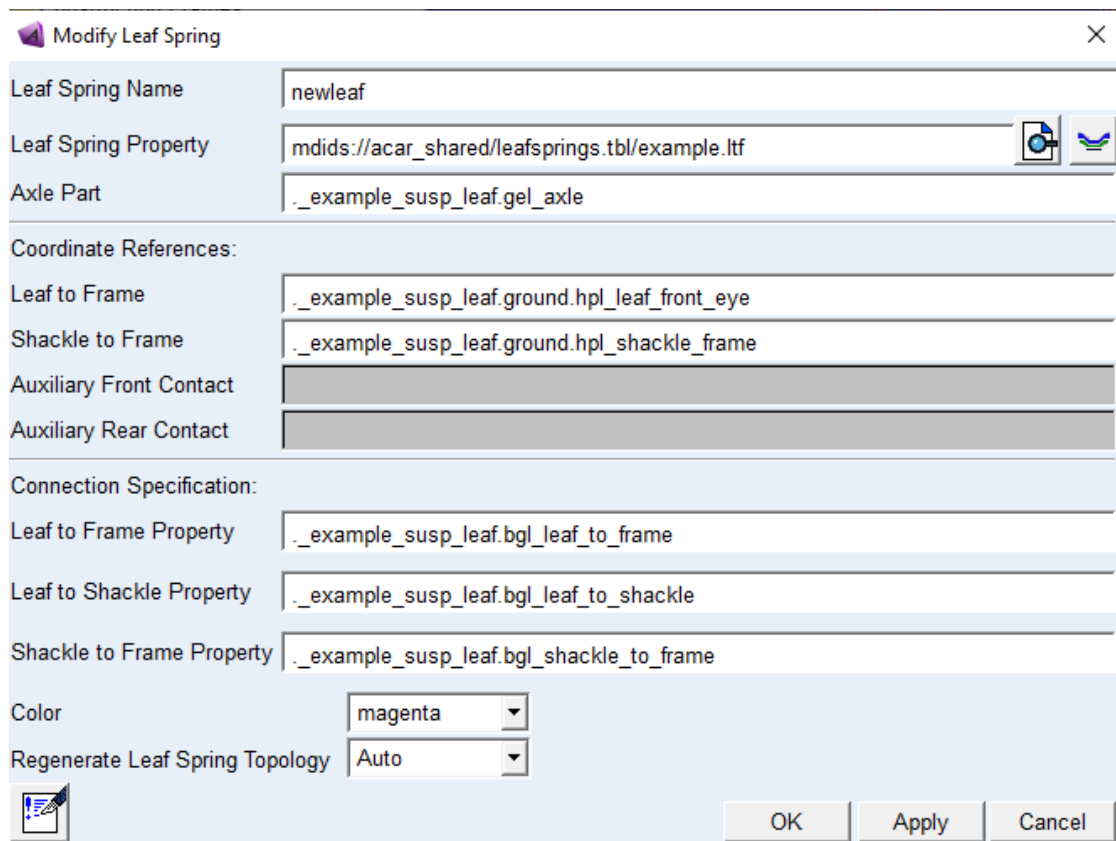



Figura 20: Ventana de modificacion Leaf Springs.

Las propiedades de las ballestas se pueden editar dando clic en el siguiente icono , el cual muestra la ventana de propiedades de la ballesta como se puede observar en la figura 21.

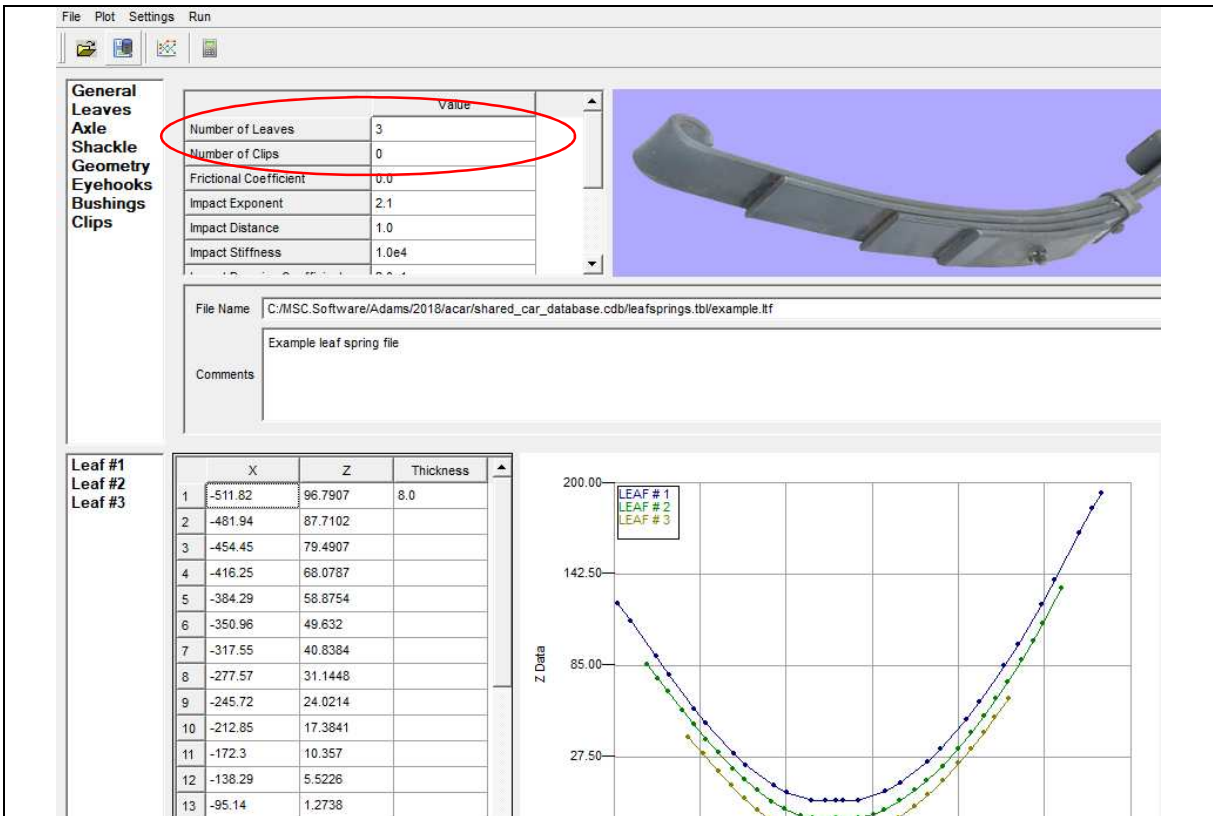


Figura 21: Propiedades de las ballestas.

Para modificar las propiedades del amortiguador se accede al menú Force Elements

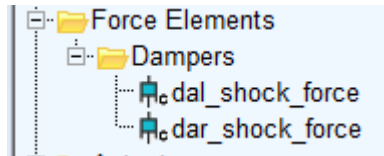


Figura 22: Fuerzas de la suspensión.

Luego de clic derecho sobre el cual desee modificar y seleccione Modify ya dentro de la ventana de modificación del amortiguador se puede cambiar el diámetro dentro de su propiedad *Damper Diameter*

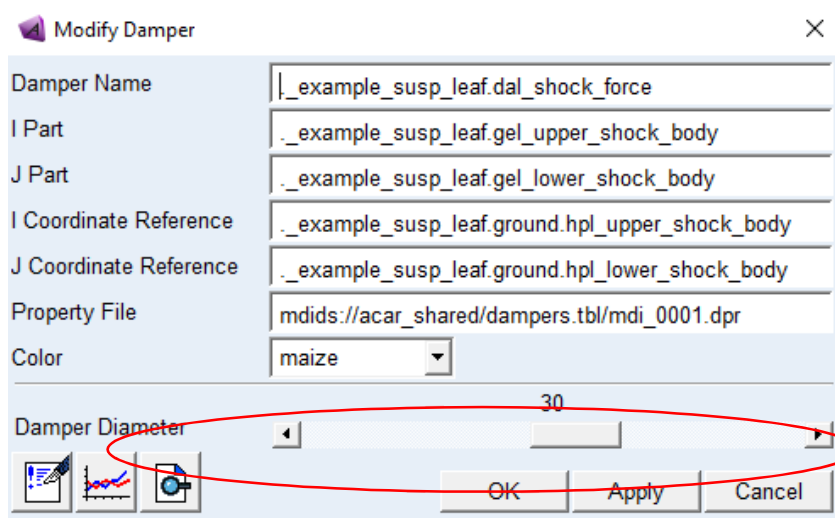


Figura 23: Ventana de modificación del amortiguador.

