



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Modelado y simulación dinámica del automóvil Fiat/Seat 600

Presentado por: Víctor Sevilla Lacruz

Para optar al grado de Ingeniería Mecánica

Por la Universitat Politècnica de València

Dirigido por: Josep Lluís Suñer Martínez

València, 2017

Para todas aquellas personas que me han apoyado durante todos estos años y me han ayudado a la realización de este trabajo fin de grado. Sin ellos, no hubiese conseguido llegar hasta aquí.

Índice

1. Introducción	1
1.1. Introducción	1
1.2. Objetivos del proyecto	2
2. Historia del vehículo	3
3. Herramientas empleadas	5
3.1. AutoDesk AutoCAD 2017	5
3.2. SolidWorks Student Edition 2016.....	6
3.3. MSC Adams Car	7
4. Datos de partida.....	8
4.1. Origen de datos	8
5. Modelado del Fiat/Seat 600.....	9
5.1. Introducción	9
5.2. Modelado de la carrocería	9
5.2.1. Introducción	9
5.2.2. Modelado	12
5.3. Modelado de la suspensión delantera	16
5.3.1. Introducción	16
5.3.2. Modelado	17
5.4. Modelado de la suspensión trasera	21
5.4.1. Introducción	21
5.4.2. Modelado	22
5.5. Modelado del motor-transmisión	25
5.5.1. Introducción	25
5.5.2 Modelado	25
5.6. Modelado de la dirección.....	30
5.6.1. Introducción	30
5.6.2. Modelado	31
5.7. Modelado frenos.....	32
5.7.1. Introducción	32
5.7.2. Modelado	33
5.8. Modelado de las ruedas	34
5.8.1. Introducción	34
5.8.2 Modelado	35

5.9. Vehículo final.....	37
6. Simulación dinámica del vehículo	38
6.1. Introducción	38
6.2. Simulación dinámica individual.....	38
6.2.1. Ensamblaje de suspensión delantera y dirección	38
6.2.2. Ensamblaje de la suspensión trasera	43
6.3. Simulación dinámica del vehículo	45
6.3.1. Simulación de aceleración.....	46
6.3.2. Simulación de frenada.....	49
6.3.3. Simulación de frenada en curva	51
6.3.4. Simulación de giro en curva de radio constante	54
6.3.5. Simulación ISO Lane Change	57
7. Conclusiones y futuros trabajo.....	60
7.1. Conclusiones.....	60
7.2. Futuros Trabajos.....	60
8. Presupuesto.....	62
9. Pliego de condiciones.....	63
9.1 Comentario.....	63
9.1.1 Reseña	63
9.2 Condiciones recomendadas de utilización.....	63
9.2.1 Condiciones de Software y Hardware	63
9.2.2 Condiciones generales	66
10. Bibliografía	67
10.1. Bibliografía	67
10.2. Referencias.....	67
Anexo I: Característica técnicas del Fiat/Seat 600	69
Anexo II: Ficheros de los subsistemas	71
1. S600_Rear_Suspension	71
2. S600_Front_Suspension.....	77
3. S600_Steering	87
4. S600_Body.....	91
5. S600_Powertrain.....	92
6. S600_REAR_TIRES	95
7. S600_FRONT_TIRES.....	96
8. S600_BrakeSystem.....	96

1. Introducción

1.1. Introducción

Desde la creación del automóvil hemos vivido una constante evolución y mejora de estos. Hemos visto un gran avance en todos los aspectos, por ejemplo, seguridad, confort, control, maniobrabilidad o potencia. Todo esto ha sido gracias al descubrimiento de nuevos materiales, pero también a los ensayos que han permitido la optimización de cada una de estas piezas.

En sus comienzos, las mejoras del vehículo se hacían mediante ensayos empíricos que muchas veces eran consecuencia de fatídicos accidentes, ya que al carecer de tecnología eran las personas quien debían realizar las pruebas con su consecuente riesgo.

Posteriormente, junto al avance de la tecnología, también avanzaba la seguridad y precisión de estos ensayos, lo que nos permitía seguir mejorando y avanzando tecnológicamente el automóvil. Con la llegada de los sensores y el uso de maniqués que simulaban el cuerpo de una persona humana pudimos observar un gran avance en el automóvil. Estos sensores nos permitían registrar el comportamiento de todos los elementos. Por ejemplo, nos permitía observar el comportamiento de la suspensión de un vehículo al someterla a algún tipo de estímulo como podría ser un bache. Además, el uso de maniqués nos ha permitido obtener grandes avances de seguridad reduciendo en gran porcentaje la probabilidad de muerte en un accidente de tráfico.

Seguidamente, el automóvil, al igual que muchos otros sectores industriales, se ha visto beneficiado del “boom” informático. Gracias a este avance informático ha sido posible la creación de programas de simulación los cuales son capaces de reproducir el comportamiento de un vehículo de una forma muy similar a la realidad. Esto nos permite la reducción del coste de investigación, ya que los muchos de los ensayos realizados tiempos atrás eran ensayos destructivos o requerían la creación de una pieza de gran valor económico.

Finalmente, en la actualidad podemos seguir observando los avances de la tecnología. Podemos ver como se están investigando nuevos materiales, carrocerías, motores, amortiguaciones, etc. que en un futuro cercano serán montando en nuestros automóviles, pero a la vez, serán obsoletos en poco tiempo ya que la tecnología relacionada con el automóvil no para de avanzar al tratarse de un objeto imprescindible en nuestra vida.

1.2. Objetivos del proyecto

El presente proyecto consiste en la creación de un modelo del vehículo Fiat/Seat 600 en el programa Adams Car para su posterior estudio con las diferentes herramientas de simulación que nos facilita el programa.

Con ello, se pretende estudiar el comportamiento del vehículo en diferentes entornos como pueden ser la aceleración, frenado, curva o cambios de rumbo bruscos. Esto nos permitirá conocer de forma aproximada el comportamiento del Fiat/Seat 600 sin necesidad de hacer una prueba con el vehículo real.

Para la realización de este proyecto hemos decidido ir creando en diferentes etapas cada uno de los componentes que nos permite crear el programa. Las etapas han sido las siguientes:

- Recogida de información del vehículo y medidas necesarias para la creación de sus componentes en Adams Car.
- Modelado de la suspensión delantera y dirección acoplada a esta que nos permite controlar el vehículo.
- Modelado de la suspensión trasera y el diferencial que nos permite transmitir la fuerza del motor a las ruedas traseras para el avance del automóvil.
- Modelado de las ruedas.
- Modelado del chasis, donde hemos tenido en cuenta el peso del automóvil real y adaptado sus los momentos para adaptar el comportamiento a la realidad.
- Modelado del motor, donde hemos ajustado su potencia y la relación que posee la transmisión del vehículo real.
- Modelado del sistema de frenado.
- Unión de todos los subsistemas modelizados y análisis del comportamiento del automóvil.

Los resultados obtenidos nos permitirán aproximar el comportamiento de este vehículo, el cual ha sido muy importante para la historia de España.

Por último, añadiremos el modelo a una biblioteca en la cual hay otros vehículos, lo cual permitirá a las personas interesadas en ello, la comparación del comportamiento de estos dependiendo del tipo de vehículo estudiado.

2. Historia del vehículo

Rondaba el año 1955 cuando en el “Salón del Automóvil” de Ginebra se presentaba el sucesor del Fiat 500, es decir, el Fiat 600. Se trataba de un coche más amplio y con más potencia que su predecesor, el cual en Italia no tuvo tanto éxito como su modelo anterior.

En aquellos tiempos, España comenzaba a avanzar económicamente y de ello era prueba el “Plan de Desarrollo” publicado en aquella época por el gobierno. Uno de los pilares fundamentales de este plan de desarrollo fue el Seat 600. Se trataba de una réplica del modelo italiano presentado en Ginebra, pero la gente decía que el modelo de Seat era mucho más resistente que el de Fiat.

El primer modelo de Seat 600 fue producido en 1957 en Barcelona. En una España que comenzaba a levantarse económicamente tras la postguerra, la aparición del Seat 600 fue de gran impacto social y un gran cambio que permitió iniciar la motorización de la sociedad española.



Fig.2.1 Fábrica de Seat situada en la Zona Franca de Barcelona. Ref. [1]

Se trataba de un automóvil robusto que rondaba los 600kilos de peso y alcanzaba una velocidad máxima en recta de 90km/h. Su precio inicial fue de 60.000 pesetas y debías estar inscrito en una larga lista de espera para recibirlo. El impacto del Seat 600 en la sociedad española fue tal que la gente comenzó a apodarlo “el ombligo” ya que casi todas las familias españolas tenían uno de estos coches.

A la vez que evolucionaba el Seat 600 también fue ligada a él la evolución de la clase obrera española. Esto es uno de los motivos por los que se considera a este automóvil una de las piezas clave de la historia de España.

Por un lado, el Seat 600 evolucionaba de manera constante, sus motores aumentaban de cilindrada, se creaban nuevos modelos de 4 puertos, nuevos modelos descapotables o nuevos modelos más deportivos. También, aumentaban los extras posibles a añadir al automóvil o las diferentes formas de configurar su interior.

Por otro lado, a la vez que evolucionaba el Seat 600, evolucionaba la clase obrera de la época. Los trabajadores de la fábrica de la Zona Franca de Barcelona empezaban a reclamar mayores derechos al gobierno de la época. Esto provocó conflictos con el gobierno de la época que llegó incluso a causar la muerte de algunos de los trabajadores de la fábrica.

Finalmente, el último modelo de Seat 600 fue producido en agosto de 1973. Se trataba de un modelo de color blanco, y los trabajadores de la fábrica lo despidieron con una pancarta con la frase “Naciste príncipe y mueres Rey”. Esta última frase es un claro reflejo de lo que supuso este modelo para la sociedad española de la época.

3. Herramientas empleadas

3.1. AutoDesk AutoCAD 2017

AutoCAD es un software de dibujo asistido de modelos 2D y 3D. Su primer programa fue presentado en diciembre de 1982 y actualmente es el programa de dibujo asistido más usado en el mundo. Este programa es usado en muchos ámbitos de la vida profesional como pueden ser arquitectura, construcción, fabricación, industria o investigación. En el caso de la Ingeniería Mecánica el programa nos ayuda a la creación de planos de piezas, máquinas u otros derivados relacionados con las máquinas.

En el caso de este trabajo final de grado, *AutoCAD* nos ha permitido visualizar planos del Fiat/Seat 600, tanto modelos en 2D como en 3D.



Fig.3.1 Modelo 3D del Fiat/Seat 600 en formato AutoCAD. Ref. [2]

Además, hemos utilizado las diferentes herramientas que nos facilita el programa para crear archivos independientes que solo poseen el chasis y la llanta de la rueda. Esto nos permitirá posteriormente mejorar visualmente el modelo final.

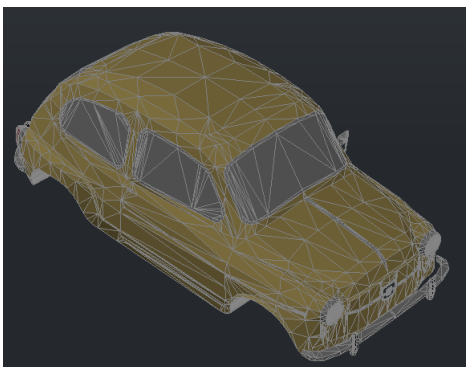


Fig.3.2 Modelo 3D del chasis del Fiat/Seat 600.

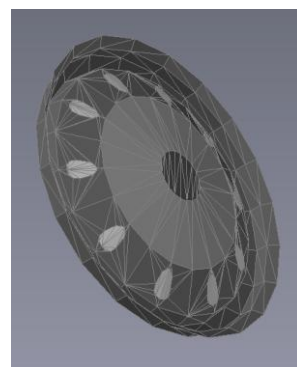


Fig.3.3 Modelo 3D de la llanta del Fiat/Seat 600

3.2. SolidWorks Student Edition 2016

SolidWorks es un programa informático que nos ayuda al diseño de sólidos ayudándose de la tecnología CAD y CAE. *SolidWorks Corporation* fue fundada en 1993 y actualmente pertenece a la empresa *Dassault Systems*. Se trata de una de las herramientas más usadas en el ámbito de la ingeniería, ya que nos permite reproducir de una forma exacta el comportamiento y geometría exacta de muchas piezas.

En el caso de este trabajo de fin de grado, la herramienta *SolidWorks* nos ha permitido importar los archivos *AutoCAD (.dwg)* para convertirlos a un formato compatible con el programa *MSC Adams Car (Parasolid)*. Además, nos ha permitido reescalar el chasis y la llanta ya que no estaban en las medidas reales.

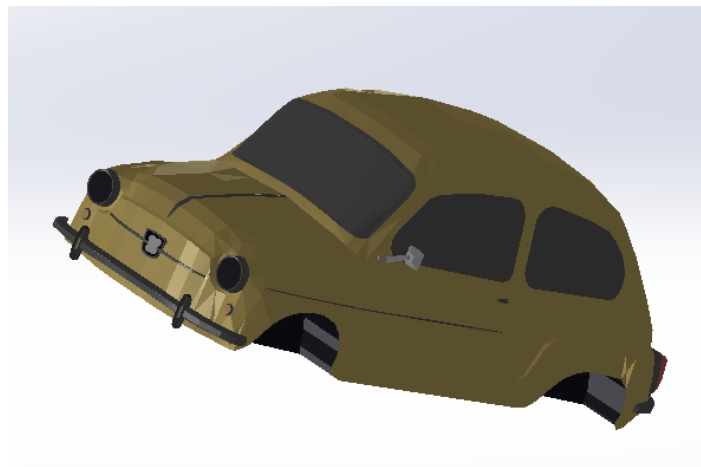


Fig.3.4 Modelo del chasis del Fiat/Seat 600 importado a SolidWorks.

Finalmente, la herramienta *SolidWorks* nos ha permitido abrir el motor de 4 cilindros en línea que poseía el Fiat/Seat 600 y adaptar en orientación al modelo del Adams Car.

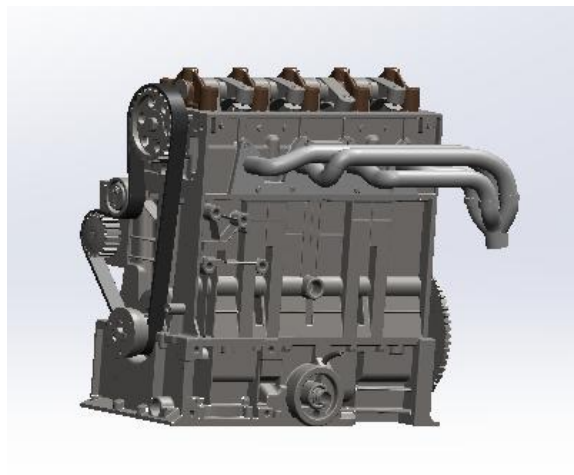


Fig.3.5 Motor 4 cilindros en línea. Ref. [3]

3.3. MSC Adams Car

MSC Adams Car nos permite construir y probar rápidamente prototipos virtuales de vehículos completos y subsistemas de estos. El programa nos permite realizar diferentes ensayos con varias condiciones, carreteras, etc. Gracias a *MSC Adams Car* podemos permitir simular ensayos que normalmente se realizan a los vehículos reales, pero en un periodo de tiempo muy corto y sin un alto coste económico como sería un ensayo destructivo.

Algunas de las opciones que nos permite esta herramienta son:

- Análisis de maniobras en los diferentes subsistemas (suspensión, dirección o vehículo completo).
- Creación o importación de modelos sólidos 3D.
- Amplia biblioteca de articulaciones y restricciones que nos permite definir de forma muy similar a la realidad la conectividad de las piezas.
- Refinamiento de modelos los cuales contienen piezas flexibles, por ejemplo, brazos de suspensión, neumáticos, etc.
- Resultados completos, tanto lineales como no lineales, para diseños complejos.

Nuestro trabajo de fin de grado ha sido posible gracias a las herramientas nombradas anteriormente. En el caso de *MSC Adams Car*, nos ha permitido la simulación de las suspensiones, la dirección y el vehículo completo. Además, nos ha permitido analizar mediante gráficas los diferentes resultados obtenidos en los ensayos.

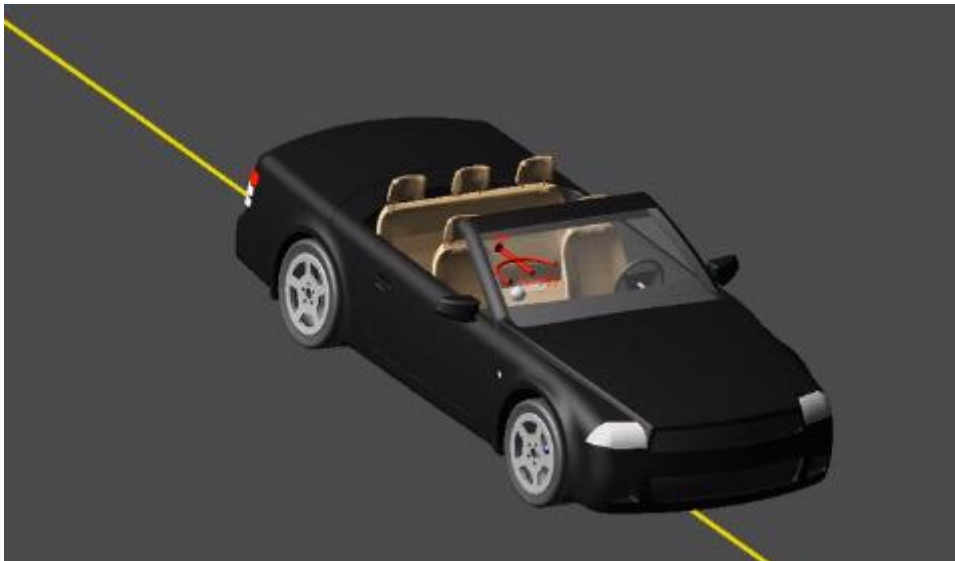


Fig.3.6 Ejemplo de un modelo realizado mediante la herramienta MSC Adams Car. Ref. [4]

4. Datos de partida

4.1. Origen de datos

Las medidas del Seat 600 y sus componentes han sido obtenidas de manuales oficiales encontrados en la Web. Se tratan de manuales escaneados en formato PDF los cuales proceden de la fábrica oficial de Seat. (Anexo I)

Gracias al manual citado, hemos obtenido el peso total del vehículo, pero no el de cada uno de los subsistemas que compone este. Por lo que hemos optado por realizar una aproximación que nos permita acercarnos al comportamiento del vehículo a la realidad.

Al igual que con los pesos de los subsistemas, no nos ha sido posible encontrar detalladamente las medidas de la suspensión del Seat 600, por lo tanto, nos hemos ayudado de los planos oficiales (Anexo I) y las medidas realizadas a un modelo real.

Además, no nos ha sido posible obtener datos exactos de los neumáticos, momentos de inercia, etc. por lo que lo hemos tratado de acercarnos al comportamiento de estos con una serie de cálculos aproximativos.

Debido a todo esto, el comportamiento de nuestro modelo en *MSC Adams Car* no será exactamente igual al que tendría un modelo real de Seat 600. Pero si conseguiremos un comportamiento parecido que nos permitiría mejorar algunas características del automóvil.

5. Modelado del Fiat/Seat 600

5.1. Introducción

Este trabajo de fin de grado consistirá en el modelado del vehículo Fiat/Seat 600 en el programa *MSC Adams Car*. Para ello, hemos partido de un modelo real el cual hemos adaptado de forma aproximada en el programa. Podemos observar la comparación de ambos modelos en las siguientes figuras:

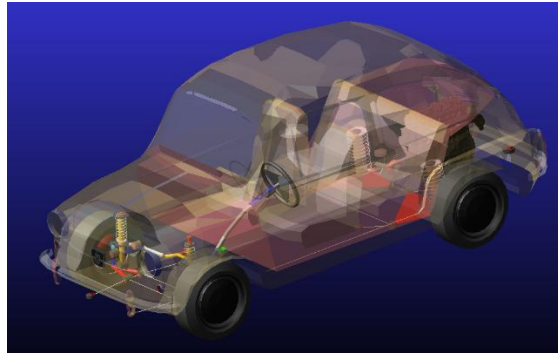


Fig.5.1. Modelo real del vehículo Seat 600. Ref. [5]

Fig.5.2. Modelo realizado en Adams Car.

Partiendo de los datos obtenidos sobre el automóvil hemos realizado una modificación de los archivos que nos proporcionaba el programa *MSC Adams Car* adaptándolos a nuestro modelo. Con la herramienta *“Template Builder”* hemos creado los modelos necesarios para funcionamiento del coche, y posteriormente, en el modo *“Standard Interface”* hemos creado los subsistemas.

Finalmente, con todos los subsistemas necesarios ya creados, hemos unido todo el vehículo con la herramienta *“Full-Vehicle Assembly”*. Con esto, ya hemos podido realizar las pruebas del vehículo completo y comprobar su correcto funcionamiento.

5.2. Modelado de la carrocería

5.2.1. Introducción

La carrocería es una de las partes más importantes del vehículo. Se trata del lugar del vehículo donde viajan los pasajeros y la carga, por ello, es uno de los elementos que ha sufrido mayor cambio en los últimos tiempos, ya que de él depende en gran medida la seguridad de los pasajeros.

A la hora de clasificar un vehículo es muy importante su carrocería. Podemos encontrar diversas clasificaciones, pero una de las más usadas es la basada en el volumen de la carrocería.

Por un lado, podemos encontrar las carrocerías monovolumen. Son aquellas carrocerías en las que no sería posible diferenciar más de un volumen, ya que la zona motor la cabina y el maletero

están integrados en partes no diferenciables. Normalmente, este tipo de vehículos son amplios y más alto que un turismo normal.



Fig.5.3 Modelo del monovolumen "Seat Alhambra 2016". Ref. [6]

Por otro lado, podemos encontrar las carrocerías que reciben el nombre de "dos volúmenes". Se trata de aquellas carrocerías en las que podemos observar dos partes claramente diferenciables. Normalmente, sus partes son el capó junto al motor y el habitáculo donde irían los pasajeros y la carga. Además, podemos encontrar modelos de todo tipo de tamaño (tres puertas, cinco puertas, etc.)



Fig.5.4 Modelo "dos volúmenes" del Seat León cinco puertas 2016. Ref. [7]

Finalmente, encontramos los modelos de tres volúmenes o también llamados tricuerpo. Como bien dice el nombre se tratan de vehículo con tres partes claramente diferenciadas. Sus partes

son el capó (donde normalmente encontramos el motor), el habitáculo (donde viajan los pasajeros) y el maletero (donde normalmente se guarda la carga).



Fig.5.5 Modelo tricuerpo del Seat 124. Ref. [8]

En el caso del vehículo estudiado en este trabajo, podemos observar claramente que se trata de un vehículo de “dos volúmenes”. Pero el Seat 600 tiene una particularidad respecto a los “dos volúmenes actuales”, su motor está situado en la parte trasera mientras que su parte delantera (capó) es usada para transportar la carga, como podemos observar en la figura 5.6.



Fig.5.6 Parte delantera del Seat 600. Ref. [9]

5.2.2. Modelado

Para la realización de la carrocería hemos decidido partir de un modelo CAD. En nuestro caso hemos encontrado un modelo con formato *AutoCAD* (Ref. [10]) el cual modificaremos. Al abrir el archivo observamos que consta de chasis y ruedas, por lo tanto, borraremos desde *AutoCAD* las ruedas y aquellas partes que no formen parte de la carrocería.

Posteriormente, con el trabajo en *AutoCAD* ya realizado, procedemos a importar nuestro CAD a *SolidWorks*. Desde este programa procedemos a reescalar el vehículo aumentando su tamaño 55 veces del CAD original, ya que buscamos las medidas reales del vehículo. Además, orientaremos el chasis de la forma correcta para que no tengamos ningún problema al importarlo al *MSC Adams Car*. Como último paso en *SolidWorks*, guardaremos el archivo en un formato que nos permita importar de forma correcta el chasis a *MSC Adams Car*, en este caso hemos optado por el formato *ParaSolid (.x_t)*.

Con el trabajo de CAD ya realizado podemos empezar a trabajar en *MSC Adams Car*. En primer lugar, abriendo el modo *Template Builder*, debemos asegurarnos que creamos una base de datos en la cual almacenaremos todos los archivos de nuestro modelo. En este caso, nosotros hemos decidido usar la base de datos que nos trae por defecto Adams, por lo tanto, nuestros archivos se almacenaran en la carpeta *Private.cdb*. Con este paso ya realizado, podemos empezar a trabajar con nuestro modelo, debemos abrir el modelo por defecto que nos trae Adams Car (*File>Open>Template Name>aca_shared>_rigid_chassis.tpl*) y borrar todas aquellas piezas que pertenecen al chasis del Ferrari (*Edit>Delete*). Seguidamente, debemos importar el archivo *ParaSolid* del chasis del Seat 600, para ello vamos a *File>Import*, seleccionamos *File Type>ParaSolid*, en *File to Read* seleccionamos nuestro archivo CAD y cambiamos *Model Name* por *Part Name*, aquí seleccionamos que nuestro archivo pertenecerá a *ges_chassis*, introducimos su posición correcta y pulsamos *OK*.

Con el chasis ya importado debemos realizar los dos últimos pasos en el modo *Template Builder*. En primer lugar, debemos colocar los *Hardpoints* en sus respectivos lugares, ya que ahora tenemos un chasis diferente, por lo que los colocaremos de la siguiente forma.

	loc_x	loc_y	loc_z	
hpl_bedplate_front_loc	709.5	-680.5	-326.0	(none)
hpl_bedplate_rear_loc	1775.2	-682.0	-311.0	(none)
hpl_front_wheel_center	283.5	-575.0	-287.0	(none)
hpl_rear_wheel_center	2386.5	-580.0	-302.5	(none)
hps_chassis_graphics	0.0	1532.5	1200.0	(none)
hps_path_reference	0.0	0.0	0.0	(none)
hps_trim_dummy	1452.643	0.0	356.0795	(none)

Fig.5.7 Posición de los Hardpoints en el chasis del Seat 600.

En segundo lugar, y como paso final en el modo *Template Builder*, debemos guardar el archivo final (Figura 5.8). Para ello, iremos a *File>Save as...* y le daremos el nombre de ChasisFinal600.

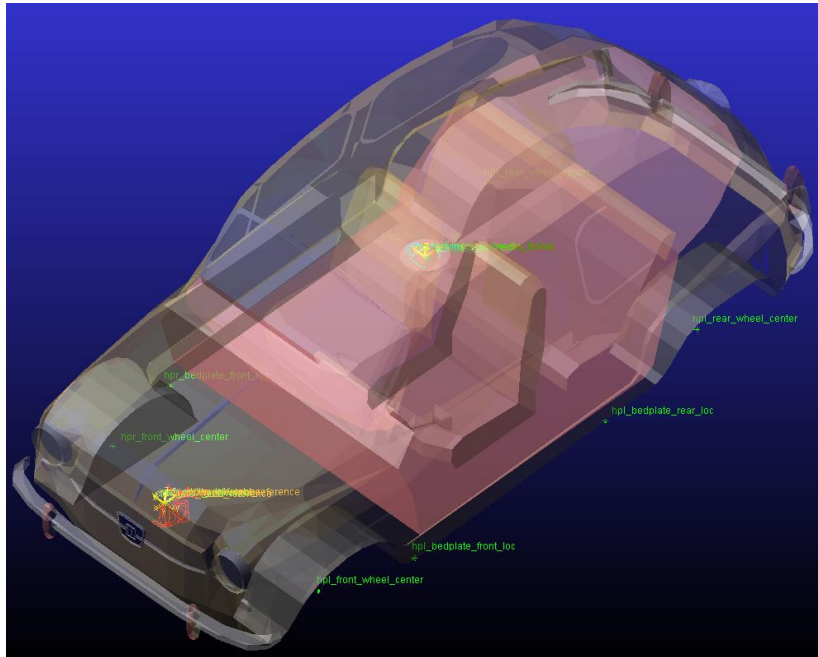


Fig.5.8 Archivo _ChasisFinal600

Con la plantilla ya creada, debemos cambiar ahora al modo *Standard Interface* para crear el subsistema ligado a esta plantilla. Para ello, dentro del modo Standard Interface, *File>Subsystem*, le asignamos el nombre de S600_Body y ponemos *Minor Role>Any*. Obtenemos el siguiente subsistema:

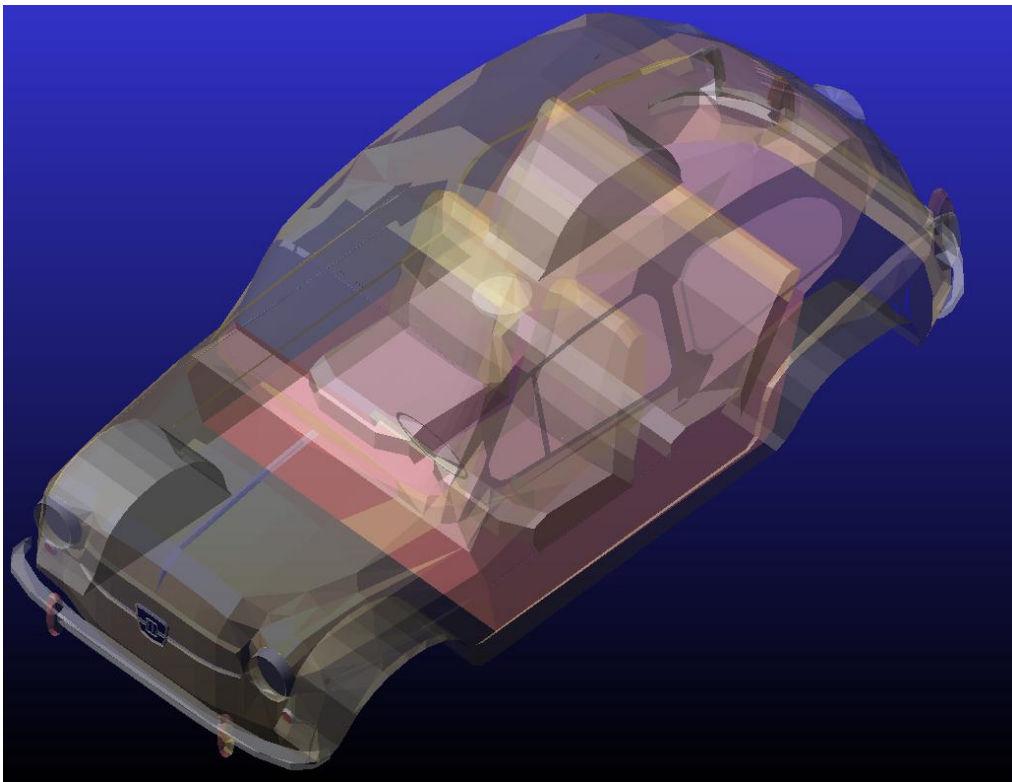


Fig.5.9 Subsistema S600_Body.sub

El siguiente paso será asignar los momentos de inercia y el peso que corresponde a la carrocería del Seat 600, ya que tendremos los valores que asigna el programa a la carrocería anterior. Para ello, y dado que no tenemos los datos necesarios, hemos optado por realizar un modelo aproximado suponiendo que el coche es un cubo al cual asignamos peso del coche, lo que nos permitirá calcular los momentos de inercia.

