

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA**

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

Grado en Ingeniería Mecánica



TRABAJO FIN DE GRADO

---

MODELADO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DEL AUTOMÓVIL  
CITROËN 2CV.

---

*Presentado por.* D. Xavier Guzmán Carsí

*Dirigido por.*

*Tutor* D. Josep Lluís Suñer Martínez

Valencia, 6 de julio de 2017





### *Resumen del proyecto:*

Este proyecto tiene como finalidad conocer la historia y realizar la modelización y el estudio del comportamiento dinámico del Citroën 2CV.

En primer lugar, analizaremos la historia del vehículo y como ha ido evolucionando con el transcurso de los años.

Seguidamente, se describirán los diferentes subsistemas que conforman el vehículo en su modelo Citroën 2CV 4 más básico como son la suspensión delantera, la suspensión trasera, la dirección, el chasis, las ruedas, el motor y los frenos.

Una vez descritos los diferentes subsistemas, se procederá a implementarlos en el programa informático Adams Car, en el cual analizaremos el comportamiento de las suspensiones y del vehículo en su totalidad.

Finalmente, tras obtener los resultados los contrastaremos con la realidad y realizaremos un presupuesto del coste total del proyecto.



## *Abstract:*

This project aims to discover the history and perform the modeling and the study of the dynamic behavior of the Citroën 2CV.

Firstly, we look at the history of the vehicle and how it has evolved over the years.

Then, we will describe the different subsystems that compose the vehicle Citroen 2CV model 4 basic concepts such as front suspension, rear suspension, the steering, chassis, wheels, engine and brakes.

After describing the different subsystems, we will implement them in the software Adams Car, which will analyze the behavior of suspensions and vehicle completely.

Finally, after obtaining the results, we will contrast with the reality and make an estimate of the total cost of the project.



*Quiero agradecer a mi profesor Josep Lluís Suñer la posibilidad de realizar este proyecto y su ayuda para realizarlo.*

*Gracias a mi familia por apoyarme durante estos 4 años de la carrera, porque sin vosotros no sería la persona que soy.*

*Gracias a Adrián Ortiz, quien me ha acompañado en este viaje tan fantástico de la ingeniería y del cual sigo aprendiendo día tras día.*

*Gracias a La Mafia.*





## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	4
1.1 Introducción al proyecto .....	4
1.2 Motivación y objetivos .....	4
2. HISTORIA DEL CITROËN 2CV .....	6
2.1 Diseño, fabricación y producción .....	6
2.2 Evolución de las especificaciones técnicas.....	9
2.2.1 Citroën 2CV de 1949.....	9
2.2.2 Citroën 2CV de 1955.....	11
2.2.3 Citroën Sahara 2CV de 1958.....	12
2.2.4 Evolución del Citroën 2CV entre 1960-1970 .....	13
2.2.5 Modelos del 2CV de 1970 .....	15
2.2.6 Fin de producción y tabla comparativa .....	16
3. HERRAMIENTAS EMPLEADAS .....	17
3.1 MSC Adams Car .....	17
3.2 SolidWorks .....	18
4. CONDICIONES DE DISEÑO .....	19
5. MODELIZACIÓN DEL CITROËN 2CV.....	20
5.1 Carrocería .....	20
5.1.1 Introducción teórica .....	20
5.1.2 Modelización de la carrocería .....	20
5.2 Suspensión Frontal .....	24
5.2.1 Introducción teórica .....	24
5.2.2 Suspensión delantera del Citroën 2CV .....	26
5.2.3 Modelización de la suspensión delantera .....	27
5.2.4 Subsystem .....	40
5.3 Suspensión trasera .....	40
5.3.1 Consideraciones iniciales .....	40
5.3.2 Modelización de la suspensión trasera .....	41
5.3.3 Subsystem .....	42
5.4 Motor y caja de cambios .....	43
5.4.1 Introducción teórica .....	43
5.4.2 Modelización .....	44
5.5 Dirección.....	45
5.5.1 Introducción teórica .....	45

5.5.2 Modelización .....	45
5.6 Ruedas frontales y traseras .....	46
5.6.1 Introducción teórica .....	46
5.6.2 Modelización .....	47
5.7 Sistema de frenos .....	48
5.7.1 Introducción teórica .....	48
5.7.2 Modelización .....	49
5.8 Driveline .....	50
5.8.1 Introducción teórica .....	50
5.8.2 Modelización .....	50
6. ENSAMBLADO DE LAS SUSPENSIONES Y VEHÍCULO .....	52
6.1 Introducción al ensamblado .....	52
6.2 Ensamblado de la suspensión delantera .....	52
6.3 Ensamblado de la suspensión trasera .....	53
6.4 Ensamblado del vehículo Citroën 2CV .....	53
7. SIMULACIÓN DINÁMICA DE LAS SUSPENSIONES Y VEHÍCULO CITROËN 2CV .....	55
7.1 Introducción a la simulación dinámica .....	55
7.2 Simulación dinámica de la suspensión frontal .....	55
7.2.1 Parallel Travel Front .....	55
7.2.2 Opposite Travel Front .....	56
7.2.3 Steering .....	57
7.3 Simulación dinámica de la suspensión trasera .....	58
7.3.1 Parallel Travel Rear .....	58
7.3.2 Opposite Travel Rear .....	59
7.4 Simulación dinámica del vehículo completo .....	60
7.4.1 Acceleration .....	60
7.4.2 Braking .....	63
7.4.3 Braking In_Turn .....	65
7.4.4 ISO Lane Change .....	68
8. CONCLUSIÓN DEL PROYECTO .....	71
8.1 Análisis del proyecto .....	71
8.2 Opinión personal .....	71
9. PLIEGO DE CONDICIONES .....	73
10. PRESUPUESTO .....	74
11. BIBLIOGRAFÍA .....	75

11.1 Bibliografía .....	75
11.2 Referencias.....	75
12. ANEXOS .....	78
12.1 Anexo I. Evolución del Citroën 2CV .....	78
12.2 Anexo II. Especificaciones técnicas .....	81
12.3 Anexo III. Subsistemas.....	89
12.3.1 Suspensión frontal.....	89
12.3.2 Suspensión trasera .....	96
12.3.3 Body.....	103
12.3.4 Motor .....	106
12.3.5 Dirección.....	112
12.3.6 Driveline .....	123
12.3.7 Ruedas delanteras.....	129
12.3.8 Ruedas traseras .....	130
12.3.9 Frenos.....	131

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Introducción al proyecto

A lo largo de los años, el mundo del automovilismo ha ido evolucionando en todos sus ámbitos, desde la evolución y optimización de los sistemas de propulsión hasta los sistemas de transmisión, la estructura y la seguridad de estos.

Antiguamente, para desarrollar y evolucionar los diferentes sistemas que conforman un vehículo nos basábamos en la experiencia, es decir, se realizaban los desarrollos o reformas adecuadas al vehículo para posteriormente ensayarlo y analizar sus resultados. Este procedimiento lo podemos conocer como método experimental. Ahora bien, como podemos deducir este procedimiento puede tener altos costes económicos, debido a la repetitiva fabricación de los modelos a analizar y sus ensayos.

Actualmente, es una realidad que el campo de la tecnología y los ordenadores ha revolucionado todos los mercados y nuestras vidas. Así pues, el desarrollo de programas de cálculo y análisis de resultados ha contribuido a mejorar y optimizar, en este caso, el mundo del automóvil, sus reformas y evoluciones.

Mediante el uso de estos programas, se pueden diseñar los subsistemas que conforman un vehículo como pueden ser las suspensiones, la dirección, el chasis o la carrocería. Además, podemos analizar su comportamiento aisladamente e incluso, uniendo todos los subsistemas, analizar el comportamiento del vehículo en su integridad.

La gran ventaja del desarrollo de estas potentes herramientas radica en su coste económico. Así pues, no necesitamos realizar las reformas físicas en un vehículo y analizarlas repetidas veces. Mediante la simulación informática podemos obtener resultados aproximados a la realidad, los cuales finalmente podremos verificar analizando su comportamiento en la realidad si cumplen su función o no.

Así pues, utilizando la herramienta informática Adams Car, modelaremos la geometría del Citroën 2CV, así como su comportamiento para realizar un análisis dinámico del vehículo.

## 1.2 Motivación y objetivos

Una de las ramas más importantes de la ingeniería mecánica es el estudio cinemático o dinámico de los mecanismos.

La suspensión del Citroën 2CV es una de las más peculiares que podemos encontrar en el mundo del automovilismo, ya sea por su peculiar geometría o por su característico comportamiento, del cual hablaremos posteriormente.

Así pues, el poder estudiar y analizar el comportamiento de esta suspensión, lo cual está ampliamente relacionado con el análisis de mecanismos de la ingeniería mecánica, es el causante de la ilusión que comporta realizar este proyecto.

El principal objetivo de este proyecto se basa en modelizar en el programa informático Adams Car un modelo, lo más fiel a la realidad posible, del Citroën 2CV para poder estudiar y analizar su comportamiento dinámico. Para ello, modelizaremos los diferentes subsistemas que

componen el vehículo, ensamblaremos la suspensión delantera, la trasera y, posteriormente, el vehículo completo.

Además, un proyecto de esta envergadura nos puede aportar muchos conocimientos relacionados con la ingeniería, tales como:

- Aprender a utilizar diferentes programas de diseño en 3D asistido por ordenador como pueden ser SolidWorks o AutoCAD, así como otros más relacionados con el análisis del comportamiento mecánico en la automoción como es Adams Car.
- Conocer y estudiar el desarrollo de un vehículo histórico como puede ser el Citroën 2CV.
- Aprender a realizar proyectos demostrando los conocimientos obtenidos durante el Grado en Ingeniería Mecánica.

## 2. HISTORIA DEL CITROËN 2CV

### 2.1 Diseño, fabricación y producción

El ingeniero francés Pierre Jules Boulanger, a quien se le atribuye la creación del Citroen 2CV, empezó a desarrollar el TPV (*Toute Petite Voiture* o *Vehículo mínimo*) en los años 30. El objetivo de este vehículo, tal y como podemos leer en el cuaderno de cargas, era “hacer un vehículo que pueda transportar a cuatro personas y 50 kg de patatas, a una velocidad de 60 km/h, con un consumo de 3 litros de gasolina cada 100 km con un confort irreprochable”.

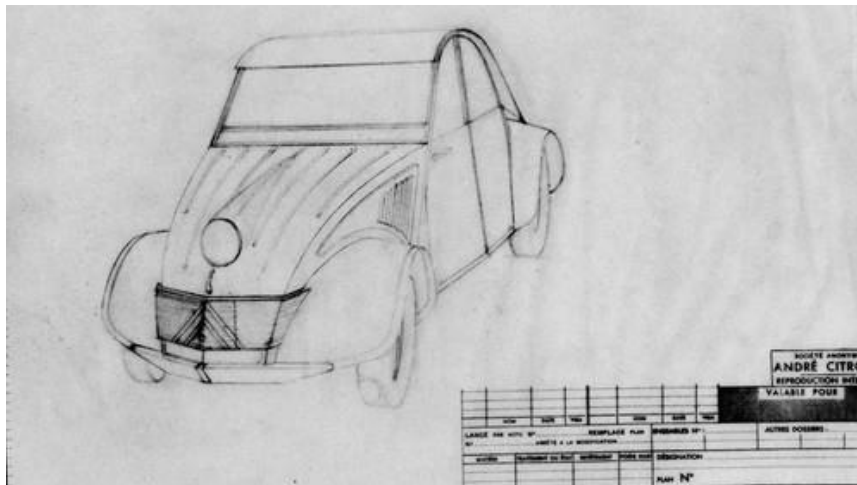


Figura 2-1: Planos del prototipo del Citroen 2CV. Ref [1]

En el año 1938, empezaron a realizarse las primeras pruebas en carretera del prototipo TPV, el cual posteriormente se convertiría en el 2CV.



Figura 2-2: Prototipo TPV. Ref [2]

Tras las primeras, en el año 1939 se fabricaron 250 prototipos del TPV, los cuales aún entonces utilizaban el agua como refrigerante. Finalmente, el 23 de agosto de este mismo año, el Departamento de Minas aprobó el 2CV, el cual ya estaba listo para ser comercializado.

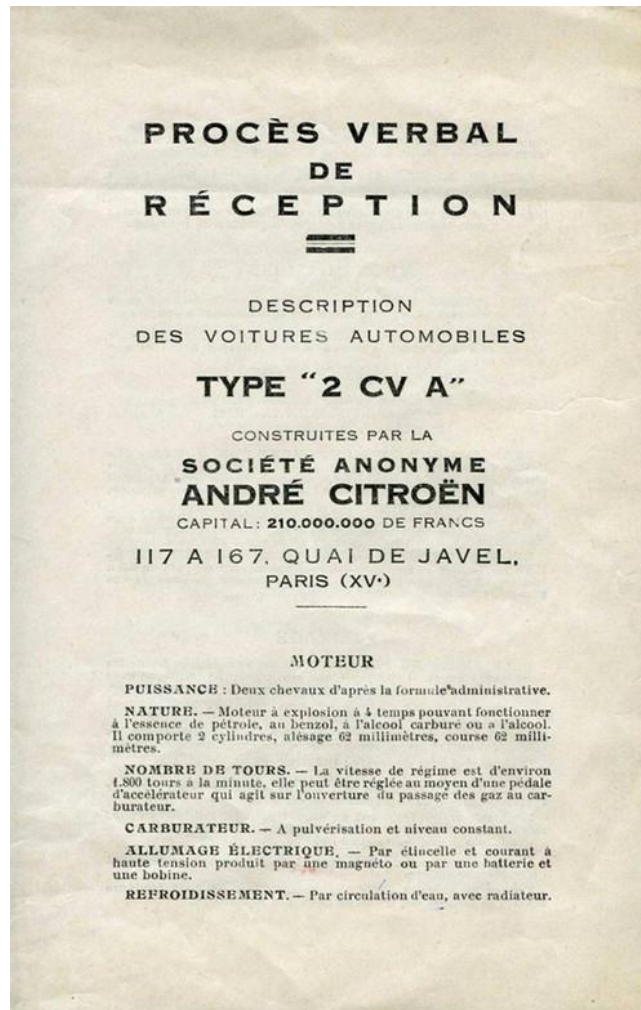


Figura 2-3. "Descripción del vehículo a motor Citroën 2CV". Ref. [3]

Durante estos años, Francia era una zona de conflicto debido a la Segunda Guerra Mundial. Cuando las tropas alemanas ocuparon Francia, se decidió mantener el proyecto del 2CV en secreto, debido al peligro de que los alemanes utilizaran el proyecto para sus propios fines.

El 6 de marzo de 1940, la fábrica Citroën del muelle de Javel fue bombardeada. Debido a esta situación tan complicada, la producción del 2CV tendía a desaparecer.





Figura 2-4. Fábrica de Javel bombardeada por el ejército alemán. Ref [4]

Esta misma fabrica, volvió a sufrir los efectos catastróficos de la guerra en el año 1943, cuando tuvo lugar un segundo bombardeo.

Como hemos dicho anteriormente, la producción y el desarrollo durante la Segunda Guerra Mundial fueron escasos. En el año 1944, Boulanger decidió renovar el antiguo motor de 2 cilindros refrigerado por agua. Para ello, encargó diseñar una nueva unidad con un tamaño de 375 cc la cual estuviera refrigerada por aire a Walter Becchia. Además, en el intento de renovar la caja de cambios a 3 velocidades, se logró idear una nueva caja con 4 marchas la cual ocupaba el mismo tamaño y tenía muy poco coste adicional, lo cual era algo novedoso en los automóviles franceses, puesto que sus compañeros el Peugeot 202 y el Renault Juvaquatre generalmente contaban con 3.

Tras la guerra, en el 1945 se reconstruyó la fábrica bombardeada de Javel. Era uno de los caminos para responder lo más rápido posible a la demanda creciente de vehículos.

Finalmente, tras este duro periodo, el 8 de octubre de 1948 se mostró al público el Citroën 2CV, en el Salón del Automóvil de Paris. Este modelo poseía un motor de dos cilindros refrigerado por aire, con un tamaño de 375 cc y una potencia de 9 CV.

Respecto a la comercialización del vehículo en el territorio español, se comenzó a montar en el año 1959 con un motor de 425 cc que desarrollaba una potencia de 12 CV. Con su evolución, se logró aumentar su potencia hasta los 18 CV en el año 1964.

Su producción, en todas sus variantes, se realizará hasta el 27 de julio de 1990 en la planta portuguesa de Mangualde, con una venta de más de 5 millones de unidades.

## 2.2 Evolución de las especificaciones técnicas

Como hemos podido observar en la historia del Citroën 2CV, existen varias versiones técnicas de este vehículo, puesto que con los años se han tratado de mejorar sus especificaciones técnicas.

### 2.2.1 Citroën 2CV de 1949

En primer lugar, la primera versión del 2CV, producida en el año 1949, tenía un motor de 2 cilindros opuestos horizontalmente refrigerados por aire. Sus cilindros eran de 62 mm con una carrera de 62 mm, proporcionando así una capacidad de 375 cc. La relación de compresión de este modelo era de 6.2:1. La potencia máxima que se podía alcanzar con dicho vehículo era de 9 CV a 3500 rpm y, el máximo torque, de 2 mKg a 2000 rpm. La velocidad máxima del 2CV era de 65 km/h

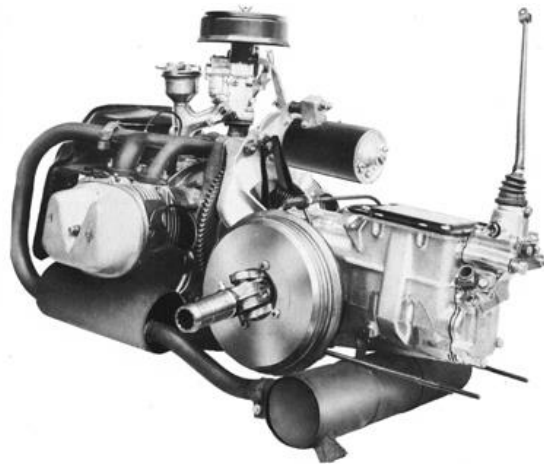


Figura 2-5. Motor bicilindrico del Citroën 2CV de 1949. Ref [5]

Respecto a la transmisión del vehículo, el 2CV es de tracción delantera, con una caja de cambios de 4 velocidades.