7. Modificación de las articulaciones (Joints)

Todas las partes de la suspensión están conectadas mediante articulaciones que pueden ser de diferentes tipos como: cilíndrica, esférica, revolución, entre otras.

Las juntas se pueden modificar desde el menú *Attachments*

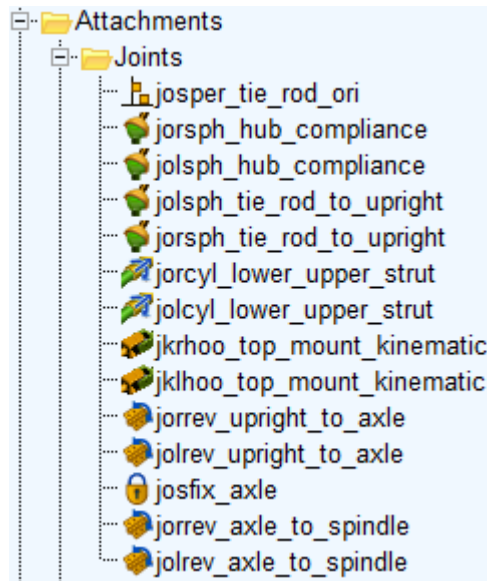


Figura 24: Tipos de uniones de la suspensión.

Para realizar la modificación de las uniones de clic derecho en la unión a modificar, clic en *Modify* y se mostrará la ventana de parámetros. Para modificar el tipo de conexión de clic en la opción *Join Type* y se mostrarán los diferentes tipos de uniones como las que se muestran en la figura 25, entre otras.

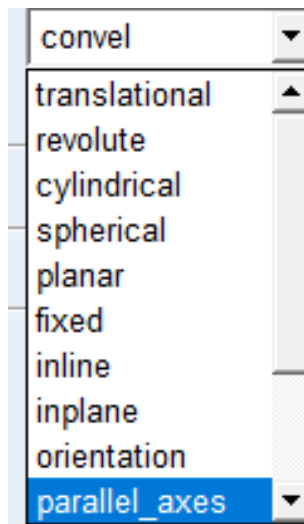


Figura 25: Join Type.

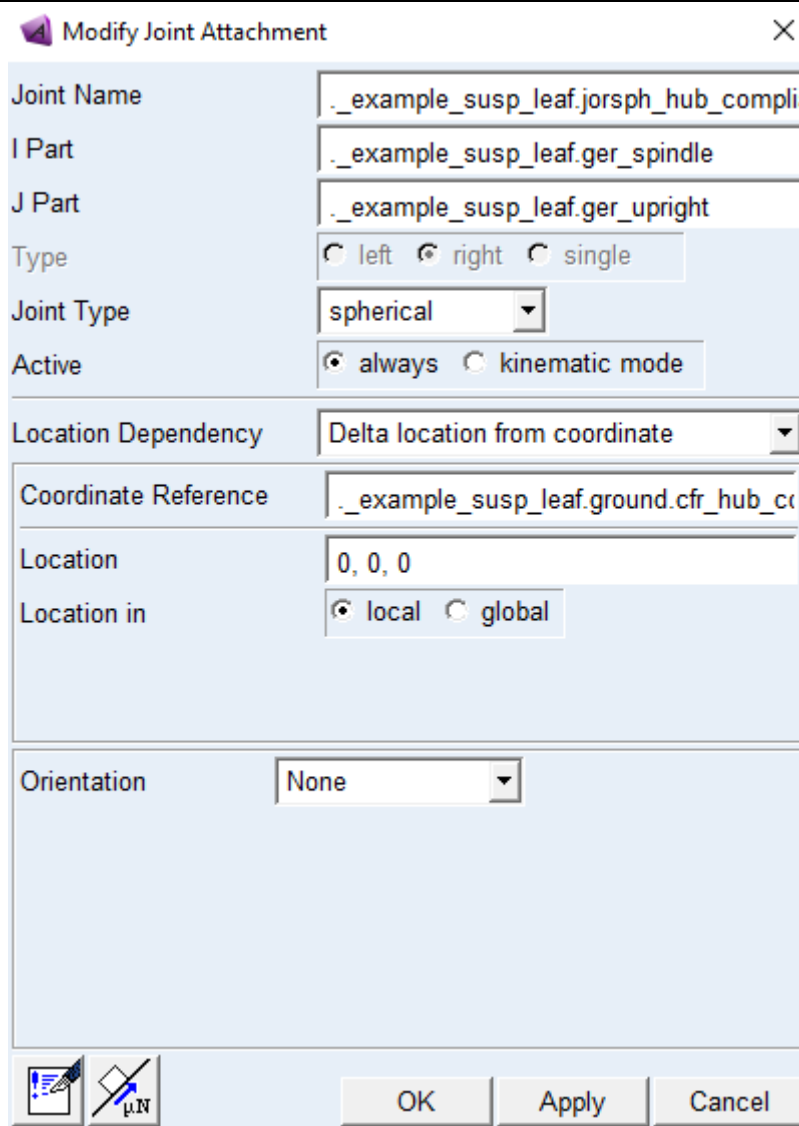


Figura 26: Parametros uniones.

Enumere los diferentes ángulos que rigen el comportamiento de la suspensión

RESULTADO(S) OBTENIDO(S):

1. Realizar un informe con los pasos para exportar y modificar la suspensión en Adams Car.
2. Presentar los resultados de la modificación de la suspensión con todos los elementos que la conforman

CONCLUSIONES

ECOMENDACIONES

PREGUNTAS

Encierre en un círculo la respuesta correcta

Mediante cual parámetros se puede modificar las dimensiones de una suspensión en Adams Car:

- Con los valores los hardpoints
- Con las propiedades de las partes generales
- Con las propiedades de las partes de montaje
- Con los conectores de la suspensión



Las uniones o joints de la suspensión sirven para:

- Unir las partes generales
- Unir las partes generales y restringir el movimiento de estas
- Restringir los movimientos de las partes
- Evitar el movimiento de las partes.