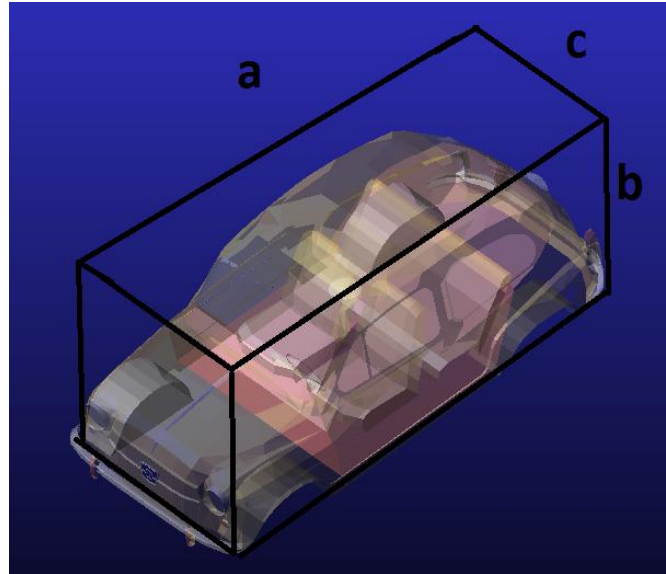


Fig.5.10 Cubo supuesto para el cálculo de inercias

Donde realizamos los siguientes cálculos:

$$\text{Peso Chasis} = \text{Peso Total} - \text{Peso Motor} = 600 - 70 = 530 \text{ Kg}$$

$$a = 3295\text{mm} \quad b = \text{Altura total} - \text{Radio Rueda} = 1350 - 268 = 1082\text{mm} \quad c = 1380\text{mm}$$

$$I_{xx} = \frac{1}{12} \text{Peso Chasis}(b^2 + c^2) = \frac{1}{12} 530 (1082^2 + 1380^2) = 1.35818 * 10^8 \text{Kgmm}^2$$

$$I_{yy} = \frac{1}{12} \text{Peso Chasis}(a^2 + c^2) = \frac{1}{12} 530 (3295^2 + 1380^2) = 5.31226 * 10^8 \text{Kgmm}^2$$

$$I_{zz} = \frac{1}{12} \text{Peso Chasis}(a^2 + b^2) = \frac{1}{12} 530 (3295^2 + 1082^2) = 5.636306 * 10^8 \text{Kgmm}^2$$

Ahora, debemos introducir los cálculos al subsistema, por lo que dentro de *S600_Body.sub* en el menú *Browse* pulsamos *ges_chassis>Modify* y modificamos los valores en las casillas correspondientes.

General Part	.SEAT_600.S600_Body.ges_chassis		
Location	0.0,0.0,0.0		
Orient using	<input checked="" type="radio"/> Euler Angles <input type="radio"/> Direction Vectors		
Euler Angles	0.0,0.0,0.0		
X Vector	1.0,0.0,0.0		
Z Vector	0.0,0.0,1.0		
Mass	530.0	Sprung Mass %	100.0 any
lxx	1.35818E+08	<input type="checkbox"/> Off-Diagonal Terms	
		lyy	5.31226E+08
		lzz	5.636296042E+
CM location relative to Part	1452.643,0.0,356.0795		
Density	<input checked="" type="radio"/> Material <input type="radio"/> User Entered		
Material Type	steel		
Symmetric	<input checked="" type="radio"/> yes <input type="radio"/> no		
<input type="button" value="Rigid to Flex"/> <input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Apply"/> <input type="button" value="Cancel"/>			

Fig.5.11 Modify General Part del subsistema S600_Body

Finalmente, ya tendremos el chasis con todos los datos necesarios para la simulación por lo que procederemos a guardarlo, para ello vamos a *File>Save*. Con esto, finalizamos el modelado del chasis.

5.3. Modelado de la suspensión delantera

5.3.1. Introducción

La suspensión de un vehículo es el conjunto de brazos, muelles, amortiguadores, etc. que nos permite unir las masas suspendidas del vehículo con las no suspendidas (en las cuales están incluidas las suspensiones). El sistema de suspensiones nos permite mantener el contacto de la rueda con la carretera ayudándonos a mantener el control del vehículo en diversas situaciones, por ello, es una de las partes más importantes en el mundo de la ingeniería automovilística.

Respecto a los tipos de suspensiones, podemos encontrarlas de muchos tipos y formas. En el caso de nuestro vehículo, la suspensión utilizada es la conocida como suspensión de doble brazo (*double wishbone suspension*). Esta suspensión basa su funcionamiento en dos brazos, los cuales normalmente son paralelos, los cuales oscilan para mantener la rueda siempre en contacto con la calzada. Además, consta de un amortiguador y un resorte el cual nos permite controlar el movimiento vertical de la suspensión.

Como es común, el montaje de la suspensión consta de el anclaje de los brazos al chasis. Ambas finalizaciones de cada uno de los brazos se unen al chasis mediante pares de revolución. Respecto al muelle y amortiguador, se encuentran unidos al chasis y permiten un movimiento vertical total sin interceder en los brazos.



Fig.5.12 Suspensión delantera del Seat 600. Ref. [11]

5.3.2. Modelado

Para el modelado de la suspensión delantera hemos partido de los planos de la suspensión facilitados en el “Manual Oficial” del Seat 600 y las medidas tomadas al vehículo real. Analizando los datos de esta tomamos la decisión de partir de un modelo ya creado en la base de datos de Adams Car.

En primer lugar, abrimos Adams Car en su interfaz *Template Builder*. Seguidamente, abrimos el modelo base seleccionado, para ello *File>Open>acar_shared>templates.tbl* y seleccionamos la suspensión *Double Wishbone*.

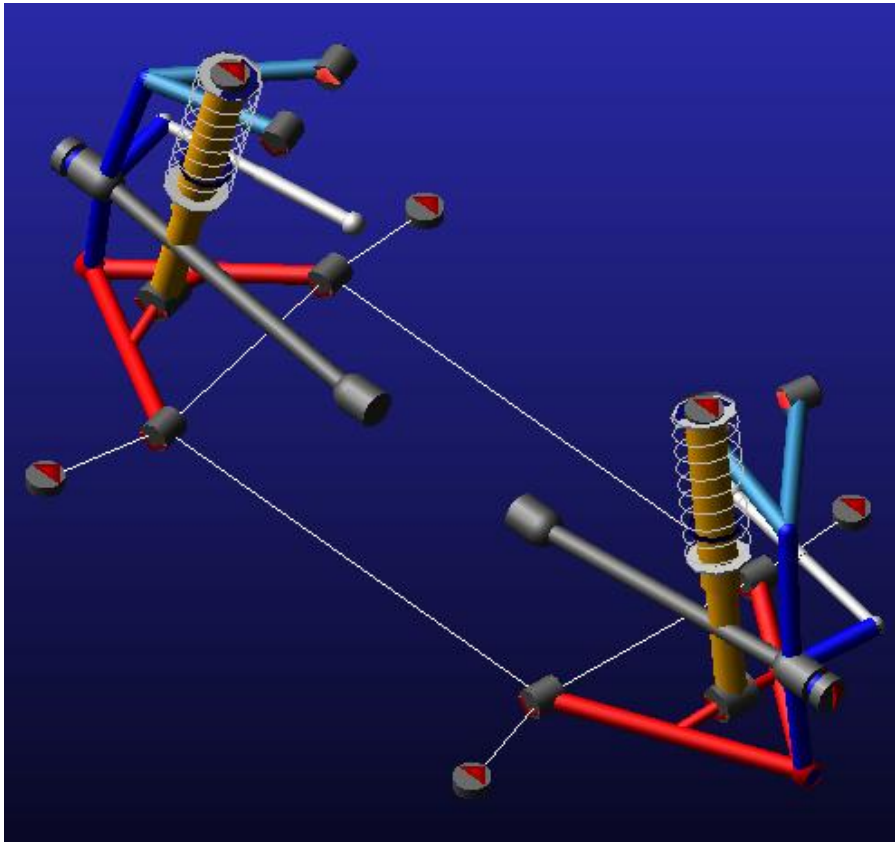


Fig.5.13 Suspensión Double Wishbone facilitada por Adams Car.

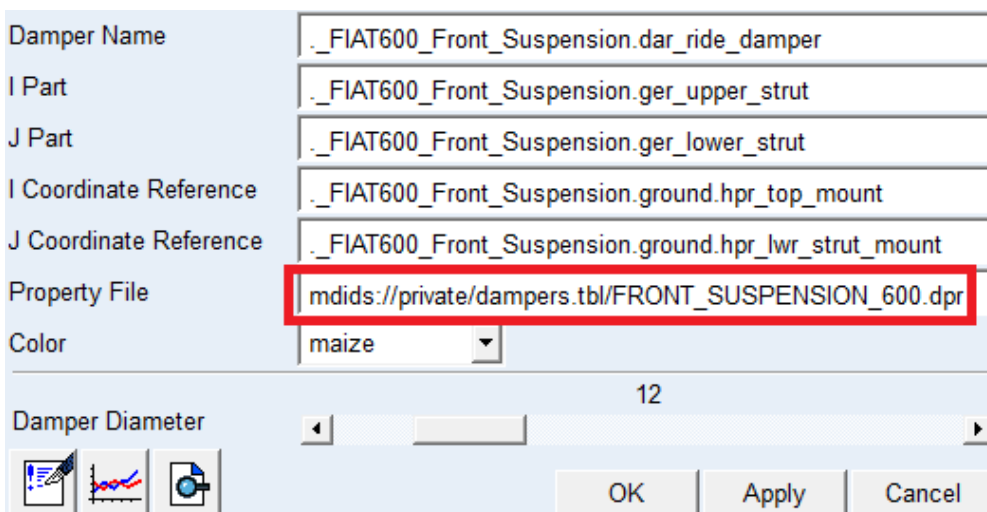
En segundo lugar, dado que la suspensión delantera de nuestro vehículo no es motriz procederemos a desactivar el diferencial. Para este paso, iremos al menú *Browse*, seleccionaremos *Parts>General Parts* y borraremos las partes correspondientes al diferencial (*ger(l)_tripot* y *ger(l)_drive_shaft*).

Seguidamente, deberemos crear una geometría igual a la de los brazos, muelle y amortiguador del modelo original, por lo tanto, modificamos los *Hardpoints* según los datos geométricos obtenidos de la suspensión.

	loc_x	loc_y	loc_z
hpl_lca_front	223.5	-274.0	-372.0
hpl_lca_outer	283.5	-500.0	-372.0
hpl_lca_rear	343.5	-274.0	-372.0
hpl_lwr_strut_mount	283.5	-404.0	-327.0
hpl_subframe_front	-116.5	-225.0	-372.0
hpl_subframe_rear	683.5	-225.0	-372.0
hpl_tierod_inner	500.0	-254.0	-287.0
hpl_tierod_outer	500.0	-450.0	-287.0
hpl_top_mount	283.5	-371.5	33.0
hpl_uca_front	193.5	-354.0	-202.0
hpl_uca_outer	283.5	-500.0	-202.0
hpl_uca_rear	373.5	-354.0	-202.0
hpl_wheel_center	283.5	-575.0	-287.0

Fig.5.14 Hardpoints pertenecientes a la suspensión delantera del Fiat/Seat 600.

El siguiente paso será modificar los amortiguadores y muelles para el correcto funcionamiento de la suspensión. Para ello, debemos ir a la base de datos del *Adams Car MSC.Software>Adams>2017_1>acar>shared_car_database.cdb* y copiar los datos de muelles (*springs.tbl*) y amortiguadores (*dampers.tbl*) a nuestra base de datos, en mi caso, *private.cdb*. A continuación, abriremos nuestra base de datos y en las carpetas copiadas anteriormente cambiaremos el nombre de los archivos *mdi_0001.spr* por *Front_Susp_600.spr* y *mdi_0001.dpr* por *Front_Suspension_600.dpr*. Ahora debemos hacer que nuestra suspensión funcione respecto a estos archivos por lo que en el menú *Modify* del muelle y del amortiguador usamos como *Property File* los archivos de nuestra base de datos.



Damper Name	._FIAT600_Front_Suspension.dar_ride_damper
I Part	._FIAT600_Front_Suspension.ger_upper_strut
J Part	._FIAT600_Front_Suspension.ger_lower_strut
I Coordinate Reference	._FIAT600_Front_Suspension.ground.hpr_top_mount
J Coordinate Reference	._FIAT600_Front_Suspension.ground.hpr_lwr_strut_mount
Property File	mdids://private/dampers.tbl/FRONT_SUSPENSION_600.dpr
Color	maize
Damper Diameter	12

Fig.5.15 Ejemplo de la modificación del amortiguador en el campo *Property File*.

Como último paso en la interfaz *Template Builder*, deberemos guardar el archivo en nuestra base de datos, por lo tanto, *File>Save* y lo llamaremos *FIAT600_Front_Suspension*.

En este momento debemos cambiar a *Standard Interface* para crear el subsistema de la suspensión delantera. Para ello, debemos pulsar *File>New>Subsystem*, darle el nombre de *S600_Front_Suspension*, seleccionar *Minor Role: Front* y usar *FIAT600_Front_Suspension.tbl*.

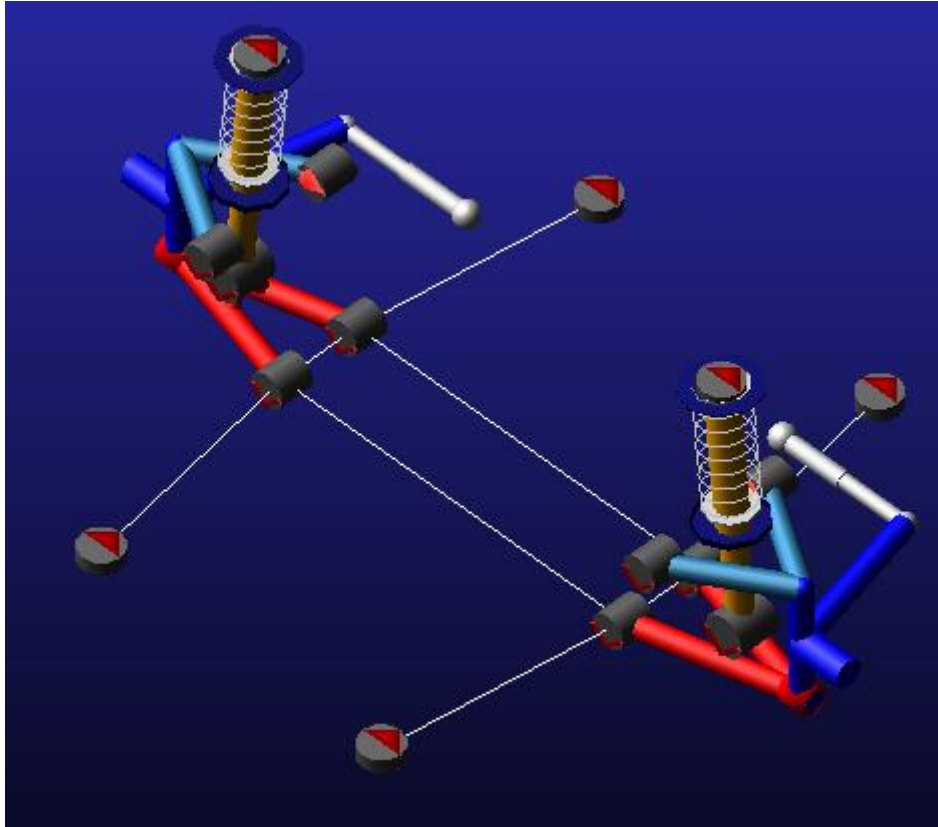


Fig.5.16. Subsistema S600_Front_Suspension

Como paso final, debemos modificar los archivos del muelle y el amortiguados. Para ello, en el menú *Modify Spring* debemos seleccionar la opción de gráficos.

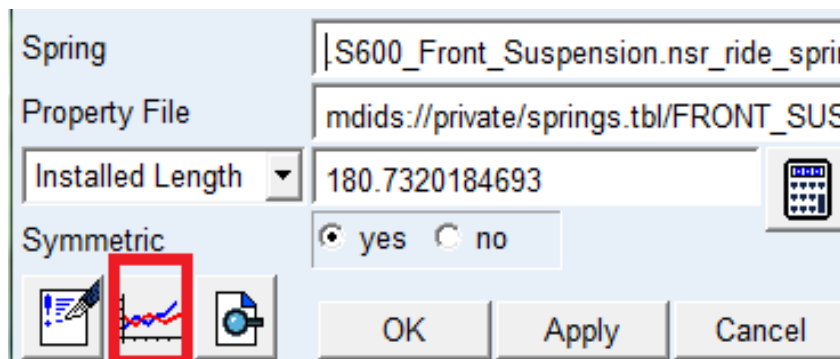


Fig.5.17 Modify Spring menú

Se nos abrirá una ventana nueva, en esta ventana debemos pulsar *View>Data Table* y modificar los valores de la tabla según las fuerzas que actúan en la suspensión real del Seat 600. Si queremos observar los datos modificados en un gráfico podemos pulsar *View>Plot* y nos dibujará una gráfica con los datos del muelle.

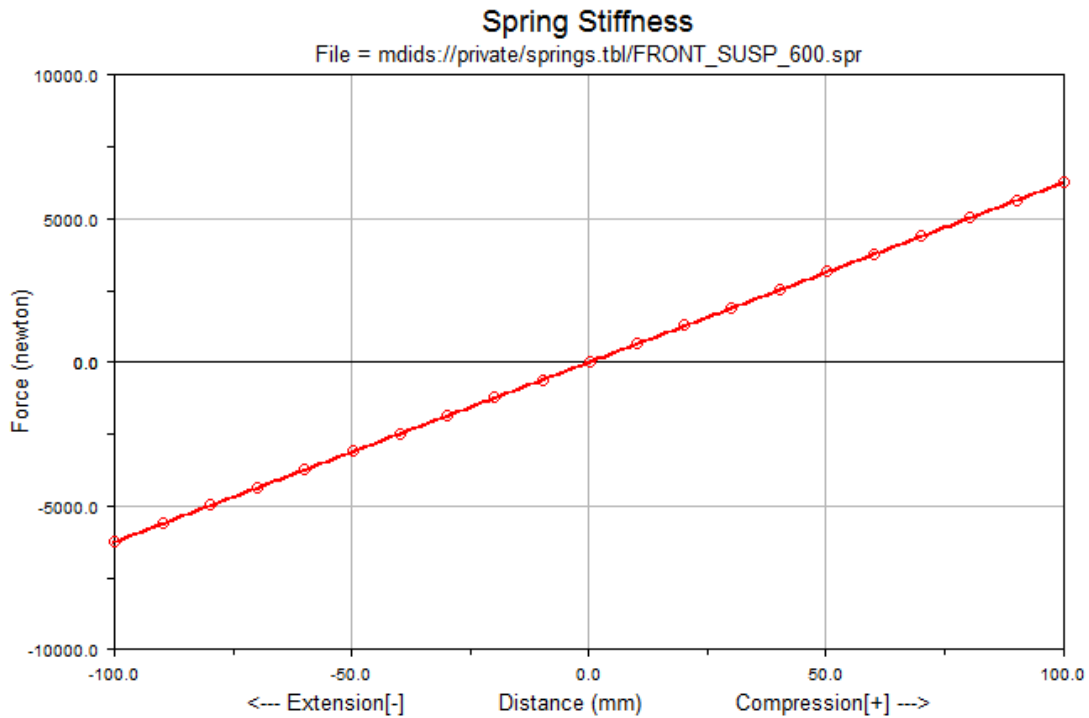


Fig.5.18 Gráfica de las fuerzas realizadas por el muelle en el archivo S600_Front_Suspension

El archivo del amortiguador (*Damper*) se modificará de forma la misma forma acorde con los datos reales del vehículo. Finalmente, guardamos el archivo de la suspensión delantera pulsando *File>Save*.

5.4. Modelado de la suspensión trasera

5.4.1. Introducción

Como ya hemos dicho en el apartado anterior, la suspensión es uno de los subsistemas esenciales a la hora de entender el funcionamiento del vehículo. En este apartado nos vamos a centrar en la suspensión trasera del Fiat/Seat 600.

La suspensión de brazo independiente (*trailing arm*) es una de las suspensiones más simples y económicas que podemos encontrar en el mercado. Se trata de uno o varios brazos anclados al chasis respecto a un eje que permite que pivoten en dirección vertical, para controlar el movimiento en esta dirección se usan muelles y amortiguadores.

Este tipo de suspensiones suelen ser usadas en el eje trasero de los vehículos, pero no solo es usada en automóviles, también podemos encontrar ejemplos de esta suspensión en aviación u otras aplicaciones de la ingeniería.

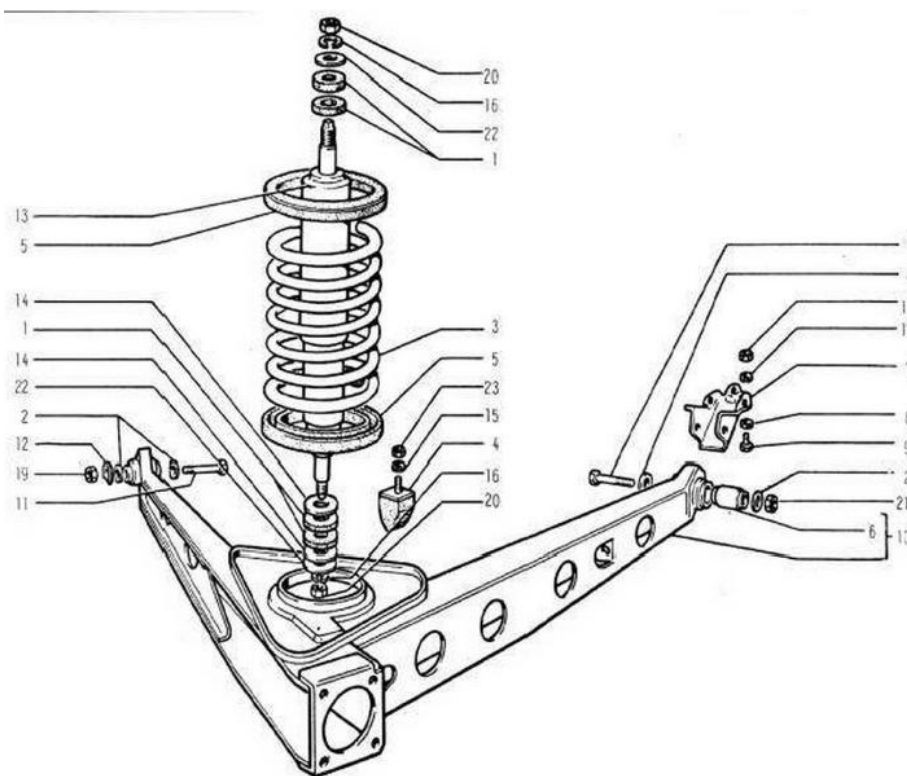


Fig.5.19 Plano de la suspensión trasera del Seat 600. Ref. [12]

5.4.2. Modelado

Del mismo modo que en la suspensión delantera, para crear la suspensión trasera hemos partido de una plantilla facilitada por *Adams Car*. Por lo que debemos abrir el modo *Template Builder*, pulsar *File>Open>acar_shared>templates.tbl* y seleccionaremos la suspensión *TrailingArm*.

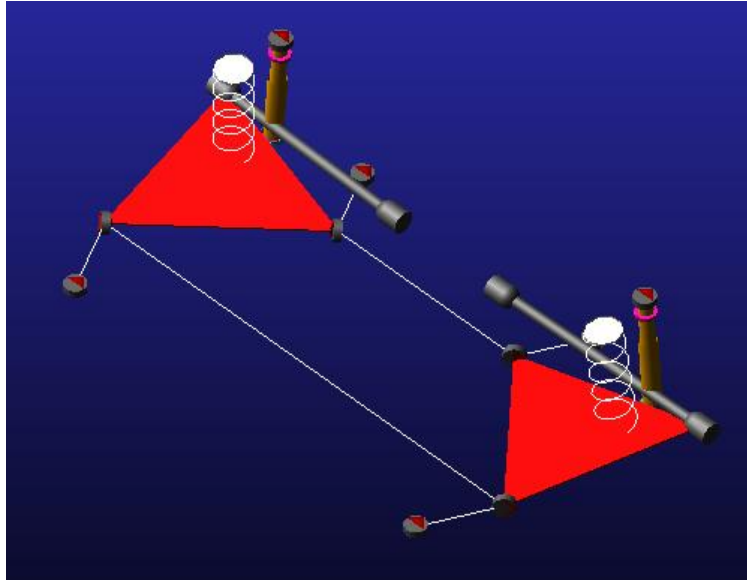


Fig.5.20 Suspensión Trailing Arm facilitada por Adams Car

Al tratarse de un vehículo de tracción trasera no deberemos modificar el diferencial, por lo tanto, el siguiente paso será modificar la geometría para adaptarla al modelo real. Para ello, debemos modificar los *Hardpoints* y situarlos en las coordenadas correctas.

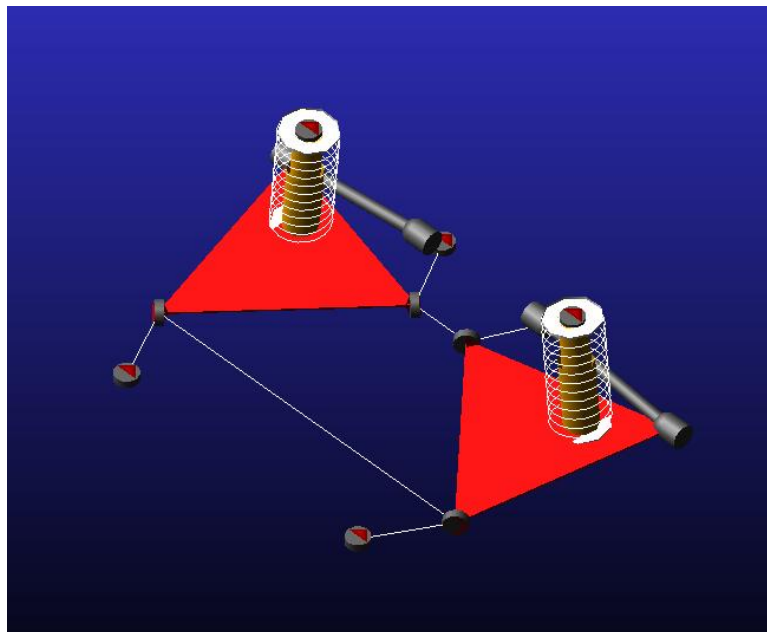


Fig.5.21 Suspensión trasera tras modificar los Hardpoints

	loc_x	loc_y	loc_z
hpl_arm_inner_pivot	-125.0	-300.0	470.0
hpl_arm_outer_pivot	-534.0	-675.0	520.0
hpl_arm_strut_bushing	0.0	-640.0	470.0
hpl_arm_strut_bushing_x	-200.0	-490.0	470.0
hpl_arm_strut_bushing_z	-250.0	-540.0	470.0
hpl_drive_shaft_inr	-50.0	-200.0	550.0
hpl_spring_lower_seat	-125.0	-650.0	470.0
hpl_spring_upper_seat	-150.0	-625.0	800.0
hpl_subframe_front	-734.0	-575.0	520.0
hpl_subframe_rear	50.0	-390.0	470.0
hpl_top_mount	0.0	-615.0	800.0
hpl_wheel_center	0.0	-800.0	500.0
hps_subframe_fixed	0.0	0.0	150.0

Fig.5.22 Hardpoints pertenecientes a la suspensión trasera del Fiat/Seat 600

Del mismo modo que en la suspensión delantera, también debemos cambiar los archivos que asignan las propiedades a los muelles y amortiguadores. Realizaremos los pasos exactamente igual que en el apartado anterior cambiando los nombres *mdi_0001.spr* por *Rear_Susp_600.spr* y *mdi_0001.dpr* por *Rear_Suspension_600.dpr*.

Con la geometría y las propiedades de la suspensión ya creadas, guardaremos el *Template* nombrándolo como *S600_RearSuspensionFinal*. Seguidamente, abriremos el modo *Standard Interface* y crearemos un nuevo subsistema. A este subsistema le llamaremos *S600_Rear_Suspension*, le asignaremos *Minor Role: Rear* y el *Template* creado anteriormente.

También deberemos modificar los archivos de los muelles y amortiguadores como hemos explicado anteriormente (*Modify Springs or Modify Dampers*). En este caso, tendremos un muelle mucho más rígido ya que el peso a soportar por la suspensión trasera es mayor.

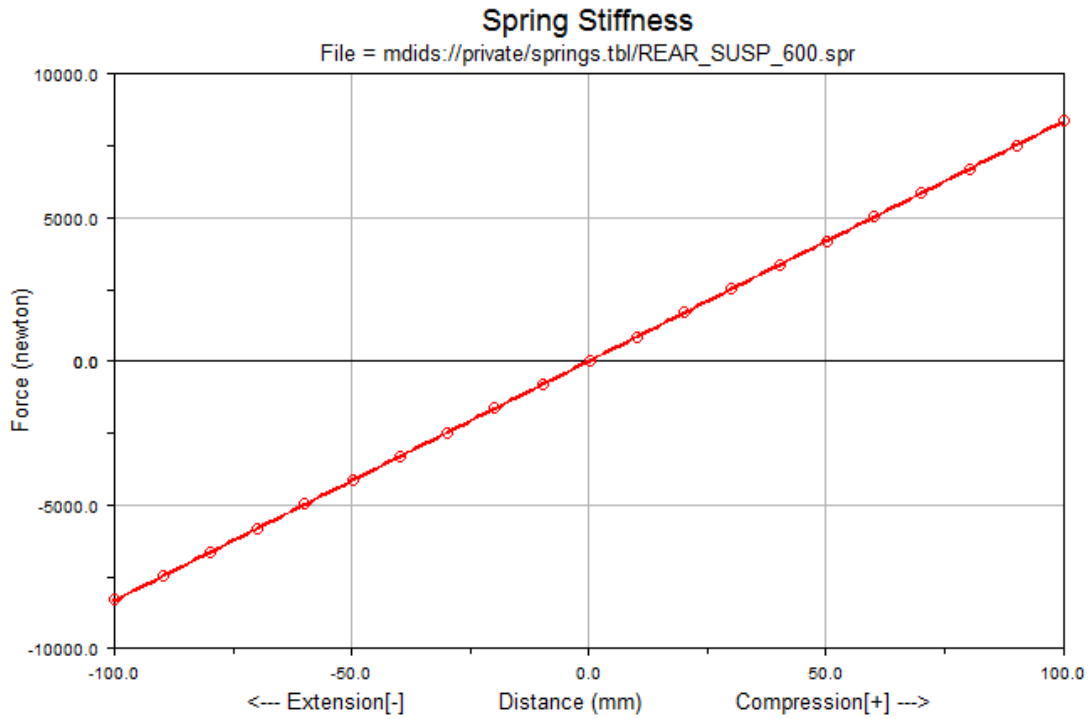


Fig.5.23 Gráfico de las fuerzas realizadas por el muelle en el archivo S600_Rear_Suspension

Finalmente, al terminar la modificación de los muelles y amortiguadores, guardaremos el subsistema en nuestra base de datos (*private.cdb*).

5.5. Modelado del motor-transmisión

5.5.1. Introducción

Un motor es una máquina que permite transformar una energía en energía mecánica. En el caso de los automóviles podemos encontrar principalmente dos tipos de combustibles: gasolina (MEP) y diésel (MEC).

En el caso del Fiat/Seat 600, poseía un motor de encendido provocado (MEP). Por lo que vamos a centrar esta introducción en este tipo de motores, ya que su funcionamiento es algo diferente a los motores de encendido por compresión (MEC).

Este tipo de motor genera la energía mediante gasolina, para ello está debe ser “*incendiada*” mediante una chispa que produce la bugía. La energía creada por esta explosión permite al pistón moverse, y gracias al cigüeñal se transmite a un engranaje que transmite el movimiento al diferencial y las ruedas.

Estos motores, al contrario de los encendidos por compresión, suelen tener una relación de compresión baja. Esta relación de compresión está limitada por la posibilidad de explosión de la gasolina y limita bastante el rendimiento de estos motores.

En el caso del motor de nuestro vehículo, el motor poseía 4 cilindros en línea y en un principio tenía una capacidad de 600 cc³, pero a lo largo de su fabricación fueron mejorando hasta el punto de crear motores con capacidad de 800 cc³.

5.5.2 Modelado

Para el modelado del bloque motor de nuestro vehículo ha sido necesario obtener una serie de informaciones. La información obtenida han sido las curvas de motor, un CAD que nos permitirá mejorar gráficamente nuestro modelo, cantidad de marchas, relación de marchas y velocidad final.