El sistema de dirección era “rack and pinion” conocido como piñón y cremallera. La cremallera estaba montada transversalmente en la parte delantera del vehículo.

Respecto a la suspensión, está compuesta por brazos longitudinales, los cuales están sujetos en sus extremos al chasis.

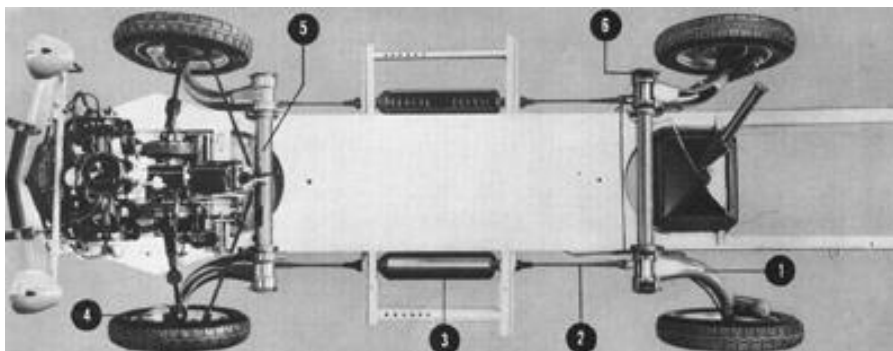


Figura 2-6. Chasis y suspensión del Citroën 2CV. Ref [6]

A lo largo de estos brazos, encontramos unos resortes helicoidales dispuestos longitudinalmente y horizontalmente a cada lado del vehículo. En la figura anterior los podemos encontrar con el nº3.

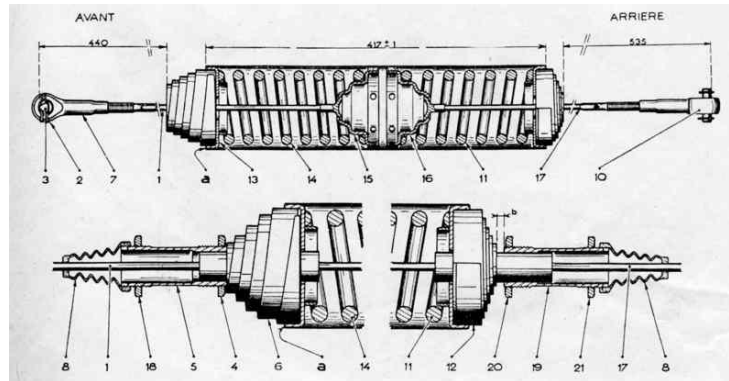


Figura 2-7. Resortes longitudinales del 2CV. Ref [7]

Estos resortes los podíamos encontrar situados bajo de las puertas del vehículo. Además, suspendían simultáneamente tanto la rueda delantera como la trasera.

Este diseño producía un andar cabeceante en el vehículo, el cual es una de las principales características de este vehículo. Ahora bien, para los giros en curva, este sistema conseguía alcanzar grandes ángulos de escora, los cuales impresionaban a cualquier espectador.

Los frenos de este primer vehículo eran de tambor, con unos tamaños de 200 y 180 mm en las ruedas delanteras y traseras respectivamente.

Respecto al consumo, el vehículo requería entre 4 y 5 litros por cada 100 km, lo cual se aproximaba a las anotaciones en el cuaderno de cargas que escribió Boulanger para diseñar el vehículo.

El Citroën 2CV montaba unos neumáticos Michelin Pilote con un tamaño de 125x400.

Respecto a las dimensiones del vehículo de 1949, este poseía una longitud de 3.78 m, una anchura de 1.48 m y una altura de 1.60 m. La batalla, es decir, la distancia entre ruedas era de 2.4 m.

La capacidad del tanque de combustible era de 20 litros y el vehículo tenía un peso sin carga de 495 kg.

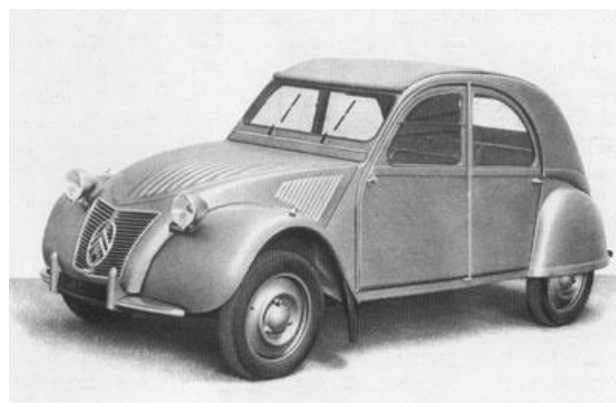


Figura 2-8. Cuerpo del Citroën 2CV de 1949. Ref [8]

## 2.2.2 Citroën 2CV de 1955

En el año 1955, Citroën realizó algunos cambios respecto a su primer modelo del 2CV.

En la motorización del vehículo, substituyó el motor de 375 cc por uno de 425 cc, con la misma relación de compresión de 6.1:1. La potencia máxima que podía producir era de 12 CV girando a 3500 rpm.

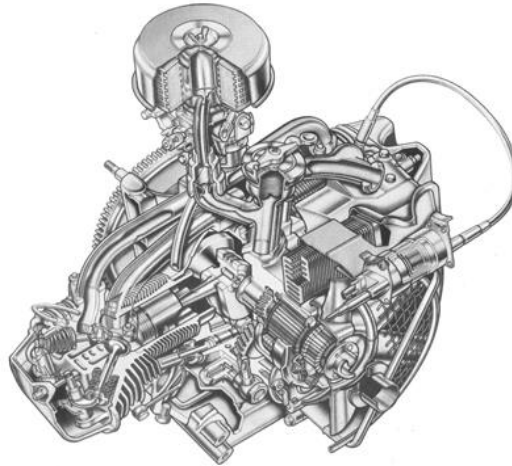


Figura 2-9. Motor de 425 cc del 2CV de 1955. Ref [9]

Además, incorporaron un embrague centrífugo el cual se desactivaba cuando el motor entraba en un régimen de revoluciones bajo, conocido como ralentí, lo cual permitía conducir el vehículo con un pie en situaciones de tráfico.

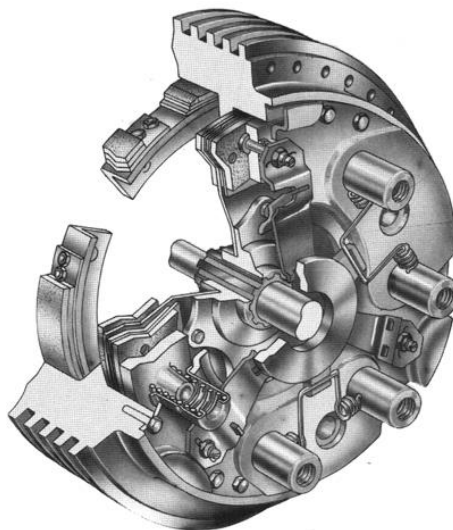


Figura 2-10. Embrague centrífugo del 2CV. Ref [10]

### 2.2.3 Citroën Sahara 2CV de 1958

El Citroën 2CV de 1958, más conocido como Sahara, ha sido una de las versiones más reconocidas de este vehículo.

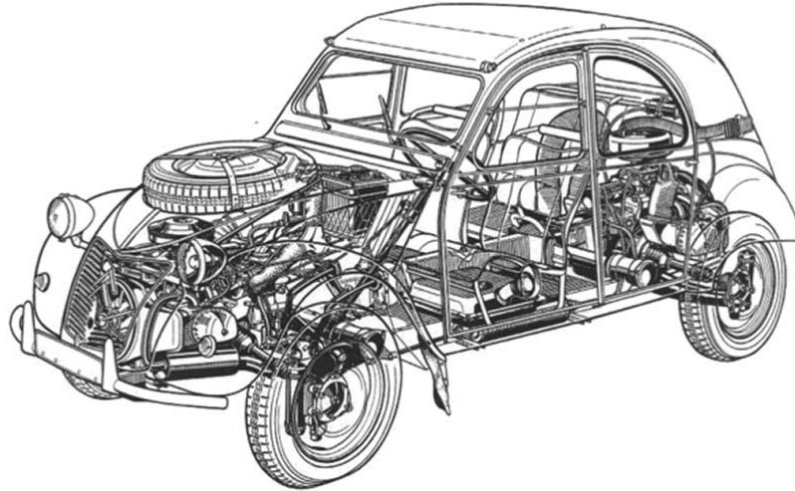


Figura 2-11. Citroën Sahara. Ref [11]

Este vehículo era un 4x4, es decir, tenía un sistema de tracción a las 4 ruedas. El 2CV incorporaba dos motores bicilíndricos, uno situado en la parte frontal y otro en la trasera. Dichos motores eran iguales que el de su hermano anterior, el modelo de 1955, por lo que tenían una capacidad de 425 cc cada uno (850 en total) y producían una potencia máxima total en el vehículo de 24 CV, cuando estos giraban a 3500 rpm. El torque máximo, al igual que su hermano anterior, era de 2 mKg por motor, es decir, un total de 4 mKg para este Sahara de 1958.

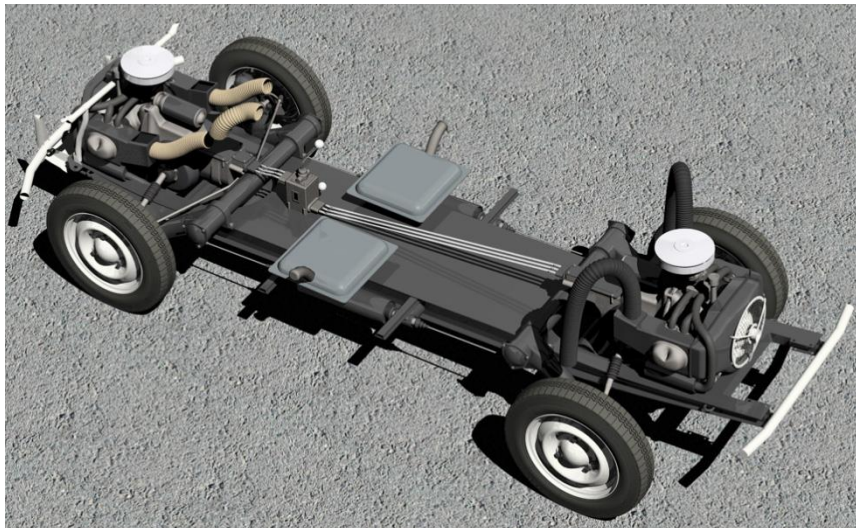


Figura 2-12. Chasis del Citroën Sahara 2CV 4x4. Ref [12]

Los neumáticos de este modelo se redujeron, siendo sus dimensiones 155x380.

Este modelo utilizaba 2 tanques de combustible, uno por cada motor, situados bajo los asientos frontales del vehículo.

Respecto a los sistemas de transmisión, es un vehículo 4x4, por lo que posee tracción en las 4 ruedas. Los dos embragues son hidráulicos. Las dos cajas de cambio se controlan

simultáneamente compartiendo la misma palanca de cambio. Además, mediante una palanca se permitía que el motor trasero funcionara en punto muerto, permitiendo así que el coche funcionara solamente a tracción delantera. También, podía conducirse únicamente utilizando el motor trasero del vehículo.

Respecto al sistema de frenos, posee frenos de tambor interiores en las 4 ruedas y el freno de mano opera en los tambores delanteros.

Este modelo 2CV Sahara de 1958, era capaz de alcanzar una velocidad máxima de 100 km/h. Su consumo en asfalto era de 9 litros cada 100 km, mientras que en su comportamiento todoterreno variaba de 10 a 12 litros cada 100 km.

El primer Sahara 2CV salió a la venta en 1960 y permaneció en producción hasta 1966.

#### 2.2.4 Evolución del Citroën 2CV entre 1960-1970

Durante el periodo comprendido entre 1960 y 1970, el 2CV incorporó su nuevo modelo AZAM (Amélioré o mejorado), el cual se lanzó al mercado con un motor que producía 18 cv a 5000 rpm.

En este nuevo modelo, se renovaron aspectos puramente estéticos como equipar un capó brillante. También el interior fue mejorado incorporando asientos delanteros montados en corredores, nuevos revestimientos a los asientos, visera para el sol incorporada para el pasajero delantero y nuevos pomos en las partes interiores de las puertas.



Figura 2-13. Modelo Citroën 2CV de 1960. Ref [13]

Dejando las renovaciones puramente estéticas de 2CV, en este periodo también se modificaron partes técnicas del vehículo.

Uno de los cambios más importantes fue la introducción de los nuevos sistemas de amortiguación. Se sustituyeron los antiguos amortiguadores situados en las ruedas traseras por unos nuevos amortiguadores telescópicos situados en las barras longitudinales del chasis.

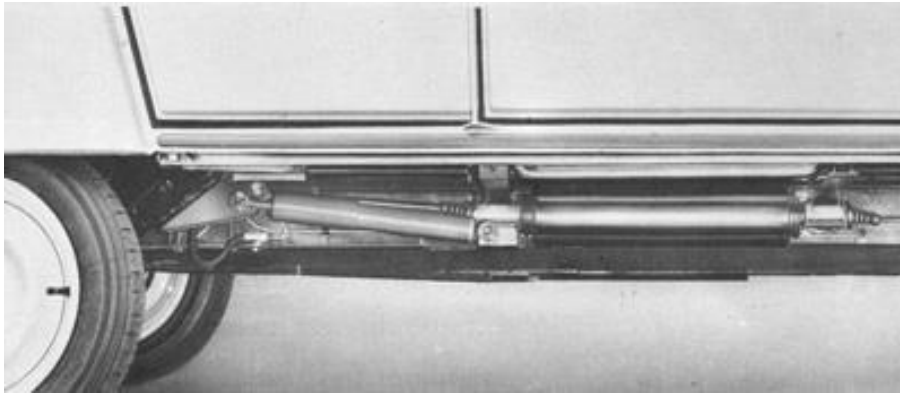


Figura 2-14. Nuevos amortiguadores traseros del Citroën 2CV en 1966. Ref [14]

Las ventanas laterales del vehículo también se renovaron. En la actualidad, este sistema de anclaje de ventanillas es uno de los sistemas característicos de este vehículo más conocidos popularmente.



Figura 2-15: Sistema de anclaje en las ventanillas laterales del 2CV. Ref 15]

## 2.2.5 Modelos del 2CV de 1970

En el año 1970 se lanzaron al mercado dos nuevos modelos de este vehículo.

En primer lugar, tenemos el Citroën 2CV 4, el cual sustituyó el AZ y AZA, excepto en Holanda y Alemania)

Este nuevo vehículo incorporaba un motor con una capacidad de 435 cc, debido a sus cilindros de 68.5 mm de diámetro y 59 mm de carrera. La relación de compresión aumentó respecto a sus hermanos anteriores, siendo de 8.5:1 en este nuevo modelo. Con estas características, el motor imprimía una potencia de 26 cv girando a 6750 rpm y un torque de 3.1 mKg girando a 4000 rpm. La velocidad máxima que podía alcanzar era de 102 km/h y consumía alrededor de 5.4 litros cada 100 km.



Figura 2-16. Citroën 2CV 4 de 1970. Ref [16]

Junto con el Citroën 2CV 4, salió al mercado el modelo Citroën 2CV 6, más conocido como 3CV.

Ambos modelos eran muy similares, diferenciándose en las características del motor. La calificación fiscal francesa es de 3CV, de ahí su nombre popular. La cilindrada de este 2CV 6 aumentó substituyendo los cilindros del 2CV 4 por unos de 74 mm de diámetro y 70 mm de carrera, otorgando una cilindrada al vehículo de 602 cc. Utilizando la misma relación de compresión, el motor escupía una potencia de 33 cv girando a 7000 rpm y un torque de 4.3 mKg a 3500 rpm. La velocidad máxima de este vehículo es de 110 km/h consumiendo 6.1l/100 km.

Una de las características de este 2CV 6 era su volante de un solo rayo, uno de los símbolos característicos de dicho modelo.



Figura 2-17. Volante de un solo rayo del 2CV 6. Ref [17]



## 2.2.6 Fin de producción y tabla comparativa

En el año 1978 se cerró la producción del histórico Citroën 2CV. Este último modelo producido es el anteriormente mencionado Citroën 2CV 4, utilizando también el motor de 435 cc.



Figura 2-18. Último model Citroën 2CV 4. Ref [18]

Como hemos podido observar a lo largo de este capítulo, durante aproximadamente unos 30 años el Citroën 2CV ha ido actualizándose y mejorándose respecto a sus versiones anteriores. La multitud de variaciones que ha sufrido este vehículo es muy extensa, por lo que hemos hablado de las reformas principales que ha sufrido a lo largo de su vida. Para resumir los conocimientos, incorporaremos una tabla informativa donde se exponen los diferentes modelos producidos con sus respectivas reformas. Esta tabla la podemos encontrar en el **Anexo I**.

### 3. HERRAMIENTAS EMPLEADAS

#### 3.1 MSC Adams Car

Adams Car es un software especializado en la modelización de vehículos. Esta herramienta permite crear prototipos virtuales de los subsistemas que forman un vehículo y analizar los prototipos virtuales tal y como podríamos analizar los prototipos físicamente.

Con Adams Car, podemos crear ensamblajes de suspensiones y vehículos completos para posteriormente analizarlos y conocer su comportamiento.

Mediante esta herramienta, se crean ensamblajes definiendo los subsistemas del vehículo, como por ejemplo las suspensiones frontales y traseras, el sistema de dirección, el chasis o los frenos. Además, con el acceso en modo experto, Adams Car ofrece la oportunidad de basar los subsistemas en plantillas creadas por uno mismo.

Cuando analizas el comportamiento de un ensamblaje, Adams Car aplica al análisis las condiciones que el usuario quiera imponer. Por ejemplo, en el análisis del comportamiento de una suspensión, puedes imponer condiciones como:

- Mover las ruedas a través de un recorrido impuesto y medir la convergencia, la inclinación, la velocidad de la rueda, etc.
- Aplicar una carga lateral y un par de alineamiento en la huella de contacto del neumático con la calzada y medir el ángulo de convergencia y de caída.
- Girar el volante un determinado ángulo y medir los ángulos girados por las ruedas y el ángulo de Ackerman.