Las piezas de montaje sirven para:

- Conectar las plantillas entre sí y sirven de soporte para los amortiguadores y espirales
- Para crear las partes generales
- Para crear los marcos de construcción

3.2 Guía para la Simulación dinámica de la suspensión.

		GUÍA PARA LA SIMULACIÓN DE SUSPENSIONES AUTOMOTRICES	
CARRERA: Ingeniería Mecánica Automotriz		ASIGNATURA:	
NRO. PRÁCTICA:		TÍTULO PRÁCTICA: Simulación de la suspensión	
OBJETIVOS <ul style="list-style-type: none"> Realizar la simulación dinámica de la suspensión Conocer los ángulos que rigen el comportamiento de la suspensión 			
Marco teórico, Herramientas y equipos necesarios para la realización de la práctica. <p>ADAMS (acrónimo de Automated Dynamic Analysis of Mechanical Systems) es un software de simulación de dinámica multi-cuerpo equipado con solucionadores numéricos Fortran y C++. MSC Software generalmente soporta los dos sistemas operativos Linux y Microsoft Windows.</p> <p>MSC.Adams es el nombre comercial del software en el cual se realizan análisis sobre mecanismos. Posee varios modelos que facilitan realizar simulaciones, mediante animaciones, ejecutar análisis de vibraciones, efectuar análisis de esfuerzos, etcétera.</p> <p>Los estudiantes que pongan en práctica esta guía deben referirse a las normas de seguridad establecidas por la UPS para el uso de laboratorios, además, deben contar con los siguientes materiales:</p> <ul style="list-style-type: none"> Computador con Adams Car Templete de la suspensión 			
INSTRUCCIONES		1. Generar el ensamble	
		2. Crear la simulación Paralled Wheel Travel	
		3. Crear la simulación Oposite Wheel Travel	
		4. Crear la simulación Vertical force	
		5. Crear la simulación Single Wheel Travel	
<i>Figura 1 Adams Car</i>			
ACTIVIDADES POR DESARROLLAR			

1. Generar el ensamble

Para realizar el análisis de algún sistema del automóvil o de la suspensión, es necesario primero realizar un ensamble (Assembly) del modelo a realizar el análisis, esto se lo realiza en la interface Standard de Adams Car. Dado que, los ensambles dentro de Adams Car se realizan únicamente con subsistemas, es necesario tener el Template de la suspensión como un subsistema.

Inicie el programa Adams car en Standard Interface



Figura 2: Inicio Adams Car

Dentro del Standard Interface seleccione File » New » Subsystem, asigne el nombre al subsistema “McPherson1” y elija el rol en Minor Role que puede ser frontal (front), posterior (rear) o remolque (trailer).

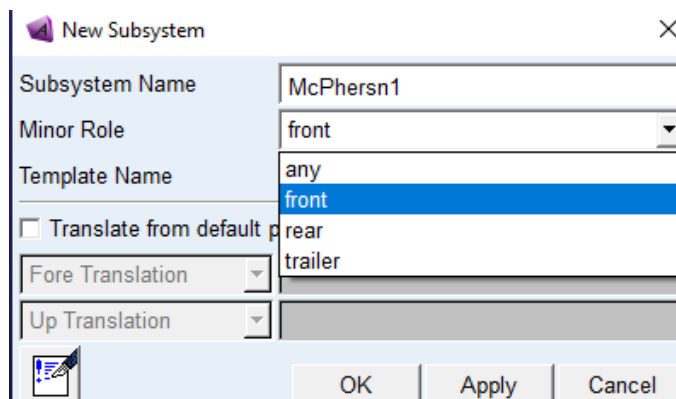


Figura 3: Minor Role Adams Car

Luego seleccione el template de la suspensión desde la ubicación donde se encuentre guardada

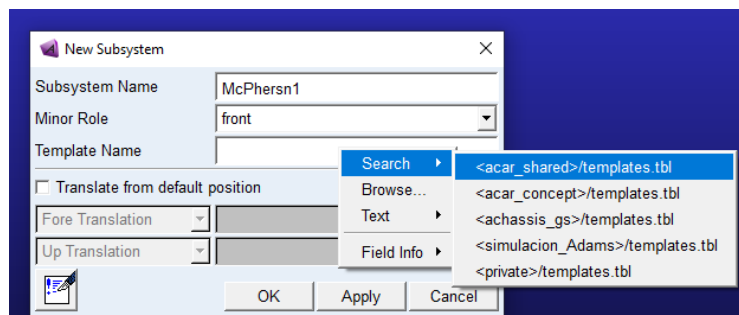


Figura 4: Selección template de suspensión

Una vez que seleccione el template de clic en *OK*.

New Subsystem [X]

Subsystem Name: McPhersn1

Minor Role: front

Template Name: mdirs://acar_shared/templates.tbl/_macpherson.tpl

Translate from default position

Fore Translation: []

Up Translation: []

[OK] [Apply] [Cancel]

Ubicación del
templete
(.tpl)

Figura 5: Creación del subsistema.

Al dar clic en OK se crea el subsistema que se muestra en la figura 6

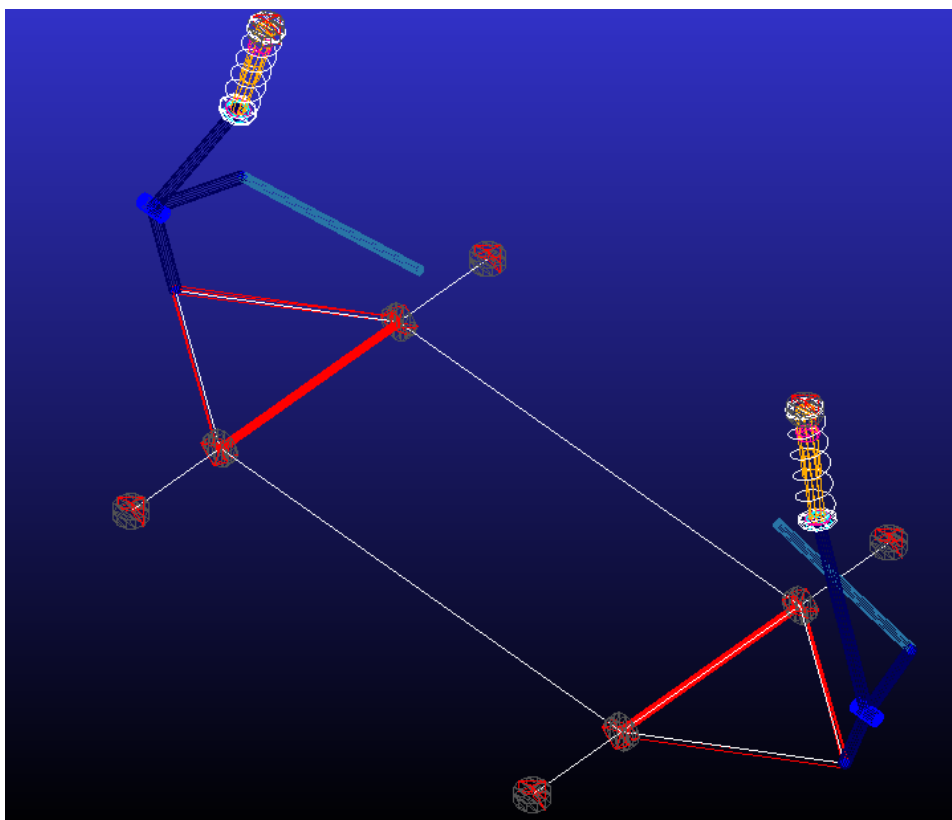


Figura 6: Subsistema de la suspensión.

Proceda a guardar el subsistema dando clic en el menú File » Save As » Subsystem, y luego en Ok

Save Subsystem [X]

Subsystem Name: McPhersn1

New Subsystem Name: McPhersn1

Existing Variant: default

Minor Role: front

File Format: TeimOrbit XML

Target: Database acar_shared [Info]

Close subsystem after save Include Parameter & Hardpoint comments

[OK] [Apply] [Cancel]

Figura 7: Guardar subsistema de la suspensión.

Una vez creado el subsistema de la suspensión seleccione *File » New » Suspension Assembly* para crear el ensamble de la suspensión. Enseguida se mostrará la Ventana que se indica en la figura 8, donde se asigna el nombre y se introduce los subsistemas para realizar el ensamble.

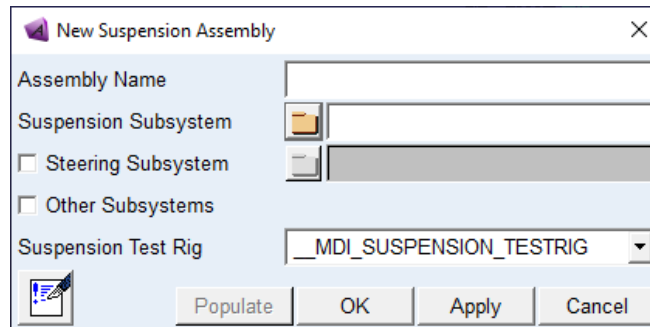


Figura 8: Ensamble suspensión.