Con toda esta información obtenida podemos comenzar con el modelado del bloque motor. En primer lugar, abrimos el programa Adams Car en su modo Template Builder y abrimos el archivo del motor Ferrari (*/acar_shared/templates.tbl/_powertrain.tpl*) en el cual basaremos el nuestro. El siguiente paso será borrar toda la apariencia del motor del Ferrari para posteriormente añadir nuestro modelo de CAD. Para ello, pulsamos *Edit>Delete* y borramos todo lo que no sea necesario.

Como primer paso, importaremos nuestro archivo de CAD. Pulsamos *File>Import*, seleccionamos en *File Type: Parasolid*, cargamos el modelo del motor de 4 cilindros en línea, cambiamos *Model Name* por *Part Name* y añadimos este a *ges_powertrain* en las coordenadas y orientación correctas.

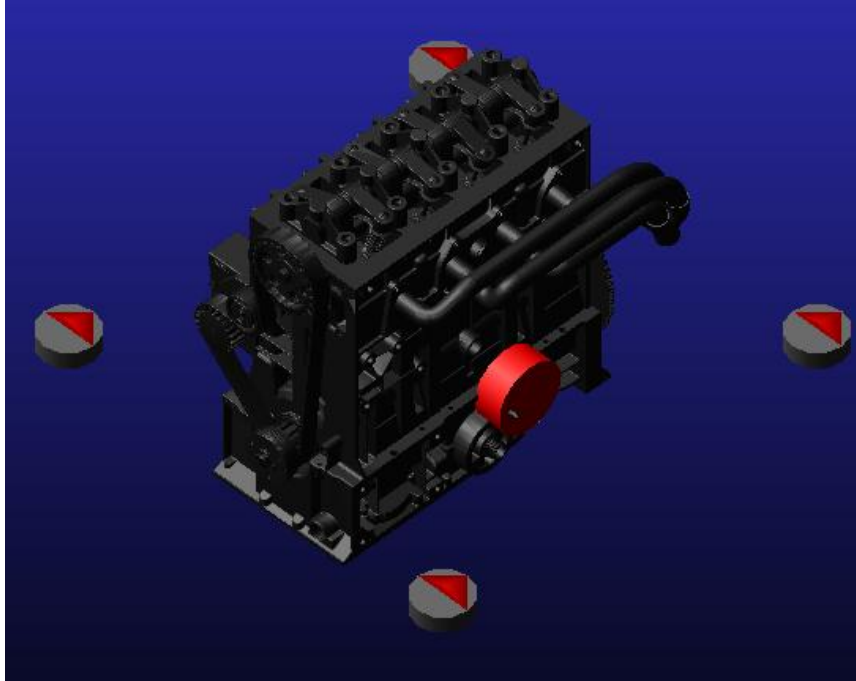


Fig.5.24 Motor de 4 cilindro en línea exportado a Adams Car

Con el *Template* ya creado debemos guardarlo en nuestra base de datos, *File>Save* y le daremos el nombre de *S600_PowerTrain*.

El siguiente paso será cambiar el modo del Adams Car a *Standard Interface* para crear el subsistema ligado al *Template*. Con este modo abierto, pulsamos *File>New>Subsystem*, le damos el nombre de *S600_Powertrain*, *Minor Role: Any* y usamos el *Template* recién creado.

A continuación, debemos modificar las propiedades del motor, ya que de serie viene con las propiedades del Ferrari (*MDI_Example*). Pulsamos *Adjust>Powertrain Properties* y vemos como se nos abre una nueva ventana. Dentro de esta, seleccionaremos la pestaña *Transmission* y modificaremos las marchas de acuerdo a la información del vehículo (Anexo I).

Powertain Configuration		Manual Gear Shifting					
Engine	Clutch	Transmission					
Number of Gears	04						
Gear Shift Points	<input checked="" type="checkbox"/> Individual (Gear-Specific)						
Gear Number	R	N	01	02	03	04	
Gear Ratio	-4.275	0.0	3.385	2.055	1.333	0.896	
Shift-Down [rpm]			750.0	1000.0	1200.0	1600.0	
Shift-Up [rpm]			5400.0	5200.0	5000.0	6500.0	

Fig.5.25 Relación y cantidad de marchas del Fiat/Seat 600

Posteriormente, también debemos de modificar los parámetros de funcionamiento del motor por lo que ajustaremos su velocidad de giro, su velocidad de giro y las curvas de funcionamiento. Para la modificación de las curvas, hemos creado un nuevo archivo en nuestra base de datos (*private.cdb*) al cual hemos llamado *S600_Curva_Motor.pwr*. Tras la creación del archivo debemos añadirlo en *Property File*. Además, deberemos también modificar la inercia de giro que genera el motor al girar y sus límites en cuanto a revoluciones.

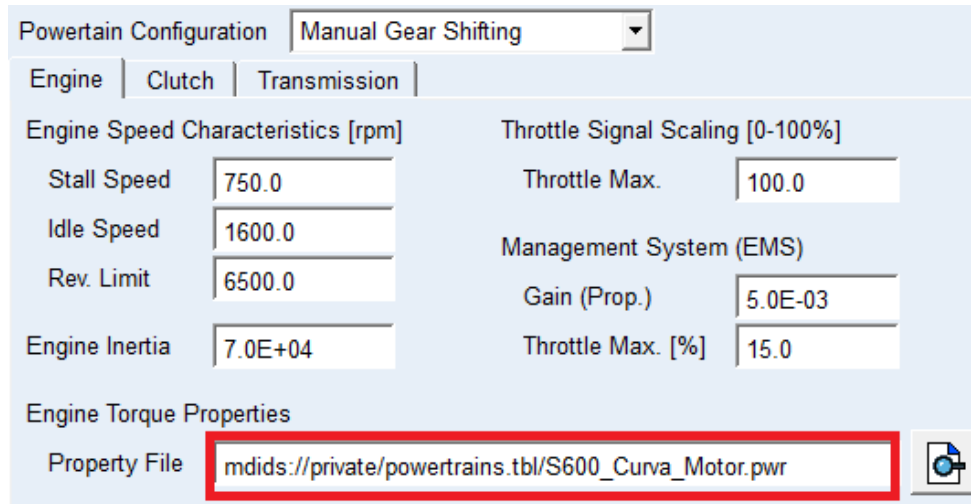


Fig.5.26 Propiedades del motor Fiat/Seat 600

Tras esto, abriremos con un editor de texto el archivo *S600_Curva_Motor* y modificaremos la tabla de potencia. Para ellos hemos partido de unas curvas aproximadas, estas tablas las hemos ido ajustando sabiendo que el Seat 600 era capaz de acelerar a 95km/h en un tiempo de 35 segundos.

Revoluciones Rpm)	Par Resistente (Nm)	Par Motor (Nm)
500	-7541	17000
1600	-7722	28000
2000	-7735	37000
2300	-7740	39000
2500	-7760	40000
3000	-7783	41000
3300	-7813	40500
3500	-7821	40000
4000	-7838	39000
4300	-7856	38000
4500	-7874	37000
5000	-7891	35000
5300	-7909	33000
5600	-7927	30000
6000	-7945	25000
6200	-7962	21000
6350	-7980	18000

Fig.5.27 Curvas del motor Fiat/Seat 600 ensayado en banco de pruebas

Continuamos pulsando el botón *Power/Velocity Plot* y se nos abrirá la siguiente ventana (Figura 5.27) la cual nos permitirá analizar las curvas del motor y verificar que son correctas.

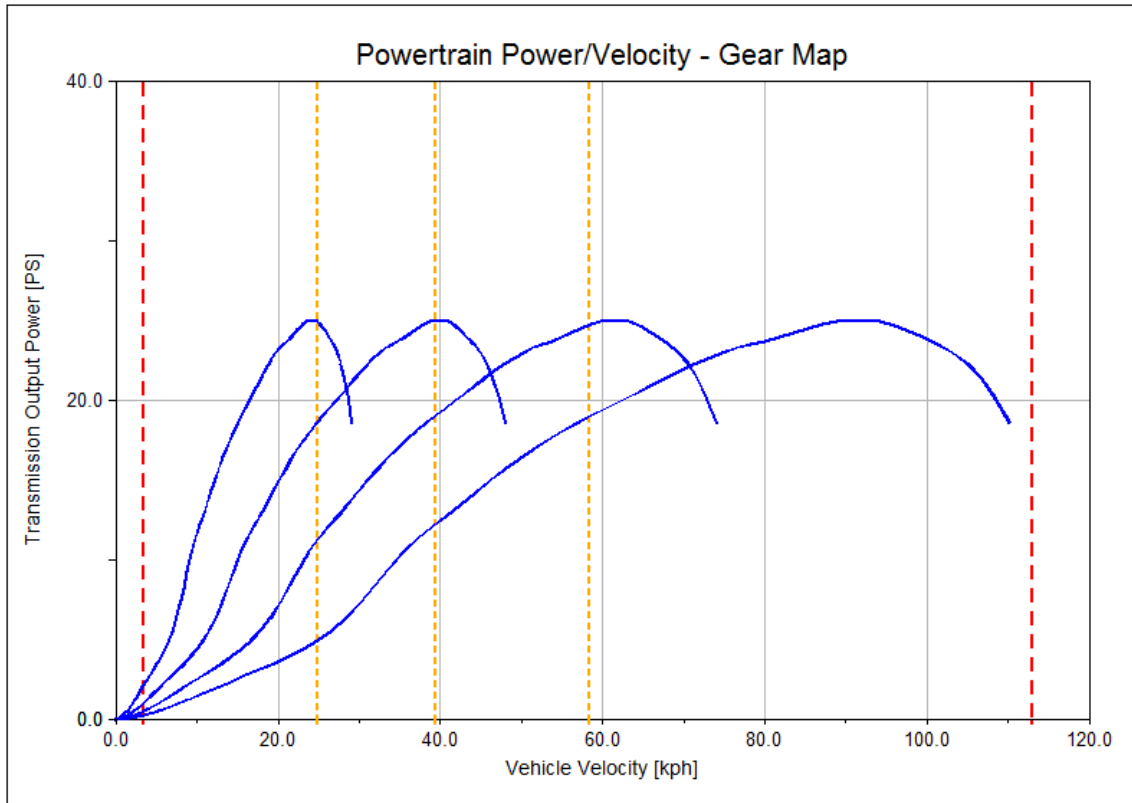


Fig.5.28 Curvas motor del archivo S600_Powertrain

Además, deberemos asignar un peso y unas inercias a nuestro motor. Dado que esta información no es facilitada por el fabricante, y al igual que con el chasis, hemos decidido intentar aproximar sus valores con una serie de cálculos.

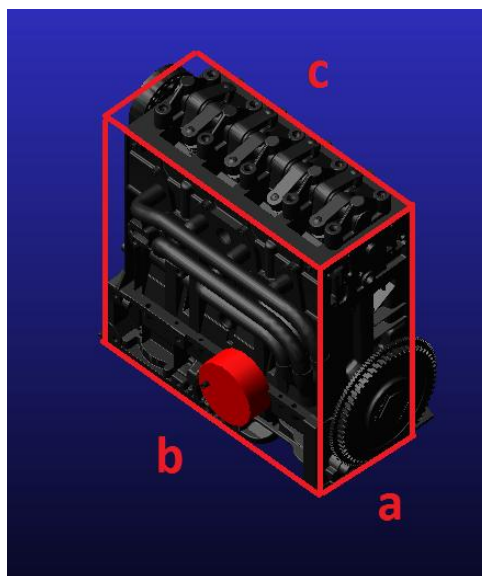


Fig.5.29 Cubo supuesto para los cálculos del motor

Donde realizamos los siguientes cálculos:

$$Peso Motor = 70 Kg$$

$$a = 550mm \quad b = 520mm \quad c = 630mm$$

$$I_{xx} = \frac{1}{12} Peso Chasis(b^2 + c^2) = 70(520^2 + 630^2) = 3.892583 * 10^6 Kgmm^2$$

$$I_{yy} = \frac{1}{12} Peso Chasis(b^2 + c^2) = \frac{1}{12} 70 (550^2 + 520^2) = 3.3419316 * 10^6 Kgmm^2$$

$$I_{zz} = \frac{1}{12} Peso Chasis(b^2 + c^2) = \frac{1}{12} 70 (550^2 + 630^2) = 4.079833 * 10^6 Kgmm^2$$

Aunque gráficamente los lados del cubo no coincidan con las medidas dadas, se debe a que en el archivo CAD no se tienen en cuenta la transmisión y otros elementos pertenecientes al bloque motor. Las medidas usadas para la suposición han sido tomadas del modelo real para intentar aproximar de forma exacta el resultado.

Finalmente, en el menú *Modify General Part* de la parte *ges_powertrain* asignaremos los valores calculados y guardaremos el subsistema acabando así con el modelado del bloque motor.

General Part	.S600_Powertrain.ges_powertrain		
Location	2636.5,0.0,-152.5		
Orient using	<input checked="" type="radio"/> Euler Angles <input type="radio"/> Direction Vectors		
Euler Angles	0.0,0.0,0.0		
X Vector	1.0,0.0,0.0		
Z Vector	0.0,0.0,1.0		
Mass	70.0	Sprung Mass %	100.0 any
Ixx	3.892583E+06	<input type="checkbox"/> Off-Diagonal Terms	
Iyy	3.341916E+06		
Izz	4.079833E+06		

Fig.5.30 Menú *Modify General Part* de la parte *ges_powertrain*

5.6. Modelado de la dirección

5.6.1. Introducción

La dirección es el conjunto de componentes, acoplamientos, etc. que nos permite que cualquier vehículo siga el camino deseado, es decir, el objetivo principal de la dirección es permitir que el conductor guíe el vehículo.

En el caso de la suspensión de un automóvil, la dirección nos permite girar las ruedas directrices (normalmente delanteras) para elegir la trayectoria. Respecto a los tipos de dirección podemos encontrar muchos tipos: piñón cremallera, tornillo sinfín, asistidas, etc.

En nuestro caso vamos a centrarnos en el funcionamiento de las direcciones tornillo sinfín ya que son las que nuestro vehículo usa, Su funcionamiento es muy simple, encontramos una caja en la que el volante engrana con un tornillo sin fin que al moverse permite el movimiento de las ruedas.



Fig.5.31 Interior de la caja de una dirección de tornillo sinfín. Ref. [13]

Como podemos observar en la siguiente figura (Figura 5.29) una barra una la caja de dirección con un brazo que es el que permitirá el movimiento de la rueda más alejada.

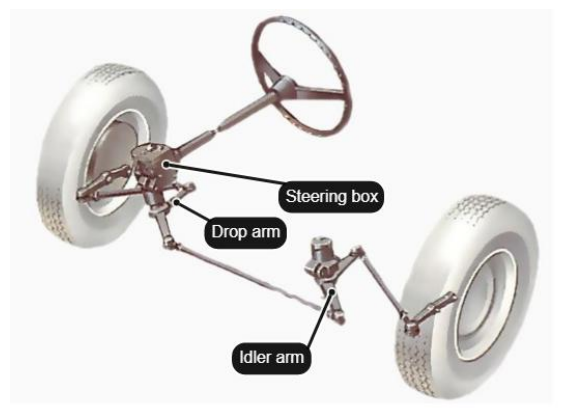


Fig.5.32 Esquema de una suspensión basada en el sistema tornillo sinfín. Ref. [14]

Se trata de una dirección con muchas partes móviles por lo que suelen tener un funcionamiento menos preciso que otras direcciones más simples como podría ser la dirección piñón cremallera.

5.6.2. Modelado

A la hora de realizar el modelado de la dirección, la base de datos de *Adams Car* nos facilita un modelo de dirección tornillo sinfín (*parallel_link_steering*) en la cual basaremos nuestro modelo.

En primer lugar, abrimos el modelo facilitado pulsando *File>Open* y seleccionándolo */acar_shared/templates.tbl/_parallel_link_steering.tpl*. Tan solo debemos modificar los Hardpoints de acuerdo a los datos obtenidos sobre la dirección del Fiat/Seat 600. Tras hacer esto, guardaremos el *Template* con el nombre *FIAT600_Steering*.

	loc_x	loc_y	loc_z
hpl_arm_forward	575.0	-179.0	-287.0
hpl_arm_rearward	675.0	-179.0	-287.0
hpl_arm_upper	675.0	-179.0	-187.0
hpl_tierod_inner	500.0	-221.0	-287.0
hps_input_shaft_forward	650.0	-154.0	-187.0
hps_intermediate_shaft_forward	750.0	-154.0	-87.0
hps_intermediate_shaft_rearward	900.0	-154.0	13.0
hps_steering_wheel_center	1200.0	-154.0	113.0

Fig.5.33 Hardpoints pertenecientes al archivo *FIAT600_Steering*

En segundo lugar, cambiaremos al modo *Standard Interface* y crearemos un nuevo subsistema. Lo llamaremos *S600_Steering*, le asignaremos *Minor Role: Front* y como *Template Name* escogeremos los datos recientemente creados.

Finalmente, guardaremos nuestro subsistema en nuestra base de datos (*private.cdb*).

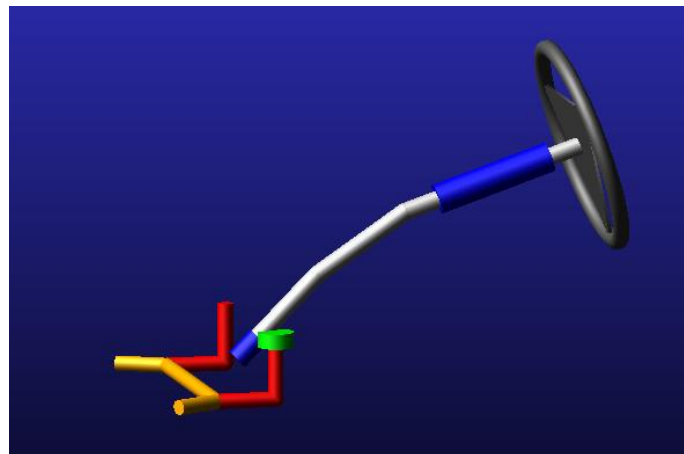


Fig.5.34 Imagen del subsistema *S600_Steering*

5.7. Modelado frenos

5.7.1. Introducción

Un freno es un dispositivo mecánico que trata de reducir el movimiento absorbiendo energía del sistema que se encuentra moviéndose. En el caso de los vehículos, se usa para ralentizarlo o detenerlo actuando sobre sus ruedas mediante fricción.

Principalmente existen dos tipos de frenos: disco y tambor.

Por un lado, los frenos de disco, como bien dice su nombre, basan su funcionamiento en un disco y una pinza que ejerce presión sobre este. El disco gira está enganchado a la rueda y gira con ella, cuando el usuario desea frenar activa el freno y una serie de resortes presionan las almohadillas que a su vez presionan el disco. La fricción creada por esta presión es la que disipa la energía y permite frenar al vehículo.



Fig.5.35 Frenos de disco pertenecientes a un modelo de Seat 600. Ref. [15]

Por otro lado, los frenos de tambor. Estos frenos también se basan en la fricción para disipar la energía, pero su funcionamiento es algo distinto al de los anteriores. La rueda posee un tambor que gira junto a ella, en el interior de este hay dos zapatas curvadas preparadas para soportar la fricción. Al accionar el freno, estas zapatas ejercen rozamiento sobre el tambor, lo que genera que la energía se disipe debido a la fricción y el vehículo se detenga.



Fig.5.36 Imagen detallada de unos frenos de tambor. Ref. [16]

5.7.2. Modelado

Para el modelado de los frenos debemos saber el tipo de freno que usa nuestro vehículo. El Fiat/Seat 600 en un principio usaba frenos de tambor, pero al no ser posible el uso de este tipo de freno, hemos creado unos frenos de disco equivalentes que nos permitan aproximar el comportamiento de los frenos reales.

En primer lugar, debemos crear un subsistema de frenos que pertenezca a nuestro vehículo, por lo tanto, abrimos los frenos por defecto que nos trae el programa *Open>Subsystem>acar_shared/subsystems.tbl/TR_Brake_System.sub*. Tras abrir el archivo, guardamos (*File>Save*) otro idéntico, pero en este caso con el nombre *S600_BrakeSystem*.

En segundo lugar, debemos abrir el subsistema creado (*S600_BrakeSystem.sub*) con un editor de texto. Al hacer esto, podemos observar una serie de parámetros que nos permitirá modificar y que son los que determinan el comportamiento del freno.

Finalmente, modificamos estos parámetros para que el vehículo se comporte parecido a la vida real y guardamos el archivo de texto.

```
[PARAMETER]
{parameter_name      symmetry      type      value}
'kinematic_flag      'single      'integer'  0
'front_brake_bias     'single      'real'     0.6
'front_brake_mu       'single      'real'     0.3
'front_effective_piston_radius' 'single      'real'     75.0
'front_piston_area    'single      'real'     425.0
'front_rotor_hub_wheel_offset' 'single      'real'     35.0
'front_rotor_hub_width' 'single      'real'     30.0
'front_rotor_width    'single      'real'     -30.0
'max_brake_value      'single      'real'     100.0
'rear_brake_mu        'single      'real'     0.3
'rear_effective_piston_radius' 'single      'real'     75.0
'rear_piston_area     'single      'real'     425.0
'rear_rotor_hub_wheel_offset' 'single      'real'     35.0
'rear_rotor_hub_width' 'single      'real'     30.0
'rear_rotor_width     'single      'real'     -30.0
```

Fig 5.37 Parámetros de los frenos *S600_BrakeSystem*

5.8. Modelado de las ruedas

5.8.1. Introducción

El neumático y la llanta son los elementos que nos permiten enlazar el vehículo con el suelo. La adherencia del primero es la que nos permite tener un control del vehículo.

El neumático nos permite gozar de mayor confort y estabilidad gracias a su estructura de caucho, mientras que la llanta nos permite soportar el neumático y transmitir las acciones de la suspensión, el motor y la dirección.

La rueda, es decir, el conjunto de ambos, nos permite transmitir las diferentes fuerzas entre el vehículo y la calzada, ya que se trata de la única unión entre estos.

Actualmente podemos encontrar una gran variedad de neumáticos con tecnologías sofisticadas que van mejorando a lo largo de los años. En nuestro caso, al tratarse el Seat-Fiat 600 de un coche clásico, el modelo montaba unos neumáticos diferentes a la nomenclatura actual, pero dado que estos coches aún existen, se han tenido que adaptar a la nomenclatura actual para montar neumáticos homologados.



Fig.5.38 Ruedas de banda blanco pertenecientes a un Seat 600. Ref. [17]

Por lo tanto, el neumático homologado actual sería el $145/80/R12$. Aunque gran parte de los automóviles actuales montan diferente neumático en la parte frontal y la trasera, en este caso el Fiat/Seat 600 al tratarse de un clásico monta todos sus neumáticos de igual medida.

Por lo tanto, los datos necesarios para el modelado de las ruedas del vehículo serán los siguientes:

Neumático: 145/80 R12 – Radial de 12” con relación de aspecto 0.8

Diámetro de la llanta: 12” – 304.8mm

Anchura: 145 mm

Relación de aspecto: 0.8

Diámetro total: 536 mm

5.8.2 Modelado

Para el modelado de las ruedas serán necesarios los datos recientemente facilitados. Basaremos su modelado en una plantilla que nos facilita *Adams Car*, pero su modificación será algo diferente a los otros subsistemas.

En primer lugar, debemos hacer dos copias del archivo *handling_tire*, que contiene la base de datos de *Adams Car*, en la carpeta *Templates* de nuestra base de datos. Cambiaremos los nombres, llamándoles *S600_Front_Tires* y *S600_Rear_Tires* respectivamente.

En segundo lugar, y realizando el mismo procedimiento para ambos archivos, pulsaremos *File>Open* y elegiremos el *Template* creado. A continuación, importaremos el archivo CAD de las llantas y lo colocaremos en nuestras ruedas. Para ello, pulsamos *File>Import*, seleccionamos el tipo de archivo *Parasolid*, lo unimos a la parte *whr_wheel* (deberé importar otro archivo rotado 180º para la otra rueda) y lo ubicaremos en la dirección y posición correspondientes. Acabando en el modo *Template*, guardaremos los cambios creados.

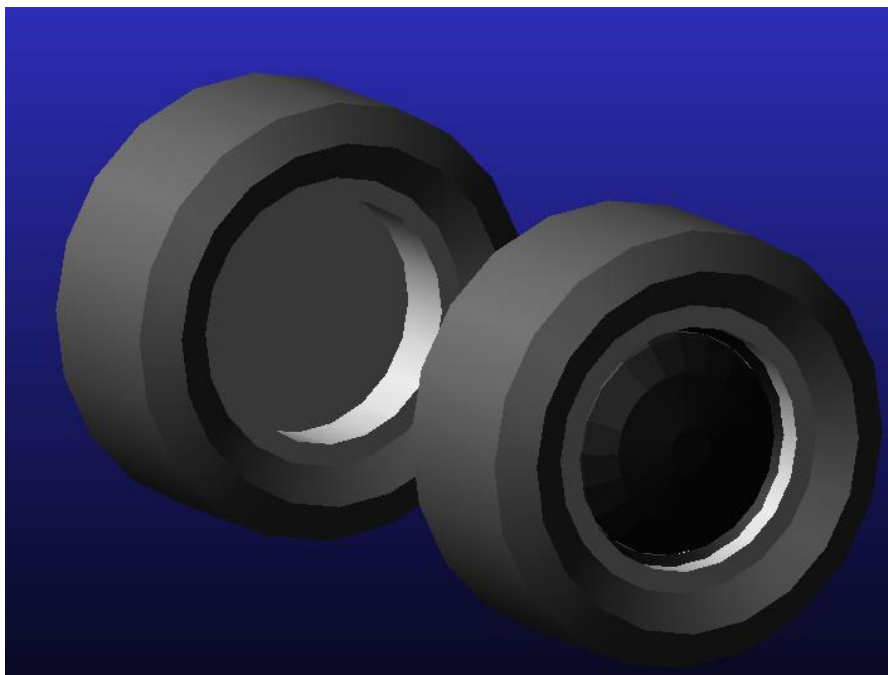


Fig.5.39 Plantilla *S600_Front_Tires.tbl*

En tercer lugar, debo crear los subsistemas correspondientes a las plantillas. Para ello, nos dirigimos al modo *Standard Interface*, pulsamos *New>Subsystem* y creamos ambos subsistemas. Por un lado, para las ruedas delanteras, le llamaré *S600_Front_Tires* y le asignaré *Minor Role: Front*. Por otro lado, para las ruedas traseras, le llamaré *S600_Rear_Tires* y le asignaré *Minor Role: Rear*.

En cuarto lugar, deberemos acudir a la base de datos de *Adams Car*, copiar el archivo *pac89* y pegarlo dos veces en la carpeta *Tires.tbl* de nuestra base de datos. A estos archivos, les modificamos el nombre llamándolos *S600_front_pac89* y *S600_rear_pac89* respectivamente. Seguidamente, deberemos asignar las propiedades de estos archivos a nuestras ruedas por lo que iremos a nuestro subsistema y en el menú *Browse>Force Elements>Tires* seleccionaremos las ruedas y las modificaremos dándoles como archivo de propiedades los creados anteriormente.

Finalmente, y tras guardar los subsistemas, para modificar las propiedades tan solo debemos modificar los archivos *S600_front_pac89* y *S600_rear_pac89*. Por ello, los abrimos con un editor de texto y le añadimos los datos de nuestras ruedas: *UNLOADED_RADIUS 268.4*, *WIDHT 145* y *ASPECT_RATIO 0.8*. Introduciré lo mismo en ambos archivos ya que las ruedas delanteras y traseras son iguales. Con esto ya tendríamos finalizado el modelado de las ruedas.

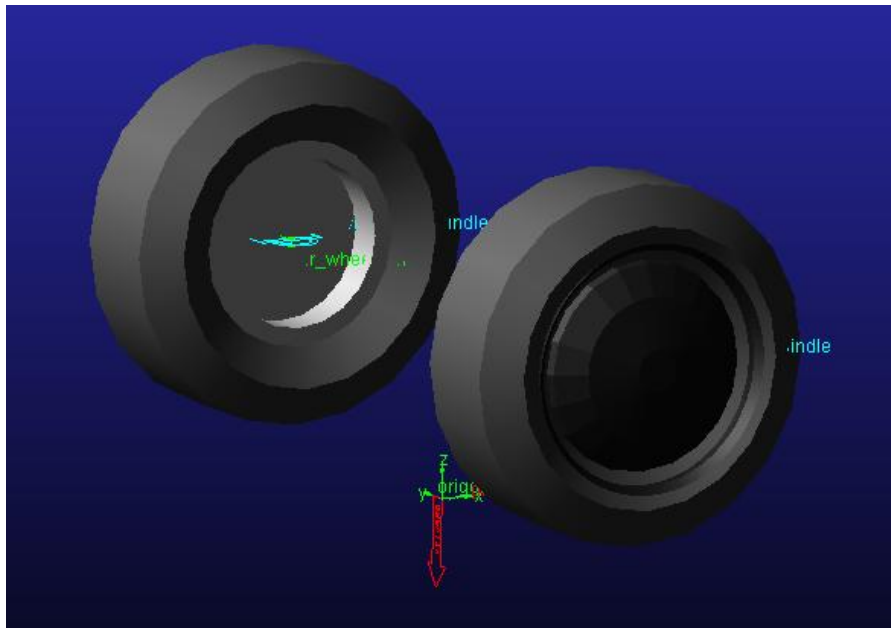


Fig.5.40 Subsistema *S600_Front_Tires*

5.9. Vehículo final

Como paso final a todo el proceso de modelado, debemos juntar todos los subsistemas creados y asegurarnos de que todo ensambla de forma correcta.

Para ello, en el modo Standard Interface, nos dirigimos a *File>New>Full-Vehicle Assembly* y vamos rellenando las casillas con cada uno de los subsistemas creados anteriormente.