Conociendo estos resultados, podemos modificar la geometría de la suspensión, los muelles o los amortiguadores y volver a analizar el comportamiento para determinar los efectos de dichas alteraciones.

Resumiendo, con esta herramienta el usuario tiene la posibilidad de:

- Modelizar y diseñar los diferentes ensamblajes que componen un vehículo utilizando los diferentes subsistemas que los componen.
- Analizar mediante diferentes pruebas el comportamiento de los ensamblajes, más rápida y económicamente que mediante pruebas reales.
- Trabajar en un entorno más seguro sin temor a perder datos por fallos en la instrumentación o fallos debidos a las condiciones climáticas.
- Realizar análisis sin los peligros asociados que tiene realizar las pruebas físicas.

## 3.2 SolidWorks

El software SolidWorks es una herramienta potente y sencilla que permite diseñar y producir modelos en 3D.

SolidWorks permite modelar piezas y conjuntos, además de extraer información como planos técnicos, medidas, etc. También cuenta con herramientas de simulación, movimiento y validación de los diseños, con lo que podemos validar la fabricación de un producto y resolver problemas relacionados con el ensamblado que se puedan dar en las diferentes fases del diseño. Este programa funciona mediante las nuevas técnicas de modelado con sistemas CAD.

Además, el paquete SolidWorks Solutions incluye diferentes herramientas como son:

- Diseño 3D
- Simulación
- Diseño eléctrico
- Gestión de datos de productos
- Comunicación técnica
- 3DExperience

## 4. CONDICIONES DE DISEÑO

Como hemos descrito anteriormente en el *capítulo 2*, en el apartado de *Evolución de las especificaciones técnicas*, existen diferentes versiones del Citroën 2CV, ya sea de aspectos más técnicos como pueden ser la motorización o la dirección, o bien en aspectos relacionados a las dimensiones del vehículo o las geometrías de las suspensiones.

Para realizar el modelado del vehículo y analizarlo con la herramienta Adams Car, debemos seleccionar una de las diferentes variantes del vehículo.

El modelo elegido para modelar y analizar su comportamiento con Adams Car será la versión Citroën 2CV 4. La motivación a elegir este vehículo radica en la fiabilidad de los datos de partida, puesto que es el modelo más reciente y del que más información podemos obtener. Además, dado que tenemos la oportunidad de acceder a un modelo en la vida real, nos facilitará las mediciones para la modelización de las geometrías de los subsistemas y podremos utilizar dicho vehículo a lo largo de la redacción del proyecto.

De igual manera, algunos datos como pueden ser las inercias o los pesos de diferentes componentes del vehículo se estimarán, debido a la imposibilidad de conocer con exactitud dichos valores y a su complejidad.

Como resultado de todas las simplificaciones anteriores, los resultados serán una aproximación a los valores reales.

## 5. MODELIZACIÓN DEL CITROËN 2CV

### 5.1 Carrocería

#### 5.1.1 Introducción teórica

La carrocería es el subsistema del vehículo que proporciona la estructura básica del automóvil. Sobre ella se sitúan los pasajeros y la carga del vehículo, además de otros subsistemas como pueden ser el motor, la transmisión o las suspensiones.

Como veremos más adelante, diferentes subsistemas como los mencionados anteriormente se anclan a la carrocería, por lo que esta estará sometida a diversas sollicitaciones debidas a las uniones.

#### 5.1.2 Modelización de la carrocería

Para realizar la modelización de la carrocería del 2CV, partiremos del archivo de SolidWorks facilitado por el profesor Josep Lluís Suñer, el cual es un diseño en 3D del modelo Charleston del 2CV.



Figura 5-1. Citroën 2CV Charleston. Ref [19]

En primer lugar, abriremos el archivo inicial en SolidWorks. En Adams Car, los neumáticos son subsistemas diferentes a la carrocería, por lo que por razones estéticas eliminamos las ruedas de nuestro modelo CAD. Este modelo en 3D esta reproducido a escala real, por lo que no será necesario escalar el diseño y todas las medidas serán a tamaño real.

Tras eliminar las ruedas de nuestro modelo 3D, procederemos a guardar el archivo para posteriormente importarlo en Adams Car. Para ello, se recomienda guardar el diseño en formato Parasolid (.x\_t), puesto que Adams Car posee mayor compatibilidad con los diseños en este formato.

Una vez exportado el modelo en Parasolid, procedemos a importarlo en Adams Car. Para ello, iniciamos Adams en el modo *Template Builder*. Este modo, permite al usuario crear y modificar las diferentes plantillas que posteriormente formaran los subsistemas del vehículo. Para

realizar la plantilla del cuerpo del 2CV, abriremos la plantilla ya creada que ofrece Adams del vehículo Sedan (*\_rigid\_chassis\_sedan*).

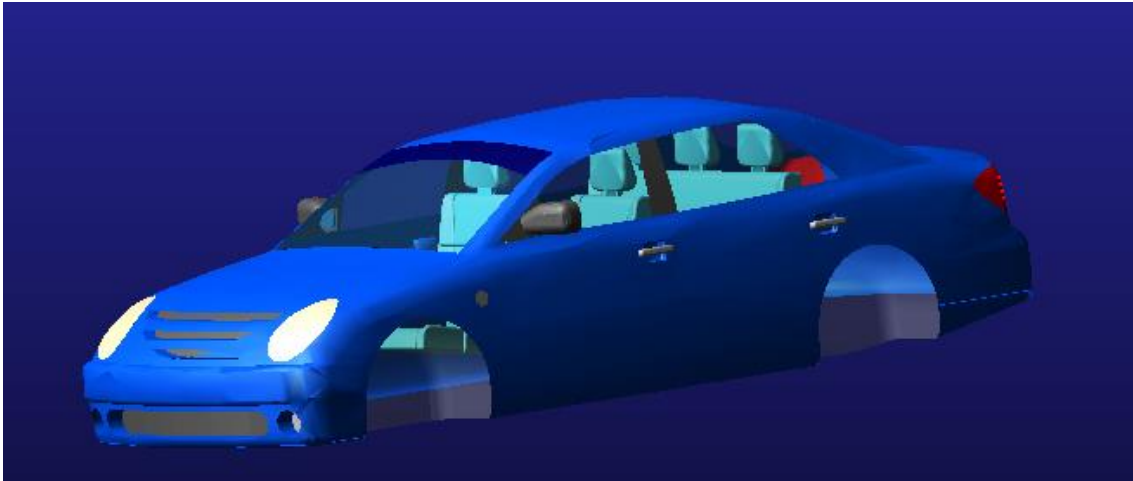


Figura 5-2. Plantilla *\_rigid\_chassis\_sedan*

Seguidamente, eliminamos los diferentes sólidos que componen la carrocería del Sedan mediante la operación *Edit -> Delete*. Una vez eliminados los sólidos del Sedan, importaremos el archivo Parasolid de nuestro modelo del 2CV. Para ello, mediante *File -> Import* importaremos nuestro modelo, agregando el diseño a la parte *ges\_chassis*. Dado que nuestro modelo posee una localización y orientación diferente a la buscada, será necesario realiza una corrección de estos parámetros. En nuestro caso, importaremos el archivo tal y como se presenta en la Figura 5-3.

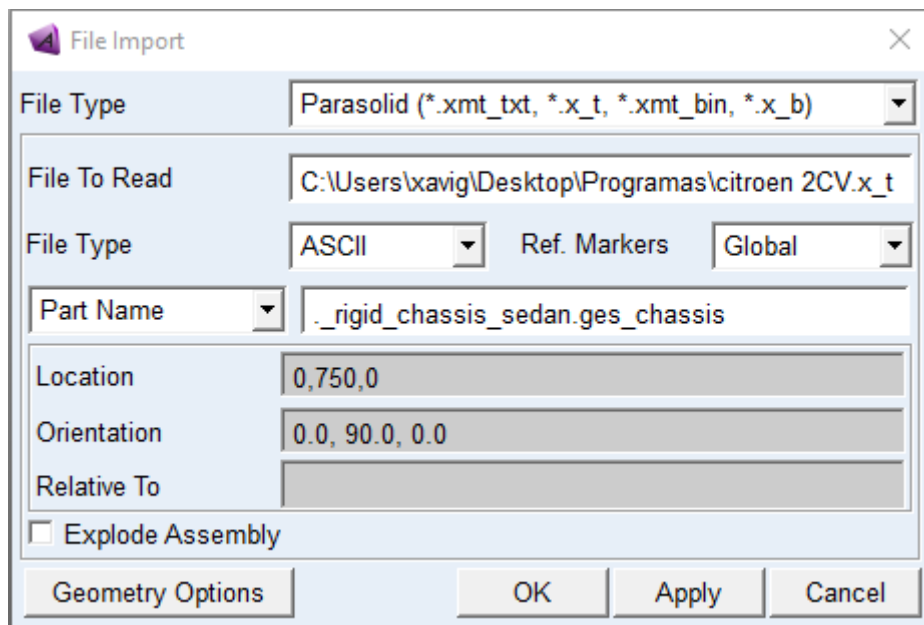


Figura 5-3. Importación del modelo 3D del 2CV.

Tras importar el modelo del 2CV, nuestra plantilla tendrá el diseño de nuestro Citroën con todos los parámetros, comunicadores, partes y montajes del Sedan. Dado que posteriormente crearemos completamente la suspensión frontal y trasera del vehículo, será necesario añadir un comunicador el cual conectará el chasis con las suspensiones.

Para crearlo, en el menú *Build -> Communicator -> Output -> New* crearemos un comunicador tal y como podemos observar en la Figura 5-4.

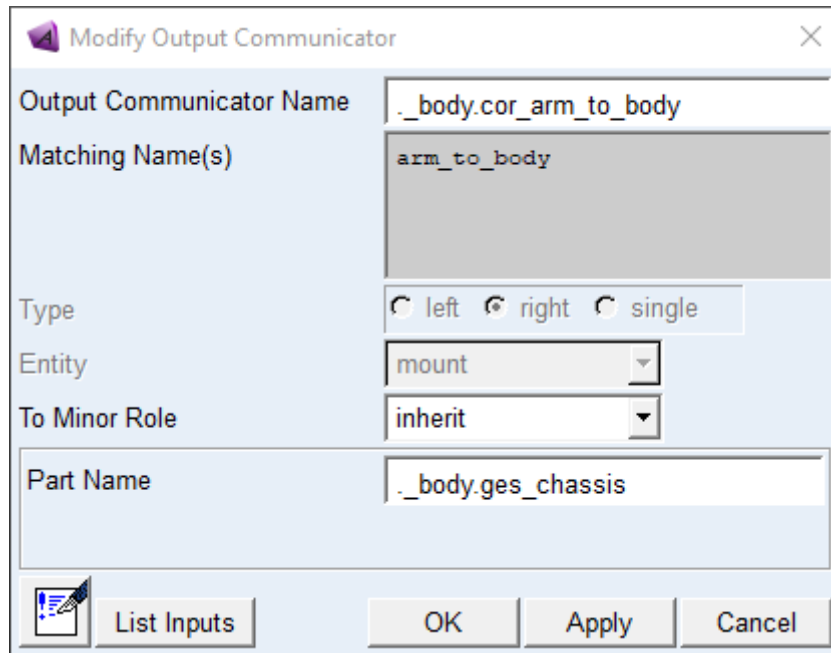


Figura 5-4. Comunicador *arm\_to\_body*.

Una vez agregado este nuevo comunicador, guardaremos la plantilla en nuestra base de datos mediante el comando *Save as*, con el nombre *\_body* y el Major Role *body* en la carpeta *templates.tbl*.

Una vez creada la plantilla de nuestro modelo, deberemos crear su propio subsistema puesto que es necesario para el ensamblado del vehículo. Para ello, abriremos Adams en su versión *Standard Interface* y mediante *File -> New -> Subsystem* creamos el nuevo subsistema llamado *\_body\_c2cv* con Minor Role *any*.

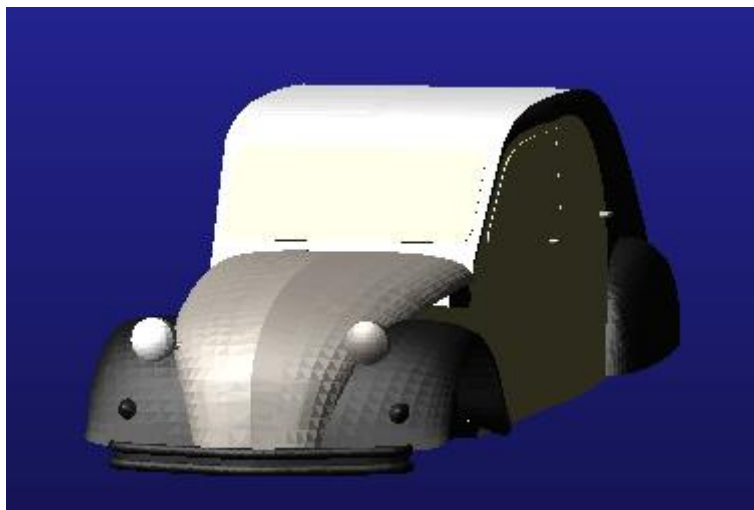


Figura 5-5. Subsistema *\_body\_c2cv*.

Una vez creado el subsistema con la parte más estética de la carrocería, procederemos a introducir la masa y calcular una aproximación de los valores inerciales de nuestro vehículo

Para calcular las inercias partiremos de la hipótesis de que nuestro vehículo tiene forma de paralelepípedo, con las dimensiones reales del vehículo expuestas en el **Anexo II**.

Seguidamente, mediante las ecuaciones para calcular la inercia de un paralelepípedo calculamos:

$$I_{xx} = \frac{1}{12} * Masa * (h^2 + a^2) = 2.405E + 08 \text{ kgmm}^2$$

$$I_{yy} = \frac{1}{12} * Masa * (l^2 + h^2) = 8.61445E + 08 \text{ kgmm}^2$$

$$I_{zz} = \frac{1}{12} * Masa * (l^2 + a^2) = 8.45945E + 08 \text{ kgmm}^2$$

donde:

**Masa** (masa de la carrocería) = 600 kg

**l** (largo del vehículo) = 3830 mm

**h** (altura del vehículo) = 1600 mm

**a** (anchura del vehículo) = 1500 mm

Una vez calculados los valores inerciales de la carrocería los introducimos en Adams. Para ello, en el submenú *Browse*, abrimos la carpeta *Parts* -> *General Parts* -> *ges\_chassis* -> *Modify*, introducimos los valores de la masa y las inercias y aplicamos la nueva configuración.

Finalmente, guardamos el subsistema creado en nuestra base de datos.

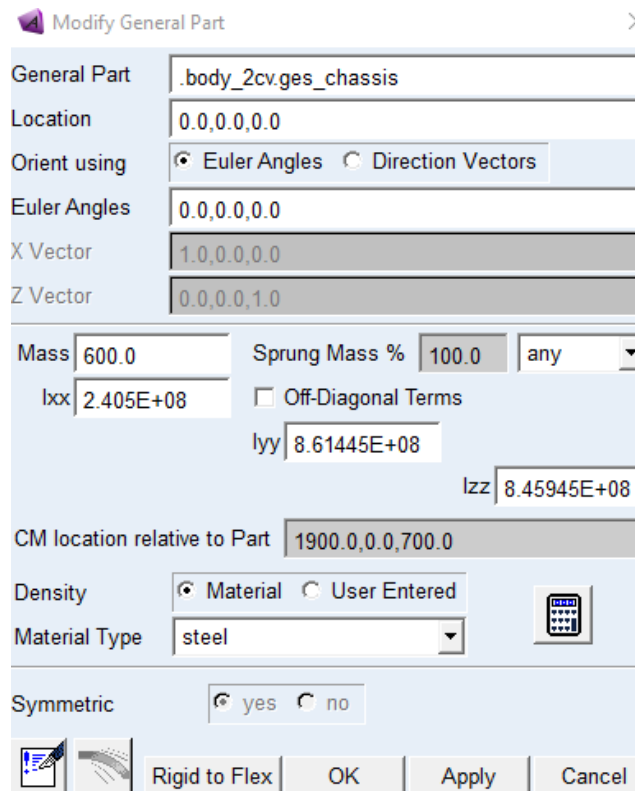


Figura 5-6. Masa e inercias de la carrocería del 2CV.



## 5.2 Suspensión Frontal

### 5.2.1 Introducción teórica

La suspensión de un automóvil tiene como finalidad absorber las irregularidades del terreno por el que se circula para poder controlar el vehículo y aumentar la comodidad. Además, una de las funciones principales es mantener el contacto neumático-terreno, puesto que si el neumático se despega de la calzada no podemos aplicar el concepto de automóvil como tal.

Las funciones del sistema de suspensión son:

- Proporcionar un comportamiento vertical consiguiendo que las ruedas superen los desniveles del terreno y aislando la carrocería de las irregularidades de la calzada.
- Reaccionar a las fuerzas de control que se transmiten desde la huella de contacto del neumático tales como las fuerzas longitudinales, laterales y pares de frenado y dirección.
- Mantener la posición de los neumáticos y la dirección respecto a la superficie de la carretera.
- Resistir el movimiento de balanceo de la carrocería.

Para el estudio de las suspensiones, se considera el vehículo como dos masas diferentes. En primer lugar, están las masas suspendidas, las cuales como su nombre indica están soportadas por el chasis. En nuestro 2CV, podemos identificar estas masas como el motor o la carrocería. También encontramos las masas no suspendidas, las cuales están en contacto directo con la calzada. Básicamente este grupo está formado por las ruedas, las cuales están en contacto con el suelo.