Asigne el nombre del ensamble *suspensión_McPherson*, de clic sobre la carpeta que aparece en la ventana y se carga automáticamente el subsistema “*McPherson1*”, luego de clic en Ok

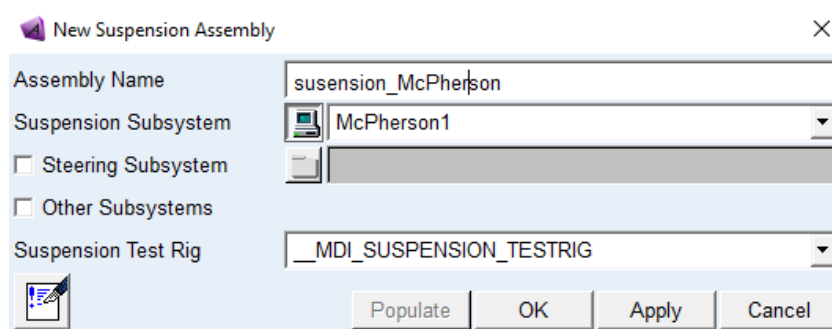


Figura 9: Creacion del ensamble de la suspensión.

Como resultado del ensamble se muestra la figura 10, donde se muestra el diseño 3D del ensamblado de la suspensión.

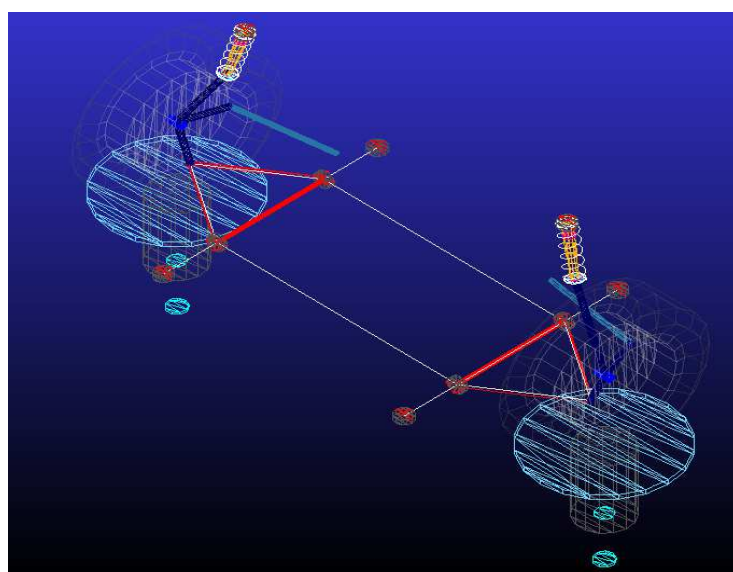


Figura 10: Ensamble de la suspensión.

Finalmente, puede guardar el ensamble de la suspensión dando clic en el menú *File » Save As »Assembly*, para realizar su posterior análisis. Con la ayuda de la herramienta de simulación dinámica que ofrece el software Adams Car se procede con el análisis del comportamiento de la suspensión, para ello se realiza las siguientes pruebas:

- Parallel Wheel Travel
- Opposite Wheel Travel
- Vertical Force
- Single Wheel Travel

2. Crear Simulación Parallel Travell

Para realizar el análisis, se procede a seleccionar en el menú de herramientas *Simulate » Suspension Analysis* y elegimos el deseado, en este caso, *Parallel Wheel Travell*. Este análisis permite observar cómo influyen los ángulos de las ruedas en la conducción.

En la casilla *Output Prefix* se asigna el nombre de la simulación, y en la casilla el número de pasos (*Number of Step*) se define la duración de la simulación.

La casilla *Vertical Setup Mode* permite seleccionar si el desplazamiento se da por la rueda o la superficie de contacto.

E las casillas *Bump Travel* y *Rebound Travel* son los límites en mm para el desplazamiento vertical de la rueda.

La opción *Travel Relative To »Wheel Center* realiza el desplazamiento desde la rueda a la superficie de contacto y por el contrario si se elige *Travel Relative To »Contact patch* el desplazamiento se da desde la superficie de contacto a la rueda

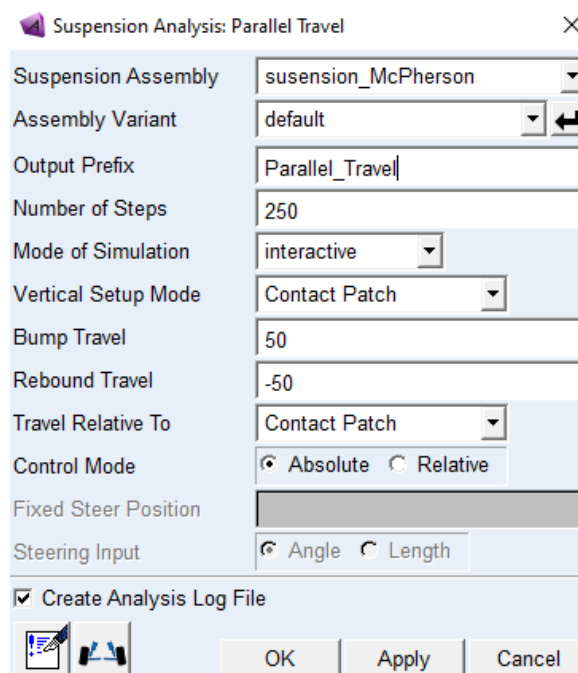


Figura 11: Parallel Travel.

De acuerdo con las condiciones establecidas en la figura 11, al realizar el análisis el centro de la rueda se mueve de manera vertical entre los valores introducidos en las casillas *Bump Travel* (50mm) y *Rebound Travel* (-50mm) es decir la rueda se desplaza 50 mm hacia arriba y 50 mm hacia abajo.

Además, el programa Adams car permite definir el valor inicial de los ángulos toe, camber y caster, de acuerdo

con las condiciones que se requiera analizar. Para entrar a este menú es necesario dar clic en el icono que se muestra a continuación donde se puede dar valores a los ángulos de a dirección, por defecto todos los ángulos se encuentran con valor cero.

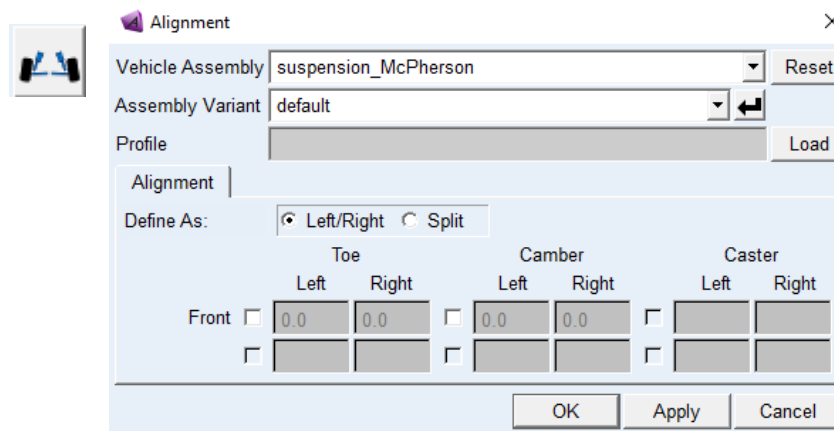


Figura 12: Definición de ángulos.

Una vez hecho el análisis, el software Adams Car permite evaluar el comportamiento de la suspensión mediante diferentes herramientas, entre estas se destaca el *PostProcessor* que permite obtener gráficas del comportamiento dinámico y el *Animation Controls* donde se puede correr la simulación y ver el movimiento.

Para abrir el control de animación, seleccione en el menú *Review* » *Animation Controls*, dentro de la ventana escoja la simulación y proceda a ingresar el número de repeticiones, luego de clic en el icono de play para ver el desplazamiento.