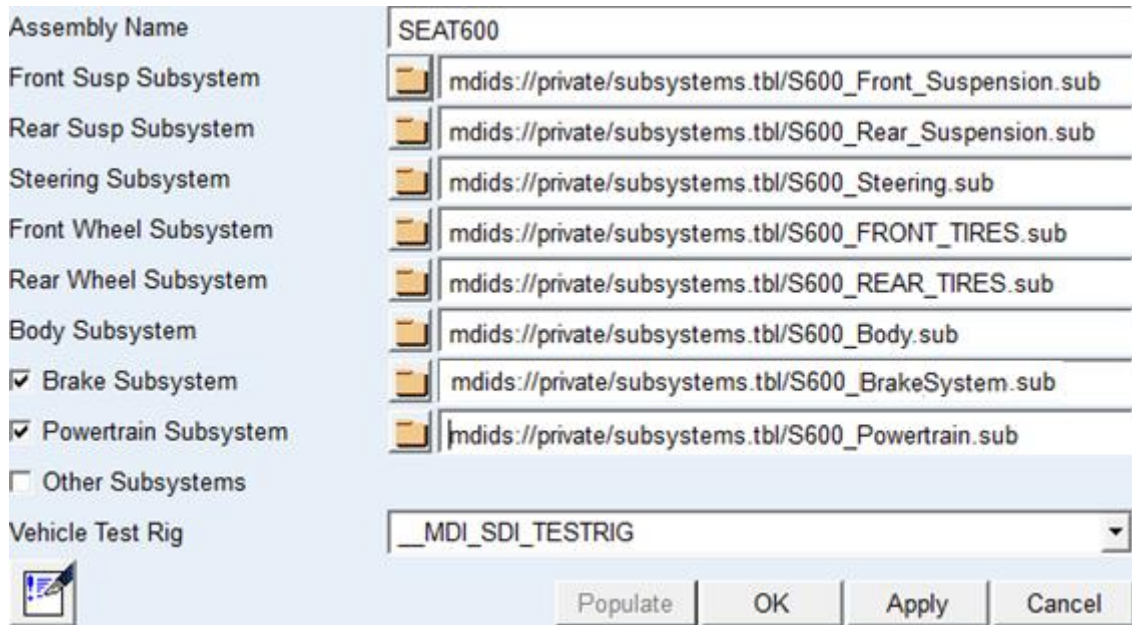


Fig.5.41 Full-Vehicle Assembly del modelo Fiat/Seat 600

Pulsaremos la tecla *OK*, y el programa procederá a juntarnos todos los subsistemas con sus respectivos conectores. El resultado final será el siguiente:

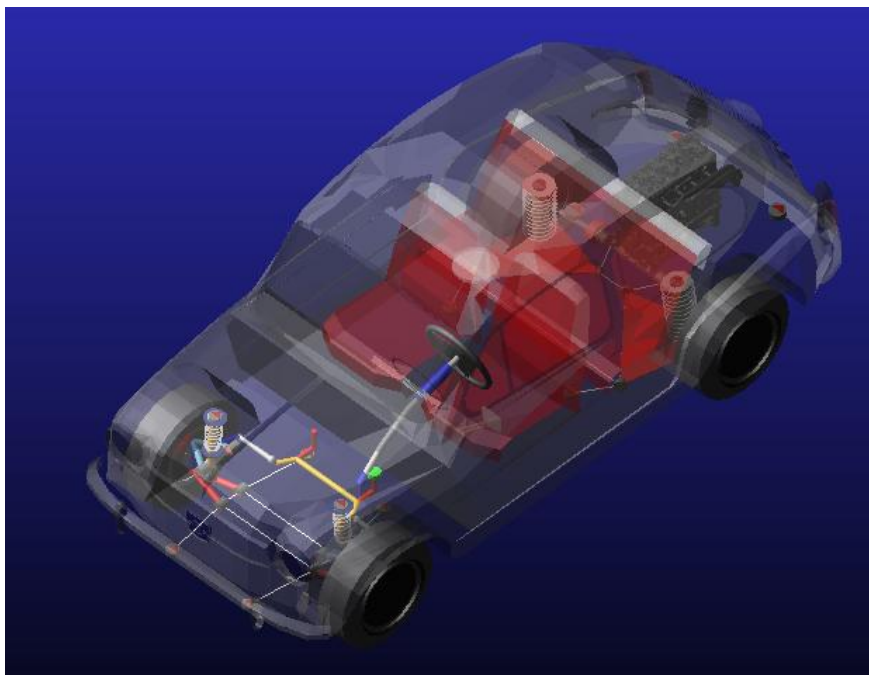


Fig.5.42 Modelo del Fiat/Seat 600 creado en el programa MSC Adams Car

6. Simulación dinámica del vehículo

6.1. Introducción

En el mundo del automóvil es muy importante analizar el comportamiento de los componentes al ser sometidos a un ensayo. Por ello, la herramienta *Adams Car* nos facilita el análisis del comportamiento de estos componentes permitiéndonos crear un modelo simular a la realidad.

Este tipo de ensayo informáticos ayudan al ingeniero a entender de mejor manera los comportamientos de la dinámica de sistemas mecánicos, y trata de hacerles aprender las formas de optimizar y mejorar sus modelos.

Por ello, en este trabajo fin de grado hemos decidido simular el comportamiento de un coche tan importante como es el Seat 600, y lo haremos de la siguiente forma:

- Análisis individual de la suspensión delantera
- Análisis de la suspensión delantera y la dirección.
- Análisis individual de la suspensión trasera
- Análisis total del vehículo (aceleración, frenada y cambios de dirección)

Como objetivo, esperamos que al terminar todos estos ensayos hayamos conseguido entender un poco más del funcionamiento de este automóvil, y si fuese posible, buscar posibilidades de optimización de cara a futuras restauraciones.

6.2. Simulación dinámica individual

6.2.1. Ensamblaje de suspensión delantera y dirección

Para la realización de este tipo de ensayos es necesarios tener lo que *Adams Car* llama *Suspension Assembly*. Para ello, dentro del modo *Standard Interface*, pulsamos el botón *File>New>Suspension Assembly* y colocamos los subsistemas a analizar, en este caso, *S600_Front_Suspension*.

6.2.1.1. Simulación *Parallel Wheel Travel*

El modo de simulación *Parallel Wheel Travel* se basa en el funcionamiento de dos plataformas. En este caso, ambas plataformas suben y bajan de igual manera generando fuerzas en la amortiguación. Como detalle, es necesario saber que este tipo de ensayos no incluyen el subsistema de la dirección.

Para realizar este tipo de simulación debemos estar en el modo *Standard Interface* con el *Suspension Assembly* correspondiente abierto, luego pulsaremos *Simulate>Suspension Analisis>Parallel Wheel Travel*. A continuación, se nos abrirá una ventana en la cual introduciremos los datos de la simulación, en nuestro caso puedes observarlos en la Figura 6.1.

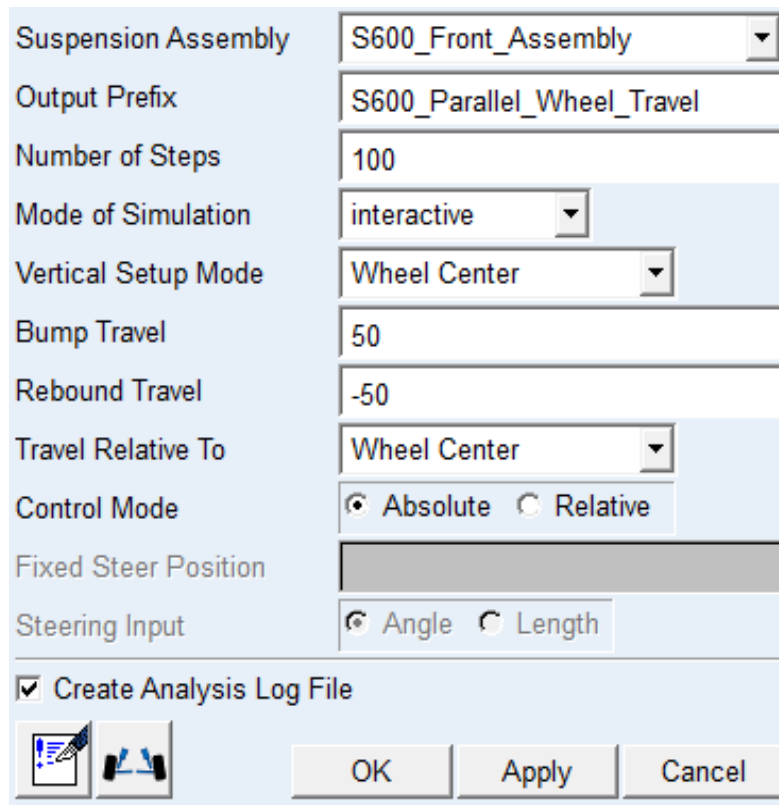


Fig.6.1 Datos de simulación Parallel Wheel Travel (Suspensión delantera)

Tras realizar la simulación satisfactoriamente sería interesante analizar los resultados. Por ello, hemos decidido observar gráficamente como se ven afectado los ángulos característicos de la suspensión.

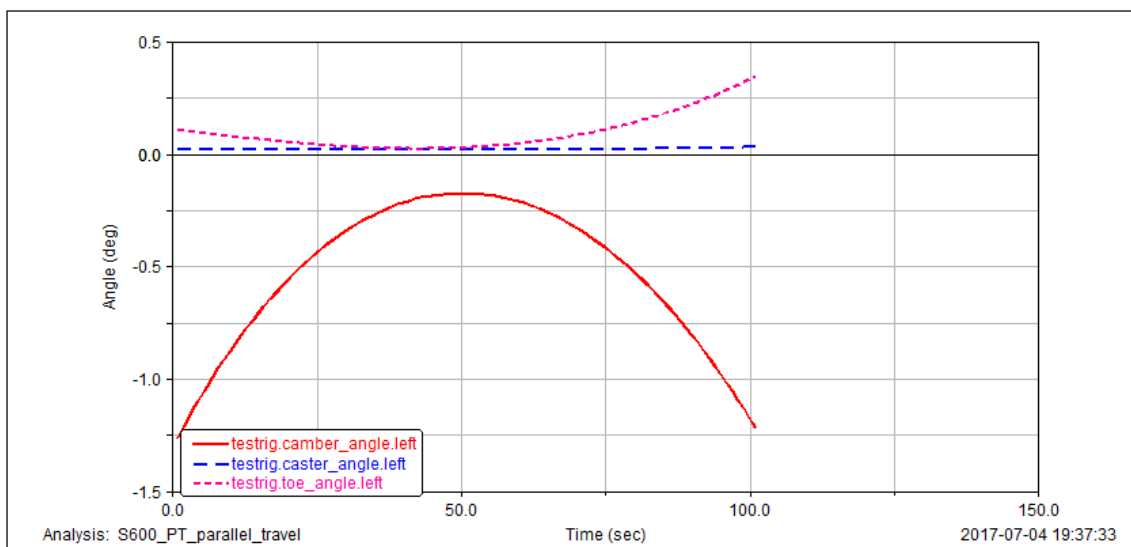


Gráfico.6.1 Análisis de los ángulos característicos en el modo Parallel Wheel Travel. (Suspensión Delantera)

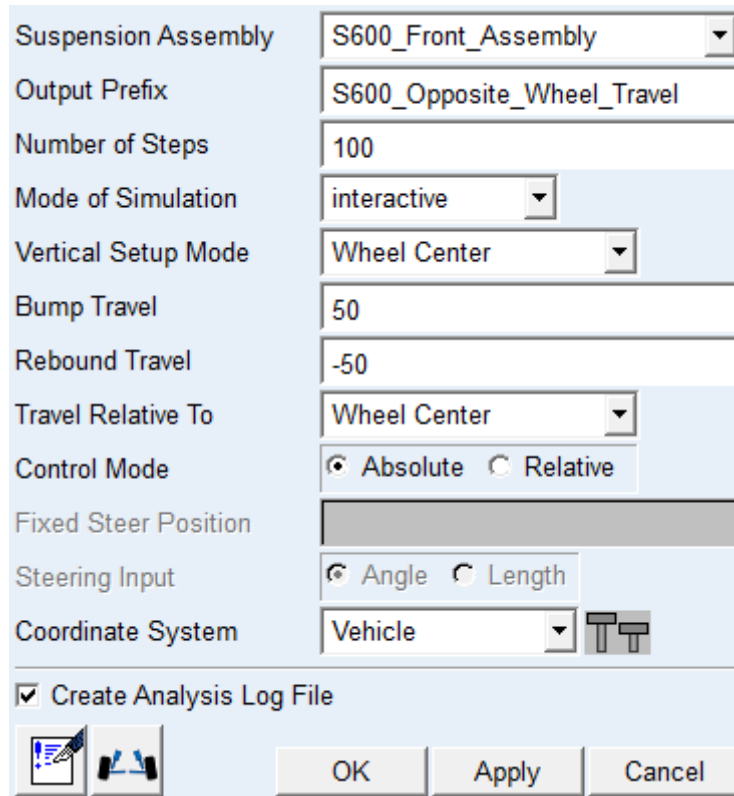
Podemos observar gráficamente que el ángulo de avance se eleva de una forma muy reducida siendo prácticamente imposible de apreciar respecto a la variación de los otros ángulos.

Respecto, al ángulo de caída, vemos que realiza una parábola, la cual tiene una amplitud aproximada de 1 grado. Finalmente, de forma opuesta al valor del ángulo de caída, realiza una parábola cóncava, pero esta parábola no es tan exagerada como en el caso del ángulo de caída.

6.2.1.2. Simulación *Opposite Wheel Travel*

El modo de simulación *Opposite Wheel Travel* tiene un funcionamiento muy similar al modo *Parallel Wheel Travel*. La diferencia entre ambas simulaciones es que en el modo *Opposite Wheel Travel* las ruedas se comportan de forma totalmente opuesta.

Para realizar este tipo de simulación debemos estar en el modo *Standard Interface* con el *Suspension Assembly* correspondiente abierto, luego pulsaremos *Simulate>Suspension Analysis>Opposite Wheel Travel*. A continuación, se nos abrirá una ventana en la cual introduciremos los datos de la simulación, en nuestro caso puedes observarlos en la Figura 6.2.



Suspension Assembly	S600_Front_Assembly
Output Prefix	S600_Opposite_Wheel_Travel
Number of Steps	100
Mode of Simulation	interactive
Vertical Setup Mode	Wheel Center
Bump Travel	50
Rebound Travel	-50
Travel Relative To	Wheel Center
Control Mode	<input checked="" type="radio"/> Absolute <input type="radio"/> Relative
Fixed Steer Position	
Steering Input	<input checked="" type="radio"/> Angle <input type="radio"/> Length
Coordinate System	Vehicle
<input checked="" type="checkbox"/> Create Analysis Log File	
<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Apply"/> <input type="button" value="Cancel"/>	

Figura.6.2 Datos de simulación *Opposite Wheel Travel* (Suspensión delantera)

Del mismo modo que en el ensayo anterior, también sería interesante conocer el comportamiento de los ángulos característicos con un comportamiento opuesto. Para ello, nos hemos apoyado de la herramienta gráfica que nos facilita *Adams Car*.

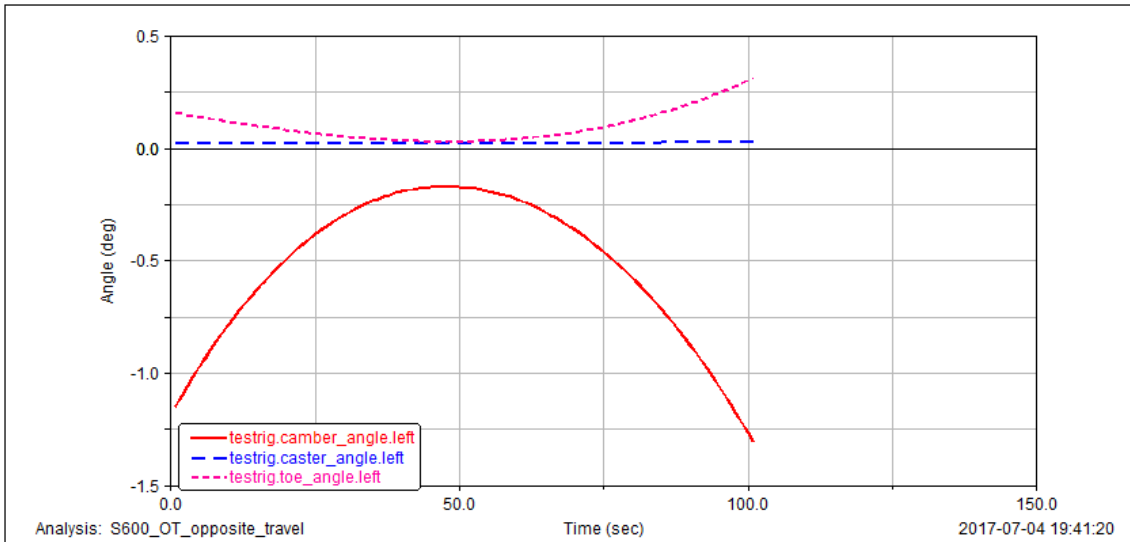


Gráfico.6.2 Análisis de los ángulos característicos en el modo Opposite Wheel Travel. (Suspensión Delantera)

Observando ambas gráficas podemos ver que el comportamiento es idéntico. Esto se debe a que se trata de una suspensión independiente, por lo tanto, el funcionamiento de la otra parte de la suspensión (izquierda y derecha) no influye directamente en la suspensión opuesta.

6.2.1.3. Simulación "Steering" (Dirección)

Otras de las opciones que nos facilita *Adams Car* es simular el comportamiento de la suspensión directriz junto a la dirección. Para ello, debemos crear un *Suspension Assembly* con ambas partes (Figura 6.3).

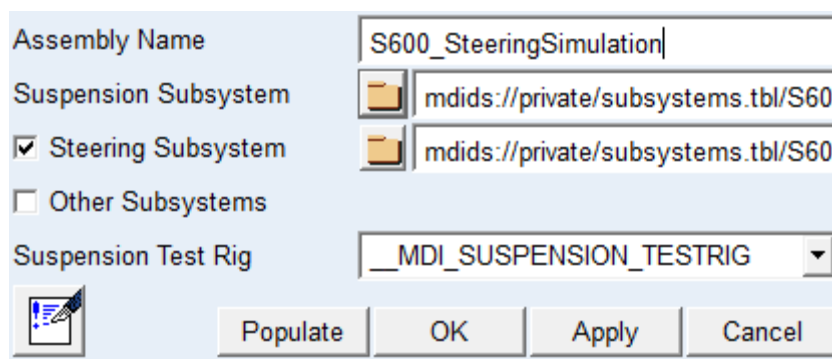


Fig.6.3. Configuración de Suspension Assembly juntando suspensión y dirección

Este tipo de simulación nos permite girar el volante el ángulo asignado, esto producirá el giro de las ruedas el cual sería interesante analizar.

Para realizar este análisis, pulsamos *Simulate>Suspension Analysis>Steering*. En nuestra simulación haremos que nuestro volante gire una vuelta entera, es decir, 360°. Podemos observar los datos introducidos en la siguiente figura (Figura 6.4).

Suspension Assembly	S600_Front_Assembly
Output Prefix	S600_steering
Number of Steps	100
Mode of Simulation	interactive
Vertical Setup Mode	Wheel Center
Upper Steering Limit	360
Lower Steering Limit	-360
Left Wheel Fixed Height	
Right Wheel Fixed Height	
Travel Relative To	Wheel Center
Control Mode	<input checked="" type="radio"/> Absolute <input type="radio"/> Relative
Steering Input	<input checked="" type="radio"/> Angle <input type="radio"/> Length
Coordinate System	Vehicle
<input checked="" type="checkbox"/> Create Analysis Log File	

Fig.6.4 Datos introducidos en la simulación Steering

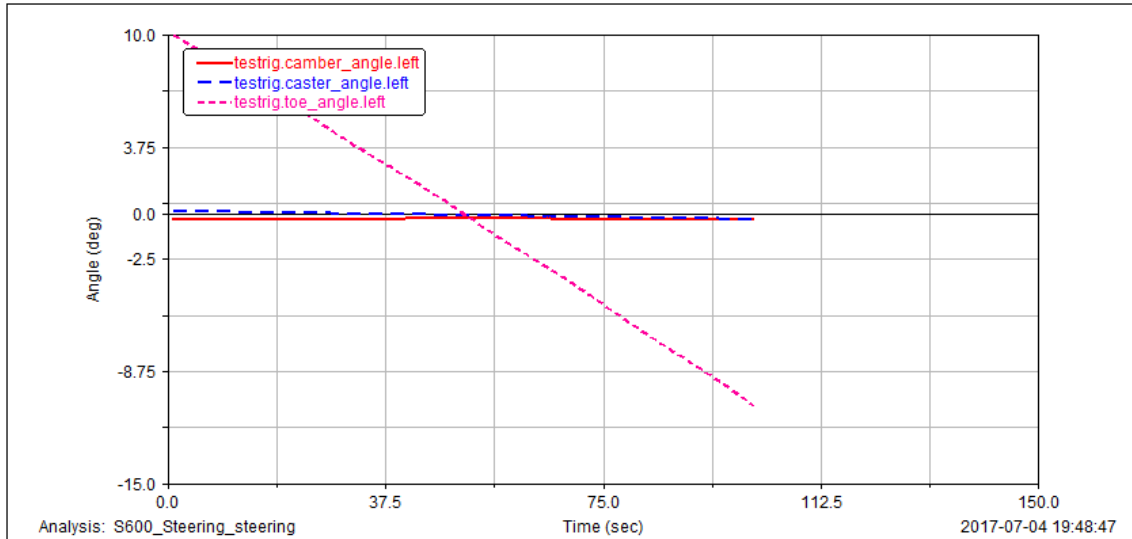


Gráfico.6.3 Análisis de los ángulos característicos en el modo Steering. (Suspensión Delantera)

Si observamos los gráficos vemos que tanto el ángulo de avance como el ángulo de caída sufren unas variaciones inapreciables si las comparamos con el ángulo de convergencia.

De forma opuesta, el ángulo de convergencia sufre una gran variación a medida que se produce el giro de la dirección. Es curioso observar que se trata de un comportamiento lineal, y que en el caso de ángulo de giro positivo el ángulo de convergencia toma valores negativos. Además, vemos que en el momento que el volante no está girado (0º) el ángulo de convergencia tiene un valor de 0.

6.2.2. Ensamblaje de la suspensión trasera

En los siguientes casos, analizaremos los comportamientos de la suspensión trasera, por lo tanto, debemos crear el *Suspension Assembly* con el subsistema *S600_Rear_Suspension*.

Para realizar esto debemos abrir el *Adams Car* en el modo *Standard Interface*, pulsar *File>New>Suspension Assembly* y usar el fichero correspondiente. En este caso al ser ruedas motrices y no directrices no hará falta realizar ninguno ensayo de dirección.

6.2.2.1. Simulación Parallel Wheel Travel

Para realizar este tipo de simulación debemos estar en el modo *Standard Interface* con el *Suspension Assembly* correspondiente abierto, luego pulsaremos *Simulate>Suspension Analisis>Parallel Wheel Travel*. A continuación, se nos abrirá una ventana en la cual introduciremos los datos de la simulación, en nuestro caso puedes observarlos en la Figura 6.5.



Suspension Assembly	rear_suspension_assembly
Output Prefix	pr
Number of Steps	100
Mode of Simulation	interactive
Vertical Setup Mode	Wheel Center
Bump Travel	50
Rebound Travel	-50
Travel Relative To	Wheel Center
Control Mode	<input checked="" type="radio"/> Absolute <input type="radio"/> Relative
Fixed Steer Position	
Steering Input	<input checked="" type="radio"/> Angle <input type="radio"/> Length
<input checked="" type="checkbox"/> Create Analysis Log File	
  <input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Apply"/> <input type="button" value="Cancel"/>	

Fig.6.5 Datos introducidos a la simulación Parallel Wheel Travel (Suspensión Trasera)

Como en ensayos anteriores, sería muy curioso observar gráficamente la variación de los ángulos característicos correspondientes, en este caso, a la suspensión trasera.

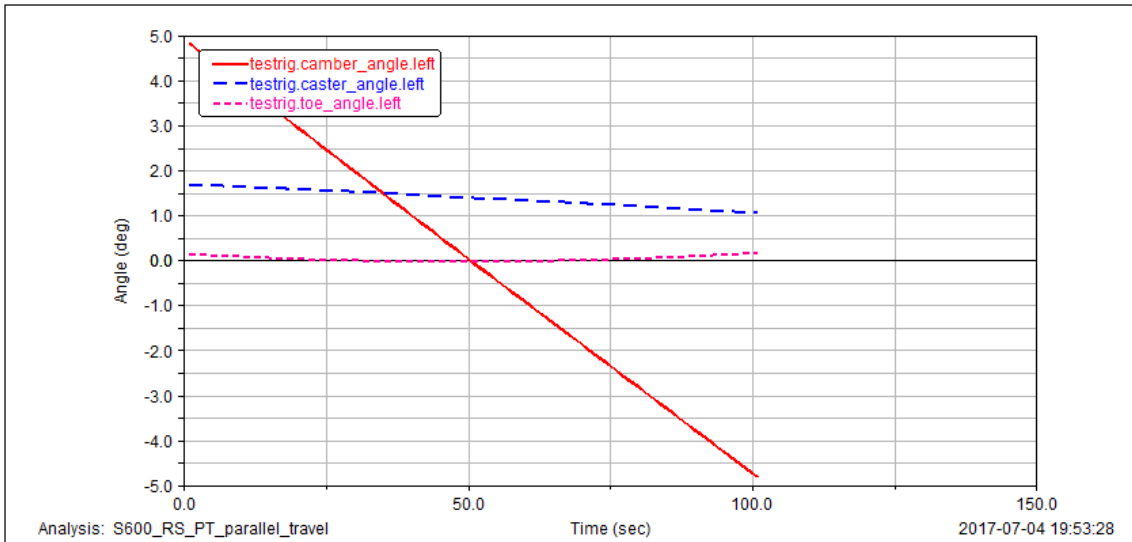


Gráfico.6.4 Análisis de los ángulos característicos en el modo Parallel Wheel Travel. (Suspensión Trasera)

Podemos observar, como el ángulo de caída sufre una gran variación respecto a los otros ángulos. Este empieza en la zona positiva y a medida que avanza el ensayo decrece de forma lineal hasta valores negativos.

Respecto a los ángulos de avance y convergencia sufren pequeñas variaciones casi inapreciables al lado del ángulo de caída.

6.2.2.2. Simulación Opposite Wheel Travel

Para realizar este tipo de simulación debemos estar en el modo *Standard Interface* con el *Suspension Assembly* correspondiente abierto, luego pulsaremos *Simulate>Suspension Analysis>Opposite Wheel Travel*. A continuación, se nos abrirá una ventana en la cual introduciremos los datos de la simulación, en nuestro caso puedes observarlos en la Figura 6.6.

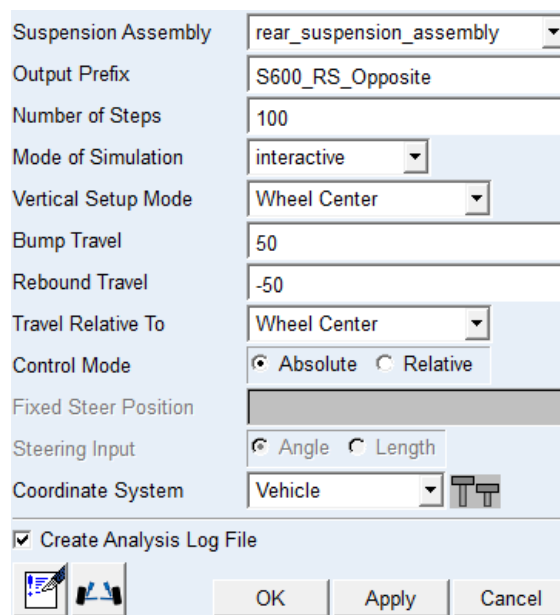


Fig.6.6 Datos introducidos a la simulación Parallel Wheel Travel (Suspensión Trasera)

Respecto a los datos obtenidos, sería interesante comparar los ángulos característicos de la suspensión. Así nos permitiría analizar de mejor forma su comportamiento ante estímulos parecidos al producido por este ensayo.

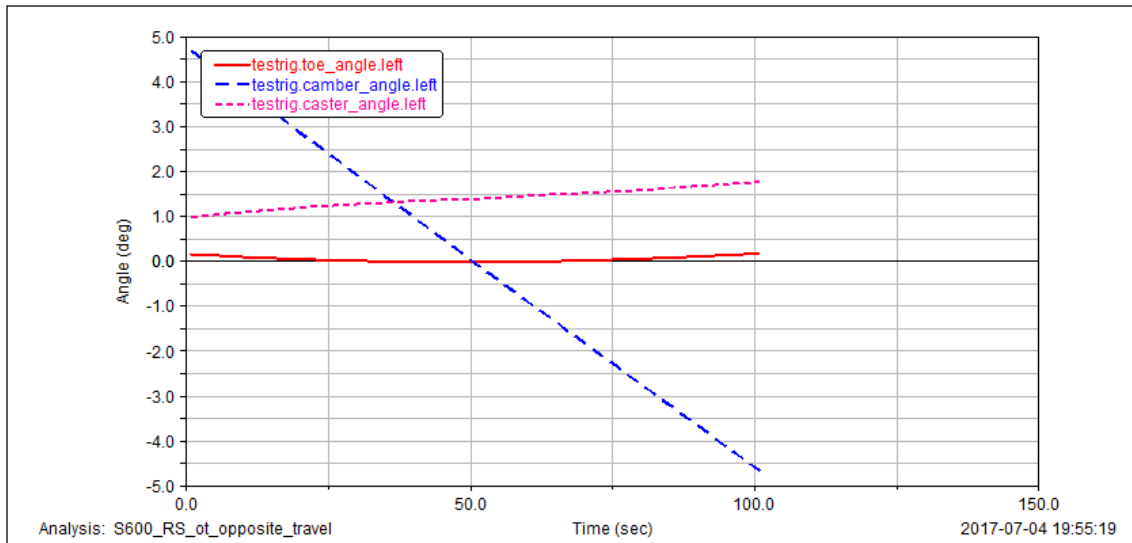


Gráfico.6.5 Análisis de los ángulos característicos en el modo Opposite Wheel Travel. (Suspensión Trasera)

Gráficamente podemos observar como el ángulo de caída empieza en un valor positivo y a medida que avanza el ensayo va reduciendo su valor de forma lineal hasta valores negativos.

Por otro lado, igual que en el Parallel Wheel Travel, los otros dos ángulos varían muy poco con respecto al ángulo de caída.

Podemos concluir diciendo que el comportamiento en ambos ensayos es prácticamente igual, esto se debe a que la suspensión trasera es independiente.

6.3. Simulación dinámica del vehículo

De la misma manera que es interesante analizar el comportamiento de la suspensión de forma individual, también es muy importante analizar el comportamiento del vehículo entero.

Esto nos permitirá conocer un comportamiento más global y avanzado de la dinámica del vehículo. Gracias a este tipo de ensayos podremos conocer el comportamiento del vehículo de una forma aproximada lo que nos permitirá optimizar el modelo para mejorar sus prestaciones.

Para realizar los análisis de vehículo completo debemos abrir el archivo *Full-Vehicle Assembly* creado antes. Para ello, situados en el modo Standard Interface pulsamos *File>Open>Assembly* y seleccionamos *SEAT_600.asy*.

6.3.1. Simulación de aceleración

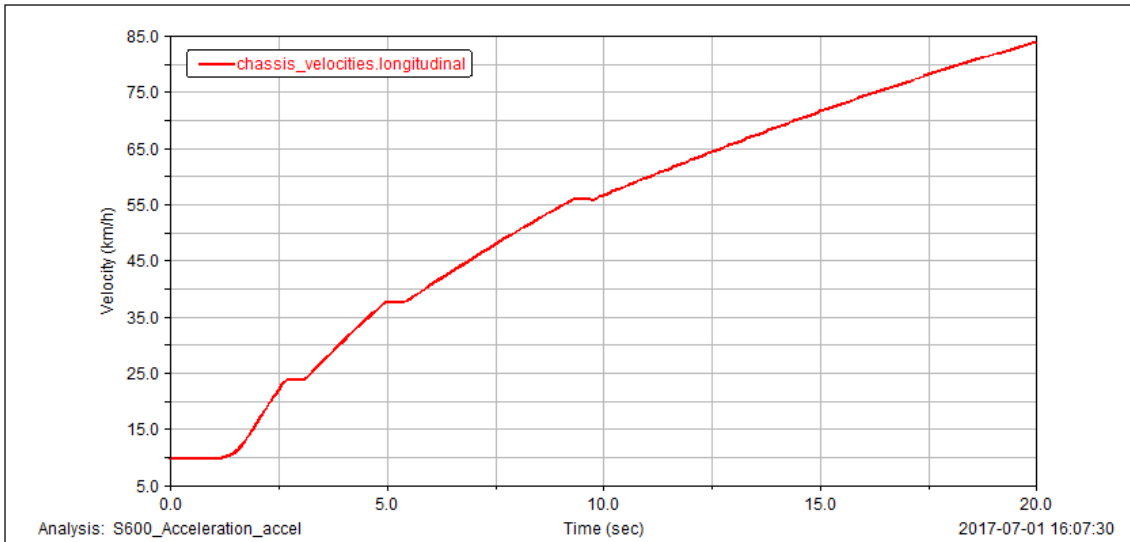
La simulación de aceleración, como bien dice su nombre, consiste en acelerar el vehículo para observar el comportamiento ante este estímulo. Este tipo de ensayo nos permite elegir varias opciones como el porcentaje de aceleración, el tiempo de aceleración, etc. En el caso de nuestro ensayo hemos elegido las siguientes opciones (Figura 6.7).