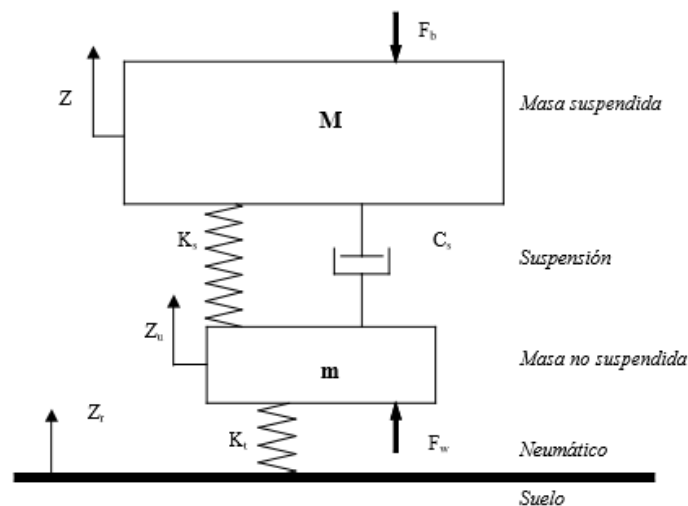


Figura 5-7. Modelo de un cuarto de vehículo de 2 g.d.l. Ref [20]

Como podemos observar en la anterior figura, el sistema de amortiguación de un vehículo no solo está formado por la suspensión, sino también por el neumático. Ahora bien, en este apartado nos basaremos en la amortiguación debida a la suspensión.

Existen muchas clasificaciones de suspensiones diferentes puesto que se han desarrollado muchos sistemas a lo largo de los últimos años. La clasificación más general que podemos hacer es diferenciar las suspensiones entre dependientes e independientes.

Un sistema de suspensión dependiente es aquella en el que las ruedas montadas en el mismo eje se encuentran unidas entre sí, de tal forma que el movimiento vertical de una rueda afecta a la rueda con la que comparte eje.

Por el contrario, las suspensiones independientes son las que no existe una unión entre las ruedas de ambos costados, de tal forma que el movimiento vertical de una rueda no afecta a la otra.

Hoy en día, debido al abaratamiento de sistemas de transmisión como juntas cardan o juntas homocinéticas, las suspensiones independientes han abarcado casi todos los terrenos de la automoción, empleando las suspensiones dependientes en vehículos de bajo coste o industriales.

Las suspensiones tienen gran influencia en el comportamiento del vehículo. Así pues, dependiendo de su geometría y construcción, pueden variar la alineación de las ruedas y provocar una sensación extraña en la dirección o un desgaste irregular en los neumáticos.

Dependiendo del plano de aplicación del ángulo de la rueda, encontramos:

· **Ángulo de caída (camber):** es el ángulo formado por la inclinación respecto al plano vertical. Este ángulo genera la aparición de fuerzas laterales en el neumático, conocidas como “empuje del ángulo de caída”.

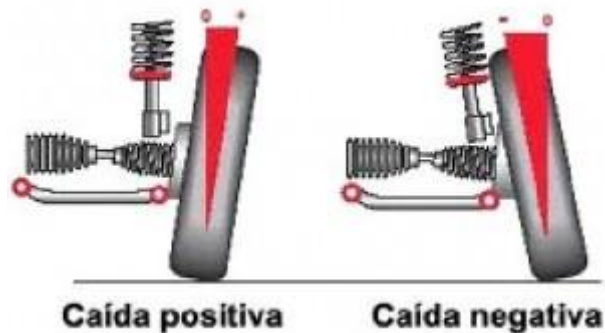


Figura 5-8. Ángulo de caída. Ref [21]

·**Ángulo de convergencia/divergencia (toe):** identifica la dirección hacia la cual apuntan las ruedas comparándolas con la dirección longitudinal del vehículo. La convergencia

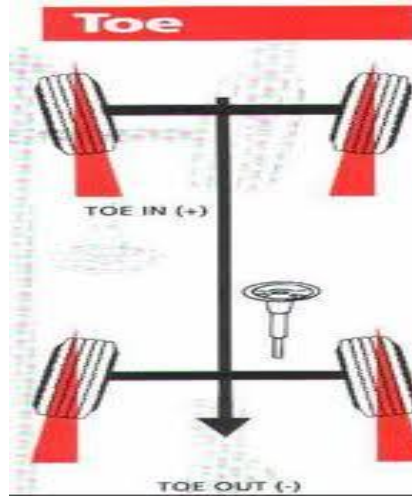


Figura 5-9. Ángulo de convergencia/divergencia. Ref [22]

se da cuando las ruedas están orientadas hacia el interior del vehículo y divergencia cuando apuntan hacia el exterior.

·**Ángulo de avance (caster):** es el ángulo formado por la prolongación del eje del pivote con el eje vertical que pasa por el centro de la rueda en su dirección de avance.

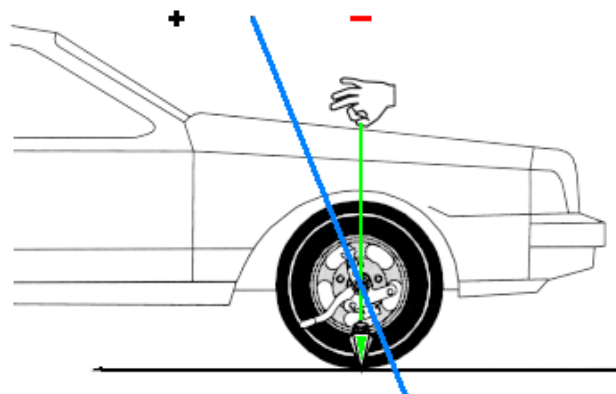


Figura 5-10. Ángulo de avance. Ref [23]

### 5.2.2 Suspensión delantera del Citroën 2CV

Respecto a la suspensión de nuestro Citroën 2CV, analizando su movimiento y sus especificaciones técnicas podemos afirmar que es una suspensión independiente, puesto que el movimiento vertical de la rueda de un lado no provoca esfuerzos en la del otro.

El Citroën 2CV posee una suspensión característica, puesto que es diferente a la del resto de vehículos del mercado. Existen muchas variantes de esta misma geometría tal y como se indicó en el capítulo de *Historia del 2CV*, con amortiguadores inerciales en las ruedas, amortiguadores traseros o, en su última versión, amortiguadores tanto en la parte frontal como en la trasera del vehículo.

En este proyecto modelaremos la última versión de las suspensiones del 2CV, puesto que es la más actual y la que posee nuestro modelo.



Figura 5-11. Suspensión del Citroën 2CV. Ref [24]

### 5.2.3 Modelización de la suspensión delantera

En primer lugar, tras buscar en el catálogo que ofrece Adams Car con diferentes plantillas de suspensiones, decidimos crear la suspensión completa, puesto que su geometría y forma de funcionar no se parece a los modelos del catálogo.

Para crear una suspensión abrimos Adams Car en su interfaz *Template Builder* y seleccionamos *File -> New Template* y nombramos nuestra suspensión como *\_suspension\_frontal* y de Major Role seleccionaremos *suspension*.

#### 5.2.3.1 Hardpoints

El primer paso para realizar la modelización es determinar los puntos (*hardpoints*) que formaran nuestra suspensión. Tras medir en nuestro propio vehículo y compararlas con las medidas añadidas en el **Anexo II**, crearemos los *hardpoints* con sus respectivos nombres y posiciones mediante el comando *Build -> Hardpoint -> New*. Si dejamos por defecto la selección *left* que viene de serie con el programa, se crearan dos *hardpoints* en nuestro modelo, uno en la parte izquierda y otro en la derecha.

En la figura 5-12 podemos observar los *hardpoints* creados para nuestro modelo 2CV.

	loc_x	loc_y	loc_z	
<b>hpl_arm_1</b>	680.0	-500.0	250.0	(none)
hpl_arm_2	1100.0	-500.0	380.0	(none)
hpl_arm_3	1200.0	-500.0	250.0	(none)
hpl_center_upright	680.0	-600.0	335.0	(none)
hpl_drive_shaft_inr	680.0	-200.0	500.0	(none)
hpl_lwr_circle_upright	680.0	-600.0	280.0	(none)
hpl_spring_1	1850.0	-500.0	260.0	(none)
hpl_spring_2	1640.0	-500.0	257.0	(none)
hpl_tierod_inner	1050.0	-50.0	400.0	(none)
hpl_tierod_outer	800.0	-600.0	400.0	(none)
hpl_top_circle_upright	680.0	-600.0	390.0	(none)
hpl_wheel_center	680.0	-630.0	335.0	(none)
hpl_wheel_to_arm	680.0	-600.0	250.0	(none)

Figura 5-12. *Hardpoints* de *\_suspension\_frontal* del 2CV

### 5.2.3.2 Construction Frames

Los *construction frames*, a diferencia de los *hardpoints*, también almacenan la orientación del punto, por lo que son bloques básicos en la construcción de muchos componentes. Para crear los *construccion frames*, utilizaremos el menú *Build -> Contstruction Frame -> New*. En nuestro modelo hemos creado los siguientes *construction frames*:

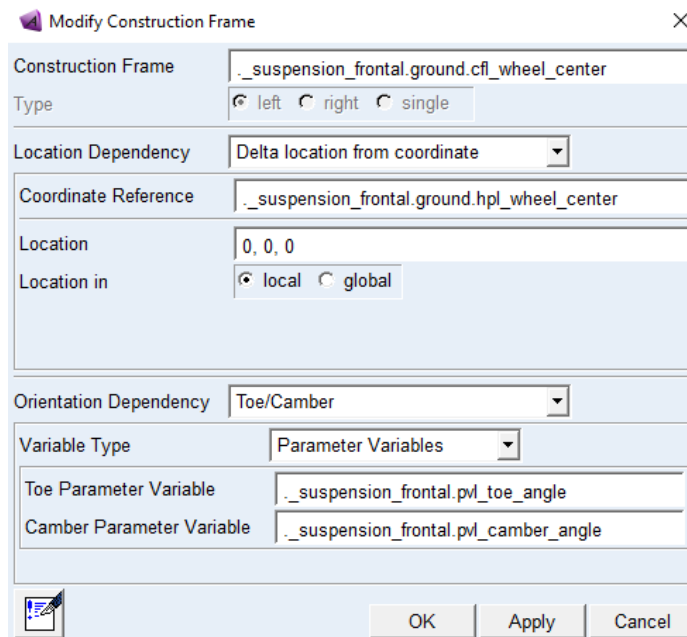


Figura 5-13: *Cfl\_wheel\_center*

Como podemos observar, la orientación de la rueda depende de los ángulos anteriormente mencionados *toe* y *camber*. Las variables han sido introducidas anteriormente mediante *Build -> Parameter Variable -> New* y se les ha otorgado un valor nulo.

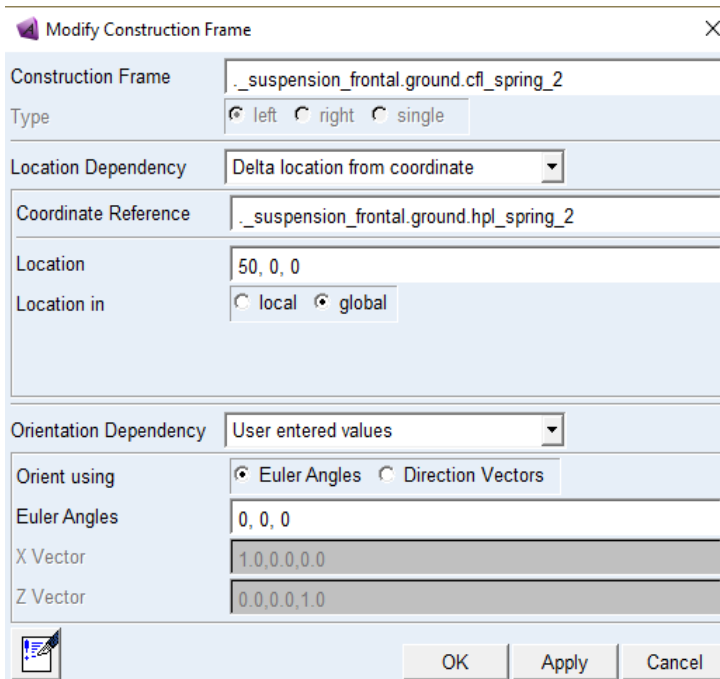


Figura 5-15. *cfl\_spring\_2*

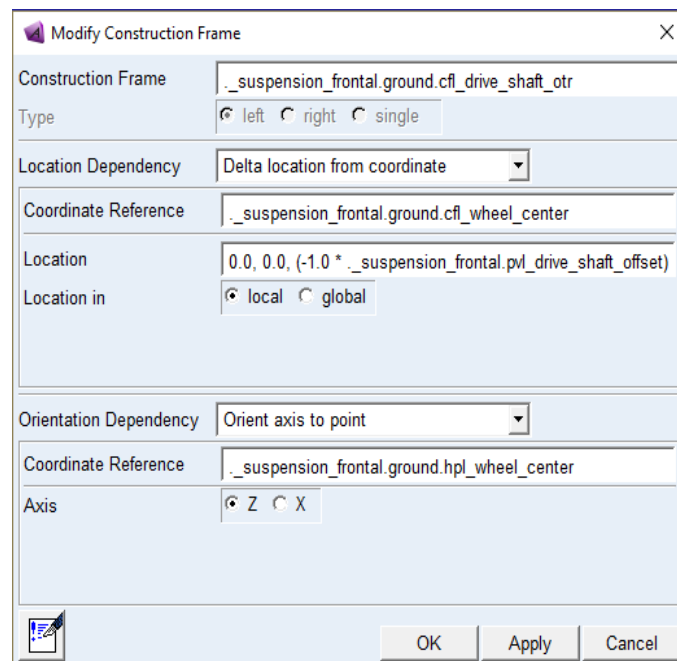


Figura 5-14. *cfl\_drive\_shaft\_otr*

Estos dos últimos *construction frames* se han creado para la geometría del cilindro de la parte *spindle* y para la orientación de la unión entre los *springs* y el *body* respectivamente.

El valor del parámetro *pvl\_drive\_shaft\_offset* es de 50, tal y como se ha creado en la plantilla *\_macpherson*, la cual se ha utilizado como modelo patrón para conocer los parámetros, comunicadores y montajes necesarios para implementar correctamente la suspensión en Adams Car.

Una vez creados todos los puntos sobre los que se basara nuestra estructura, procederemos a crear las diferentes partes que componen la suspensión.

### 5.2.3.3 General Parts y Geometry

Para crear una *General Part*, existen diversos caminos dependiendo de nuestra necesidad de construcción. La forma más simple e intuitiva para crearlas es mediante *Build -> Parts -> General Parts -> Wizard*. De este modo, se pueden crear partes con su respectiva geometría. Esta función es útil para crear partes que solamente se basen en un *link* o *arm*. El otro método para crear una nueva *General Part* es mediante *Build -> Parts -> General Parts -> New*. De esta segunda forma, podemos crear una *General Part* sin dotarla de una geometría inicial, solamente mediante una localización y orientación. Además, se pueden introducir directamente las masas e inercias de estas.

Nuestro modelo de suspensión está compuesto por las siguientes *General Parts*:

• **Spindle:** esta *General Part* representa el eje sobre el cual giran las ruedas. En su construcción se ha utilizado una geometría cilíndrica para otorgarle una forma similar a la realidad. Para crear la geometría cilíndrica, seleccionamos *Build -> Geometry -> Cylinder -> New*. Las características de este cilindro son las siguientes:

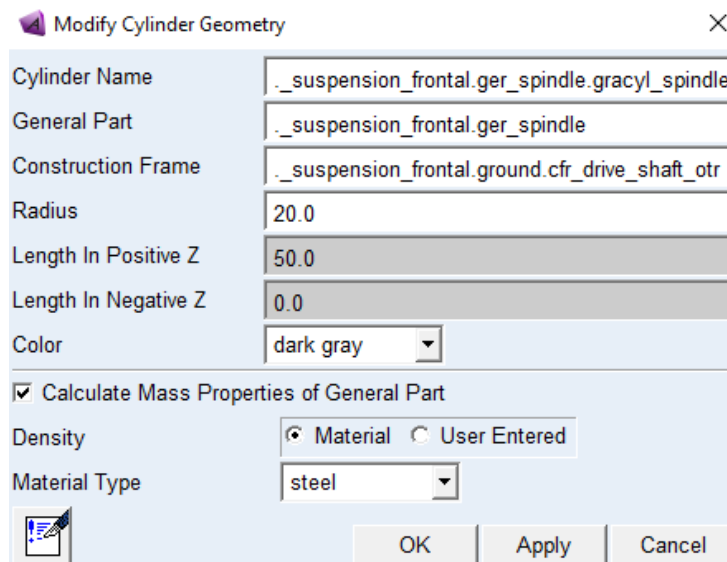


Figura 5-16. Construcción de la geometría cilíndrica se *spindle*

Seleccionando la casilla *Calculate Mass Properties of General Part* añadimos la masa y la inercia de la geometría realizada a su respectiva *General Part*. La localización y orientación de *spindle* dependerá de los neumáticos, tal y como podemos observar en su información.

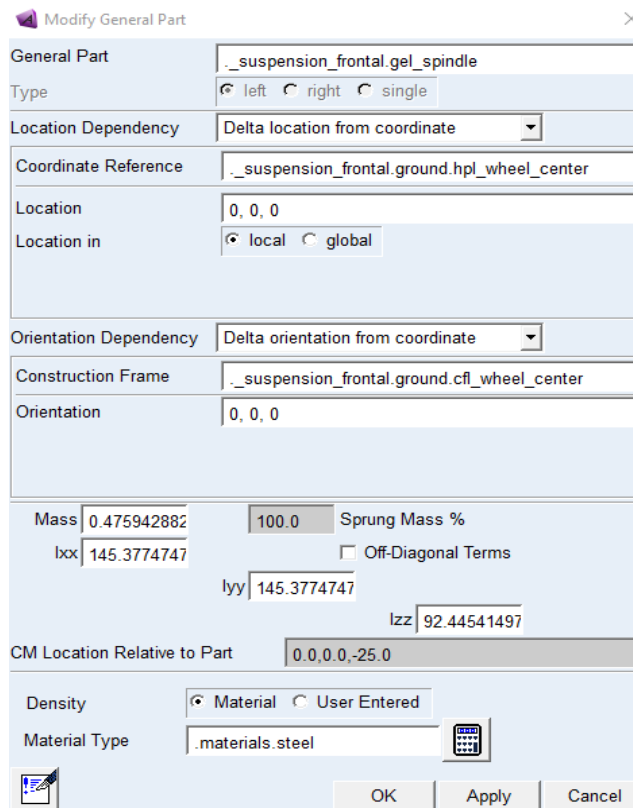


Figura 5-17. Propiedades de *spindle*

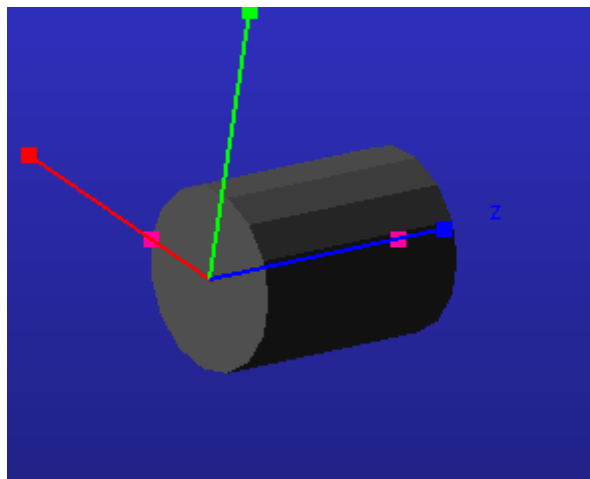


Figura 5-18. *Spindle*



·**Upright:** es la parte que une las ruedas a la suspensión y la dirección, tal y como podemos observar en el modelo real del 2CV.