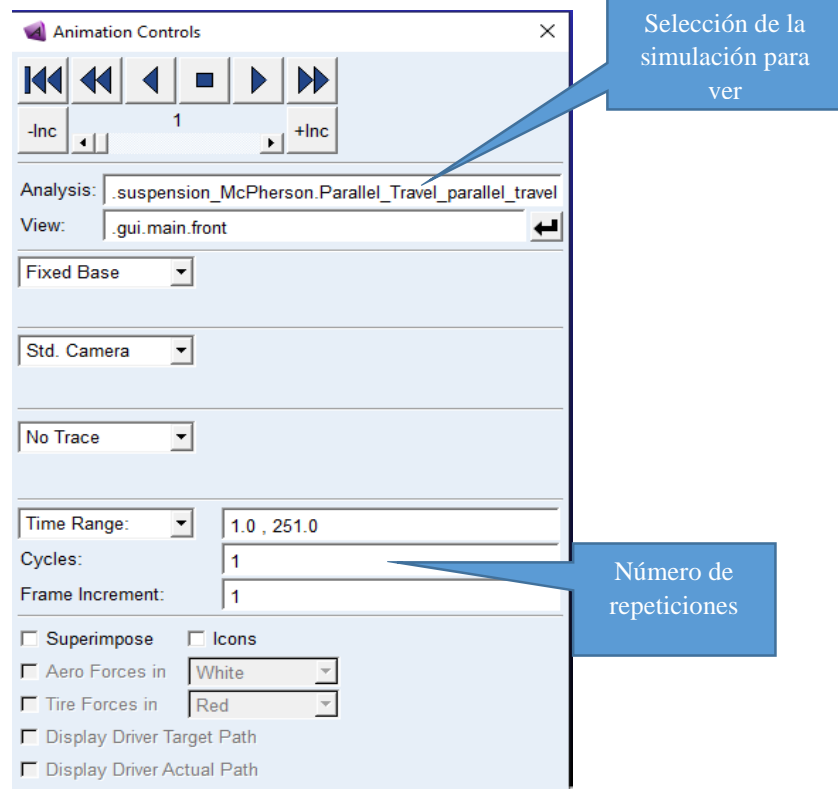


Figura 13. Animation Controls

Para abrir el *PostProcessor*, seleccione en el menú *Review* » *PostProcessing Window*.

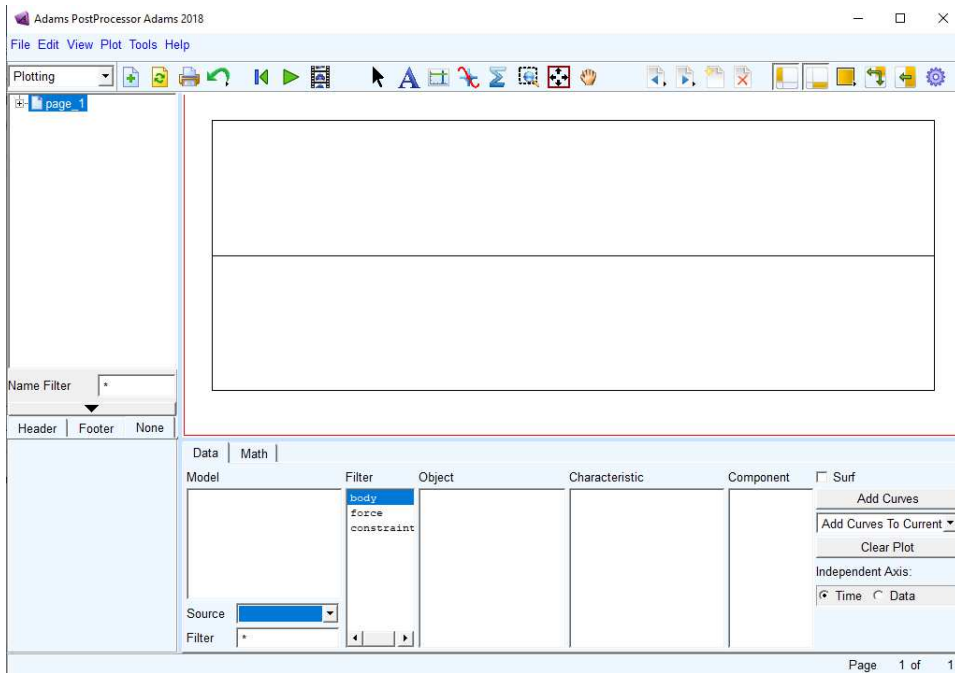


Figura 14: *PostProcessing Window*

Una vez abierto el *PostProcessing Window* se escoge en la casilla *Simulation* la simulación realizada y, posteriormente, podremos obtener las gráficas deseadas mediante las casillas *Filter* y *Request*.

En la casilla *filter* seleccione *user defined*, luego en *Request*, elija la opción *testrig* para desplegar las diferentes variables de la simulación.

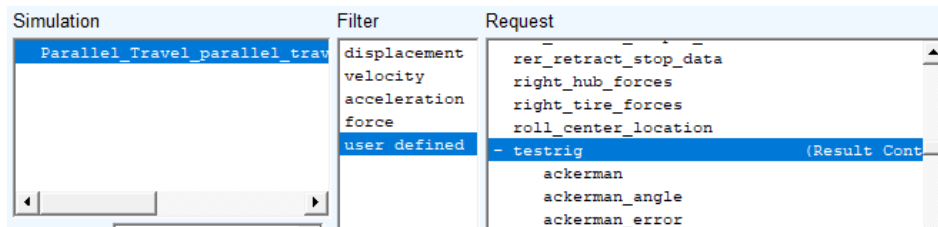


Figura 15: *Selecion de variables.*

Para realizar la gráfica de las variables seleccione la variable que desea graficar por ejemplo *camber_angle*, luego seleccione izquierda (left) o derecha (right) y clic en *Add Curves*. Si desea borrar las gráficas debe dar clic en *Clear Plot*.