Full-Vehicle Assembly	SEAT_600	
Output Prefix	S600_Acceleration	
End Time	20	
Number Of Steps	200	
Simulation Mode	interactive	
Road Data File	mdids://acar_shared/roads.tbl/2d_fl	
Steering Input	straight line	
Initial Velocity	10	km/hr
Start Time	1	
Open-Loop Throttle		
Final Throttle	100	
Duration of Step	1	
Gear Position	1	
<input checked="" type="checkbox"/> Shift Gears		
<input checked="" type="checkbox"/> Quasi-Static Straight-Line Setup		
<input checked="" type="checkbox"/> Create Analysis Log File		

Fig.6.7 Opciones de la simulación Acceleration.

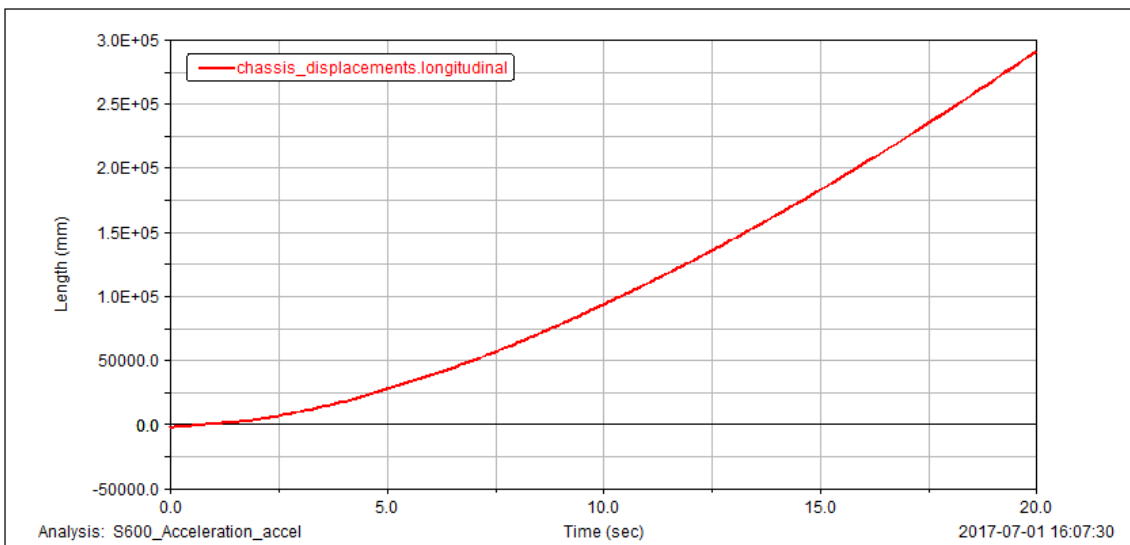
Para entender el comportamiento del Fiat/Seat 600 a este estímulo vamos a analizar una serie de gráficas que nos ha proporcionado el programa. Además, este tipo de ensayo nos permite ver una simulación visual del comportamiento del coche.

La primera gráfica que podemos observar es la de velocidad del automóvil (Gráfica 6.6). Vemos como en los 20 segundo de aceleración el vehículo alcanza una velocidad aproximada de 85km/h. Si comparamos con estudios reales del Seat 600 [18], la velocidad alcanzada está dentro de los parámetros alcanzables por el coche real, ya que el Seat 600 era capaz de alcanzar 95km/h en 35 segundos.



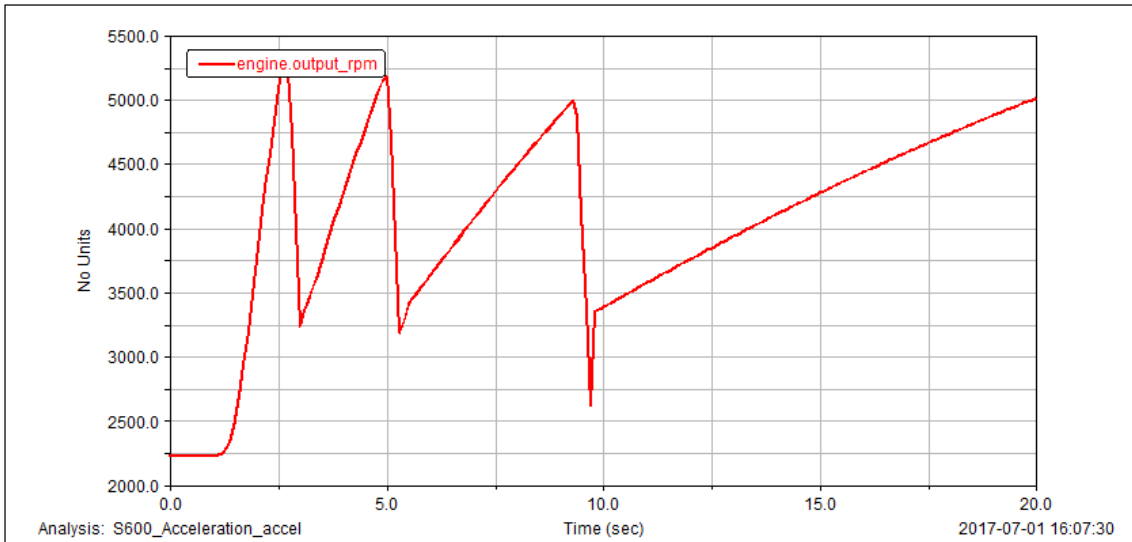
Gráfica 6.6 Análisis de la velocidad del vehículo

También sería interesante observar la distancia que sería capaz de recorrer el vehículo en este tiempo. Observando la gráfica de desplazamiento (Gráfica 6.7) podemos ver que en 20 segundos nuestro modelo ha sido capaz de recorrer 300 metros. Si comparamos el dato con coches de la época sería un resultado muy pobre, pero al tratarse de un automóvil del año 1957 el resultado está acorde con el comportamiento de los vehículos de la época.



Gráfica 6.7 Análisis del desplazamiento del vehículo

Además, uno de los componentes más interesante a analizar en este tipo de ensayos sería el motor. Si observamos el gráfico de revoluciones por minuto (Gráfica 6.8), vemos que se producen picos y bajadas bruscas que se corresponde con los cambios de marchas que podemos observar en el otro gráfico (Gráfica 6.9). Además, vemos como al aumentar la velocidad del coche, y por lo tanto las marchas, el motor alcanza de forma más lenta el límite de revoluciones. Si comparamos los datos con análisis de vehículos reales, vemos como el comportamiento es similar, por lo tanto, nuestro modelo se ajusta a la realidad.



Gráfica 6.8 Análisis de las revoluciones del motor

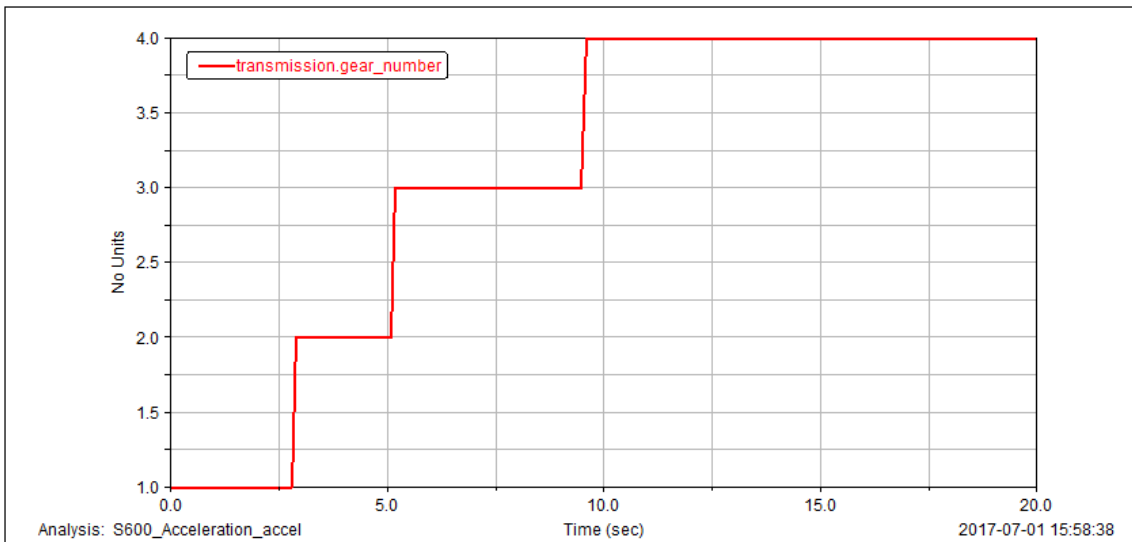
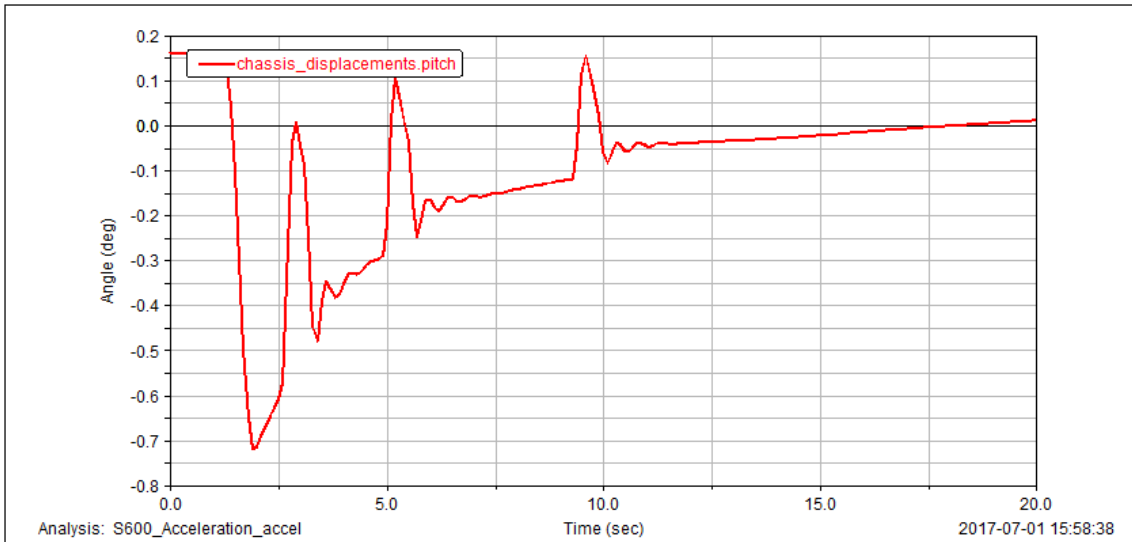


Gráfico 6.9 Análisis de la relación de marchas

Finalmente, sería interesante analizar el cabeceo que se produce en nuestro vehículo al acelerar a máxima potencia. Observando el gráfico (Gráfica 6.10) podemos ver como en el cambio entre primera y segunda marcha el cabeceo producido es mucho mayor que en los otros cambios, esto se debe a que el par transmitido a las ruedas también es mayor debido a la relación de transmisión.



Gráfica 6.10 Análisis del cabeceo producido en la aceleración

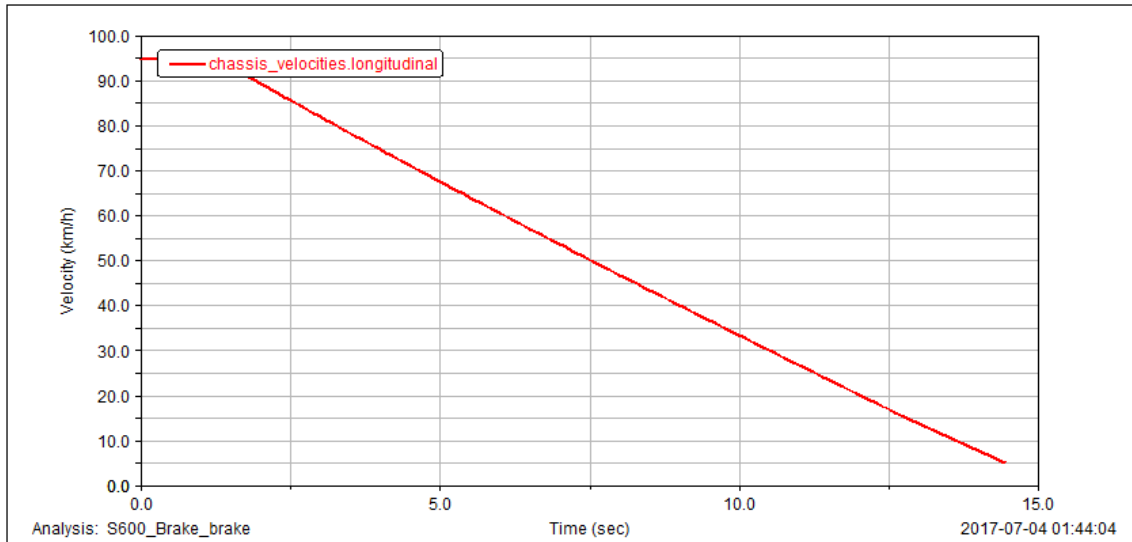
6.3.2. Simulación de frenada

La simulación de frenado, como bien dice el nombre, nos permite reproducir una serie de condiciones de frenado cambiando parámetros como el porcentaje de frenado, el tiempo que inicia el frenado o la velocidad inicial del vehículo antes de iniciar a frenar. En nuestro caso, hemos decidido usar los siguientes parámetros:

Full-Vehicle Assembly	SEAT_600
Output Prefix	S600_Brake
End Time	20
Number Of Steps	200
Simulation Mode	interactive
Road Data File	mdids://acar_shared/roads.tbl/2d_fl
Steering Input	straight line
Initial Velocity	95 km/hr
Start Time	1
Open-Loop Brake	
Final Brake	100
Duration of Step	1
Gear Position	4
<input checked="" type="checkbox"/> Quasi-Static Straight-Line Setup	

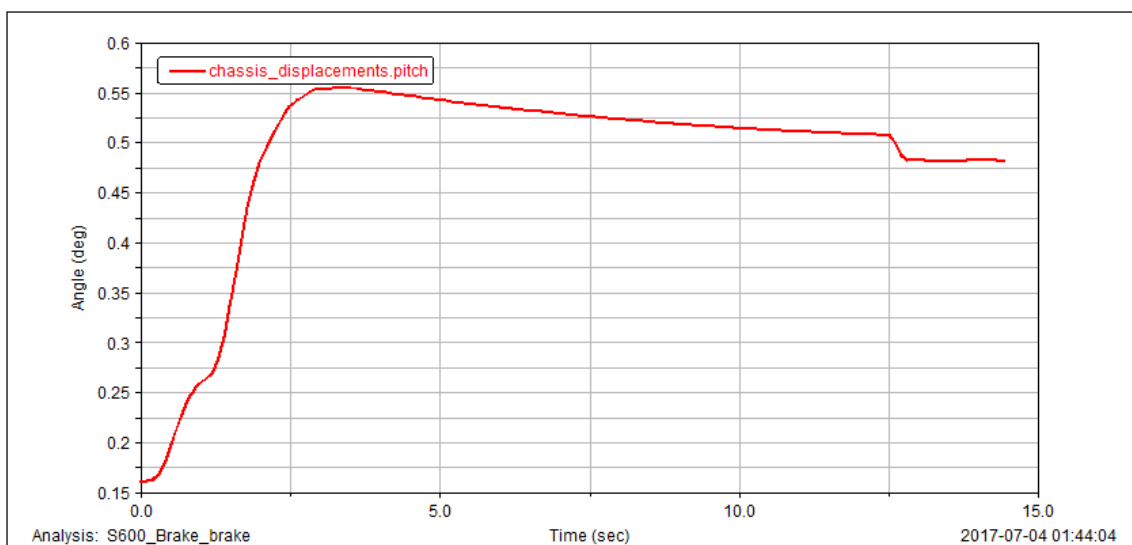
Fig.6.8 Opciones de la simulación de frenado

Observando los resultados de la simulación, vemos que el vehículo se detiene en un tiempo aproximado de 15 segundos. Se tratan de valores que en la actualidad nos pueden parecer muy grandes, pero en la época del vehículo (1957) era un valor normal. Por lo tanto, observando el gráfico de velocidad podemos decir que el sistema de frenado se aproxima al funcionamiento del modelo real.



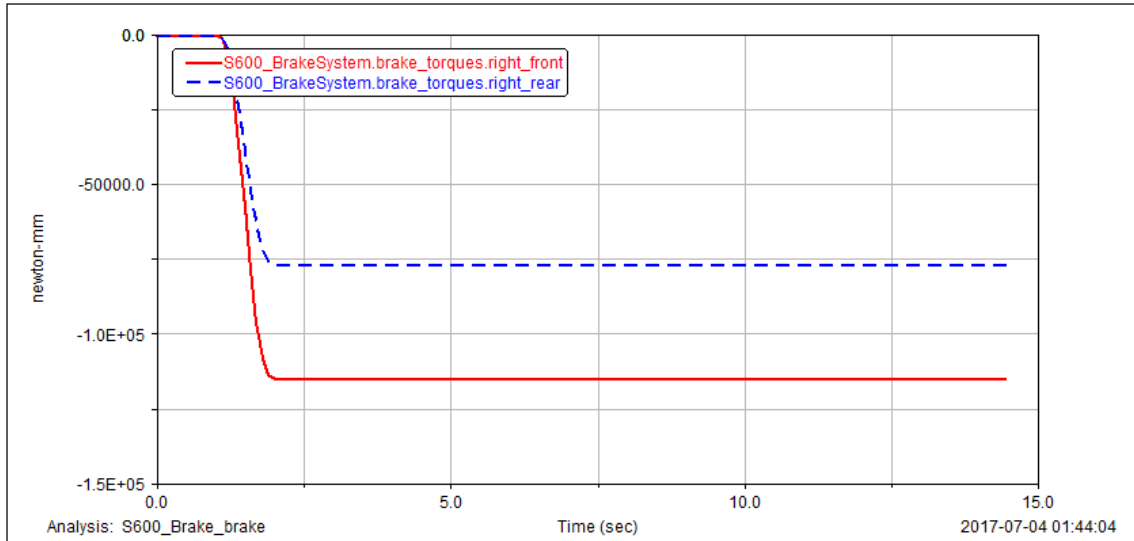
Gráfica 6.11 Análisis de velocidad en simulación de frenado

Por otro lado, si observamos el comportamiento del ángulo de cabeceo vemos que el coche aumenta su ángulo al iniciar la frenada de gran medida al iniciar la frenada para luego estabilizarse alrededor de un valor (0.5-0,55 grados). Se trata de un comportamiento normal en las hipótesis de frenado, por lo tanto, nuestro modelo se ajusta con la realidad.



Gráfica 6.12 Análisis del ángulo de cabeceo en simulación de frenado

Finalmente, sería interesante comparar los pares de frenos aplicados en el tren delantero como en el tren trasero. En todos los vehículos, su tren de frenado de delantero ejerce mayor fuerza de frenado, en nuestro caso vemos que también sucede esto.



Gráfica 6.13 Análisis del par de frenado en la simulación de frenada

6.3.3. Simulación de frenada en curva

La simulación de frenado en curva nos permite desacelerar el vehículo mientras realiza un giro constante en un período de tiempo. Para realizar este tipo de ensayo podemos elegir varios parámetros como por ejemplo la aceleración lateral, el radio de giro o la duración de frenado. En nuestro caso hemos elegido los siguientes parámetros (Figura 6.10).

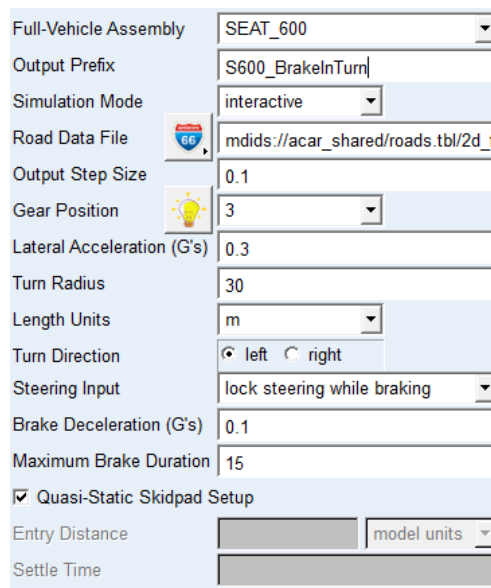
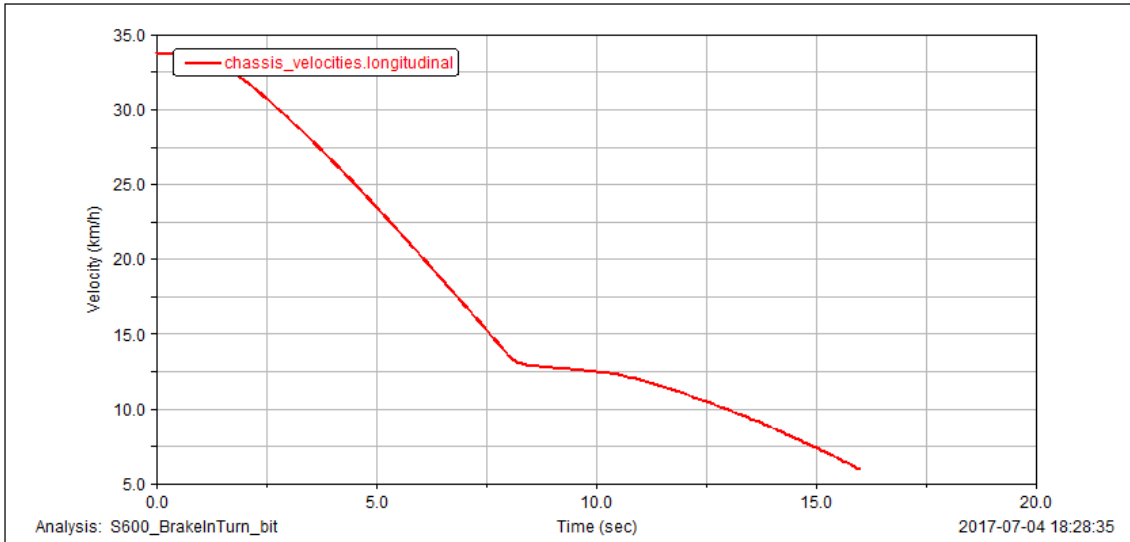
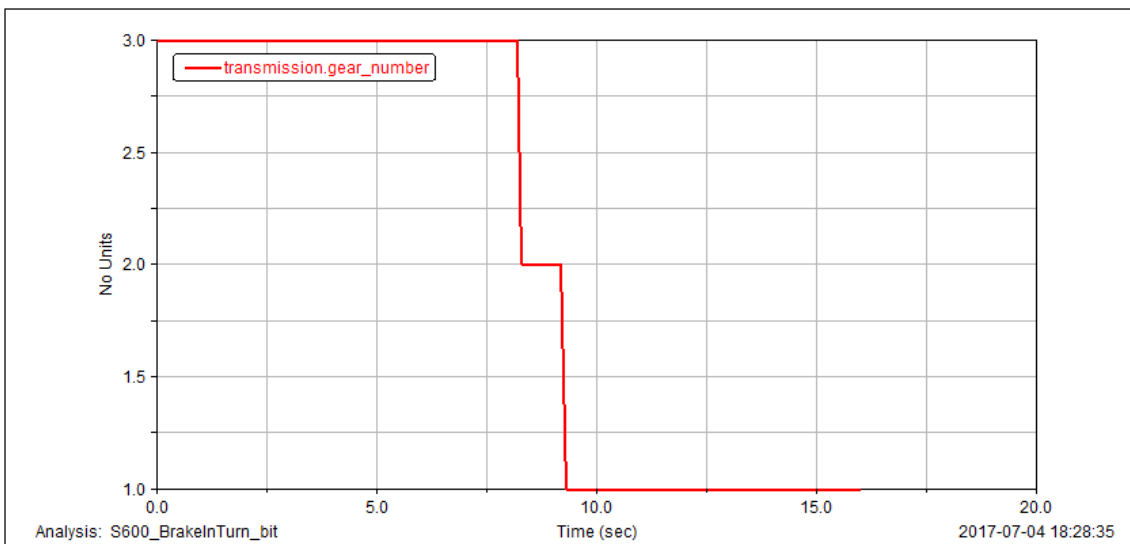


Fig.6.9 Parámetros del análisis de frenada en curva

Si observamos mediante gráficas el resultado, podemos entender mejor el funcionamiento de nuestro modelo. En primer lugar, observando las gráficas de velocidad (Gráfica 6.16) y cambio de marchas (Gráfica 6.17) podemos observar que la disminución de velocidad hace que nuestro vehículo tenga que reducir la marcha. Esta disminución de velocidad se comporta de forma lineal hasta que nuestra caja de cambios debe reducir la marcha que el comportamiento de la velocidad varía en pequeña medida.

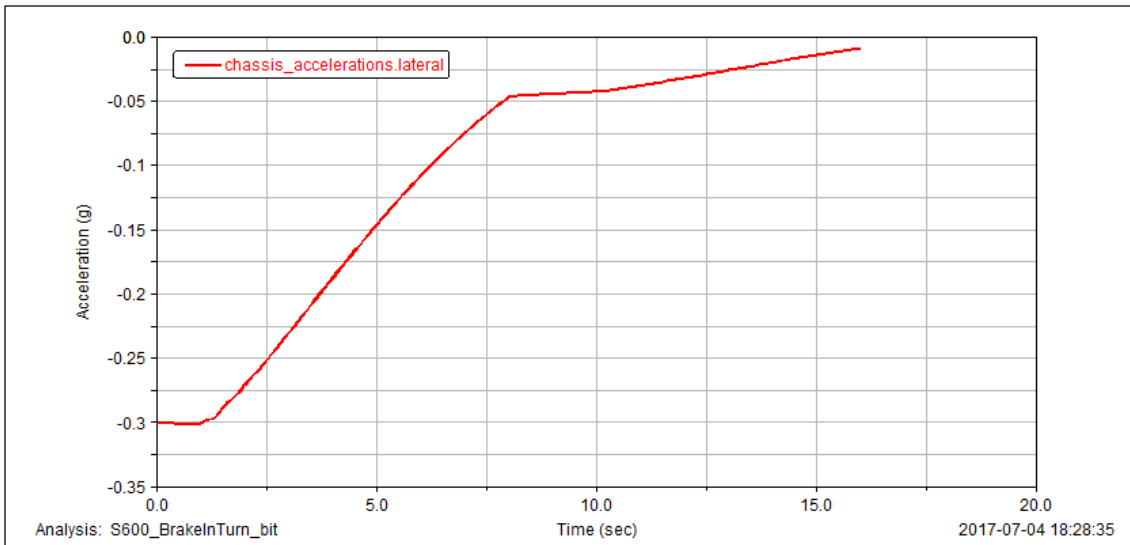


Gráfica 6.14 Análisis de la velocidad del vehículo

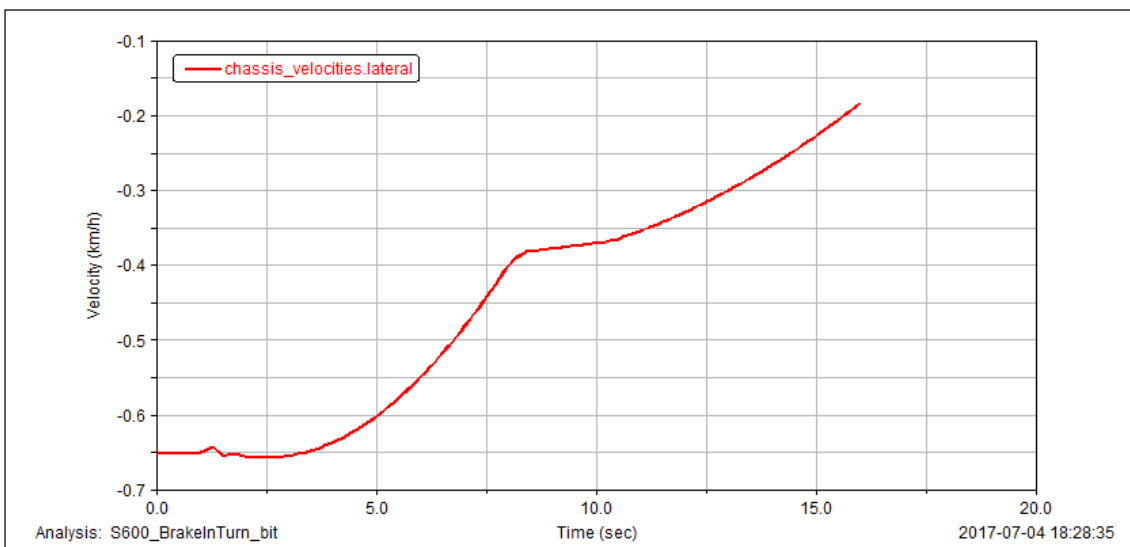


Gráfica 6.15 Análisis de relación de marchas del vehículo

En segundo lugar, sería interesante también analizar el resultado de los comportamientos laterales del vehículo. En las siguientes gráficas podemos ver como nuestro vehículo aumenta su aceleración lateral (Gráfica 6.18) debido a la frenada, y como es lógico, también aumenta su velocidad lateral (Gráfica 6.19).

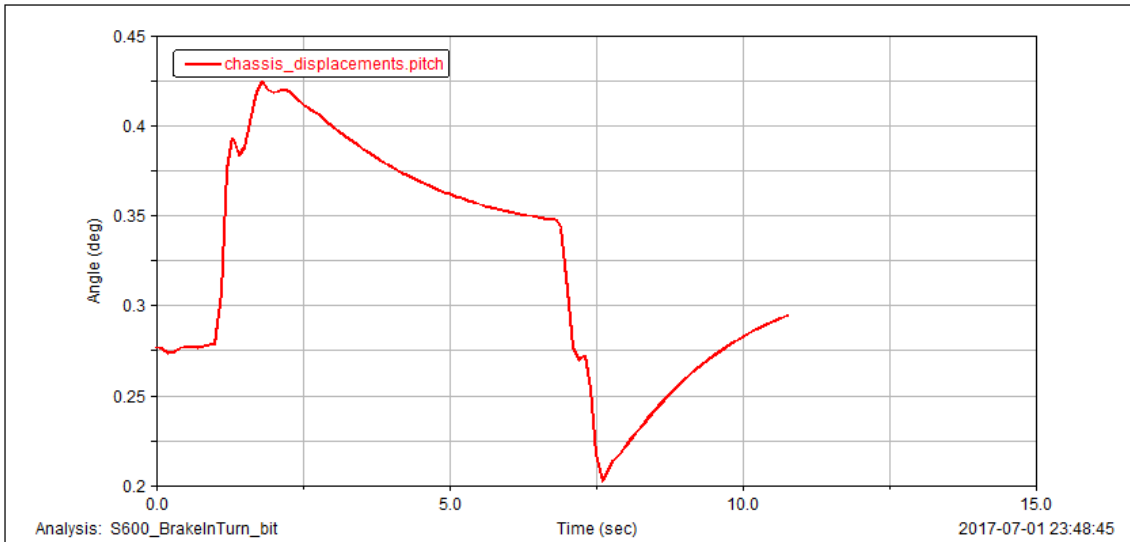


Gráfica 6.16 Análisis de la aceleración lateral del vehículo



Gráfica 6.17 Análisis de la velocidad lateral del vehículo

Finalmente, observando el comportamiento del ángulo de cabeceo (Gráfica 6.20) podemos observar como al frenar este ángulo aumenta rápidamente llegando a un valor pico el cual va disminuyendo de forma ordenada hasta que se produce una oscilación hacia ángulos de cabeceo negativos prácticamente al final de la maniobra.