Figura 5-19. Estructura de la rueda frontal izquierda del 2CV

Para realizar la *General Part* y las diferentes *Geometry* que la conforman se han utilizado los procedimientos anteriormente descritos. La información y geometría del *upright* la podemos visualizar en las figuras 20 y 21 respectivamente.

Modify General Part		X	
General Part	_suspension_frontal.gel_upright		
Type	<input checked="" type="radio"/> left <input type="radio"/> right <input type="radio"/> single		
Location Dependency	Delta location from coordinate		
Coordinate Reference	_suspension_frontal.ground.cfl_wheel_center		
Location	0, 0, 0		
Location in	<input checked="" type="radio"/> local <input type="radio"/> global		
Orientation Dependency	User-entered values		
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	3.503833286	100.0	Sprung Mass %
lxx	4656.123397		<input type="checkbox"/> Off-Diagonal Terms
lyy	7033.708329		
lzz		3074.248793	
CM Location Relative to Part	1.3666417102, 15.3241741759, -9.104868955		
Density	<input checked="" type="radio"/> Material <input type="radio"/> User Entered		
Material Type	.materials.steel		
		OK	Apply
		Cancel	

Figura 5-20. Información sobre *upright*

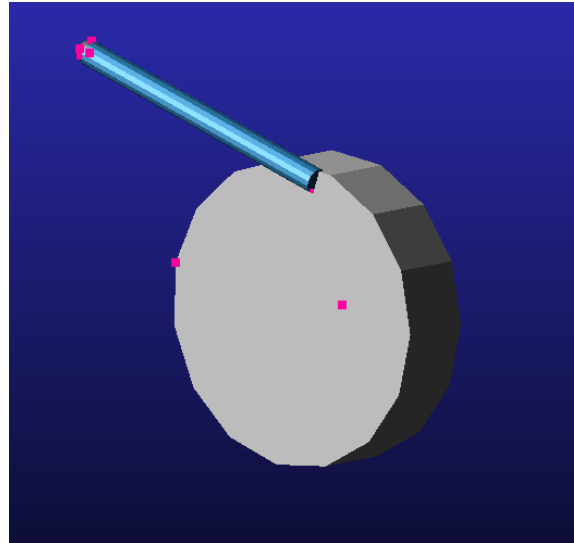


Figura 5-21. Upright

·**Arm:** es una de las partes más reconocidas y características del Citroën 2CV. A lo largo de los años, pese a la evolución de la geometría de las suspensiones, esta parte no se ha modificado aparentemente. Dicha pieza tiene la función de unir las ruedas con los muelles.



Figura 5-22. Brazo de la suspensión frontal del 2CV. Ref [25]

La *Geometry* de esta pieza está formada por diferentes barras y elipsoides, reproduciendo como diseño final en Adams la figura 23.

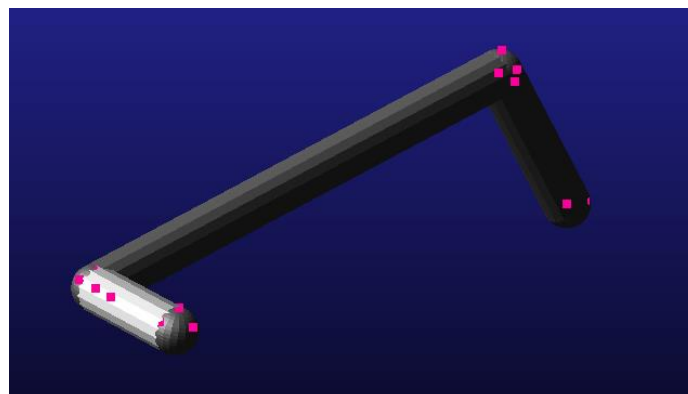


Figura 5-23. Arm

Como podemos observar la modelización realizada en Adams no es exactamente como en la realidad, puesto que no posee una potente herramienta gráfica que nos permita crear piezas con formas tan complejas. En la hipótesis de nuestro modelo del 2CV utilizaremos esta geometría con su respectiva información incorporada en la figura 24.

**Modify General Part**

General Part: `._suspension_frontal.gel_arm`

Type:  left  right  single

Location Dependency: Centered between coordinates

Centered between: Two Coordinates

Coordinate Reference #1: `._suspension_frontal.ground.hpl_wheel_to_arm`

Coordinate Reference #2: `._suspension_frontal.ground.hpl_arm_1`

Coordinate Reference #3: [Empty]

Coordinate Reference #4: [Empty]

Orientation Dependency: Orient axis along line

Coordinate Reference #1: `._suspension_frontal.ground.hpl_wheel_to_arm`

Coordinate Reference #2: `._suspension_frontal.ground.hpl_arm_1`

Axis:  Z  X

Mass: `9.945804572` Sprung Mass %: `100.0`

lxx: `9.019098643` Off-Diagonal Terms:

lyy: `3.698555958` lzz: `4.382457263`

CM Location Relative to Part: `265.1900681165,-93.9960909915,53.4958357`

Density:  Material  User Entered

Material Type: `.materials.steel`

Figura 5-24. Información sobre *arm*

·**Tierod**: tiene como misión transmitir el movimiento de dirección a la rueda.

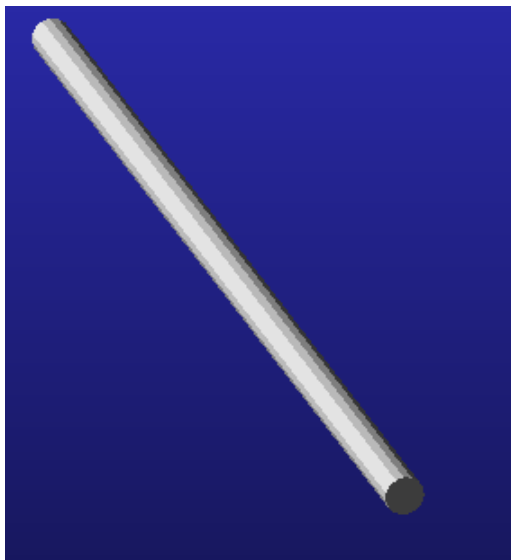


Figura 5-25. *Tierod*

**Modify General Part**

General Part: `._suspension_frontal.gel_tierod`

Type:  left  right  single

Location Dependency: Centered between coordinates

Centered between: Two Coordinates

Coordinate Reference #1: `._suspension_frontal.ground.hpl_tierod_outer`

Coordinate Reference #2: `._suspension_frontal.ground.hpl_tierod_inner`

Coordinate Reference #3: [Empty]

Coordinate Reference #4: [Empty]

Orientation Dependency: Orient axis along line

Coordinate Reference #1: `._suspension_frontal.ground.hpl_tierod_outer`

Coordinate Reference #2: `._suspension_frontal.ground.hpl_tierod_inner`

Axis:  Z  X

Mass: `1.478681845` Sprung Mass %: `100.0`

lxx: `4.761249023` Off-Diagonal Terms:

lyy: `4.761249023` lzz: `71.80344643`

CM Location Relative to Part: `0,0,0,0,0,0`

Density:  Material  User Entered

Material Type: `.materials.steel`

Buttons: OK, Apply, Cancel

Figura 5-26. Información sobre *tierod*

**Bar\_front:** es la barra que comunica el brazo de la suspensión con los muelles. En las siguientes figuras podemos observar una imagen real de la barra, como ha sido modelada en Adams Car y su respectiva información para crearla.



Figura 5-27. Bar\_front

Modify General Part	
General Part	_suspension_frontal.gel_bar_front
Type	<input checked="" type="radio"/> left <input type="radio"/> right <input type="radio"/> single
Location Dependency	Centered between coordinates
Centered between	Two Coordinates
Coordinate Reference #1	_suspension_frontal.ground.hpl_arm_3
Coordinate Reference #2	_suspension_frontal.ground.hpl_spring_1
Coordinate Reference #3	
Coordinate Reference #4	
Orientation Dependency	Orient axis along line
Coordinate Reference #1	_suspension_frontal.ground.hpl_arm_3
Coordinate Reference #2	_suspension_frontal.ground.hpl_spring_1
Axis	<input checked="" type="radio"/> Z <input type="radio"/> X
Mass	0.263453302
lxx	4306.865180
lxy	4306.865180
lzz	3.19826321E
CM Location Relative to Part	0.0,0.0,0.0
Density	<input checked="" type="radio"/> Material <input type="radio"/> User Entered
Material Type	.materials.steel

Figura 5-28. Información sobre bar\_front

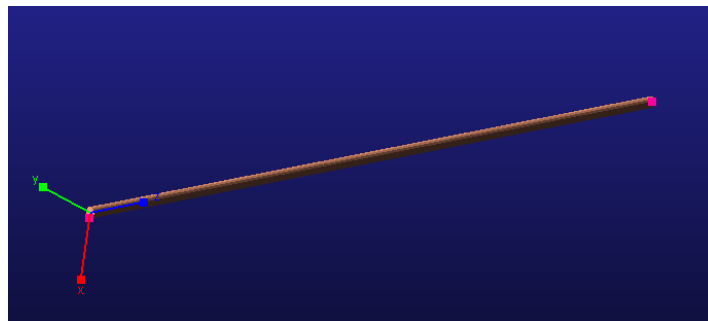


Figura 5-29. Bar\_front

·**Spring**: está compuesta por el muelle y amortiguador. Para realizar la modelización del amortiguador se ha tomado como hipótesis que su localización es la misma que *bar\_front*. En la realidad esto no es del todo cierto puesto que ambas están situadas paralelamente, pero el principio de funcionamiento del sistema es el mismo. Respecto a las propiedades del muelle y amortiguador, en principio se utilizarán los *Property Files* implementados en Adams Car. Posteriormente, dado que la suspensión del 2CV presenta diversas diferencias respecto a las convencionales, será necesario modificar estos archivos para obtener un comportamiento similar a la realidad. En las siguientes figuras podemos apreciar el sistema montado en el 2CV, además de la implementación en Adams y su respectiva información.



Figura 5-30. Amortiguador

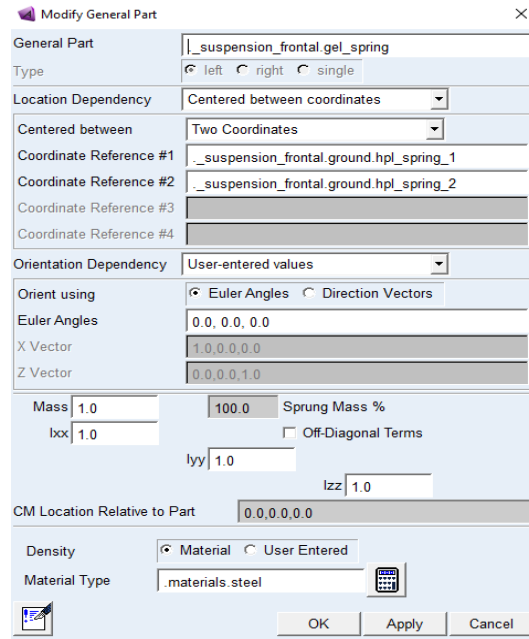


Figura 5-31. Información sobre *spring*

Para crear las fuerzas y, a su vez, las geometrías de los muelles y amortiguaciones, seleccionaremos *Build -> Forces -> Spring/Damper -> New*. Posteriormente, introduciremos los valores característicos de nuestro modelado, quedando finalmente la *General Part* tal y como se observa en la figura 5-32.

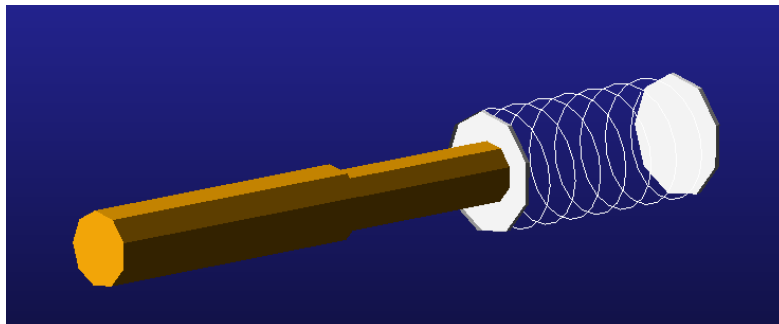


Figura 5-32. *Spring*

### 5.2.3.4 Mount Parts

Durante la modelización de modelos en Adams Car, puede darse la situación de que necesitemos comunicar diferentes plantillas entre si. Mediante *Mount Parts*, Adams Car nos permite realizar montajes entre diferentes plantillas, introduciendo la localización y el Minor Role del montaje.

Para crear *Mount Parts*, debemos seleccionar *Build -> Parts -> Mount -> New*. En el caso particular de nuestro Citroën 2CV, necesitamos realizar diversos montajes como pueden ser las uniones de los muelles y los brazos al chasis o las barras de dirección a la columna de dirección, la cual se encuentra ubicada en otra plantilla. Particularizando, los siguientes *Mount Parts* han sido creados en nuestro modelo:

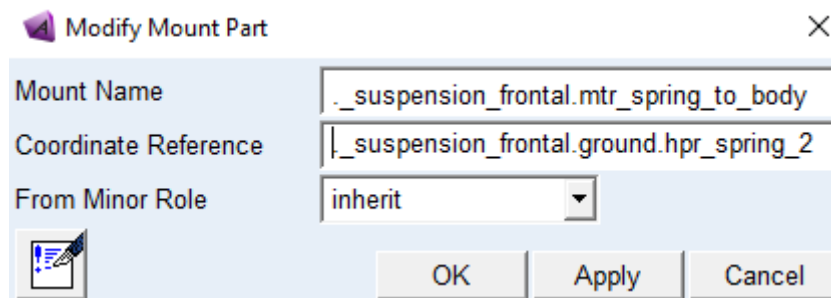


Figura 5-33. *Mount Part spring\_to\_body*

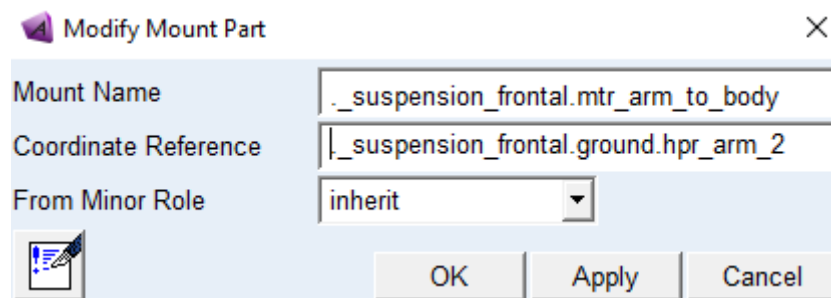


Figura 5-34. *Mount Part arm\_to\_body*

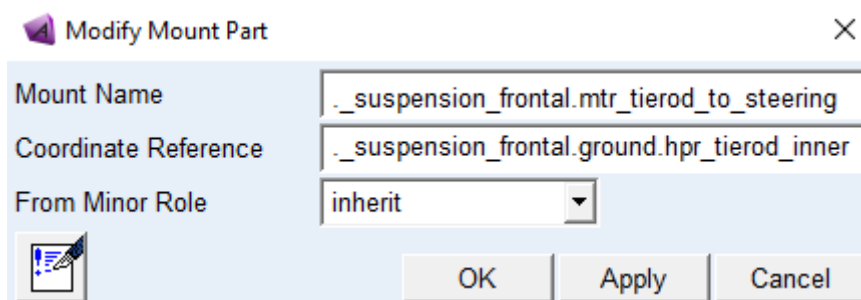


Figura 5-35. *Mount Part tierod\_to\_steering*

Además, tal y como veremos más adelante en el apartado *Comunicadores*, al crear *Mount Parts* automáticamente se crean sus respectivos comunicadores *Input*.

### 5.2.3.5 Joints

Una vez creadas las diferentes *General Parts* del sistema, es necesario realizar las uniones entre sí. Para ello, Adams Car cuenta con un amplio catálogo de uniones o *joints*, entre las cuales encontramos pares de revolució, cilíndricos, esféricos...

Para realizar uniones, seleccionaremos en el menú *Build -> Attachments -> Joint -> New* y se abrirá una ventana donde podremos crear las diferentes uniones de nuestro sistema.

Particularizando el caso para nuestro Citroën, en esta plantilla hemos creado las uniones expuestas en la figura 36. Además, en la figura 37 podemos observar donde están ubicadas en nuestro modelado.