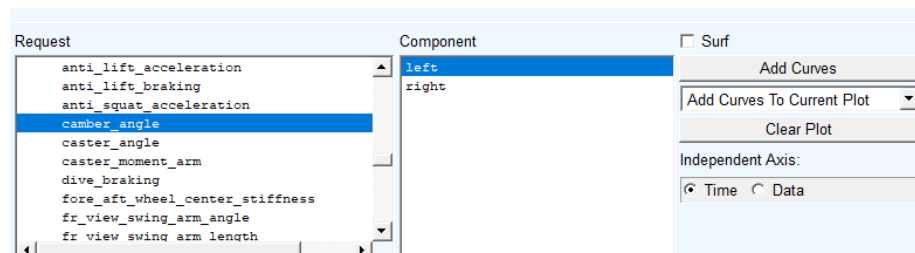


Figura 16: *Selecion de gráfica*

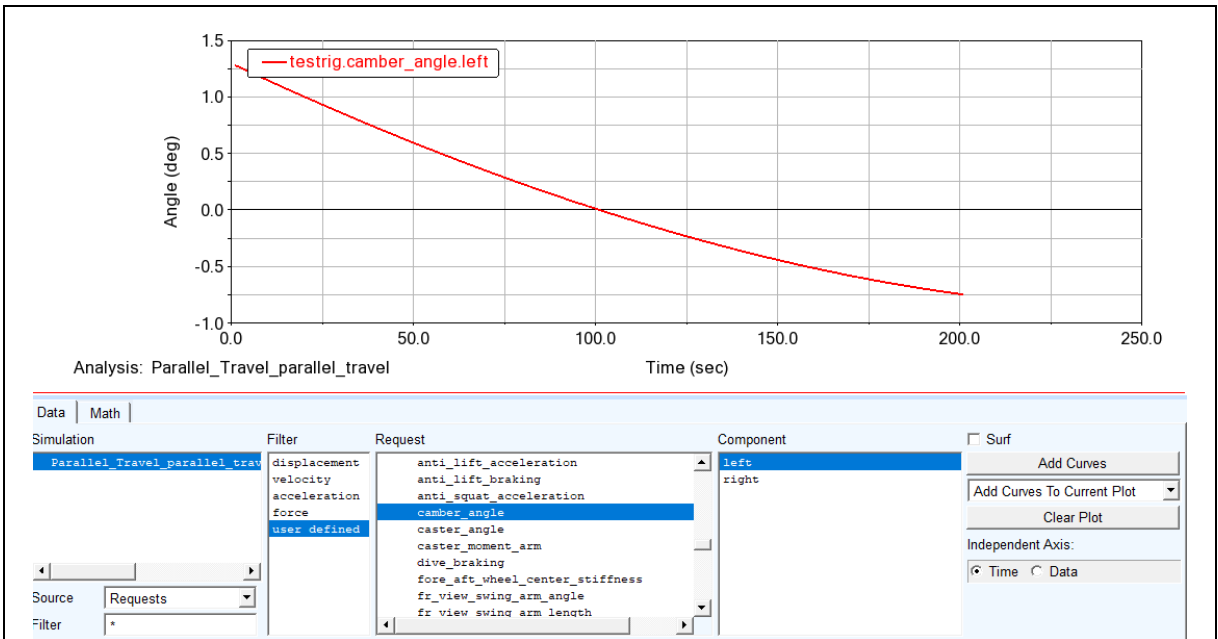


Figura 17: Ángulo camber

Tal y como muestran la figura 17, no existe mayor variación en el ángulo Camber del neumático, con esto podemos decir que el diseño de la suspensión apenas permite la aparición de este ángulo.

3. Crear simulación Opposite Travel

Este tipo de análisis consiste en desplazar los centros de los neumáticos de forma opuesta a diferencia del análisis anterior. Para realizar este análisis hay que seleccionar en el menú de simulación la opción *Simulate » Suspension Analysis » Opposite Wheel Travel*. La única diferencia de configuración para este análisis en comparación al *Parallel Wheel Travel* está en las casillas *Bump Travel* y *Rebound Travel* donde se establece los límites de forma contraria.

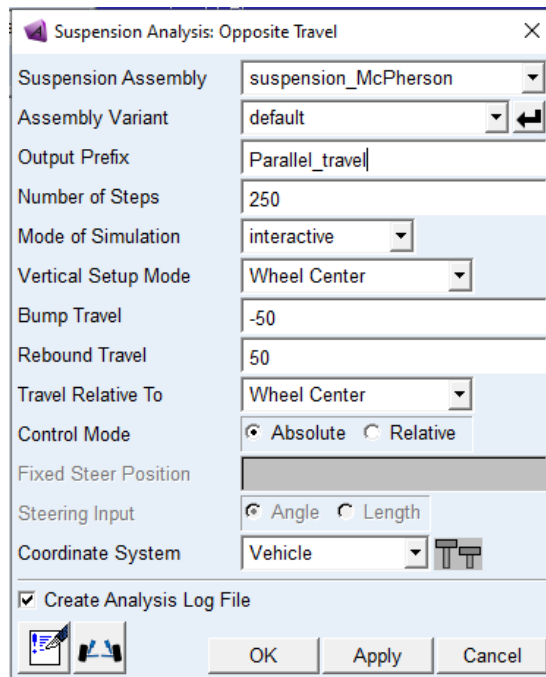


Figura 18: Opposite Travel.

Con las condiciones establecidas en la figura 18, el análisis mueve el centro de la rueda de manera vertical entre

los valores introducidos en las casillas *Bump Travel* y *Rebound Travel*. Los resultados del análisis *Opposite travel* se muestran a continuación

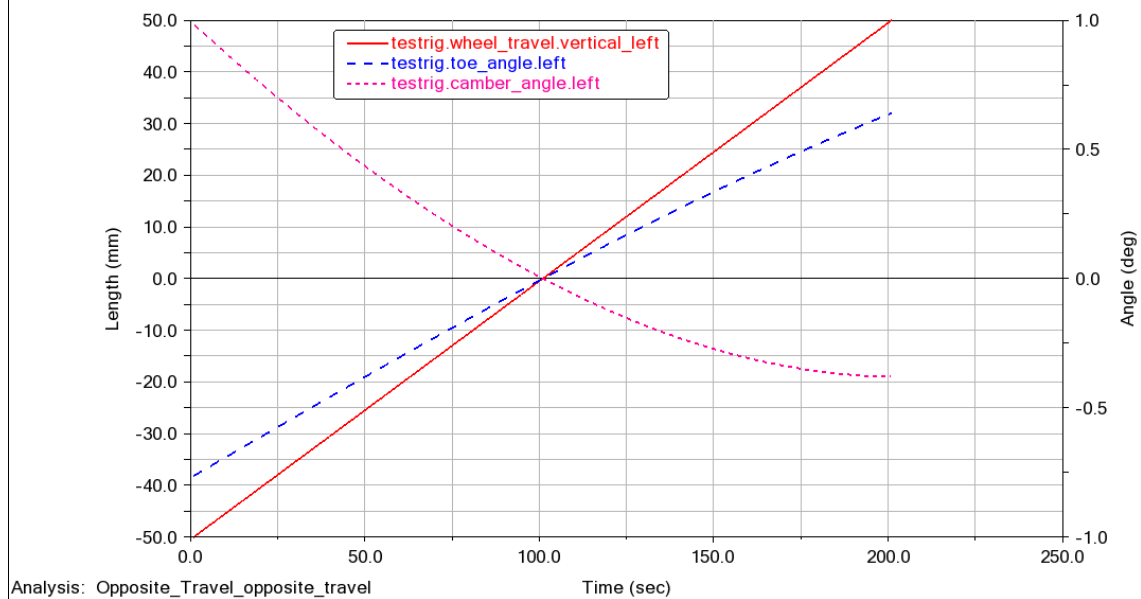


Figura 19. *Opposite Travel.*

Como se puede observar, en la figura 19, la variación de los ángulos camber y toe es mínima siendo menor a uno cuando la rueda viaja de arriba-abajo que es lo contrario al análisis *Parallel Travel*.

4. Crear simulación Vertical Force

Este análisis simula una carga sobre los neumáticos, para realizar el análisis, se procede a seleccionar en el menú de herramientas *Simulate* » *Suspension Analysis* y se escoge *Roll & Vertical Force*. Con este análisis se evalúa la suspensión ante esfuerzos aplicando una carga al neumático.

El total de la fuerza vertical (Total Vertical Force) se calcula con el peso del vehículo dividido para el número de neumáticos por la gravedad.

Se definen también los límites de inclinación de la rueda en las casillas *Roll Angle Upper* y *Roll Angle Lower*