Gráfica 6.18 Análisis del ángulo de cabeceo

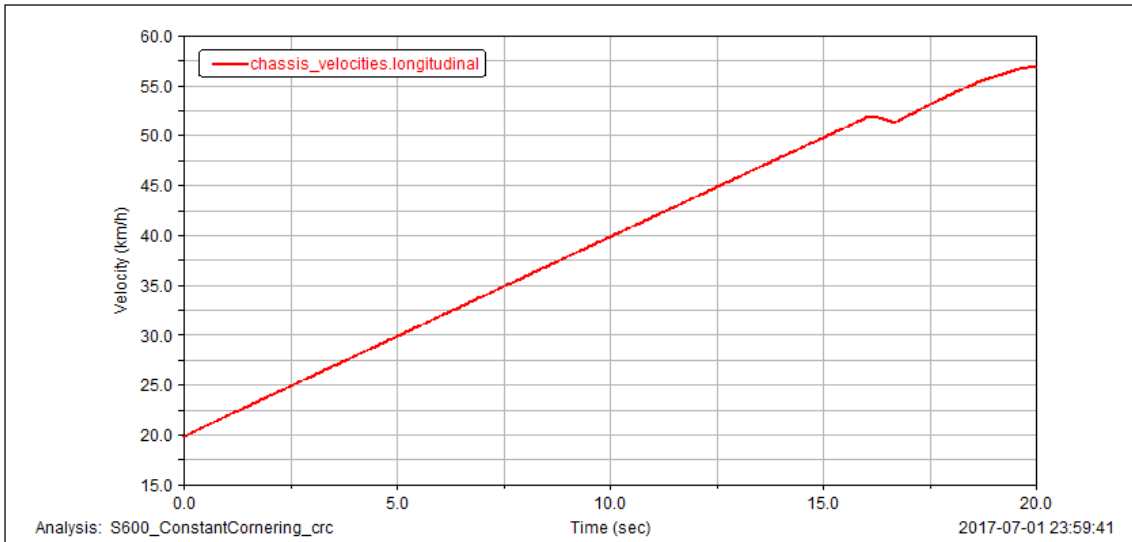
6.3.4. Simulación de giro en curva de radio constante

La simulación de giro en curva de radio constante nos permite analizar el comportamiento del vehículo al realizar una aceleración de este mientras gira un determinado radio. Este tipo de ensayo nos permite ajustar algunos parámetros como son la velocidad inicial, velocidad final, radio de giro o duración de la maniobra. En nuestro caso, hemos elegido los siguientes parámetros de funcionamiento (Figura 6.11).

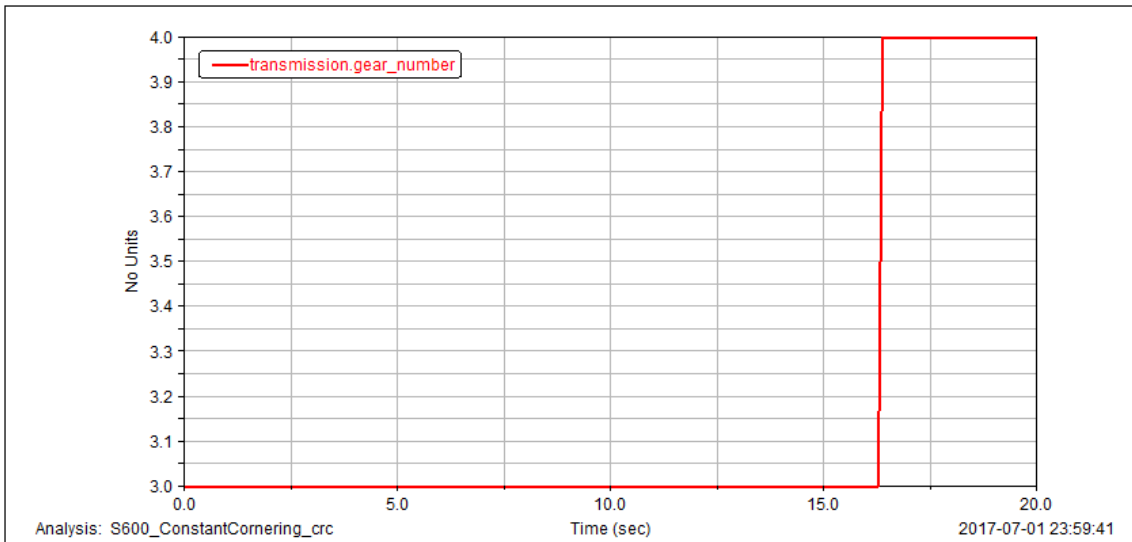
Full-Vehicle Assembly	SEAT_600
Output Prefix	S600_ConstantCornering
Simulation Mode	interactive
Road Data File	mdids://acar_shared/roads.tbl/2d_fl
Output Step Size	0.1
Gear Position	3
Turn Radius	30
Length Units	m
Turn Direction	<input checked="" type="radio"/> left <input type="radio"/> right
Control	<input checked="" type="radio"/> velocity <input type="radio"/> lateral acceleration
Duration of maneuver	20
Initial Velocity	20
Final Velocity	60
Velocity Units	km/hr
<input checked="" type="checkbox"/> Shift Gears	
<input checked="" type="checkbox"/> Quasi-Static Skidpad Setup	
Entry Distance	model units
Settle Time	

Fig.6.10 Parámetros en el análisis de giro en curva de radio constante

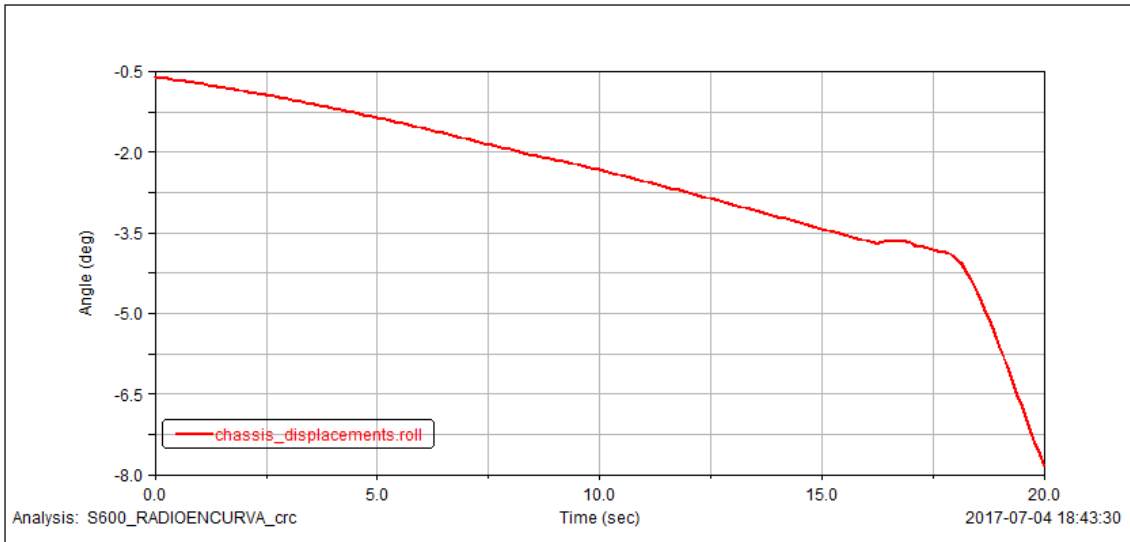
Pasando al análisis de resultados, si observamos la gráfica de velocidad vemos como esta aumenta de forma lineal hasta aproximadamente el segundo 16, en el cual se produce un pequeño cambio y avanza de forma diferente, comparado con la gráfica del cambio de marcha vemos que este cambio se debe a la necesidad de subir de marcha debido a la velocidad. Además, observando la gráfica del balanceo, vemos que este ángulo va aumentando a medida que aumenta la velocidad de nuestro vehículo, un ángulo de balanceo muy grande podrías llevarnos a problemas de volcado por lo que es interesante evitarlos.



Gráfica 6.20 Análisis de la velocidad del vehículo

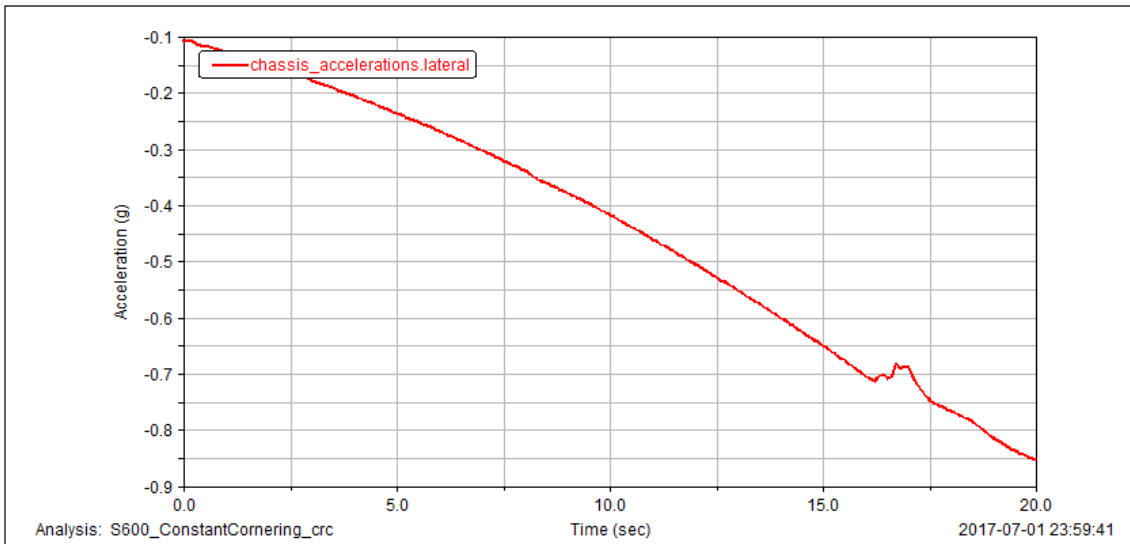


Gráfica 6.21 Análisis de la relación de marchas del vehículo



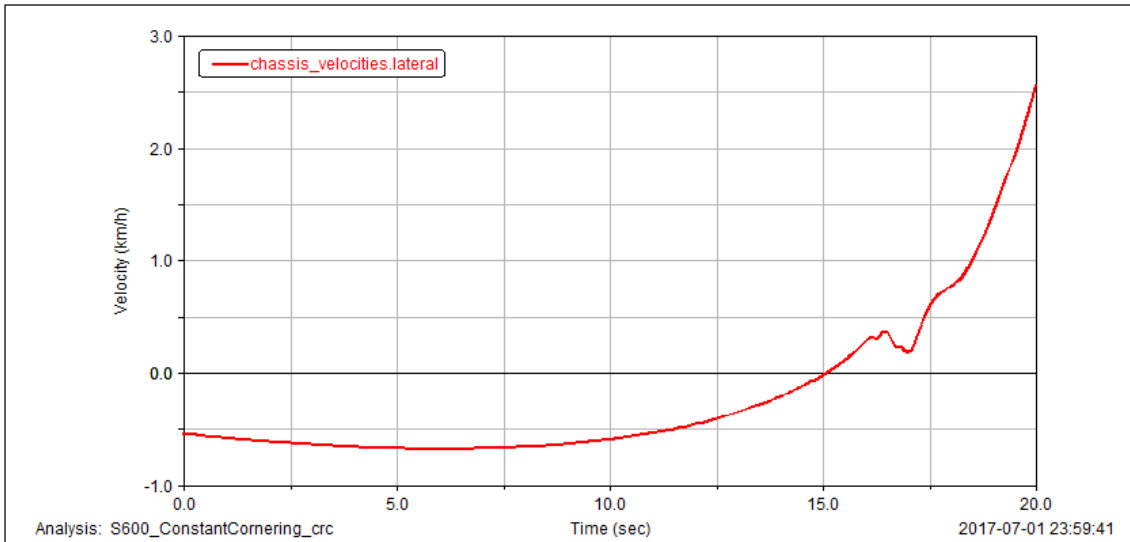
Gráfica 6.22 Análisis del ángulo de balanceo del vehículo

También, al tratarse de un ensayo en curva, sería interesante analizar el comportamiento lateral del vehículo. En la siguiente gráfica (Gráfica 6.24) podemos observar el comportamiento de la aceleración lateral, vemos que conforme avanza el ensayo la aceleración lateral aumenta menos en un pequeño periodo que sufre una pequeña reducción, este periodo se corresponde al periodo en el que el coche realiza el cambio de marchas.



Gráfica 6.23 Análisis de la aceleración lateral del vehículo

Finalmente, observando la velocidad lateral del vehículo (Gráfica 6.25), vemos como esta avanza a medida que avanza el ensayo, y al igual que en la aceleración, se produce una pequeña oscilación en el momento del cambio de marchas.



Gráfica 6.24 Análisis de la velocidad lateral del vehículo

6.3.5. Simulación ISO Lane Change

La simulación *ISO Lane Change* consta de un carril de entrada-salida y un carril lateral, nuestro vehículo debe pasar al carril lateral y posteriormente volver al carril de salida. Este tipo de ensayos nos ayuda a analizar el comportamiento lateral del vehículo. Nosotros realizaremos este ensayo a 30km/h pero en la vida real en estos ensayos se va incrementando la velocidad hasta que el coche no es capaz de realizar la trayectoria. Los datos utilizados en nuestro ensayo son los siguientes (Figura 6.12).

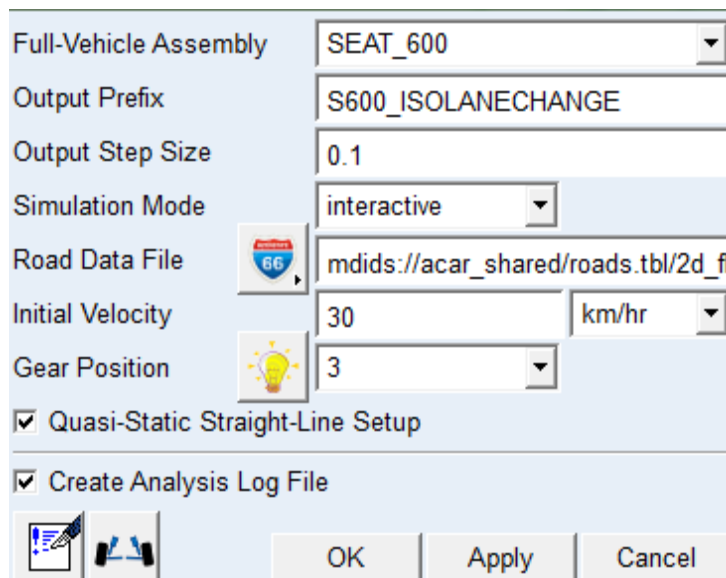
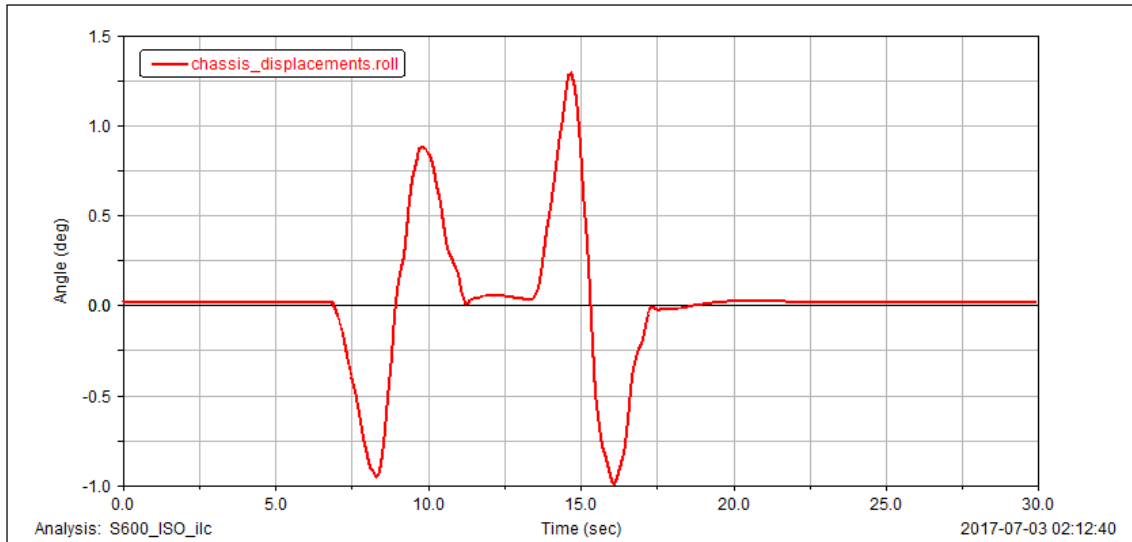


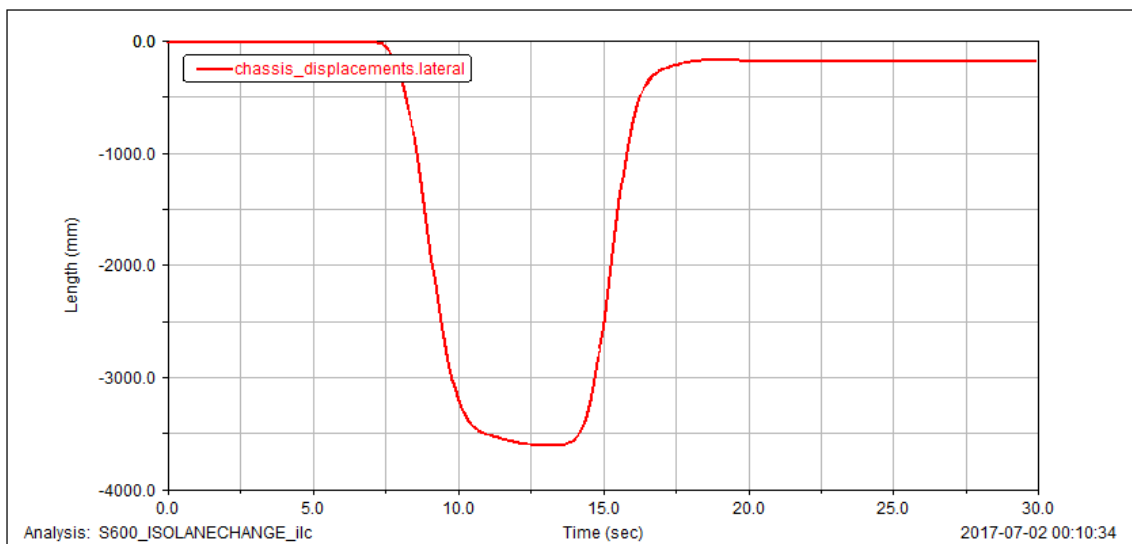
Fig 6.11 Parámetros para en ensayo ISO Lane Change

Pasando a analizar los resultados obtenidos, si analizamos el ángulo de balanceo que se produce en el ensayo observamos que en el momento de producirse los giros el coche gira respecto a su eje longitudinal. Se trata de un comportamiento normal al realizar este tipo de ensayos, ya que los giros realizados suelen producir este tipo de reacción en el chasis debido a la actuación de la suspensión.



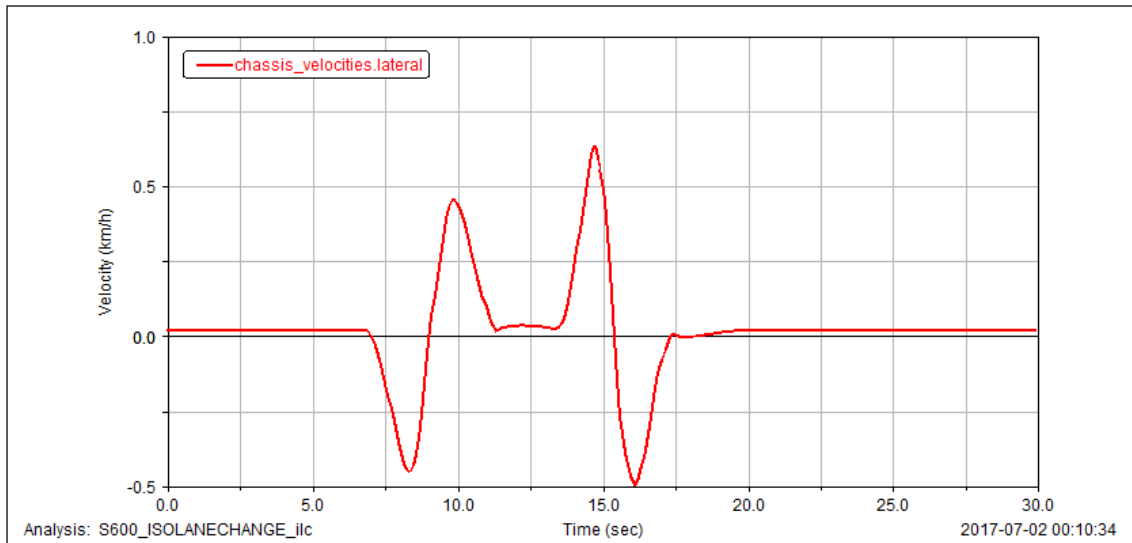
Gráfica 6.25 Análisis del ángulo de balanceo

Otro dato interesante a analizar sería el desplazamiento lateral, en este caso vemos como en el momento que se producen los suben y bajan los valores de este. Se trata de un comportamiento normal que hemos podido comprar con otros vehículos sometidos a este tipo de análisis [19].



Gráfica 6.26 Análisis del desplazamiento lateral

Finalmente, sería interesante analizar la aceleración lateral a la que se ve sometida el vehículo. Vemos que la gráfica (Gráfica 6.28) coincide en forma con la del ángulo de balanceo. Cuando el vehículo modifica su trayectoria este es sometido a aceleraciones laterales, mientras que cuando su trayectoria es recta estas aceleraciones se estabilizan.



Gráfica 6.27 Análisis de la velocidad lateral

7. Conclusiones y futuros trabajo

7.1. Conclusiones

El análisis de la dinámica de vehículos nos permite conocer de forma aproximada el funcionamiento de los automóviles. En nuestro caso, nos pareció interesante estudiar los comportamientos del Fiat/Seat 600 para ver si era posible crear un coche clásico en programas modernos que no se usaban en la época de diseño de estos coches.

Al principio del trabajo tuvimos que recabar mucha información sobre el vehículo para tratar de crear toda su geometría idéntica para un funcionamiento similar. Tras esto, con la geometría ya obtenida, pasamos al diseño dentro del programa.

A lo largo de este diseño, hemos ido dándonos cuenta de la importancia de la simulación mediante ordenador, ya que gracias a esta hemos podido ajustar parámetros de nuestro modelo sin necesidad de un alto coste económico. Este ajuste, nos ha permitido que el modelo conseguido tenga un funcionamiento muy similar al vehículo real.

Si observamos las gráficas de los ensayos realizados, vemos que son muy similares a las obtenidas analizando otros vehículos o a las obtenidas con ensayos efectuados en la realidad como podría ser el de cambio de dirección (*ISO Lane Change*).

Además, este trabajo fin de grado nos ha permitido avanzar en nuestro nivel de manejo en programas como Adams Cars o Solid Works. Estos conocimientos nos servirán de gran ayuda en el futuro, permitiéndonos analizar otros vehículos o apoyarnos en estas plataformas para realizar nuevos proyectos.

También nos ha permitido aprender detalles sobre los vehículos, sus componentes o el uso de herramientas Office para la realización de trabajos o documentos.

Finalmente, centrándonos en el modelo creado, podemos concluir que se trata de un modelo con un comportamiento similar a la realidad, el cual tiene un comportamiento muy parecido al vehículo real. Por lo tanto, podremos apoyarnos en este modelo para tratar de mejorar el modelo real.

7.2. Futuros Trabajos

Tras el modelo realizado, sería interesante tratar de aplicarle mejoras que serían posible aplicar al coche real, consiguiendo así, optimizar el modelo real para un mejor funcionamiento.

Otro trabajo futuro interesante sería el crear otro modelo Seat 600, pero en este caso crear el modelo Abarth, se trata de un modelo adaptado a la actualidad el cual consta de un motor mucho más potente y se usa para competiciones. Tras la creación de este modelo, compararíamos el funcionamiento de ambos coches para ver como el avance de la tecnología ha conseguido mejorar un coche tan típico como es el Seat 600.

En conclusión, sería muy interesante comparar nuestro modelo con otros modelos creados en el programa para ver donde mejorar el funcionamiento de algunos estos, además de que sería útil para poder introducir mejoras al modelo real.

8. Presupuesto

A la hora de calcular el presupuesto de este trabajo fin de grado sería interesante dividirlo en dos partes. Por una parte, las horas de trabajo realizadas tanto por el autor como por el tutor a cargo. Por otra parte, los costes informáticos necesarios para la simulación del proyecto, ya que un programa como Adams Car no puede ser procesado en cualquier ordenador y su licencia es de alto coste.

Horas del personal

Concepto	Cantidad de horas	Precio	Parcial
Ingeniero Mecánico	321	10,00 €	3.210,00 €
Director del proyecto	35	16,00 €	560,00 €
	Total		3.770,00 €

Software informático

Concepto	Cantidad de horas	Precio licencia
Autodesk AutoCAD 2016 Mensual	10	223,85 €
Solidworks 2016 Student Edition	23	150,00 €
Microsoft Office Professional 2017	55	539,00 €
MSC Adams/Car 2017	233	1.851,00 €
	Total	2.763,85 €

Equipo informático

Concepto	Cantidad de horas	Precio
Hp Pavilion dV7	321	803,00 €
	Total	803,00 €

Precio total del proyecto 7.336,85 €

El coste final de este proyecto sería **siete mil trescientos treinta y seis con ochenta y cinco centésimas.**

9. Pliego de condiciones

9.1 Comentario

Debido a que el trabajo ha sido realizado mediante métodos informáticos no existen leyes, condiciones técnicas o ambientales a las que ceñirse.

No obstante, si había una serie de parámetros a los que ceñirse para que el vehículo tuviese un comportamiento parecido al vehículo real.

9.1.1 Reseña

La serie de parámetros a los que debíamos ceñirnos para que el modelo de simulación fuese válido, son los siguientes:

- Utilización del mismo modelo de suspensión usado por el modelo original.
- Medidas y geometría de los subsistemas del vehículo que nos permitiesen un funcionamiento similar al original.
- Utilización del programa *MSC Adams Car*.

El proyecto realizado debía ser lo más parecido posible al modelo original del Seat 600, debido a que, en un futuro, podría ser posible apoyarse en este modelo para realizar mejoras en el vehículo original.

9.2 Condiciones recomendadas de utilización

Al tratarse un trabajo realizado mediante métodos informáticos, nuestros recursos a usar deben de cumplir un mínimo para el correcto funcionamiento de los programas a utilizar. Sin cumplir esta serie de condiciones no sería posible ejecutar las diferentes herramientas usadas, es decir, realizar este trabajo.

Las condiciones son las siguientes:

9.2.1 Condiciones de Software y Hardware

Al estar trabajado con programas muy potentes, necesitaremos que nuestro ordenador cumpla las siguientes condiciones para un correcto funcionamiento. Dependiendo el programa usado necesitaremos unos requerimientos u otros, pero nuestro ordenador siempre debería estar por encima para el funcionamiento óptimo.

9.2.1.1 MSC Adams 2017.

Platform	Models and Processors	Operating System	Fortran	C/C++
HP PA-RISC HP-UX	PA-8k based B-class, C-class, J-class, and rp-class servers	HP-UX 11, 11i	f90 2.4.13	c89 11.01.20 aCC 03.27
HP Itanium2 HP-UX	Intel Itanium 2	HP-UX 11.23	2.8.4	c89 5.55 aCC 5.55
IBM POWER AIX	Power3, Power3-II, Power4	AIX 5.1	XL Fortran 8.1	Visual Age C/C++ 6.0.0.4
Intel & AMD x86 Linux	Intel Pentium 4, Xeon and compatibles	Red Hat Linux 9.0 RH Enterprise Linux 3.0	g77 3.2.2-5 or Intel Fortran 8.1.19 g77 3.2.3-24 or Intel Fortran 8.1.19	g++ 3.2.2-5 g++ 3.2.3-24
Intel & AMD x86 Windows	Intel Pentium 4, Xeon, and compatibles	Windows 2000, Windows XP Professional	Intel Fortran 8.1.28 Compaq Visual Fortran 6.6B	Visual Studio C++ .NET 2003
SGI MIPS IRIX	R5k, R8k, R10k, R12, R14k	IRIX 6.5.14	7.3.1.2m	7.3.1.2m
Sun UltraSPARC Solaris	UltraSPARC III- based systems	Solaris 8, 9, 10	Sun Studio 8, 9, 10	Sun Studio 8, 9, 10

Fig.9.1 Requerimientos de Software y Hardware de MSC Adams

Platform	Operating System	System Runtime Libraries	Validated Graphics Hardware
HP PA-RISC HP-UX	HP-UX 11, HP-UX 11i	X11-R5, CDE/Motif, OpenGL 1.1	fxe, fx10
HP Itanium2 HP-UX	HP-UX 11.23	X11-R6, CDE/Motif, OpenGL 1.1	ATI Fire GL4
IBM POWER AIX	AIX 5.1	OpenGL.OpenGL_X.rte.base 5.1	GXT3000, GXT4500P
Intel & AMD x86 Linux	Red Hat Linux 9.0, Enterprise Linux 3	X11, OpenGL 1.2 nVIDIA users should load the Linux Display Driver 1.0-5336	The MSC.ADAMS products have been developed in full compliance with the OpenGL 1.2 specification. The products should run properly with graphics cards that adhere to the 1.2 or later OpenGL specification.
Intel & AMD x86 Windows	Windows 2000, Windows XP Professional	OpenGL 1.2	The MSC.ADAMS products have been developed in full compliance with the OpenGL 1.2 specification. The products should run properly with graphics cards that adhere to the 1.2 or later OpenGL specification.
SGI MIPS IRIX	IRIX 6.5.14	X11/Motif, OpenGL	VPro Graphics systems
Sun UltraSPARC Solaris	Solaris 8 Solaris 9 Solaris 10	X11 (CDE), OpenGL 1.2 X11 (CDE), OpenGL 1.3 X11 (CDE), OpenGL 1.3	Expert 3D, XVR 1000

Fig.9.2 Requerimientos de nuestro procesador gráfico en MSC Adams

9.2.1.2 SolidWorks Products

Operating Systems	SOLIDWORKS 2015 (EDU 2015-2016)	SOLIDWORKS 2016 (EDU 2016-2017)	SOLIDWORKS 2017 (EDU 2017-2018)
Windows 10, 64-bit	✓ (2015 SP5)	✓	✓
Windows 8.1, 64-bit	✓	✓	✓
Windows 8.0, 64-bit	✓	✗	✗
Windows 7 SP1, 64-bit (only)	✓	✓	✓
Hardware			
RAM	8GB or more recommended		
Video Card	Certified cards and drivers		
Processor	Intel or AMD with SSE2 support. 64-bit operating system required		
Install Media	DVD Drive or Broadband Internet Connection		
Microsoft Products			
Internet Explorer	IE 9,10,11	IE 10,11	IE 11
Excel and Word	2010, 2013	2010, 2013, 2016 (SW2016 SP3)	2010, 2013, 2016
Other			
Anti-Virus	Supported Anti-Virus Products		
Network	Microsoft Windows networking. Novell networks and non-Windows network storage devices are not supported		
Virtual environments	Supported virtual environments		

Fig.9.3 Requerimientos de software y hardware de SolidWorks

9.2.1.3 Autodesk AutoCAD 2017

System requirements for AutoCAD 2017	
Operating System	<ul style="list-style-type: none"> Microsoft® Windows® 10 (desktop OS) Microsoft Windows 8.1 with Update KB2919355 Microsoft Windows 7 SP1
CPU Type	1 gigahertz (GHz) or faster 32-bit (x86) or 64-bit (x64) processor
Memory	<p>For 32-bit AutoCAD 2017:</p> <ul style="list-style-type: none"> 2 GB (3 GB recommended) <p>For 64-bit AutoCAD 2017:</p> <ul style="list-style-type: none"> 4 GB (8 GB recommended)
Display Resolution	<p>1360x768 (1600x1050 or higher recommended) with True Color. 125% Desktop Scaling (120 DPI) or less recommended.</p> <p>For AutoCAD 2017.1 Update:</p> <p>Conventional Displays: 1360x768 (1920x1080 recommended) with True Color</p> <p>High Resolution & 4K Displays: Resolutions up to 3840x2160 supported on Windows 10, 64 bit systems (with capable display card)</p>

Fig.9.4 Requerimientos de software y hardware de Autodesk AutoCAD (1).