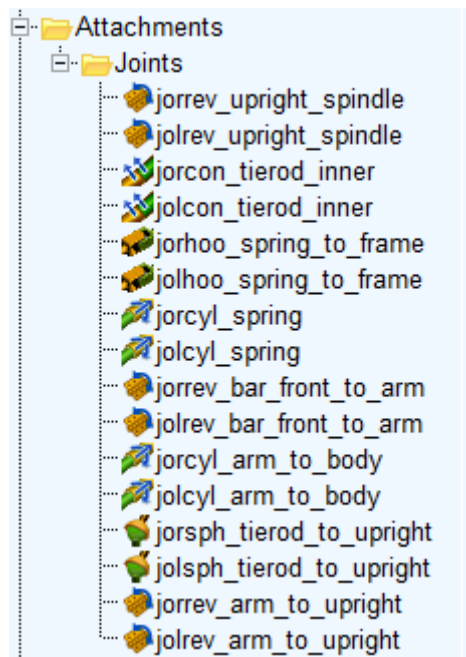


Figura 5-36. *Joints* utilizados en el modelado del 2CV

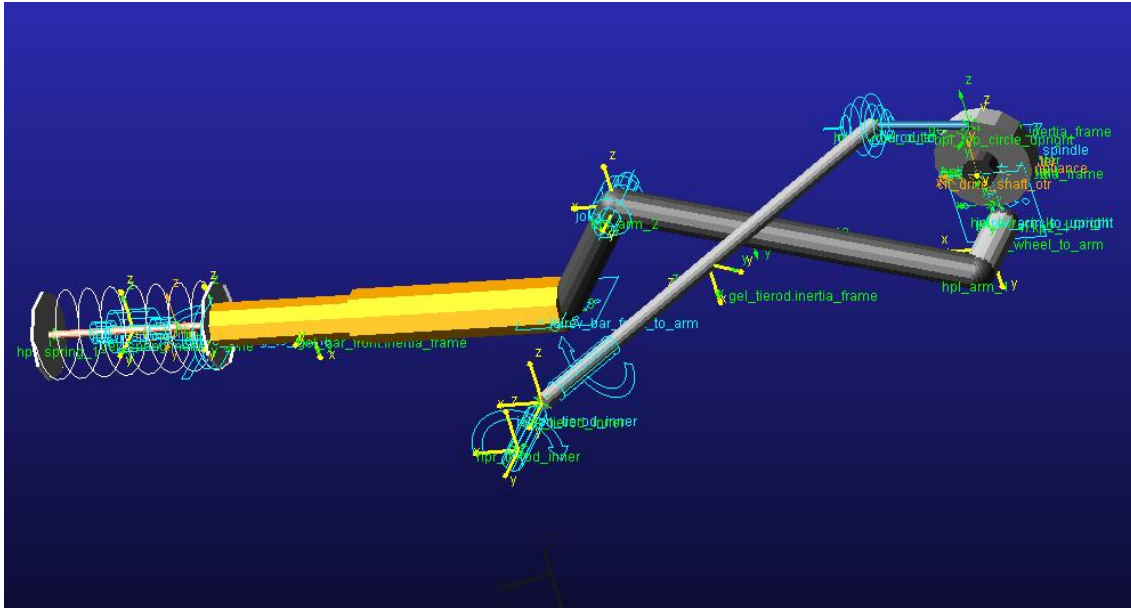


Figura 5-37. Parte lateral de *suspensión\_fronal* con sus *General Parts* y respectivas *Joints*

Cabe destacar que aquellas uniones o *Joints* que unan *General Parts* de diferentes plantillas se deberán crear introduciendo sus respectivas *Mount Parts*.

#### 5.2.3.6 Communicators

Un ensamblado esta creado por diversos subsistemas. A su vez, los subsistemas se crean a partir de las plantillas. Por lo tanto, resulta necesaria la comunicación entre los diversos subsistemas para un correcto ensamblado y funcionamiento. Para ello, el software ha creado los *Communicators* que, tal y como su nombre indica, sirven para comunicar los diferentes subsistemas entre sí.

Existen multitud de *Communicators* en Adams Car, los cuales los podemos encontrar en las diferentes plantillas que ofrece su catálogo. Para el correcto funcionamiento del ensamblado, uno de sus subsistemas debe poseer un *Communicator Input* (entrada) y otro *Communicator Output* (salida) relacionados entre si entre sus diferentes subsistemas. Existen una gran variedad de funciones entre los *Communiator* como pueden ser *array*, *location*, *mount*, *joint*...

Para crearlos, deberemos ir a *Build -> Communicators -> Input/Output -> New*, donde introduciremos los diferentes valores oportunos para nuestro modelo.

Debido al extenso número de *Communicators* que posee nuestro modelado y dado que este proyecto no es un tutorial sobre Adams Car, solamente nombraremos los *Communicators* que posee nuestra suspensión. Para más información acerca de ellos, solamente debemos



seleccionar *Help* -> *Adams Car Help* en la barra de herramientas. En la figura 5-38 podemos encontrar los que posee nuestra plantilla *suspensión\_frontal*.

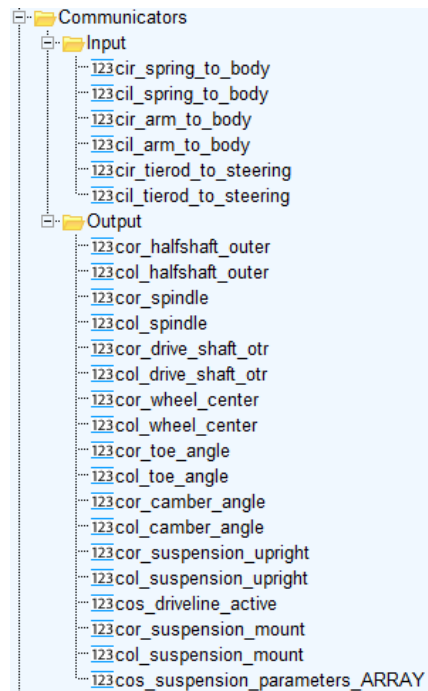


Figura 5-38. *Communicators* de *suspensión\_frontal* del 2CV

## 5.2.4 Subsystem

Tras crear la plantilla con todas las diferentes partes que la componen, es necesario crear un subsistema de la suspensión frontal.

Para ello, utilizaremos Adams Car en su versión *Standard Interface*. Para crear el nuevo subsistema, deberemos seleccionar *File* -> *New* -> *Subsystem*. Seguidamente, introduciremos el nombre del subsistema que queremos crear, en este caso *suspensión\_frontal\_c2cv* y seleccionaremos como Minor Role: *front*.

## 5.3 Suspensión trasera

### 5.3.1 Consideraciones iniciales

Para realizar la modelización de a suspensión trasera, partiremos de la plantilla *suspension\_frontal*, puesto que ambas son muy similares exceptuando ciertas partes.

En primer lugar, modificaremos la geometría y las uniones entre *arm* y *upright*, puesto que como podemos observar en la siguiente figura, el brazo de la suspensión trasera es diferente al de la frontal.



Figura 5-39. Brazo trasera de la suspensión del 2CV. Ref [26]

### 5.3.2 Modelización de la suspensión trasera

En primer lugar, abriremos el template creado anteriormente *suspensión\_fronal*, el cual guardaremos con el nombre de *suspensión\_trasera*.

A continuación, modificando los valores de los *hardpoints*, realizaremos una suspensión simétrica a la frontal y la ubicaremos en su posición real. Cabe destacar que algunos se reubicaran en una nueva posición para realizar un modelo más parecido a la realidad. Los *hardpoints* modificados en nuestro modelo quedarán tal que:

	loc_x	loc_y	loc_z	
<b>hpl_arm_1</b>	<b>3080.0</b>	<b>-500.0</b>	<b>335.0</b>	<b>(none)</b>
hpl_arm_2	2660.0	-500.0	380.0	(none)
hpl_arm_3	2560.0	-500.0	250.0	(none)
hpl_center_upright	3080.0	-600.0	335.0	(none)
hpl_drive_shaft_inr	3080.0	-200.0	500.0	(none)
hpl_lwr_circle_upright	3080.0	-600.0	280.0	(none)
hpl_spring_1	1910.0	-500.0	260.0	(none)
hpl_spring_2	2120.0	-500.0	257.0	(none)
hpl_tierod_inner	2960.0	-600.0	400.0	(none)
hpl_tierod_outer	2960.0	-600.0	400.0	(none)
hpl_top_circle_upright	3080.0	-600.0	390.0	(none)
hpl_wheel_center	3080.0	-630.0	335.0	(none)
hpl_wheel_to_arm	3080.0	-600.0	335.0	(none)

Figura 5-40. Hardpoints de *suspensión\_trasera*

Seguidamente, eliminaremos las barras de dirección anteriormente llamadas *tierod* y sus respectivas *Joints* y *Mount Parts*, puesto que la suspensión trasera no las posee.

Por lo que a la suspensión trasera respecta, solamente será necesario modificar las diferentes uniones entre las barras, quedando la plantilla como podemos observar a continuación.



Figura 5-41. Parte lateral de *suspensión\_trasera* con sus *General Parts* y respectivas *Joints*

Cabe destacar que, tal y como hemos mencionado en el apartado Consideraciones Iniciales, se ha modificado la geometría de *arm* y *upright*. Además, se ha substituido su anterior par de unión de revolución por un par fijo, tal y como se ha considerado tras su comparación con la realidad.

### 5.3.3 Subsystem

Finalmente, tal y como se ha creado anteriormente, realizaremos un subsistema basado en la template *suspensión\_trasera*, la cual crearemos con Minor Role: *rear* y nombraremos *suspensión\_trasera\_c2cv*.

## 5.4 Motor y caja de cambios

### 5.4.1 Introducción teórica

A lo largo de los años, desde el primer Citroën 2CV el cual producía una potencia máxima de 9CV, la motorización del vehículo ha ido evolucionando hasta llegar a un total de 26CV que imprimía su modelo 2CV 4.

Tal y como se describió anteriormente, el 2CV es un vehículo que en sus diferentes versiones era de tracción delantera, exceptuando su modelo 4x4 el cual incluía motorización trasera.

Tal y como podemos ver en el **Anexo II**, el modelo 2CV 4 posee un motor de 435cc con una potencia máxima de 26 CV y un par de 3.1 mKg. Lo cilindros de dicho motor están situados transversalmente respecto al vehículo y opuestos entre sí.

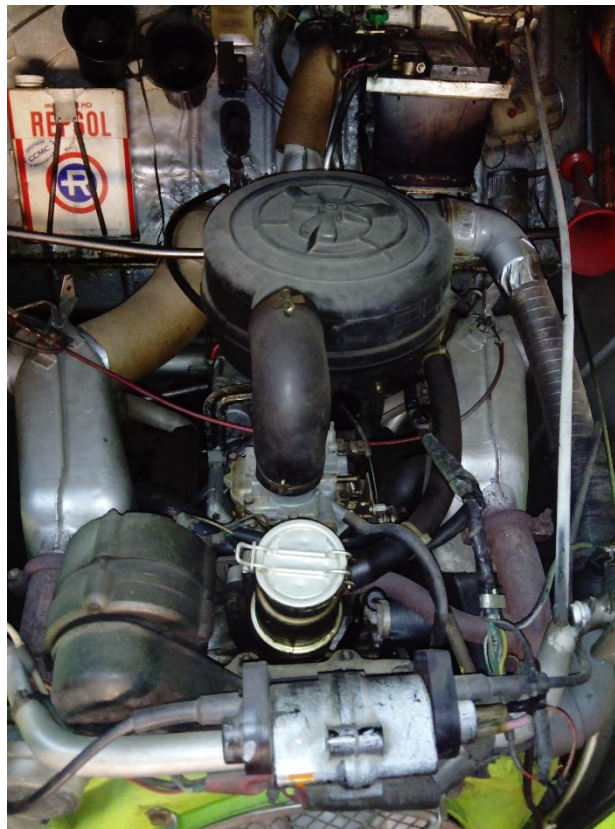


Figura 5-42. Motorización de nuestro Citroën 2CV

Respecto a la caja de cambios, el 2CV 4 posee 4 velocidades y la marcha atrás, siendo sus relaciones aproximadamente 6.71:1 para la 1ª marcha, 3.23:1 para la 2ª, 1.93:1 para la 3ª y 1.47 para la 4ª. La marcha atrás es aproximadamente de 7:1. Estos valores se han obtenido tras realizar la desmultiplicación de un diferencial cónico 8:31 a los valores expuestos en el **Anexo II**.

Respecto a las curvas del motor, no hemos encontrado gráficas de nuestro vehículo, por lo que realizaremos una aproximación de ellas hasta obtener unos valores aceptables.

### 5.4.2 Modelización

Para realizar la modelización del motor y la caja de cambios de nuestro vehículo, partiremos del subsistema *engine\_transmission\_transverse*, el cual podemos encontrar en el catálogo *concept* de Adams Car. Este subsistema forma parte del vehículo Sedan de Adams Car.

Para cargar el subsistema, en el modo *Standard Interface* mediante *File -> Open -> Subsystem* abrimos el subsistema correspondiente.

Una vez cargado el subsistema, modificaremos las curvas y las características del motor y la caja de cambios para hacerlo más similar a nuestro automóvil. Para ello, accedemos al menú *Adjust -> Powertrain Properties* y seleccionamos *Manual Gear Shifting*, puesto que la transmisión de nuestro vehículo es manual. Los valores introducidos para nuestro modelo son los siguientes:

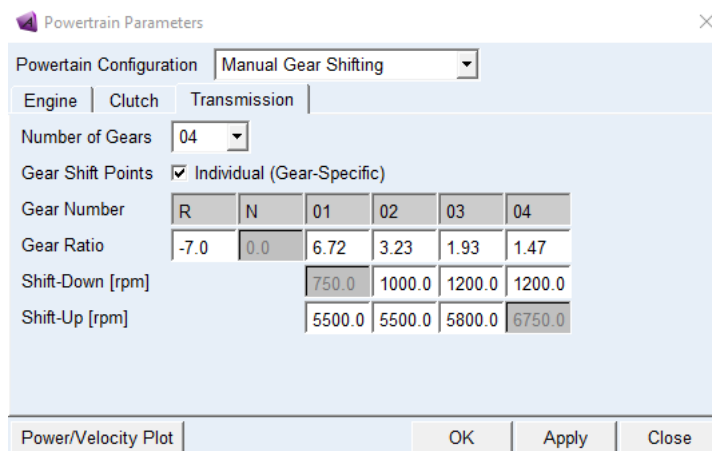


Figura 5-43. Relaciones de transmisión del 2CV

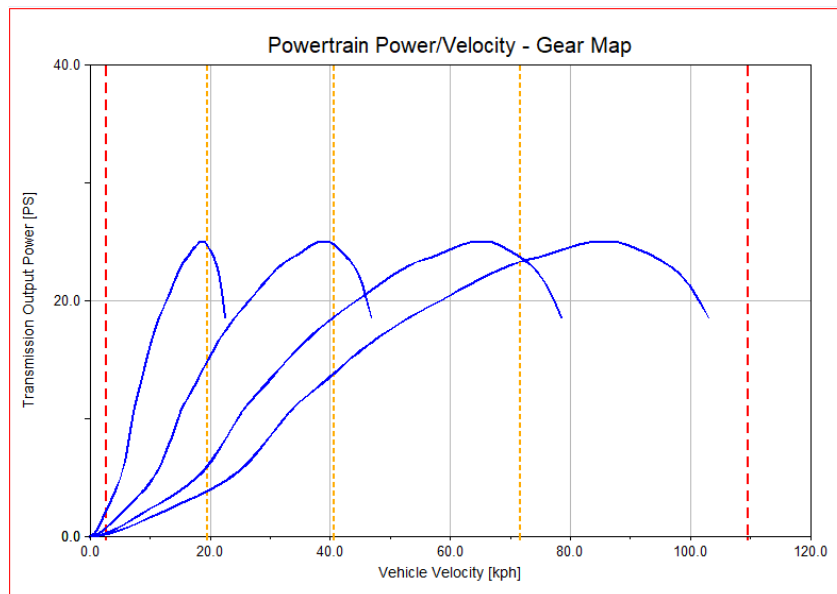


Figura 5-44. Curvas Potencia-Velocidad del 2CV

Finalmente, guardaremos el subsistema como *\_motor\_c2cv*, introduciendo *front* como Minor Role de nuestro subsistema.

## 5.5 Dirección

### 5.5.1 Introducción teórica

Para modificar la trayectoria del vehículo y seguir el rumbo deseado, es necesario un sistema capaz de guiar el automóvil. Así pues, conocemos como dirección de un automóvil el sistema que permite orientar las ruedas directrices del vehículo.

Mediante la acción del conductor, el sistema de mecanismos que forma la dirección actúa sobre las ruedas. Existen diferentes tipos de direcciones dependiendo de su configuración en la unión entre varillaje y columna de dirección, tales como por ejemplo los sistemas piñon cremallera.

En nuestro Citroën 2CV se monta una dirección “rack and pinion” conocida como piñon cremallera.

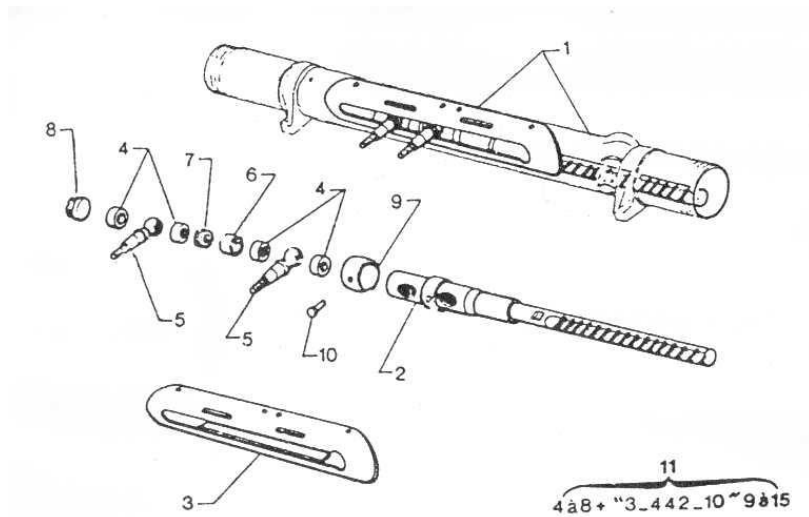


Figura 5-45. Sistema piñon cremallera del 2CV. Ref [27]

### 5.5.2 Modelización

Para realizar la modelización de la dirección del 2CV, crearemos una template copia de la guardada en `catalogos_rack_and_pinion_steering`, la cual nombraremos como `_direccion` y otorgaremos un Minor Role: `front`. Posteriormente, realizando el cambio a la versión `Standard Interface`, crearemos un subsistema a partir de dicha template con el nombre `_direccion_c2cv` con Minor Role: `front`, puesto que queremos que se ubique en la parte frontal del vehículo.