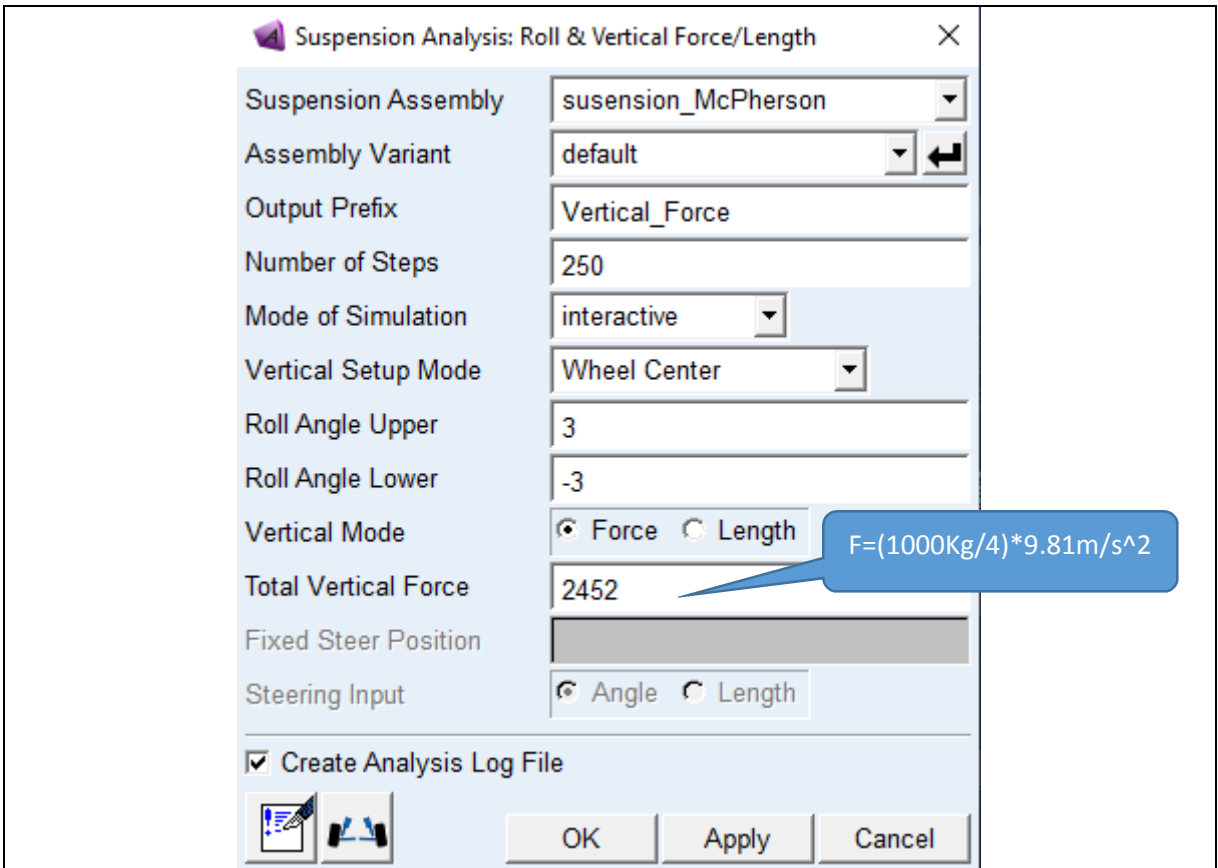


Figura 20: Parametros de Vertical Force.

En la figura 20 se indica el comportamiento de los diferentes ángulos camber, caster y toe al momento de aplicar una fuerza en el neumático.

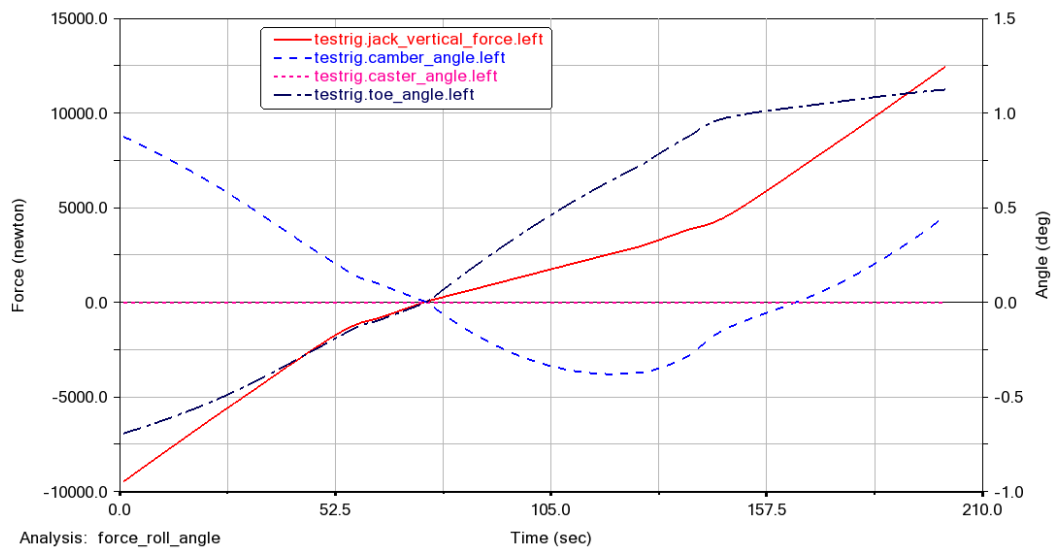


Figura 21: Vertical force.

5. Crear simulación Single Wheel Travel

Este tipo de análisis mueve solo un neumático, para este análisis, se procede a seleccionar en el menú de

herramientas *Simulate* » *Suspension Analysis* » *Single Wheel Travel* y se establece las mismas condiciones que en el *Parallel Wheel Travel*

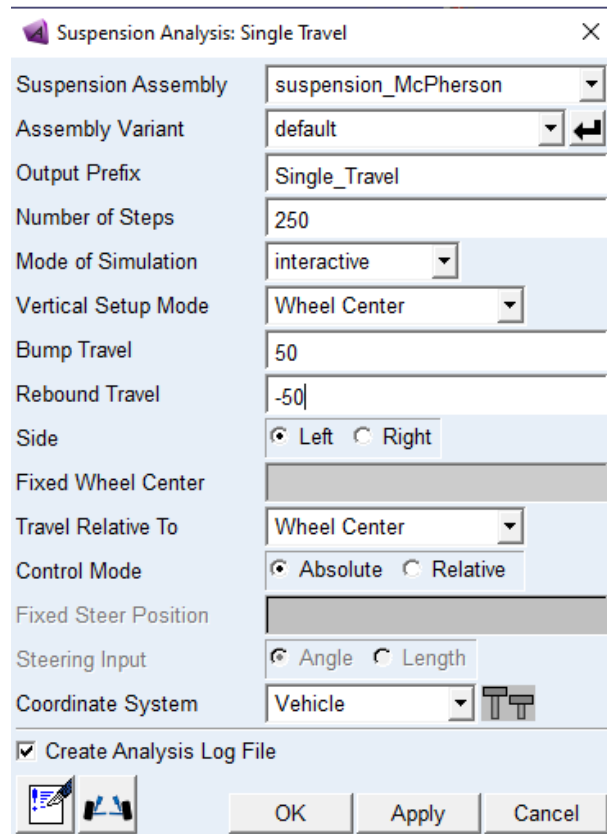


Figura 22: *Parametros Single Wheel Travel..*

En la figura 21 se muestran el comportamiento de la suspensión de la simulación *Single Wheel Travel*.

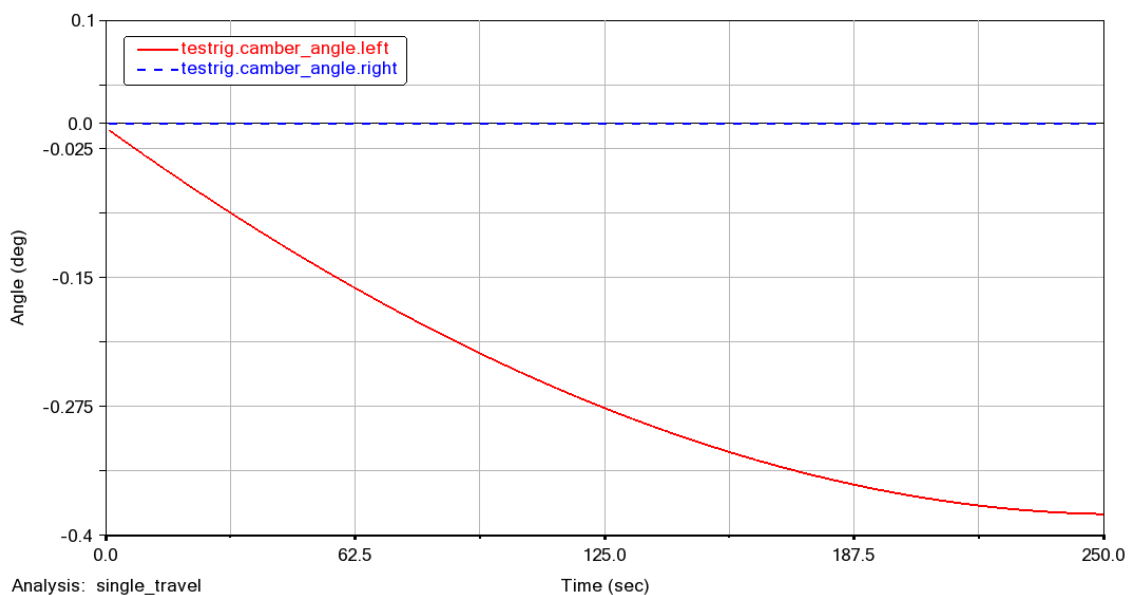


Figura 23: *Single Wheel Travel..*

Enumere los diferentes ángulos que rigen el comportamiento de la suspensión y el efecto que estos tienen