Display Card	<p>Windows display adapter capable of 1360x768 with True Color capabilities and DirectX® 9⁺. DirectX 11 compliant card recommended.</p> <p>For AutoCAD 2017.1 Update:</p> <p>Windows display adapter capable of 1920x1080 with True Color capabilities and DirectX 9⁺. DirectX 11 compliant card recommended.</p> <p>High Resolution & 4K Displays:</p> <p>Windows display adapter capable of resolutions up to 3840x2160 and manufacturer-recommended for high resolution applications with True Color capabilities and DirectX 9⁺. DirectX 11 compliant card recommended.</p>
Disk Space	Installation 6.0 GB
Pointing Device	MS-Mouse compliant
Digitizer	WINTAB support
Media (DVD)	Download and installation from DVD
Browser	Windows Internet Explorer® 9.0 (or later)
.NET Framework	.NET Framework Version 4.6
ToolClips Media Player	Adobe Flash Player v10 or up
Network	<p>Deployment via Deployment Wizard.</p> <p>The license server and all workstations that will run applications dependent on network licensing must run TCP/IP protocol.</p> <p>Either Microsoft® or Novell TCP/IP protocol stacks are acceptable. Primary login on workstations may be Netware or Windows.</p> <p>In addition to operating systems supported for the application, the license server will run on the Windows Server® 2012, Windows Server 2012 R2, Windows Server 2008, Windows 2008 R2 Server editions.</p> <p>Citrix® XenApp™ 7.6, Citrix® XenDesktop™ 7.6.</p>

Fig.9.5 Requerimientos de software y hardware de Autodesk AutoCAD (2).

9.2.2 Condiciones generales

Son las condiciones a las cuales nos debemos ceñir para que el modelo tenga un correcto funcionamiento. Serían las siguientes:

- El tiempo de aceleración y frenado deben estar dentro de unos parámetros lo más cercanos posible al modelo real.
- El comportamiento de los subsistemas al realizar los diferentes ensayos debe ser lo más parecido posible al comportamiento real del vehículo al realizar el mismo ensayo.
- El motor debe tener unas curvas de funcionamiento aproximadas.
- La transmisión debe ser lo más parecida posible a la del vehículo original, es decir, las relaciones de las marchas deben ser similares a las reales.

El correcto cumplimiento de todas estas condiciones nos va a permitir que nuestro modelo funcione de forma similar al modelo real.

10. Bibliografía

10.1. Bibliografía

Técnicas del Automóvil: CHASIS (8ª Edición) Editorial: Paraninfo. Autor: Jose Manuel Alonso Perez

Mejora de un Seat 600 para competición. Autor: Francisco Marchante. Consultado el día 15 de junio de 2017. Enlace web: https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/10774/PFC_Francisco%20Marchante.pdf

¿Qué es el motor de un automóvil? Autor: Vatsal Bhatt. Consultado el día 25 de junio de 2017. Enlace web: <https://www.makingdifferent.com/automobile-engine-part-1/>

Ingeniería de vehículos: Sistema y cálculos (4ª Edición) Editorial: Tebar Flores. Autor: Manuel Cascajosa

Tratado sobre automóviles. Tomo IV: La dinámica del automóvil. Editorial: Universidad de Valencia. Autores: José Font Mezquita; Juan Fco. Dols Ruiz

Foro sobre el Seat 600. Consultado el día 6 de mayo de 2017. [Enlace web: http://seat600.mforos.com/](http://seat600.mforos.com/)

Tipos de motores. En Km77. Consultado el día 23 de mayo de 2017. Enlace web: <https://www.km77.com/tecnica/motor/hcci/t02.asp>

¿Cómo funciona un coche? En How a car Works. Consultado el día 3 de junio de 2017. Enlace web: <https://www.howacarworks.com/basics/how-the-steering-system-works>

10.2. Referencias

[1] Fábrica Seat situada en la zona Franca de Barcelona. En *Clasicosalvolante*. Recuperado el día 9 de mayo de 2017 del enlace web: <http://www.clasicosalvolante.es/seat-1500-alargado-1964/>

[2] Modelo CAD del vehículo Fiat/Seat 600. En Bibliocad. Recuperado el día 12 de mayo de 2017 del enlace web: http://www.bibliocad.com/biblioteca/fiat-600_26302

[3] Modelo CAD de motor 4 cilindros en línea. En *GrabCad*. Recuperado el día 12 de mayo de 2017 del enlace web: <https://grabcad.com/library/psa-tu1-engine-1-1-l-peugeot-206-1>

[4] Modelo de vehículo realizado en Adams car. En MSC Software. Recuperado el día 14 de mayo de 2017 del enlace web: <http://www.mscsoftware.com/product/adams-car>

- [5] Modelo del vehículo real Seat 600. En *Diario Motor*. Recuperado el día 16 de mayo de 2017 del enlace web: <http://www.diariomotor.com/noticia/seat-600-bms-regresa-el-mito-por-su-60-cumpleanos/>
- [6] Modelo monovolumen Seat Alhambra. En *Seat*. Recuperado el día 17 de mayo de 2017 del enlace web: <http://www.seat.es/content/countries/es/website/es/coches/alhambra>
- [7] Modelo dos volúmenes Seat León. En *Seat*. Recuperado el día 17 de mayo de 2017 del enlace web: <http://www.seat.es/coches/leon-5-puertas/disenio.html>
- [8] Modelo tricuerpo del Seat 124. En *Autobild*. Recuperado el día 17 de mayo de 2017 del enlace web: <http://www.autobild.es/reportajes/seat-124-un-se%C3%B1orito-potenciado>
- [9] Parte delantera (maletero) del Seat 600. En *Foro Transporteprofesional*. Recuperado el día 17 de mayo de 2017 del enlace web: <http://www.forotransporteprofesional.es/compra-un-seat-600-completamente-restaurado-desde-5-000-euros/>
- [10] Modelo AutoCAD 3D del Fiat 600. En *BiblioCAD*. Recuperado el día 23 de mayo de 2017 del enlace web: http://www.bibliocad.com/biblioteca/fiat-600_26302
- [11] Suspensión delantera del Seat 600. En *Mercado Racing*. Recuperado el día 24 de mayo de 2017 del enlace web: <http://www.mercadoracing.org/38/111960/kit-de-frenos-seat-600-850-abarth.html>
- [12] Plano de la suspensión trasera del Seat 600. En *Seat600 Foro*. Recuperado el día 26 de mayo de 2017 del enlace web: <http://seat600.mforos.com/>
- [13] Interior de la caja de dirección de tornillo sinfín. En *How a car works*. Recuperado el día 3 de junio de 2017: <https://www.howacarworks.com/basics/how-the-steering-system-works>
- [14] Esquema dirección basada en el sistema tornilla sinfín. En *How a car works*. Recuperado el día 3 de junio de 2017 del enlace web: <https://www.howacarworks.com/illustrations/the-steering-box-system>
- [15] Frenos de discos pertenecientes a un modelo de Seat 600. En *Mi 6cientos*. Recuperado el día 8 de junio de 2017 del enlace web: <https://mi6cientos.blogspot.com.es/2010/01/los-frenos-de-disco.html>
- [16] Imagen detallada de unos frenos de tambor. En *Homologar*. Recuperado el día 8 de junio de 2017 del enlace web: <http://www.homologar.com/spa/item/tuning-frenos.html>
- [17] Rueda de banda blanca perteneciente a un Seat 600. En *Seat600 Foro*. Recuperado el día 15 de junio de 2017 del enlace web: <http://seat600.mforos.com/586330/8240629-estrenando-bandas-blancas-en-las-cubiertas>
- [18] Estudios realizado a un Seat 600. En *Y clásicos*. Recuperado el día 26 de junio de 2017 del enlace web: <http://www.yclasicos.com/spa/item/ART25770.html>
- [19] Grafico de una prueba *ISO Lane Change* realizada a un vehículo. En *Vehico*. Recuperado el día 29 de junio de 2017 del enlace web: <http://www.vehico.com/index.php/en/applications/iso-lane-change-test>

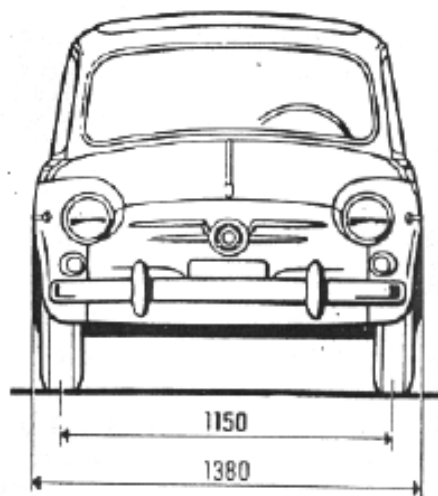
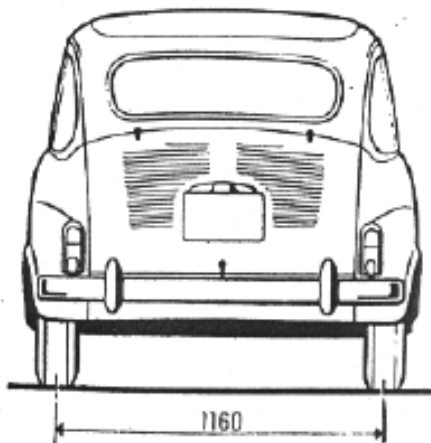
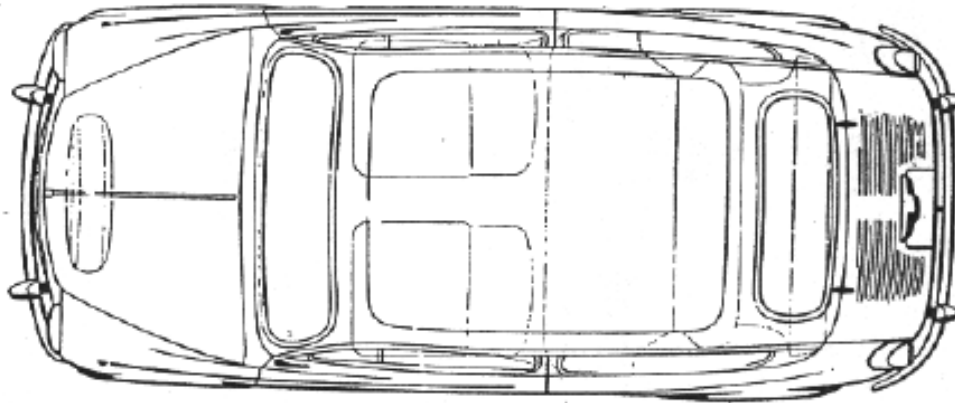
Anexo I: Característica técnicas del Fiat/Seat 600

DIMENSIONES

Longitud máxima, con parachoques	mm	3.295
Anchura máxima	"	1.380
Altura máxima a coche vacío	"	1.405

CARACTERÍSTICAS

Batalla	"	2.000
Via delantera	"	1.150
Via posterior	"	1.160
Radio mínimo de giro	"	4.350



Datos del vehículo Seat 600 facilitados en el "Manual de Reparación" oficial de Seat.

PESOS

Peso de coche dispuesto para la marcha: totalmente repostado.		
Incluido herramientas, rueda de repuesto y accesorios	Kg	600
Carga útil	»	330

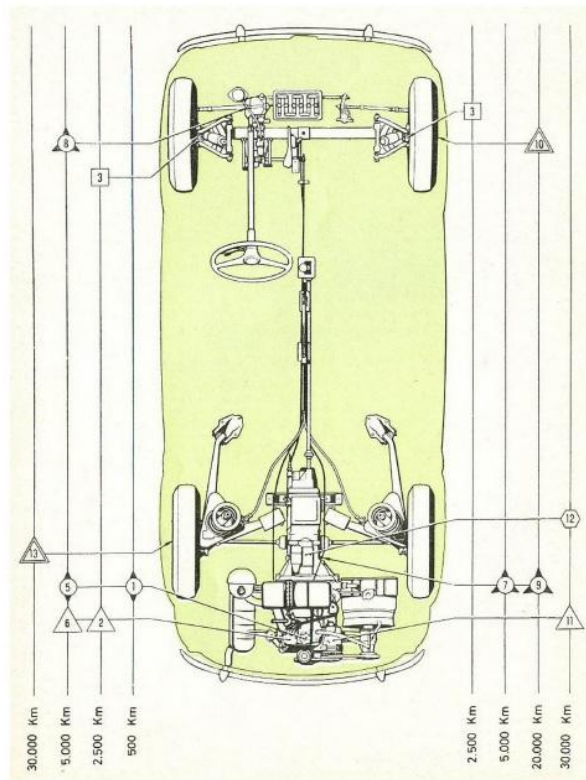
RENDIMIENTOS

Velocidad máxima a plena carga, sobre autopista, con motor rodado:		
En 1.ª velocidad	Km/h	30
En 2.ª »	»	45
En 3.ª »	»	70
En 4.ª »	»	110
En marcha atrás	»	25
Pendiente máxima superable a plena carga, con motor rodado:		
En 1.ª velocidad	%	30
En 2.ª »	»	17
En 3.ª »	»	10
En 4.ª »	»	6,5
En marcha atrás	»	36

CONSUMO

Por 100 Km en autopista a 65	Km/h	—
Por 100 » » a 75	»	6 l
Capacidad del depósito de gasolina		27 l
Radio medio de acción en carretera		400 Km

Pesos y datos del motor facilitados en el "Manual de Reparación" oficial de Seat.



Planta del modelo Seat 600 facilitado en el "Manual de Reparación" oficial de Seat.

Anexo II: Ficheros de los subsistemas

1. S600_Rear_Suspension

Info for subsystem: S600_Rear_Suspension

File Name : <private>/subsystems.tbl/S600_Rear_Suspension.sub
 Template : mdids://private/templates.tbl/_S600_REARSUSPENSIONFINAL.tpl
 Comments :
 Template : Simple Trailing Arm Rear Suspension
 Subsystem : *no subsystem comments found*
 Major Role : suspension
 Minor Role : rear

HARDPOINTS:

hardpoint name symmetry x_value y_value z_value

```
-----
subframe_fixed single 2386.5 0.0 -652.5
arm_inner_pivot left/right 2261.5 -80.0 -302.5
arm_outer_pivot left/right 1852.5 -455.0 -302.5
arm_strut_bushing left/right 2261.5 -430.0 -302.5
arm_strut_bushing_x left/right 2061.5 -280.0 -302.5
arm_strut_bushing_z left/right 2011.5 -330.0 -302.5
drive_shaft_inr left/right 2386.5 -200.0 -252.5
spring_lower_seat left/right 2261.5 -430.0 -302.5
spring_upper_seat left/right 2261.5 -405.0 -2.5
subframe_front left/right 1652.5 -355.0 -282.5
subframe_rear left/right 2436.5 -170.0 -302.5
top_mount left/right 2261.5 -405.0 -2.5
wheel_center left/right 2386.5 -580.0 -302.5
```

PARTS:

```
subframe
symmetry : single
mass : 50.0
sprung_percentage : 100.0
location : 0.0, 0.0, 0.0
orientation : zp_vector=0.0, 0.0, 1.0
: xp_vector=1.0, 0.0, 0.0
cm_location_from_part : 0.0, 0.0, 150.0
Ixx, Iyy, Izz : 1.0 , 1.0 , 1.0
Ixy, Ixz, Iyz : 0.0 , 0.0 , 0.0

arm
symmetry : left/right
mass : 5.357697727
sprung_percentage : 100.0
location (dependent) : 2386.5, -580.0, -302.5
orientation (dependent) : zp_vector=0.9736795699, -0.2279212476, 0.0
: xp_vector=0.2279212476, 0.9736795699, 0.0
cm_location_from_part : 145.3990551692, 0.0, -247.744295992
Ixx, Iyy, Izz : 8.4170301754E+04 , 1.5199501933E+05 , 6.7877361313E+04
Ixy, Ixz, Iyz : 0.0 , 0.0 , 0.0

arm arm geometry
name : arm
symmetry : left/right
```

thickness : 5.0

drive_shaft

symmetry : left/right

mass : 4.2174529406

sprung_percentage : 100.0

location (dependent) : 2386.5, -200.0, -252.5

orientation (dependent) : zp_vector=0.0, 0.9909924304, 0.133917896

: xp_vector=0.0, -0.133917896, 0.9909924304

cm_location_from_part : 0.0, 0.0, -365.6817014651

Ixx, Iyy, Izz : 1.6598906562E+05 , 1.6598906562E+05 , 692.8258536527

Ixy, Izx, Iyz : 0.0 , 0.0 , 0.0

drive_shaft link geometry

name : drive_shaft

symmetry : left/right

radius : 15.0

lower_strut

symmetry : left/right

mass : 3.032811081

sprung_percentage : 100.0

location (dependent) : 2261.5, -421.5, -200.5

orientation (dependent) : zp_vector=0.0, 8.3045479854E-02, 0.9965457582

: xp_vector=1.0, 0.0, 0.0

cm_location_from_part : 0.0, 0.0, 0.0

Ixx, Iyy, Izz : 1.0382070533E+04 , 1.0382070533E+04 , 947.7534628024

Ixy, Izx, Iyz : 0.0 , 0.0 , 0.0

spindle

symmetry : left/right

mass : 1.1028403931

sprung_percentage : 100.0

location (dependent) : 2386.5, -580.0, -302.5

orientation (dependent) : zp_vector=0.0, -1.0, 0.0

: xp_vector=1.0, 0.0, 0.0

cm_location_from_part : 0.0, 0.0, 15.0

Ixx, Iyy, Izz : 477.8975036678 , 477.8975036678 , 496.2781768857

Ixy, Izx, Iyz : 0.0 , 0.0 , 0.0

tripot

symmetry : left/right

mass : 1.9851127075

sprung_percentage : 100.0

location (dependent) : 2386.5, -200.0, -252.5

orientation (dependent) : zp_vector=0.0, 1.0, 0.0

: xp_vector=0.0, 0.0, -1.0

cm_location_from_part : 0.0, 0.0, 13.8888888889

Ixx, Iyy, Izz : 1101.8600905078 , 1101.8600905078 , 813.8962100926

Ixy, Izx, Iyz : 0.0 , 0.0 , 0.0

upper_strut

symmetry : left/right

mass : 4.3672479566

sprung_percentage : 100.0

location (dependent) : 2261.5, -413.25, -101.5

orientation (dependent) : zp_vector=0.0, 8.3045479854E-02, 0.9965457582

: xp_vector=1.0, 0.0, 0.0

cm_location_from_part : 0.0, 0.0, 0.0

Ixx, Iyy, Izz : 1.5250429864E+04 , 1.5250429864E+04 , 1965.2615804675

Ixy, Izx, Iyz : 0.0 , 0.0 , 0.0

BUSHINGS:

arm_inner_pivot
definition : .ACAR.attachments.ac_bushing
symmetry : left/right
orientation (dependent) : zp_vector=-0.7370793295, -0.6758062312, 0.0
: xp_vector=0.6758062312, -0.7370793295, 0.0
t preload x : 0.0
t preload y : 0.0
t preload z : 0.0
r preload x : 0.0
r preload y : 0.0
r preload z : 0.0
t offset x : 0.0
t offset y : 0.0
t offset z : 0.0
r offset x : 0.0
r offset y : 0.0
r offset z : 0.0
fx scaling factor : 1.0
fy scaling factor : 1.0
fz scaling factor : 1.0
tx scaling factor : 1.0
ty scaling factor : 1.0
tz scaling factor : 1.0
tx damping force scale : 1.0
ty damping force scale : 1.0
tz damping force scale : 1.0
rx damping force scale : 1.0
ry damping force scale : 1.0
rz damping force scale : 1.0
property file : mdids://acar_shared/bushings.tbl/mdi_0001.bus

arm_outer_pivot
definition : .ACAR.attachments.ac_bushing
symmetry : left/right
orientation (dependent) : zp_vector=0.7370793295, 0.6758062312, 0.0
: xp_vector=0.6758062312, -0.7370793295, 0.0
t preload x : 0.0
t preload y : 0.0
t preload z : 0.0
r preload x : 0.0
r preload y : 0.0
r preload z : 0.0
t offset x : 0.0
t offset y : 0.0
t offset z : 0.0
r offset x : 0.0
r offset y : 0.0
r offset z : 0.0
fx scaling factor : 1.0
fy scaling factor : 1.0
fz scaling factor : 1.0
tx scaling factor : 1.0
ty scaling factor : 1.0
tz scaling factor : 1.0
tx damping force scale : 1.0

ty damping force scale : 1.0
tz damping force scale : 1.0
rx damping force scale : 1.0
ry damping force scale : 1.0
rz damping force scale : 1.0
property file : mdids://acar_shared/bushings.tbl/mdi_0001.bus

hub_compliance
definition : .ACAR.attachments.ac_bushing
symmetry : left/right
orientation (dependent) : zp_vector=0.0, -1.0, 0.0
: xp_vector=1.0, 0.0, 0.0
t preload x : 0.0
t preload y : 0.0
t preload z : 0.0
r preload x : 0.0
r preload y : 0.0
r preload z : 0.0
t offset x : 0.0
t offset y : 0.0
t offset z : 0.0
r offset x : 0.0
r offset y : 0.0
r offset z : 0.0
fx scaling factor : 0.0
fy scaling factor : 0.0
fz scaling factor : 0.0
tx scaling factor : 1.0
ty scaling factor : 1.0
tz scaling factor : 0.0
tx damping force scale : 1.0
ty damping force scale : 1.0
tz damping force scale : 1.0
rx damping force scale : 1.0
ry damping force scale : 1.0
rz damping force scale : 1.0
property file : mdids://acar_shared/bushings.tbl/MDI_hub_compliance.bus

lwr_strut_to_arm
definition : .ACAR.attachments.ac_bushing
symmetry : left/right
orientation (dependent) : zp_vector=-0.9284766909, 0.3713906764, 0.0
: xp_vector=0.3713906764, 0.9284766909, 0.0
t preload x : 0.0
t preload y : 0.0
t preload z : 0.0
r preload x : 0.0
r preload y : 0.0
r preload z : 0.0
t offset x : 0.0
t offset y : 0.0
t offset z : 0.0
r offset x : 0.0
r offset y : 0.0
r offset z : 0.0
fx scaling factor : 1.0
fy scaling factor : 1.0
fz scaling factor : 1.0
tx scaling factor : 1.0
ty scaling factor : 1.0

tz scaling factor : 1.0
tx damping force scale : 1.0
ty damping force scale : 1.0
tz damping force scale : 1.0
rx damping force scale : 1.0
ry damping force scale : 1.0
rz damping force scale : 1.0
property file : mdids://acar_shared/bushings.tbl/mdi_0001.bus

subframe_front
definition : .ACAR.attachments.ac_bushing
symmetry : left/right
orientation : zp_vector=0.0, 0.0, 1.0
: xp_vector=1.0, 0.0, 0.0
t preload x : 0.0
t preload y : 0.0
t preload z : 0.0
r preload x : 0.0
r preload y : 0.0
r preload z : 0.0
t offset x : 0.0
t offset y : 0.0
t offset z : 0.0
r offset x : 0.0
r offset y : 0.0
r offset z : 0.0
fx scaling factor : 1.0
fy scaling factor : 1.0
fz scaling factor : 1.0
tx scaling factor : 1.0
ty scaling factor : 1.0
tz scaling factor : 1.0
tx damping force scale : 1.0
ty damping force scale : 1.0
tz damping force scale : 1.0
rx damping force scale : 1.0
ry damping force scale : 1.0
rz damping force scale : 1.0
property file : mdids://acar_shared/bushings.tbl/mdi_0001.bus

subframe_rear
definition : .ACAR.attachments.ac_bushing
symmetry : left/right
orientation : zp_vector=0.0, 0.0, 1.0
: xp_vector=1.0, 0.0, 0.0
t preload x : 0.0
t preload y : 0.0
t preload z : 0.0
r preload x : 0.0
r preload y : 0.0
r preload z : 0.0
t offset x : 0.0
t offset y : 0.0
t offset z : 0.0
r offset x : 0.0
r offset y : 0.0
r offset z : 0.0
fx scaling factor : 1.0
fy scaling factor : 1.0
fz scaling factor : 1.0

tx scaling factor : 1.0
ty scaling factor : 1.0
tz scaling factor : 1.0
tx damping force scale : 1.0
ty damping force scale : 1.0
tz damping force scale : 1.0
rx damping force scale : 1.0
ry damping force scale : 1.0
rz damping force scale : 1.0
property file : mdids://acar_shared/bushings.tbl/mdi_0001.bus

upr_strut_to_body
definition : .ACAR.attachments.ac_bushing
symmetry : left/right
orientation : zp_vector=0.0, 0.0, 1.0
: xp_vector=1.0, 0.0, 0.0
t preload x : 0.0
t preload y : 0.0
t preload z : 0.0
r preload x : 0.0
r preload y : 0.0
r preload z : 0.0
t offset x : 0.0
t offset y : 0.0
t offset z : 0.0
r offset x : 0.0
r offset y : 0.0
r offset z : 0.0
fx scaling factor : 1.0
fy scaling factor : 1.0
fz scaling factor : 1.0
tx scaling factor : 1.0
ty scaling factor : 1.0
tz scaling factor : 1.0
tx damping force scale : 1.0
ty damping force scale : 1.0
tz damping force scale : 1.0
rx damping force scale : 1.0
ry damping force scale : 1.0
rz damping force scale : 1.0
property file : mdids://acar_shared/bushings.tbl/mdi_0001.bus

NSPRINGS:
ride_spring
definition : .ACAR.forces.ac_spring
symmetry : left/right
property file : mdids://private/springs.tbl/REAR_SUSP_600.spr
value type : 'installed_length'
user value : 331.8885355055

DAMPERS:
ride_damper
definition : .ACAR.forces.ac_damper
symmetry : left/right
property file : mdids://acar_shared/dampers.tbl/mdi_0001.dpr

BUMPSTOPS:

jounce_bumper
definition : .ACAR.forces.ac_bumpstop
symmetry : left/right
property file : mdids://acar_shared/bumpstops.tbl/mdi_0001.bum
distance type : 'clearance'
user distance : 280.9456148675

REBOUNDSTOPS:

reboundstop_bumper
definition : .ACAR.forces.ac_reboundstop
symmetry : left/right
property file : mdids://acar_shared/reboundstops.tbl/mdi_0001.reb
distance type : 'clearance'
user distance : 0.9456148675

PARAMETERS:

parameter name symmetry type value

driveline_active single integer 1
kinematic_flag single integer 0
hub_compliance_active single integer 0
hub_compliance_offset single real 0.0
camber_angle left/right real 0.0
drive_shaft_offset left/right real 10.0
toe_angle left/right real 0.0

2. S600_Front_Suspension

Info for subsystem: S600_Front_Suspension

File Name : <private>/subsystems.tbl/S600_Front_Suspension.sub
Template : mdids://private/templates.tbl/_FIAT600_Front_Suspension.tpl
Comments :
Template : Simple Double Wishbone Suspension
Subsystem : *no subsystem comments found*
Major Role : suspension
Minor Role : front

HARDPOINTS:

hardpoint name symmetry x_value y_value z_value

lca_front left/right 223.5 -274.0 -372.0
lca_outer left/right 283.5 -500.0 -372.0

lca_rear left/right 343.5 -274.0 -372.0
lwr_strut_mount left/right 283.5 -404.0 -327.0
subframe_front left/right -116.5 -225.0 -372.0
subframe_rear left/right 683.5 -225.0 -372.0
tierod_inner left/right 500.0 -254.0 -287.0
tierod_outer left/right 500.0 -450.0 -287.0
top_mount left/right 283.5 -371.5 33.0
uca_front left/right 193.5 -354.0 -202.0
uca_outer left/right 283.5 -500.0 -202.0
uca_rear left/right 373.5 -354.0 -202.0
wheel_center left/right 283.5 -575.0 -287.0

PARTS:

subframe

symmetry : single

mass : 50.0

sprung_percentage : 100.0

location : 283.5, 0.0, -587.0

orientation : zp_vector=0.0, 0.0, 1.0

: xp_vector=1.0, 0.0, 0.0

cm_location_from_part : 0.0, 0.0, 150.0

Ixx, Iyy, Izz : 1.0 , 1.0 , 1.0

Ixy, Izx, Iyz : 0.0 , 0.0 , 0.0

lower_control_arm

symmetry : left/right

mass : 6.5574254873

sprung_percentage : 100.0

location (dependent) : 283.5, -349.3333333333, -372.0

orientation (dependent) : zp_vector=0.0, -1.0, 0.0

: xp_vector=-1.0, 0.0, 0.0

cm_location_from_part : 5.382811275, 0.0, 54.215675626

Ixx, Iyy, Izz : 7.1240657504E+04 , 1.7168805784E+05 , 1.0195888543E+05

Ixy, Izx, Iyz : 0.0 , -1.443881923E+04 , 0.0

lower_control_arm link geometry

name : lca_damper_mount_1

symmetry : left/right

radius : 10.0

lower_control_arm link geometry

name : lca_damper_mount_2

symmetry : left/right

radius : 10.0

lower_control_arm link geometry

name : lca_front

symmetry : left/right

radius : 15.0

lower_control_arm link geometry

name : lca_rear

symmetry : left/right

radius : 15.0

lower_control_arm2

symmetry : left/right

mass : 1.0

sprung_percentage : 100.0

location (dependent) : 283.5, -500.0, -372.0
orientation (dependent) : zp_vector=0.0, 1.0, 0.0
: xp_vector=1.0, 0.0, 0.0
cm_location_from_part : 0.0, 0.0, 0.0
Ixx, Iyy, Izz : 100.0 , 100.0 , 100.0
Ixy, Izx, Iyz : 0.0 , 0.0 , 0.0

lower_strut
symmetry : left/right
mass : 5.0
sprung_percentage : 100.0
location (dependent) : 283.5, -393.275, -208.2
orientation (dependent) : zp_vector=0.0, 8.9912125907E-02, 0.9959497024
: xp_vector=1.0, 0.0, 0.0
cm_location_from_part : 0.0, 0.0, 0.0
Ixx, Iyy, Izz : 1.0 , 1.0 , 1.0
Ixy, Izx, Iyz : 0.0 , 0.0 , 0.0

spindle
symmetry : left/right
mass : 1.1028403931
sprung_percentage : 100.0
location (dependent) : 283.5, -575.0, -287.0
orientation (dependent) : zp_vector=0.0, -1.0, 0.0
: xp_vector=1.0, 0.0, 0.0
cm_location_from_part : 0.0, 0.0, 15.0
Ixx, Iyy, Izz : 477.8975036678 , 477.8975036678 , 496.2781768857
Ixy, Izx, Iyz : 0.0 , 0.0 , 0.0

tierod_inner
symmetry : left/right
mass : 1.0
sprung_percentage : 100.0
location (dependent) : 500.0, -352.0, -287.0
orientation (dependent) : zp_vector=0.0, -1.0, 0.0
: xp_vector=1.0, 0.0, 0.0
cm_location_from_part : 0.0, 0.0, 0.0
Ixx, Iyy, Izz : 1.0 , 1.0 , 1.0
Ixy, Izx, Iyz : 0.0 , 0.0 , 0.0

tierod_inner link geometry
name : tierod_inner
symmetry : left/right
radius : 12.0

tierod_outer
symmetry : left/right
mass : 1.0
sprung_percentage : 100.0
location (dependent) : 500.0, -352.0, -287.0
orientation (dependent) : zp_vector=0.0, -1.0, 0.0
: xp_vector=1.0, 0.0, 0.0
cm_location_from_part : 0.0, 0.0, 0.0
Ixx, Iyy, Izz : 1.0 , 1.0 , 1.0
Ixy, Izx, Iyz : 0.0 , 0.0 , 0.0

tierod_outer link geometry
name : tierod_outer
symmetry : left/right
radius : 10.0

upper_control_arm
symmetry : left/right
mass : 4.639404499
sprung_percentage : 100.0
location (dependent) : 283.5, -402.6666666667, -202.0
orientation (dependent) : zp_vector=0.0, -1.0, 0.0
: xp_vector=-1.0, 0.0, 0.0
cm_location_from_part : -2.2372176837, 0.0, 25.010316486
Ixx, Iyy, Izz : 2.4198898999E+04 , 3.1232703251E+04 , 7386.3617899892
Ixy, Ixz, Iyz : 1.0505055558E-11 , 2611.8081055757 , 2.3246441849E-11

upper_control_arm link geometry
name : uca_front
symmetry : left/right
radius : 15.0

upper_control_arm link geometry
name : uca_rear
symmetry : left/right
radius : 15.0

upper_strut
symmetry : left/right
mass : 5.0
sprung_percentage : 100.0
location (dependent) : 283.5, -382.55, -89.4
orientation (dependent) : zp_vector=0.0, 8.9912125907E-02, 0.9959497024
: xp_vector=1.0, 0.0, 0.0
cm_location_from_part : 0.0, 0.0, 0.0
Ixx, Iyy, Izz : 1.0 , 1.0 , 1.0
Ixy, Ixz, Iyz : 0.0 , 0.0 , 0.0

upright
symmetry : left/right
mass : 3.6382197927
sprung_percentage : 100.0
location (dependent) : 283.5, -575.0, -287.0
orientation : zp_vector=0.0, 0.0, 1.0
: xp_vector=1.0, 0.0, 0.0
cm_location_from_part : 24.7110210574, 50.4417588916, 11.696029659
Ixx, Iyy, Izz : 4.0802739044E+04 , 4.230634705E+04 , 8340.06541588
Ixy, Ixz, Iyz : 0.0 , 0.0 , 0.0

upright link geometry
name : upright_lwr
symmetry : left/right
radius : 15.0

upright link geometry
name : upright_steer_arm
symmetry : left/right
radius : 15.0

upright link geometry
name : upright_upr
symmetry : left/right
radius : 15.0

SWITCH PARTS:

ARB_pickup
symmetry : left/right
switched to : upright (general part)
part list : upright (general part)
: lower_control_arm (general part)

BUSHINGS:

hub_compliance
definition : .ACAR.attachments.ac_bushing
symmetry : left/right
orientation (dependent) : zp_vector=0.0, -1.0, 0.0
: xp_vector=1.0, 0.0, 0.0
t preload x : 0.0
t preload y : 0.0
t preload z : 0.0
r preload x : 0.0
r preload y : 0.0
r preload z : 0.0
t offset x : 0.0
t offset y : 0.0
t offset z : 0.0
r offset x : 0.0
r offset y : 0.0
r offset z : 0.0
fx scaling factor : 0.0
fy scaling factor : 0.0
fz scaling factor : 0.0
tx scaling factor : 1.0
ty scaling factor : 1.0
tz scaling factor : 0.0
tx damping force scale : 1.0
ty damping force scale : 1.0
tz damping force scale : 1.0
rx damping force scale : 1.0
ry damping force scale : 1.0
rz damping force scale : 1.0
property file : mdids://acar_shared/bushings.tbl/MDI_hub_compliance.bus

subframe_front
definition : .ACAR.attachments.ac_bushing
symmetry : left/right
orientation : zp_vector=0.0, 0.0, 1.0
: xp_vector=1.0, 0.0, 0.0
t preload x : 0.0
t preload y : 0.0
t preload z : 0.0
r preload x : 0.0
r preload y : 0.0
r preload z : 0.0
t offset x : 0.0
t offset y : 0.0
t offset z : 0.0
r offset x : 0.0
r offset y : 0.0
r offset z : 0.0
fx scaling factor : 1.0

fy scaling factor : 1.0
fz scaling factor : 1.0
tx scaling factor : 1.0
ty scaling factor : 1.0
tz scaling factor : 1.0
tx damping force scale : 1.0
ty damping force scale : 1.0
tz damping force scale : 1.0
rx damping force scale : 1.0
ry damping force scale : 1.0
rz damping force scale : 1.0
property file : mdids://acar_shared/bushings.tbl/mdi_0004.bus

subframe_rear
definition : .ACAR.attachments.ac_bushing
symmetry : left/right
orientation : zp_vector=0.0, 0.0, 1.0
: xp_vector=1.0, 0.0, 0.0
t preload x : 0.0
t preload y : 0.0
t preload z : 0.0
r preload x : 0.0
r preload y : 0.0
r preload z : 0.0
t offset x : 0.0
t offset y : 0.0
t offset z : 0.0
r offset x : 0.0
r offset y : 0.0
r offset z : 0.0
fx scaling factor : 1.0
fy scaling factor : 1.0
fz scaling factor : 1.0
tx scaling factor : 1.0
ty scaling factor : 1.0
tz scaling factor : 1.0
tx damping force scale : 1.0
ty damping force scale : 1.0
tz damping force scale : 1.0
rx damping force scale : 1.0
ry damping force scale : 1.0
rz damping force scale : 1.0
property file : mdids://acar_shared/bushings.tbl/mdi_0004.bus

lca_front
definition : .ACAR.attachments.ac_bushing
symmetry : left/right
orientation (dependent) : zp_vector=1.0, 0.0, 0.0
: xp_vector=0.0, 0.0, -1.0
t preload x : 0.0
t preload y : 0.0
t preload z : 0.0
r preload x : 0.0
r preload y : 0.0
r preload z : 0.0
t offset x : 0.0
t offset y : 0.0
t offset z : 0.0
r offset x : 0.0
r offset y : 0.0

r offset z : 0.0
fx scaling factor : 1.0
fy scaling factor : 1.0
fz scaling factor : 1.0
tx scaling factor : 1.0
ty scaling factor : 1.0
tz scaling factor : 1.0
tx damping force scale : 1.0
ty damping force scale : 1.0
tz damping force scale : 1.0
rx damping force scale : 1.0
ry damping force scale : 1.0
rz damping force scale : 1.0
property file : mdids://acar_shared/bushings.tbl/mdi_0001.bus

lca_rear
definition : .ACAR.attachments.ac_bushing
symmetry : left/right
orientation (dependent) : zp_vector=1.0, 0.0, 0.0
: xp_vector=0.0, 0.0, -1.0
t preload x : 0.0
t preload y : 0.0
t preload z : 0.0
r preload x : 0.0
r preload y : 0.0
r preload z : 0.0
t offset x : 0.0
t offset y : 0.0
t offset z : 0.0
r offset x : 0.0
r offset y : 0.0
r offset z : 0.0
fx scaling factor : 1.0
fy scaling factor : 1.0
fz scaling factor : 1.0
tx scaling factor : 1.0
ty scaling factor : 1.0
tz scaling factor : 1.0
tx damping force scale : 1.0
ty damping force scale : 1.0
tz damping force scale : 1.0
rx damping force scale : 1.0
ry damping force scale : 1.0
rz damping force scale : 1.0
property file : mdids://acar_shared/bushings.tbl/mdi_0001.bus

lwr_strut
definition : .ACAR.attachments.ac_bushing
symmetry : left/right
orientation (dependent) : zp_vector=1.0, 0.0, 0.0
: xp_vector=0.0, 0.0, -1.0
t preload x : 0.0
t preload y : 0.0
t preload z : 0.0
r preload x : 0.0
r preload y : 0.0
r preload z : 0.0
t offset x : 0.0
t offset y : 0.0
t offset z : 0.0

r offset x : 0.0
r offset y : 0.0
r offset z : 0.0
fx scaling factor : 1.0
fy scaling factor : 1.0
fz scaling factor : 1.0
tx scaling factor : 1.0
ty scaling factor : 1.0
tz scaling factor : 1.0
tx damping force scale : 1.0
ty damping force scale : 1.0
tz damping force scale : 1.0
rx damping force scale : 1.0
ry damping force scale : 1.0
rz damping force scale : 1.0
property file : mdids://acar_shared/bushings.tbl/mdi_0004.bus

top_mount
definition : .ACAR.attachments.ac_bushing
symmetry : left/right
orientation : zp_vector=0.0, 0.0, 1.0
: xp_vector=1.0, 0.0, 0.0
t preload x : 0.0
t preload y : 0.0
t preload z : 0.0
r preload x : 0.0
r preload y : 0.0
r preload z : 0.0
t offset x : 0.0
t offset y : 0.0
t offset z : 0.0
r offset x : 0.0
r offset y : 0.0
r offset z : 0.0
fx scaling factor : 1.0
fy scaling factor : 1.0
fz scaling factor : 1.0
tx scaling factor : 1.0
ty scaling factor : 1.0
tz scaling factor : 1.0
tx damping force scale : 1.0
ty damping force scale : 1.0
tz damping force scale : 1.0
rx damping force scale : 1.0
ry damping force scale : 1.0
rz damping force scale : 1.0
property file : mdids://acar_shared/bushings.tbl/mdi_0004.bus

uca_front
definition : .ACAR.attachments.ac_bushing
symmetry : left/right
orientation (dependent) : zp_vector=1.0, 0.0, 0.0
: xp_vector=0.0, 0.0, -1.0
t preload x : 0.0
t preload y : 0.0
t preload z : 0.0
r preload x : 0.0
r preload y : 0.0
r preload z : 0.0
t offset x : 0.0

t offset y : 0.0
t offset z : 0.0
r offset x : 0.0
r offset y : 0.0
r offset z : 0.0
fx scaling factor : 1.0
fy scaling factor : 1.0
fz scaling factor : 1.0
tx scaling factor : 1.0
ty scaling factor : 1.0
tz scaling factor : 1.0
tx damping force scale : 1.0
ty damping force scale : 1.0
tz damping force scale : 1.0
rx damping force scale : 1.0
ry damping force scale : 1.0
rz damping force scale : 1.0
property file : mdids://acar_shared/bushings.tbl/mdi_0004.bus

uca_rear
definition : .ACAR.attachments.ac_bushing
symmetry : left/right
orientation (dependent) : zp_vector=-1.0, 0.0, 0.0
: xp_vector=0.0, 0.0, 1.0
t preload x : 0.0
t preload y : 0.0
t preload z : 0.0
r preload x : 0.0
r preload y : 0.0
r preload z : 0.0
t offset x : 0.0
t offset y : 0.0
t offset z : 0.0
r offset x : 0.0
r offset y : 0.0
r offset z : 0.0
fx scaling factor : 1.0
fy scaling factor : 1.0
fz scaling factor : 1.0
tx scaling factor : 1.0
ty scaling factor : 1.0
tz scaling factor : 1.0
tx damping force scale : 1.0
ty damping force scale : 1.0
tz damping force scale : 1.0
rx damping force scale : 1.0
ry damping force scale : 1.0
rz damping force scale : 1.0
property file : mdids://acar_shared/bushings.tbl/mdi_0004.bus

NSPRINGS:
ride_spring
definition : .ACAR.forces.ac_spring
symmetry : left/right
property file : mdids://private/springs.tbl/Front_SUSP_600.spr
value type : 'installed_length'
user value : 180.7320184693

DAMPERS:

ride_damper
definition : .ACAR.forces.ac_damper
symmetry : left/right
property file : mdids://private/dampers.tbl/FRONT_SUSPENSION_600.dpr

BUMPSTOPS:

jounce_stop
definition : .ACAR.forces.ac_bumpstop
symmetry : left/right
property file : mdids://acar_shared/bumpstops.tbl/mdi_0001.bum
distance type : 'clearance'
user distance : 200.0

ADJUSTABLE FORCES:

camber_adjuster
definition : .ACAR.forces.ac_aforce
symmetry : left/right
pattern : 0,1,1
desired value : 0.0
stiffness : 1.00E+06
damping : 20000.0
lock : 1
motion delta : 0.0

toe_adjuster
definition : .ACAR.forces.ac_aforce
symmetry : left/right
pattern : 1,0,1
desired value : -0.5
stiffness : 1.00E+06
damping : 20000.0
lock : 1
motion delta : 0.0

PARAMETERS:

parameter name	symmetry	type	value
driveline_active	single	integer	1
kinematic_flag	single	integer	0
hub_compliance_active	single	integer	0
hub_compliance_offset	single	real	0.0
subframe_active	single	integer	1
camber_angle	left/right	real	0.0
drive_shaft_offset	left/right	real	75.0
toe_angle	left/right	real	0.0

3. S600_Steering

Info for subsystem: S600_Steering

File Name : <private>/subsystems.tbl/S600_Steering.sub
 Template : mdids://private/templates.tbl/_FIAT600_Steering.tpl
 Comments :
 Template : Simple Rack and Pinion Steering System
 Subsystem : *no subsystem comments found*
 Major Role : steering
 Minor Role : front

HARDPOINTS:

hardpoint name	symmetry	x_value	y_value	z_value
input_shaft_forward	single	650.0	-154.0	-187.0
intermediate_shaft_forward	single	750.0	-154.0	-87.0
intermediate_shaft_rearward	single	900.0	-154.0	13.0
steering_wheel_center	single	1200.0	-154.0	113.0
arm_forward	left/right	575.0	-179.0	-287.0
arm_rearward	left/right	675.0	-179.0	-287.0
arm_upper	left/right	675.0	-179.0	-187.0
tierod_inner	left/right	500.0	-221.0	-287.0

PARTS:

ball_screw
 symmetry : single
 mass : 0.2773500981
 sprung_percentage : 100.0
 location (dependent) : 632.3223304703, -154.0, -204.6776695297
 orientation (dependent) : zp_vector=0.7071067812, 0.0, 0.7071067812
 : xp_vector=0.7071067812, 0.0, -0.7071067812
 cm_location_from_part : 0.0, 0.0, 0.0
 Ixx, Iyy, Izz : 73.4750121788 , 73.4750121788 , 31.387483477
 Ixy, Izx, Iyz : 0.0 , 0.0 , 0.0

ball_screw link geometry
 name : ball_screw
 symmetry : single
 radius : 15.0

center_link
 symmetry : single
 mass : 3.424590723
 sprung_percentage : 100.0
 location : 300.0, 0.0, -587.0
 orientation : zp_vector=0.0, 0.0, 1.0
 : xp_vector=1.0, 0.0, 0.0
 cm_location_from_part : 265.8180179114, -1.5880520905, 300.0
 Ixx, Iyy, Izz : 2.0295542263E+05 , 1541.6943209038 , 2.0422202042E+05
 Ixy, Izx, Iyz : -49.9355526823 , -5.5511151231E-11 , 1.4094628242E-11

center_link link geometry
 name : center_link_middle
 symmetry : single
 radius : 12.7

center_link link geometry
name : center_link_outer
symmetry : single
radius : 12.7

center_link link geometry
name : center_link_right
symmetry : single
radius : 12.7

column_housing
symmetry : single
mass : 3.3120099232
sprung_percentage : 100.0
location (dependent) : 1050.0, -154.0, 63.0
orientation (dependent) : zp_vector=0.9486832981, 0.0, 0.316227766
: xp_vector=0.316227766, 0.0, -0.9486832981
cm_location_from_part : 0.0, 0.0, 0.0
Ixx, Iyy, Izz : 1.3421767529E+04 , 1.3421767529E+04 , 1035.0031009926
Ixy, Izx, Iyz : 0.0 , 0.0 , 0.0

input_shaft
symmetry : single
mass : 0.7844645406
sprung_percentage : 100.0
location (dependent) : 700.0, -154.0, -137.0
orientation (dependent) : zp_vector=0.7071067812, 0.0, 0.7071067812
: xp_vector=0.7071067812, 0.0, -0.7071067812
cm_location_from_part : 0.0, 0.0, 0.0
Ixx, Iyy, Izz : 1351.8295057462 , 1351.8295057462 , 88.7772096439
Ixy, Izx, Iyz : 0.0 , 0.0 , 0.0

input_shaft link geometry
name : input_shaft
symmetry : single
radius : 15.0445459276

intermediate_shaft
symmetry : single
mass : 1.0
sprung_percentage : 100.0
location (dependent) : 825.0, -154.0, -37.0
orientation (dependent) : zp_vector=0.8320502943, 0.0, 0.5547001962
: xp_vector=0.5547001962, 0.0, -0.8320502943
cm_location_from_part : 0.0, 0.0, 0.0
Ixx, Iyy, Izz : 2764.9179238818 , 2764.9179238818 , 113.1691810841
Ixy, Izx, Iyz : 0.0 , 0.0 , 0.0

intermediate_shaft link geometry
name : intermediate_shaft
symmetry : single
radius : 15.0445459276

rack
symmetry : single
mass : 0.3970225415
sprung_percentage : 100.0
location (dependent) : 632.3223304703, -154.0, -204.6776695297
orientation (dependent) : zp_vector=0.7071067812, 0.0, 0.7071067812
: xp_vector=0.7071067812, 0.0, -0.7071067812

cm_location_from_part : 0.0, 0.0, 0.0
Ixx, Iyy, Izz : 114.8718553432 , 114.8718553432 , 64.3176517244
Ixy, Izx, Iyz : 0.0 , 0.0 , 0.0

rack link geometry

name : rack
symmetry : single
radius : 18.0

steering_column

symmetry : single
mass : 1.7374889711
sprung_percentage : 100.0
location (dependent) : 1050.0, -154.0, 63.0
orientation (dependent) : zp_vector=-0.9486832981, 0.0, -0.316227766
: xp_vector=-0.316227766, 0.0, 0.9486832981
cm_location_from_part : 0.0, 0.0, 0.0
Ixx, Iyy, Izz : 1.4576457943E+04 , 1.4576457943E+04 , 194.766368528
Ixy, Izx, Iyz : 0.0 , 0.0 , 0.0

steering_column link geometry

name : steering_column
symmetry : single
radius : 14.9730733795

steering_gear_housing

symmetry : single
mass : 1.0
sprung_percentage : 100.0
location : 300.0, 0.0, -587.0
orientation : zp_vector=0.0, 0.0, 1.0
: xp_vector=1.0, 0.0, 0.0
cm_location_from_part : 0.0, 0.0, 0.0
Ixx, Iyy, Izz : 1.0 , 1.0 , 1.0
Ixy, Izx, Iyz : 0.0 , 0.0 , 0.0

steering_wheel

symmetry : single
mass : 2.1500262923
sprung_percentage : 100.0
location (dependent) : 1200.0, -154.0, 113.0
orientation (dependent) : zp_vector=-0.9486832981, 0.0, -0.316227766
: xp_vector=-0.316227766, 0.0, 0.9486832981
cm_location_from_part : 0.0, 0.0, 0.5768768867
Ixx, Iyy, Izz : 2.5892147854E+04 , 2.5892147854E+04 , 5.1629176982E+04
Ixy, Izx, Iyz : 0.0 , 0.0 , 0.0

arm

symmetry : left/right
mass : 1.6542605896
sprung_percentage : 100.0
location (dependent) : 641.6666666667, -179.0, -253.6666666667
orientation : zp_vector=0.0, 0.0, 1.0
: xp_vector=1.0, 0.0, 0.0
cm_location_from_part : 16.6666666667, 0.0, 16.6666666667
Ixx, Iyy, Izz : 3462.459317439 , 4809.9924227329 , 1719.7417379582
Ixy, Izx, Iyz : 0.0 , 1378.5504913493 , 0.0

arm link geometry

name : arm

symmetry : left/right
radius : 12.7

arm link geometry
name : pivot_shaft
symmetry : left/right
radius : 12.7

SWITCH PARTS:

steering_gear_mount
symmetry : left/right
switched to : steering_gear_to_body (mount part)
part list : steering_gear_to_body (mount part)
: steering_gear_to_suspension_subframe (mount part)

GEARS:

ball_screw_input_shaft_lock
symmetry : single
reduction ratio : 1.0
invert input : no

ball_screw_rack
symmetry : single
reduction ratio : 0.4947390006
invert input : yes

pitman_arm_rack
symmetry : single
reduction ratio : 3.09211875E-02
invert input : yes

steering_wheel_column_lock
symmetry : single
reduction ratio : 1.0
invert input : no

GENERAL SPLINES:

steering_assist
symmetry : single
type : 'two_dimensional'
property file : mdids://acar_shared/steering_assists.tbl/mdi_steer_assist.ste
curve_name : 'steering_assist'

torsion_bar
symmetry : single
type : 'two_dimensional'
property file : mdids://acar_shared/steering_assists.tbl/mdi_steer_assist.ste
curve_name : 'torsion_bar'

GENERAL PARAMETERS:

rack_piston_area
symmetry : single

property file : mdids://acar_shared/steering_assists.tbl/mdi_steer_assist.ste
 data block : 'steering_assist'
 attribute : 'piston_area'

PARAMETERS:

parameter name symmetry type value

 kinematic_flag single integer 0
 steering_assist_active single integer 0
 max_rack_displacement single real 50.0
 max_rack_force single real 750.0
 max_steering_angle single real 720.0
 max_steering_torque single real 750.0

4. S600_Body

Info for subsystem: S600_Body

File Name : <private>/subsystems.tbl/S600_Body.sub
 Template : mdids://private/templates.tbl/_ChasisFinal600.tpl
 Comments :
 Template : Simple One Part Rigid Chassis
 Subsystem : *no subsystem comments found*
 Major Role : body
 Minor Role : any

HARDPOINTS:

hardpoint name symmetry x_value y_value z_value

 chassis_graphics single 0.0 1532.5 1200.0
 path_reference single 0.0 0.0 0.0
 trim_dummy single 1452.643 0.0 356.0795
 bedplate_front_loc left/right 709.5 -680.5 -326.0
 bedplate_rear_loc left/right 1775.2 -682.0 -311.0
 front_wheel_center left/right 283.5 -575.0 -287.0
 rear_wheel_center left/right 2386.5 -580.0 -302.5

PARTS:

chassis
 symmetry : single
 mass : 530.0
 sprung_percentage : 100.0
 sprung_location : any
 location : 0.0, 0.0, 0.0
 orientation : zp_vector=0.0, 0.0, 1.0
 : xp_vector=1.0, 0.0, 0.0
 cm_location_from_part : 1452.643, 0.0, 6.0795
 Ixx, Iyy, Izz : 1.35818E+08 , 5.31226E+08 , 5.636296042E+08
 Ixy, Iyz, Ixz : 0.0 , 0.0 , 0.0

trim_mass
 symmetry : single
 mass : 0.0
 sprung_percentage : 100.0
 location (dependent) : 1452.643, 0.0, 356.0795

orientation : zp_vector=0.0, 0.0, 1.0
 : xp_vector=1.0, 0.0, 0.0
 cm_location_from_part : 0.0, 0.0, 0.0
 Ixx, Iyy, Izz : 0.0 , 0.0 , 0.0
 Ixy, Izx, Iyz : 0.0 , 0.0 , 0.0

PARAMETERS:

parameter name symmetry type value

 kinematic_flag single integer 0
 aero_drag_active single integer 1
 aero_frontal_area single real 1.80E+06
 air_density single real 1.22E-09
 drag_coefficient single real 0.36
 graphics_choice single integer 1

5. S600_Powertrain

Info for subsystem: S600_Powertrain

File Name : <private>/subsystems.tbl/S600_Powertrain.sub
 Template : mdids://private/templates.tbl/_S600_Powertrain.tpl
 Comments :
 Template : Example of a non-spinning powertrain
 Subsystem : *no subsystem comments found*
 Major Role : powertrain
 Minor Role : any

HARDPOINTS:

hardpoint name symmetry x_value y_value z_value

 graphics_reference single 4036.5 -90.0 147.5
 front_engine_mount left/right 2336.5 -300.0 -152.5
 rear_engine_mount left/right 2936.5 -300.0 -152.5

PARTS:

powertrain
 symmetry : single
 mass : 70.0
 sprung_percentage : 100.0
 sprung_location : any
 location : 2636.5, 0.0, -152.5
 orientation : zp_vector=0.0, 0.0, 1.0
 : xp_vector=1.0, 0.0, 0.0
 cm_location_from_part : 0.0, 0.0, 0.0
 Ixx, Iyy, Izz : 3.892583E+06 , 3.341916E+06 , 4.079833E+06
 Ixy, Izx, Iyz : 0.0 , 0.0 , 0.0

diff_output
 symmetry : left/right
 mass : 2.0
 sprung_percentage : 100.0
 location (dependent) : 2636.5, -100.0, -152.5
 orientation (dependent) : zp_vector=0.0, -1.0, 0.0

: xp_vector=1.0, 0.0, 0.0
cm_location_from_part : 0.0, 0.0, 0.0
Ixx, Iyy, Izz : 1.0 , 1.0 , 1.0
Ixy, Iyz, Ixz : 0.0 , 0.0 , 0.0

SWITCH PARTS:

engine_mount_option
symmetry : single
switched to : engine_to_subframe (mount part)
part list : engine_to_subframe (mount part)
: powertrain_to_body (mount part)

BUSHINGS:

front_engine_mount
definition : .ACAR.attachments.ac_bushing
symmetry : left/right
orientation : zp_vector=0.0, 0.0, 1.0
: xp_vector=1.0, 0.0, 0.0
t preload x : 0.0
t preload y : 0.0
t preload z : 0.0
r preload x : 0.0
r preload y : 0.0
r preload z : 0.0
t offset x : 0.0
t offset y : 0.0
t offset z : 0.0
r offset x : 0.0
r offset y : 0.0
r offset z : 0.0
fx scaling factor : 1.0
fy scaling factor : 1.0
fz scaling factor : 1.0
tx scaling factor : 1.0
ty scaling factor : 1.0
tz scaling factor : 1.0
tx damping force scale : 1.0
ty damping force scale : 1.0
tz damping force scale : 1.0
rx damping force scale : 1.0
ry damping force scale : 1.0
rz damping force scale : 1.0
property file : mdids://acar_shared/bushings.tbl/mdi_0001.bus

rear_engine_mount
definition : .ACAR.attachments.ac_bushing
symmetry : left/right
orientation : zp_vector=0.0, 0.0, 1.0
: xp_vector=1.0, 0.0, 0.0
t preload x : 0.0
t preload y : 0.0
t preload z : 0.0
r preload x : 0.0
r preload y : 0.0
r preload z : 0.0
t offset x : 0.0

t offset y : 0.0
t offset z : 0.0
r offset x : 0.0
r offset y : 0.0
r offset z : 0.0
fx scaling factor : 1.0
fy scaling factor : 1.0
fz scaling factor : 1.0
tx scaling factor : 1.0
ty scaling factor : 1.0
tz scaling factor : 1.0
tx damping force scale : 1.0
ty damping force scale : 1.0
tz damping force scale : 1.0
rx damping force scale : 1.0
ry damping force scale : 1.0
rz damping force scale : 1.0
property file : mdids://acar_shared/bushings.tbl/mdi_0001.bus

GENERAL SPLINES:

capacity_factor
symmetry : single
type : 'two_dimensional'
property file : mdids://acar_shared/torque_converters.tbl/mdi_0001.tcf
curve_name : 'CAPACITY_FACTOR'

differential
symmetry : single
type : 'two_dimensional'
property file : mdids://acar_shared/differentials.tbl/MDI_viscous.dif
curve_name : 'DIFFERENTIAL'

engine_torque
symmetry : single
type : 'three_dimensional'
property file : mdids://private/powertrains.tbl/S600_Curva_Motor.pwr
curve_name : 'ENGINE'

torque_ratio
symmetry : single
type : 'two_dimensional'
property file : mdids://acar_shared/torque_converters.tbl/mdi_0001.tcf
curve_name : 'TORQUE_RATIO'

PARAMETERS:

parameter name	symmetry	type	value
kinematic_flag	single	integer	0
powertrain_type	single	integer	1
clutch_capacity	single	real	1.00E+06
clutch_close	single	real	0.25
clutch_damping	single	real	10000.0
clutch_open	single	real	0.75
clutch_stiffness	single	real	1.00E+06
clutch_tau	single	real	0.05
drive_torque_bias_front	single	real	0.0

ems_gain single real 0.005
ems_max_throttle single real 15.0
engine_idle_speed single real 1000.0
engine_inertia single real 10000.0
engine_rev_limit single real 6500.0
engine_stall_speed single real 750.0
final_drive single real 6.5
gear_downshift_2 single real 1000.0
gear_downshift_3 single real 1200.0
gear_downshift_4 single real 1600.0
gear_downshift_5 single real 2000.0
gear_downshift_6 single real 2500.0
gear_ratio_1 single real 3.385
gear_ratio_2 single real 2.055
gear_ratio_3 single real 1.333
gear_ratio_4 single real 0.896
gear_ratio_5 single real 1.55
gear_ratio_6 single real 1.0
gear_ratio_R single real -4.275
gear_sport_1 single real 7400.0
gear_sport_2 single real 7200.0
gear_sport_3 single real 7000.0
gear_sport_4 single real 6800.0
gear_sport_5 single real 6500.0
gear_upshift_1 single real 5400.0
gear_upshift_2 single real 5200.0
gear_upshift_3 single real 5000.0
gear_upshift_4 single real 4800.0
gear_upshift_5 single real 4500.0
gear_upshift_thlds single real 60.0,90.0
graphics_flag single integer 1
max_engine_power single real 3.10E+08
max_engine_torque single real 1.21E+06
max_gears single integer 4
max_throttle single real 100.0
min_engine_torque single real -40000.0
oil_dump_residual single real 0.1
oil_dump_threshold single real 0.1
oil_dump_throttle_off single real 1.0
shift_cycle_time single real 0.5
sport_flag single integer 1
torque_tau single real 0.1

6. S600_REAR_TIRES

Info for subsystem: S600_REAR_TIRES

File Name : <private>/subsystems.tbl/S600_REAR_TIRES.sub

Template : mdids://private/templates.tbl/_S600_Rear_Tires.tpl

Comments : *no comments found*

Major Role : wheel

Minor Role : rear

WHEELS:

wheel

symmetry : left/right

mass : 20.0

sprung 0.0

Ixx, Iyy, Izz : 5.0E+04 , 5.0E+04 , 1.0E+04
cm offset : 0.0
whl ctr offset : 0.0
definition : .ACAR.forces.ac_tire
high performance: no
property file : mdirs://private/tires.tbl/S600_rear_pac89.tir
contact type : handling

PARAMETERS:

parameter name symmetry type value

kinematic_flag single integer 0
graphics_angle_offset left/right real 0.0

7. S600_FRONT_TIRES

Info for subsystem: S600_FRONT_TIRES

File Name : <private>/subsystems.tbl/S600_FRONT_TIRES.sub
Template : mdirs://private/templates.tbl/_S600_Front_Tires.tpl
Comments : *no comments found*
Major Role : wheel
Minor Role : front

WHEELS:

wheel
symmetry : left/right
mass : 20.0
sprung 0.0
Ixx, Iyy, Izz : 5.0E+04 , 5.0E+04 , 1.0E+04
cm offset : 0.0
whl ctr offset : 0.0
definition : .ACAR.forces.ac_tire
high performance: no
property file : mdirs://private/tires.tbl/S600_front_pac89.tir
contact type : handling

PARAMETERS:

parameter name symmetry type value

kinematic_flag single integer 0
graphics_angle_offset left/right real 0.0

8. S600_BrakeSystem

Info for subsystem: S600_BrakeSystem

File Name : <private>/subsystems.tbl/S600_BrakeSystem.sub
Template : mdirs://acar_shared/templates.tbl/_brake_system_4Wdisk.tpl
Comments :
Template : 4 Wheel Disk Brake System
Subsystem : *no subsystem comments found*

Major Role : brake_system
Minor Role : any

PARAMETERS:

parameter name symmetry type value

kinematic_flag single integer 0
front_brake_bias single real 0.6
front_brake_mu single real 0.3
front_effective_piston_radius single real 75.0
front_piston_area single real 425.0
front_rotor_hub_wheel_offset single real 35.0
front_rotor_hub_width single real 30.0
front_rotor_width single real -30.0
max_brake_value single real 100.0
rear_brake_mu single real 0.3
rear_effective_piston_radius single real 75.0
rear_piston_area single real 425.0
rear_rotor_hub_wheel_offset single real 35.0
rear_rotor_hub_width single real 30.0
rear_rotor_width single real -30.0