Tras crear el nuevo subsistema, puesto que ya posee todos los *Communicators* y *Mount Parts* necesarios para ensamblarse con los otros subsistemas, solamente deberemos modificar los

*hardpoints* para darle una geometría similar a la real. En nuestro caso, las ubicaciones de los *hardpoints* son las siguientes:

Hardpoint Modification Table				
Assembly		Subsystem		
primer_motor.direccion_2cv		Name Filter: *		
	loc_x	loc_y	loc_z	
hpl_rack_house_mount	1050.0	-400.0	400.0	(none)
hpl_tierod_inner	1050.0	-50.0	400.0	(none)
hps_intermediate_shaft_forward	1250.0	-300.0	600.0	(none)
hps_intermediate_shaft_rearward	1400.0	-300.0	1000.0	(none)
hps_pinion_pivot	1050.0	-300.0	400.0	(none)
hps_steering_wheel_center	1650.0	-300.0	1050.0	(none)

Display: Single and  Left  Right  Both

OK Apply Cancel

Figura 5-46. *Hardpoints* del subsistema de la dirección del 2CV

Como podemos observar, la ubicación de los *hardpoints* nombrados *tierod\_inner* coincide con la ubicación de los mismos en el subsistema *suspensión\_fronal\_c2cv*.

Finalmente, deberemos guardar el subsistema de la dirección en nuestra base de datos para usarlo posteriormente en el ensamblado del vehículo.



Figura 5-47. *Subsystem\_direccion\_2cv*

## 5.6 Ruedas frontales y traseras

### 5.6.1 Introducción teórica

Uno de los elementos más importantes en un vehículo son las ruedas, ya que constituyen el único elemento de unión entre el vehículo y la calzada, por lo que estas forman parte del sistema de transmisión de potencia, dirección y suspensión. La rueda es un conjunto formado por el disco y la llanta metálica del vehículo, el cual está unido mediante uniones mecánicas a la transmisión o giran libremente, dependiendo de si son motrices o no. También, uno de sus

elementos son los neumáticos, los cuales se alojan sobre las llantas y deben estar en contacto permanente con el suelo.

Principalmente, las ruedas tienen la función de:

- Transmitir la potencia motriz del motor a la calzada.
- Soportar las diferentes cargas del vehículo.
- Contribuir y estabilizar el vehículo durante la frenada.
- Mejorar la eficacia de la suspensión.
- Generar y transmitir las fuerzas laterales necesarias para realizar giros en las curvas.
- Asegurar y mantener la dirección del vehículo en su trayectoria.

Con la evolución del ser humano, las ruedas han tendido a reducir su diámetro y aumentar su anchura para ofrecer mayor estabilidad y bajar el centro de masas del vehículo. En nuestro modelo del 2CV, podremos observar como las ruedas presentan varias diferencias respecto a la actualidad, puesto que montan unos neumáticos de gran diámetro y poca anchura.

La nomenclatura de los neumáticos de nuestro modelo es 135 R15 72S. Esta nomenclatura está un poco obsoleta, puesto que no nos indica la relación de aspecto del vehículo. Es habitual encontrar modelos del 2CV con neumáticos 125/15 dado que las leyes permiten su uso.

### 5.6.2 Modelización

Para modelizar las ruedas delanteras y traseras de nuestro vehículo utilizaremos un proceso diferente a los anteriores, puesto que las modificaremos a partir de los archivos de texto que crea Adams Car sobre los subsistemas.

En primer lugar, abriremos las plantillas de cualquier tipo de ruedas similares a las nuestras. En nuestro caso hemos utilizado las plantillas *\_handling\_tire*. Seguidamente, guardamos el archivo en primer lugar como *\_front\_wheels\_2cv*, que tal y como su nombre indica serán las ruedas delanteras del vehículo. Seguidamente, repetimos el proceso para las ruedas traseras.

Una vez creadas las dos plantillas de las ruedas frontales y traseras, procederemos a crear los subsistemas respectivos, dándoles como Minor Role: *front* y *rear* para las ruedas frontales y traseras respectivamente.

Seguidamente, en el menú *Browse* de Adams Car, abrimos el submenú *Force Elements -> Tires -> tir/til\_wheel* y abrimos la ruta del archivo *Property File*, el cual posee las propiedades del neumático.

Una vez abierto el archivo *.tir* con un editor de textos, modificaremos los parámetros necesarios para variar la geometría y propiedades de las ruedas. En nuestro caso, los parámetros que hemos modificado son los siguientes:



[DIMENSION]

UNLOADED\_RADIUS = 380

WIDTH = 125

ASPECT\_RATIO = 0.8

\$-----vertical

[PARAMETER]

VERTICAL\_STIFFNESS = 315.0

VERTICAL\_DAMPING = 3.1

LATERAL\_STIFFNESS = 190.0

ROLLING\_RESISTANCE = 0.0

El resto de parámetros los hemos dejado de serie, puesto que es información que no hemos podido obtener sobre nuestro modelo. Una vez modificado el archivo y guardado, podemos guardar el subsistema de las ruedas.

El proceso utilizado ha sido el mismo tanto para las ruedas frontales como para las traseras. Además, los valores de ambas son iguales.

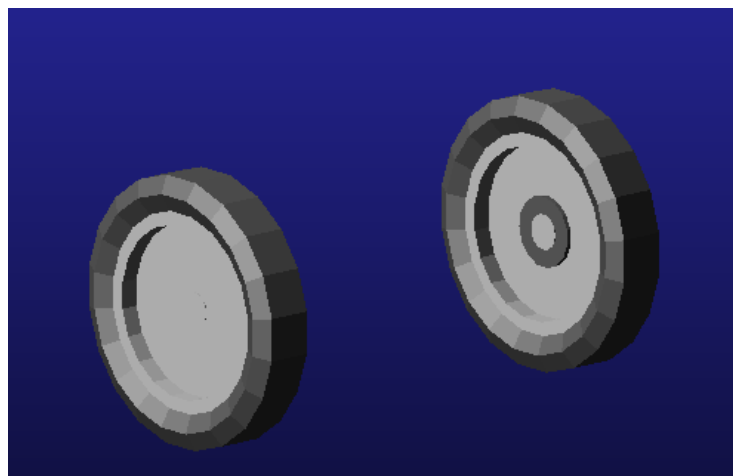


Figura 5-48. Subsistema *ruedas\_delanteras\_2CV*

## 5.7 Sistema de frenos

### 5.7.1 Introducción teórica

Por su propia naturaleza, la rueda una vez empieza a rodar tiende a seguir dicho movimiento. Por tanto, es necesario el invento del freno para poder controlar el movimiento de la rueda para asegurar la detención de las mismas. El principio de los sistemas de frenado radica en una pieza la cual se presiona contra la rueda y mediante fricción logra detener o reducir su movimiento. Podemos considerar entonces que los frenos son transformadores de energía, ya que transforman la energía cinética que posee la rueda en calor mediante fricción.

En la actualidad existen varios tipos de frenos dependiendo de su geometría y funcionamiento.

En primer lugar, podemos encontrar los frenos de tambor los cuales monta nuestro modelo 2CV. Este sistema de frenado está constituido por un tambor montado sobre el buje de la



Figura 5-49. Frenos de tambor. Ref [28]

rueda mediante espárragos y tuercas, y por un plato de freno, que es el elemento fijo sujeto al puente o a la porta mangueta. En este plato podemos encontrar las zapatas, las cuales están recubiertas de unos forros que son los elementos de fricción.

Ahora bien, en la actualidad los frenos más utilizados son los conocidos como frenos de disco. Su principal ventaja respecto al freno de tambor es que posee un menor tiempo de frenado, lo que se traduce como una menor distancia de parada. Este hecho radica en que los dispositivos de fricción están montados al aire, por lo que al disponer de una mayor refrigeración la absorción de energía y su transformación en calor se puede realizar más rápidamente.

Estos frenos están compuestos por tres elementos básicos, los cuales son el disco, las placas de fricción y las abrazaderas. El disco gira solidariamente con el eje de la rueda y se encuentra entre las abrazaderas. Mediante el sistema de frenado se aplica una fuerza en las abrazaderas, las cuales empujan las placas de fricción y entran en contacto con el disco, sobre el cual ejercen el esfuerzo provocado. El efecto de esta fricción produce el par de frenado sobre la rueda.

### 5.7.2 Modelización

Como hemos dicho en el apartado anterior, nuestro modelo del 2CV monta un sistema de frenado de tambor. Ahora bien, en el catálogo de Adams Car solamente hemos encontrado sistemas de frenado de disco y desconocemos el método para crear frenos de tambor. Así pues, tomaremos la hipótesis de que nuestro vehículo posee frenos de disco y trataremos de modificarlos para que tengan un comportamiento lo más cercano posible a la realidad.

En primer lugar, partiremos directamente de cualquier subsistema de frenos que encontremos en el catálogo de Adams. En nuestro caso, hemos cargado los frenos que monta el ejemplo Sedan cuyo nombre es *sedan\_brake\_system*.

Posteriormente, modificaremos los parámetros que encontramos en el menú *Browse -> Parameter Variable*. En nuestro caso, hemos modificado los tamaños del pistón, las áreas, el valor máximo de frenado y los coeficientes de rozamiento hasta que nuestro vehículo se detenía de 100 km/h a 0 en unos 12-15 segundos aproximadamente. Tal y como hemos dicho anteriormente, la suposición de que nuestro vehículo monta discos de freno hace compleja su modelización, puesto que debemos ir ajustando a base de prueba y error los valores de los parámetros de los frenos.

Finalmente, tras modificar el subsistema del Sedan, guardaremos el subsistema en nuestra base de datos, en nuestro caso con el nombre *\_frenos\_2cv*, con un Minor Role: *any*.

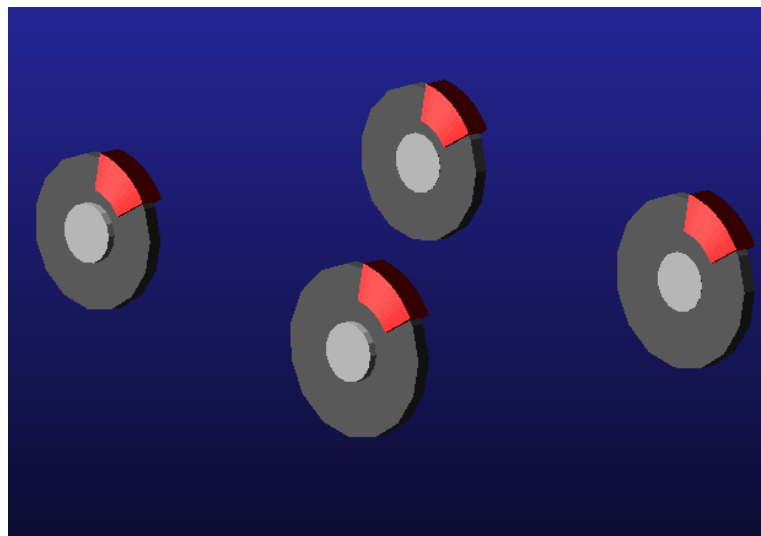


Figura 5-50. Subsistema *frenos\_2CV* del 2CV

## 5.8 Driveline

### 5.8.1 Introducción teórica

El driveline o palier es uno de los elementos más importantes de un vehículo, puesto que es el encargado de transmitir el movimiento desde la salida del diferencial hasta las ruedas, permitiendo la correcta función tanto de la suspensión como de las ruedas.

### 5.8.2 Modelización

Normalmente, las suspensiones implementadas en Adams Car ya poseen incorporados los *drive\_shafts* (palier). En nuestro caso, dado que hemos creado la suspensión completamente, decidimos utilizar las plantillas *\_driveline* que ofrece Adams para aquellas suspensiones que no incorporen estas barras. Para implementarlas en nuestro vehículo, en primer lugar, partiremos

del subsistema *\_driveline\_fwd* el cual va montado en el vehículo Sedan, único ejemplo de vehículo de tracción delantera que hemos encontrado en el programa.

Tras abrir el subsistema, solamente deberemos modificar los *hardpoints* para que se ubique en su sitio, puesto que las partes de montaje *Mount Parts* ya fueron incorporadas en los otros subsistemas anteriormente.

	loc_x	loc_y	loc_z	remark
hpl_inner_CVJ	680.0	-400.0	350.0	(none)
hps_diff_mount	680.0	-200.0	350.0	(none)

Figura 5-51. *Hardpoints* del subsistema *\_driveline\_c2cv*

Finalmente, guardaremos el subsistema con su respectivo nombre *\_driveline\_c2cv* y, dado que irá montado en la parte frontal del vehículo, seleccionaremos *front* en el campo Minor Role.

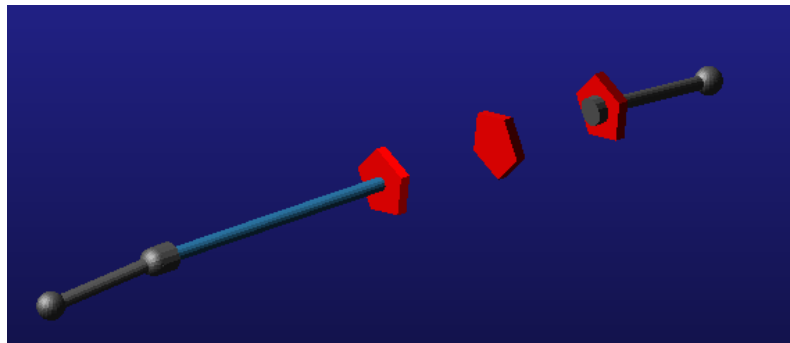


Figura 5-52. *Driveline\_c2cv*

## 6. ENSAMBLADO DE LAS SUSPENSIONES Y VEHÍCULO

### 6.1 Introducción al ensamblado

Para realizar el análisis de un automóvil o de una suspensión, es necesario crear un *assembly*.

Tras realizar todos los subsistemas que componen nuestro modelo, en la versión *Standard* de Adams Car, realizaremos el ensamblado de la suspensión frontal junto a la dirección y los palieres para analizar su comportamiento. Posteriormente, repetiremos el proceso para la suspensión trasera y, finalmente, ensamblaremos el vehículo completo en su totalidad.

### 6.2 Ensamblado de la suspensión delantera

En la versión *Standard Interface* seleccionaremos *File -> New -> Suspension Assembly*. Seguidamente, nos aparecerá una ventana como la que se muestra a continuación donde deberemos introducir los subsistemas que la forman. En nuestro caso, el *assembly* de la suspensión delantera estará formado por la suspensión *\_suspension\_frontal\_c2cv*, dirección *\_direccion\_2cv* y driveline *\_driveline\_c2cv*. Este ensamblado no lo nombraremos como *\_full\_front\_suspension\_c2cv*.

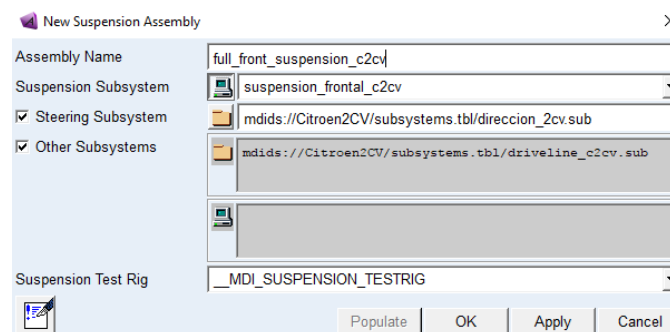


Figura 6-1. Creación del *assembly full\_front\_suspension\_c2cv*

Tras realizar el ensamblado, nos aparecerá en pantalla el diseño en 3D de nuestro ensamblado, tal y como podemos observar en la figura 6-2.

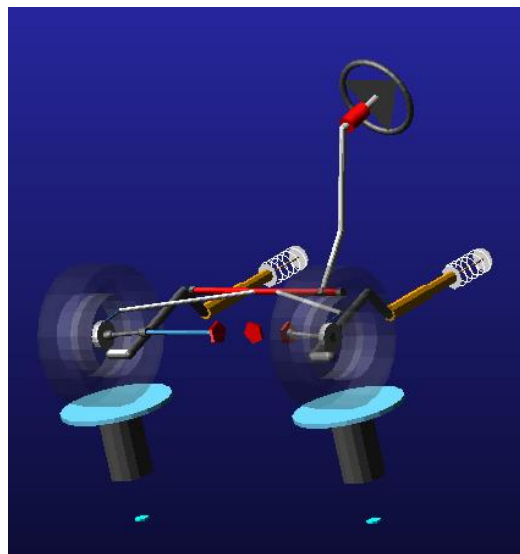


Figura 6-2. *Assembly\_full\_front\_suspension\_c2cv*

Finalmente, guardaremos el ensamblado de la suspensión frontal para realizar el análisis dinámico posteriormente mediante *File -> Save As -> Assembly*, ubicándolo en nuestra base de datos.

### 6.3 Ensamblado de la suspensión trasera

Para realizar el ensamblado de la suspensión trasera de nuestro Citroën 2CV, seguiremos el proceso anteriormente explicado.

En este caso, solamente utilizaremos el subsistema *\_suspension\_trasera\_c2cv*, puesto que las ruedas traseras de nuestro modelo no poseen sistema de dirección y es un vehículo de tracción delantera, por lo que no le instalaremos palieres.

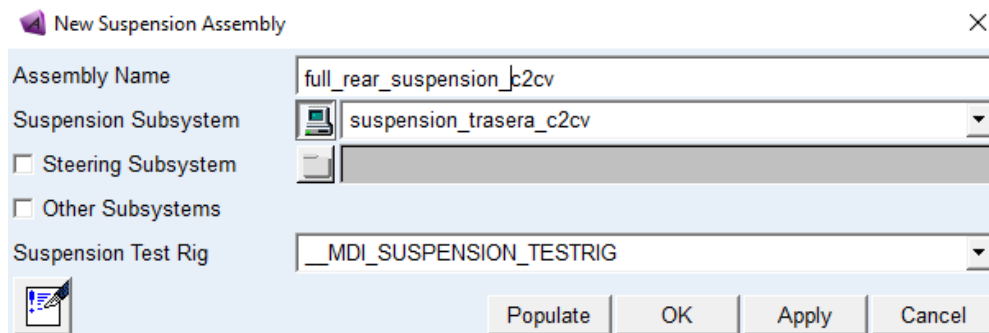


Figura 6-3. Creación del *assembly\_full\_rear\_suspension\_c2cv*

De la misma forma que con la suspensión frontal, aparecerá en pantalla el diseño 3D del *assembly\_full\_rear\_suspension\_c2cv* el cual guardaremos para su posterior análisis en nuestra base de datos.