RESULTADO(S) OBTENIDO(S):

1. Realizar un informe con los pasos a seguir para realizar la simulación de la suspensión en Adams Car (enumerar cronológicamente los pasos seguidos para la simulación).
2. Presentar los resultados de la simulación de los ángulos camber, caster y toe

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

PREGUNTAS

Encierre en un círculo la respuesta correcta

La simulación Parallel Wheel Travel consiste en mover los neumáticos:

- De forma vertical de arriba hacia abajo
- De forma vertical de abajo hacia arriba
- De forma horizontal
- No existe desplazamiento de los neumáticos

La simulación Single Wheel Travel consiste en mover

- Los dos neumáticos de forma vertical
- Un solo neumático de forma vertical
- Los dos neumáticos de forma horizontal
- No existe desplazamiento de los neumáticos

Los ángulos que rigen el comportamiento de la suspensión son:

- Camber y caster
- Camber, toe y caster
- Caster, toe y convergencia
- Toe y caster.

4. CONCLUSIONES

- ❖ La investigación previa al modelado resulta de fundamental aplicación, puesto que, se requiere el conocimiento mecánico general y funcionamiento de las suspensiones para una modelación y diseño exacto, logrando así también que las guías desarrolladas sean con error despreciable y fundamenten más la investigación.
- ❖ Debido a la importancia requerida del conocimiento sobre tipos de análisis y modelos matemáticos para diseño de suspensión, se implementó en el primer capítulo fórmulas, descripciones y fundamentación teórica, respecto al software Adams.Car.
- ❖ Durante el segundo capítulo, se ha logrado estipular el modelo de las distintas suspensiones utilizadas en el medio, tales como: McPherson, Multilink, Brazo articulado, Rígida con resorte, Ballesta. De las cuales, se ha obtenido el: Paralled Wheel Travel, Opposite Wheel travel, Roll and Vertical Force, Single Wheel Travel, entre otras; de cual existe una explicación en el capítulo 1. También, durante el capítulo 2, se ha establecido de forma didáctica, la función de cada elemento y gráficas que se han obtenido.
- ❖ Para la creación de las guías, se ha concluido en utilizar un formato proporcionado por la Universidad Politécnica Salesiana, puesto que, las mismas, están destinadas a los estudiantes del ente educacional.
- ❖ Se determinó que, las guías explicaran de forma directa y precisa el cómo se realiza el diseño y análisis de cada suspensión, con el uso del programa predestinado, por lo que, se ha logrado establecer una serie de pasos en donde cualquier alumno de la Universidad Politécnica Salesiana o docente de la misma, puedan realizar un diseño y análisis dinámico, sin complicación alguna.
- ❖ El software Adams.Car, si bien proporciona una rápida ayuda para el desarrollo y comprensión del área automotriz, también posee algunas desventajas como lo es que, presenta problemas para guardar archivos, por lo que, se recomienda siempre realizar los diseños y análisis de manera práctica, ya que, de no lograr un manejo adecuado, se requerirá un reinicio completo de todo el proyecto en curso que se esté realizando.

5. REFERENCIAS

- 2019, R. (03 de Octubre de 2019). *ResearchGate 2019*. Obtenido de researchgate.net: https://www.researchgate.net/figure/Windows-screenshot-of-MSC-ADAMS-software-from-the-Adams-View-module_fig4_318653206
- AEADE. (10 de 2019). *AEDADE.NET*. Obtenido de <https://www.aeade.net/wp-content/uploads/2019>
- Arangures, Á. (2018). *La Suspensión McPherson*. Mexico.
- CARLOS, A. V., & FERNANDO, T. Y. (2016). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE SUSPENSIÓN PARA UN VEHÍCULO TIPO FÓRMULA PARA LA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ*. Riobamba .
- Castro, A. A. (05 de Agosto de 2019). *YouTube*. Obtenido de Abel Arrieta Castro: <https://www.youtube.com/watch?v=m19aSmDFw5w>
- Castro, D. D. (2017). *Modelo de suspension de vehiculo monoplaza mediante ADAMS/CAR*. España.
- Cruz, H. Q. (2011). *Clasificación Vehicular* .
- Gonzalo Rojas, N. A. (2013). Análisis del comportamiento dinámico de un vehículo con suspensión independiente tipo paralelogramo deformable y barras de estabilidad transversal. *Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal*.
- Ingemecánica. (22 de 07 de 2019). *ingemecanica*. Obtenido de ingemecanica: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn73.html>
- Intrax. (1 de Noviembre de 2019). *Intrax suspension technology*. Obtenido de intraxracing.nl: <https://www.intraxracing.nl/en/camber>
- MAD. (2019). *Oposicion secuandaria*. Obtenido de <http://www.oposicion-secundaria.com>
- Msc Software. (s.f.). *Adams/car*. EEUU.
- Mula Vivero, I. (2009). *ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE UN VEHÍCULO UTILIZANDO LA HERRAMIENTA SIMMECHANICS DE MATLAB*. Madrid : UC3M.
- PERALTA, D. L., & PATIÑO, E. G. (2015). *ANÁLISIS DE LAS CARGAS EN EL SISTEMA DE SUSPENSIÓN DE UN VEHÍCULO FORMULA SAE MEDIANTE EXTENSOMETRÍA ELÉCTRICA*. Cuenca.
- Puyol, P., & Velásquez, C. (2019). *ANÁLISIS DE LAS VIBRACIONES GENERADAS EN LA SUSPENSIÓN DE VEHÍCULOS COMERCIALIZADOS EN EL ECUADOR, MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE MODELOS MATEMÁTICOS, PARA EVITAR EL ESTRÉS MÚSCULO ESQUELÉTICO EN EL CONDUCTOR*. Riobamba: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

- Quijia, I. G. (2012). *ESTUDIO CINEMÁTICO DEL COMPORTAMIENTO DE LA SUSPENSIÓN DE UN PROTOTIPO DE FORMULA SAE STUDENTELEÉTRICODEL EQUIPO UPM RACING*. Madrid.
- Resman, P. (05 de Octubre de 2019). *Quora*. Obtenido de quora.com:
<https://www.quora.com/How-is-toe-in-toe-out-useful-in-automobiles>
- Satán, B. (2015). *ESTUDIO Y ANÁLISIS DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN DEL VEHÍCULO HIBRIDO TOYOTA PRIUS*. Guayaquil: UIDE.
- Technocrafts, 3. (10 de Agosto de 2019). *YouTube*. Obtenido de 3D Technocrafts:
<https://www.youtube.com/watch?v=vX99hxxIXpE>
- TireBuyer. (01 de Noviembre de 2019). *TireBuyer*. Obtenido de tirebuyer.com:
<https://www.tirebuyer.com/education/what-is-negative-camber>
- Verdugo, I. S., & Cárdenas., I. C. (2017). *Estudio numérico y experimental de la influencia del tamaño de las ruedas sobre los elementos de la suspensión Mcpherson*. 2017.