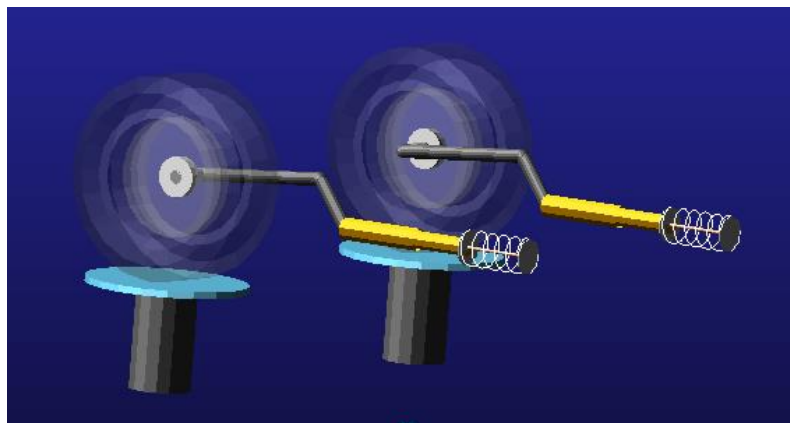


Figura 6-4. *Assembly\_full\_rear\_suspension\_c2cv*

### 6.4 Ensamblado del vehículo Citroën 2CV

Finalmente, procederemos a realizar el ensamblado completo de nuestro vehículo Citroën 2CV.

Para crear el *Assembly*, en la barra de herramientas seleccionaremos *File -> New -> Full-Vehicle Assembly*. Aparecerá una ventana donde se indican los subsistemas necesarios a incorporar para realizar el ensamblado completo del vehículo. En nuestro caso, nuestro vehículo

incorporara todos los subsistemas mencionados en el capítulo anterior, tal y como podemos observar en la siguiente figura.

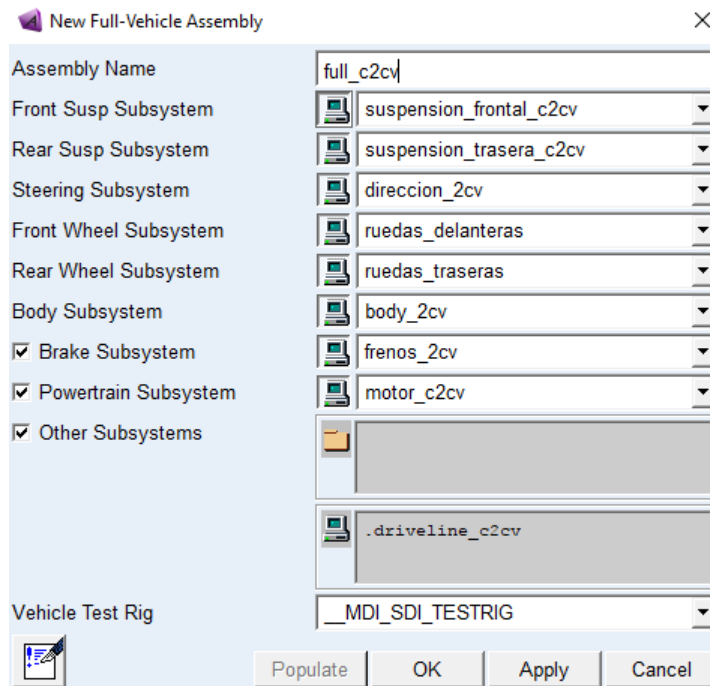


Figura 6-5. Creación del *assembly\_full\_c2cv*

En nuestro caso, todos los subsistemas están posicionados en su respectivo lugar. Si no fuese el caso, solamente tendríamos que modificar la ubicación o los *hardpoints* de los subsistemas para dar una forma correcta al vehículo.

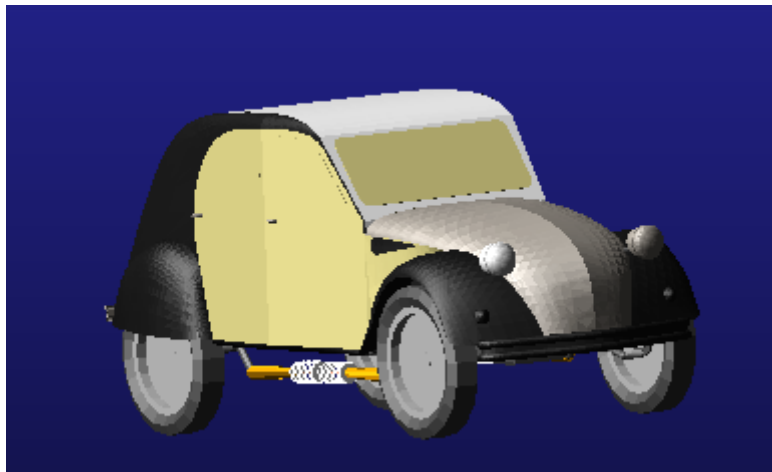


Figura 6-6. *Assembly\_full\_c2cv*

## 7. SIMULACIÓN DINÁMICA DE LAS SUSPENSIONES Y VEHÍCULO CITROËN 2CV

### 7.1 Introducción a la simulación dinámica

Utilizando la herramienta de simulación dinámica que ofrece el software Adams Car, analizaremos el comportamiento dinámico de los ensamblajes que hemos creado anteriormente. Dado que los modelos creados no dejan de ser una aproximación a los modelos reales del vehículo, pretenderemos obtener unos resultados coherentes en la simulación dinámica. Además, esta herramienta nos ayudará a realizar un modelo más parecido a real, puesto que como dijimos en anteriores apartados hay subsistemas que se han modelizado mediante prueba-error.

A lo largo de este capítulo, realizaremos análisis mediante una serie de pruebas del vehículo Citroën 2CV, así como de sus sistemas tan peculiares de suspensión. Además, comentaremos los resultados obtenidos para analizar su coherencia y que se aproximen a la realidad.

Adams ofrece un amplio abanico de análisis para nuestros ensamblados y realizar todos provocaría un aumento considerable de la extensión del proyecto, por lo que realizaremos los análisis principales para cada ensamblado.

### 7.2 Simulación dinámica de la suspensión frontal

Para realizar cualquier análisis de un *Assembly*, necesitaremos abrir el archivo en Standard Interface del software Adams Car. Para ello, en el menú seleccionaremos *File -> Open -> Assembly* y, en este caso, seleccionaremos el *assembly\_full\_front\_suspension\_c2cv*. Tras cargar el ensamblado, procederemos a realizar el análisis del comportamiento de la suspensión.

#### 7.2.1 Parallel Travel Front

Para realizar un análisis, seleccionaremos en la barra de herramientas *Simulate -> Suspension Analysis* y seleccionaremos el deseado, en nuestro caso, *Parallel Travel*.

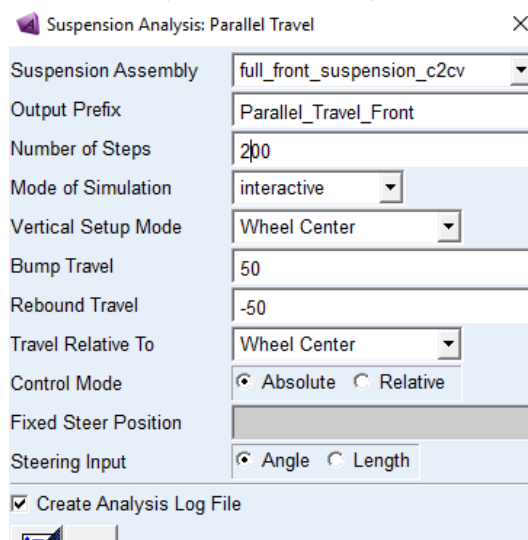


Figura 7-1. Parámetros del análisis Parallel Travel



Una vez realizado el análisis, Adams Car nos ofrece distintas herramientas para evaluar el comportamiento de nuestro ensamblado. Como herramienta principal, tenemos el *PostProcessor*, mediante el cual podemos obtener gráficas del comportamiento dinámico. Si queremos ver una animación de lo sucedido, utilizaremos la herramienta de animaciones *Animations Controls*.

Para abrir el *PostProcessor*, en la barra de herramientas seleccionaremos *Review -> PostProcessing Window*.

Una vez abierto, seleccionaremos en la casilla *Simulation* la simulación realizada y, seguidamente, podremos obtener las gráficas deseadas mediante las casillas *Filter* y *Request*.

Cuando describimos anteriormente, los ángulos de las ruedas influyen en la conducción. Realizaremos el análisis de los ángulos de convergencia y caída cuando desplazamos la rueda verticalmente.

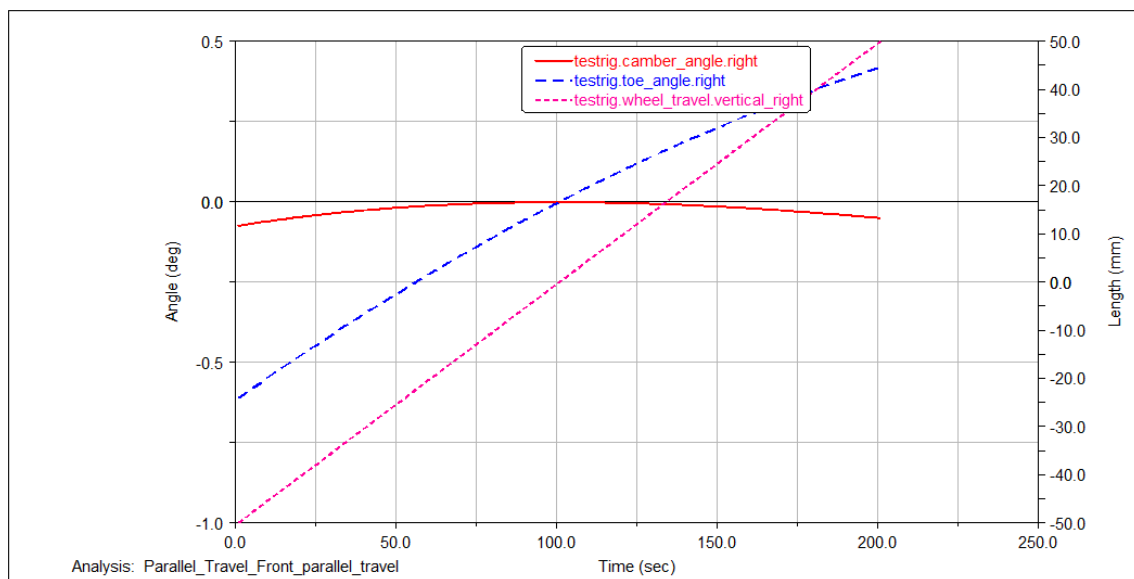


Figura 7-2. Resultados del análisis Parallel Travel Front

Tal y como nos muestran las gráficas, los ángulos de convergencia y de caída del neumático apenas varían de 0. Esta es una de las características principales que posee nuestro modelo Citroën 2CV, puesto que su geometría y el par de revolución vertical que une la barra de suspensión a la rueda apenas permite la aparición de estos ángulos. Debido al movimiento que implica el análisis, el desplazamiento vertical de la rueda varía linealmente, puesto que la condición del análisis mueve el centro de la rueda entre los valores introducidos en las casillas *Bump Travel* y *Rebound Travel*.

### 7.2.2 Opposite Travel Front

Este análisis consiste, a diferencia del anterior, en desplazar los centros de los neumáticos de forma opuesta, por lo que esperamos que el comportamiento sea similar al anterior. Parra

realizar el análisis, seleccionaremos el modo de análisis *Opposite Wheel Travel*. Seguidamente, introduciremos los mismos valores que en el apartado anterior para comparar los resultados.

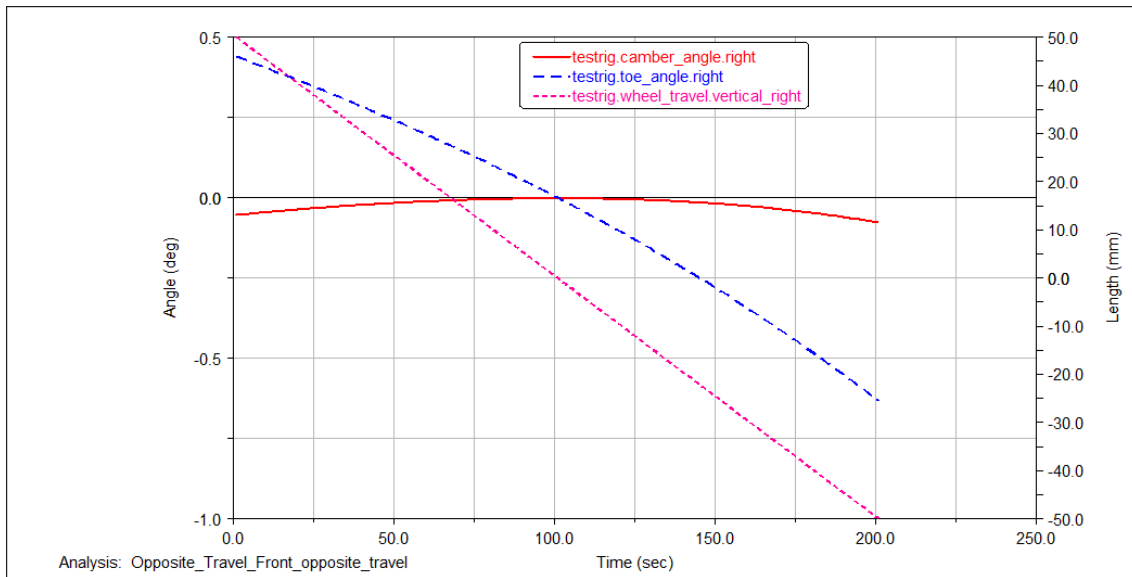


Figura 7-3. Resultados del análisis Opposite Wheel Travel

Como podemos observar, ambas graficas son similares. La diferencia entre ellas radica en la dirección del desplazamiento vertical de la rueda, puesto que en este segundo la rueda viaja de arriba abajo, justo al contrario que en el análisis *Parallel Travel Front*.

### 7.2.3 Steering

Otro de los análisis necesarios para conocer el comportamiento de nuestro modelo es el de dirección. Mediante este análisis, se comprueba como giran las ruedas mediante el giro de cierto ángulo del volante.

Para realizar el análisis, seleccionaremos en el menú de análisis *Steering* y, seguidamente, introduciremos los valores que observamos en la figura siguiente.

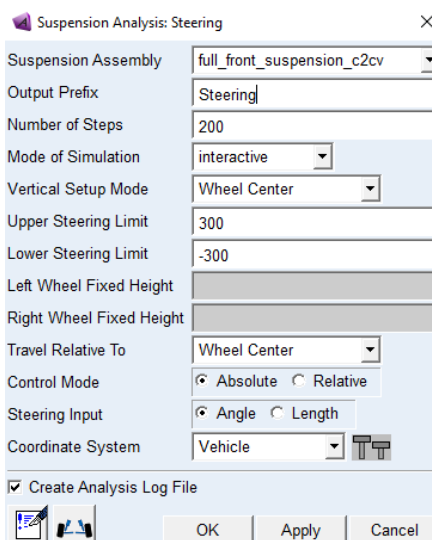


Figura 7-4. Parametros del análisis Steering

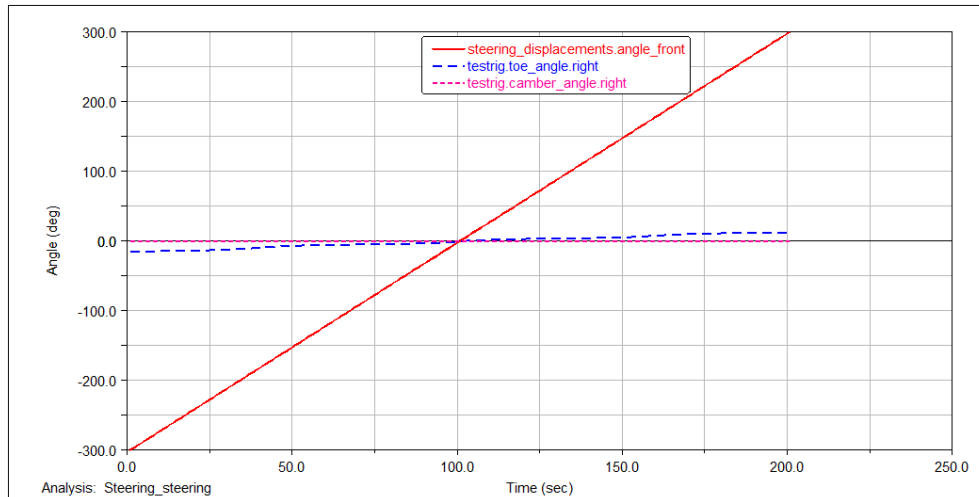


Figura 7-5. Resultados del análisis Steering

En los resultados obtenidos mediante el PostProcesador, podemos observar como el volante varía entre -300 y 300 grados su ángulo, por lo que se ha aplicado correctamente la condición del análisis. Seguidamente, pese a la escala del gráfico, podemos observar como el ángulo de caída es prácticamente nulo como en los ensayos anteriores debido a la geometría de la suspensión. En cambio, si observamos la variación del ángulo de convergencia/divergencia, podemos observar como varía con el transcurso del ensayo tal y como impone la condición del giro del volante.

### 7.3 Simulación dinámica de la suspensión trasera

Siguiendo la misma metodología utilizada para el análisis de la suspensión delantera trataremos de analizar el comportamiento de la suspensión trasera. Debemos tomar como consideraciones que estas ruedas no son ni motrices ni directrices, por lo que deberán tener un comportamiento muy sencillo. Además, al igual que en la suspensión frontal, los ángulos de convergencia y caída no deberían variar considerablemente debido a la geometría de la suspensión.

#### 7.3.1 Parallel Travel Rear

Al igual que con la suspensión anterior, para realizar el análisis Parallel Travel seleccionaremos en el menú *Simulate -> Suspension Analysis -> Parallel Wheel Travel*. En la ventana de introducción de parámetros introduciremos los mismos valores que con la suspensión frontal, los cuales podemos observar en la figura 7-1.

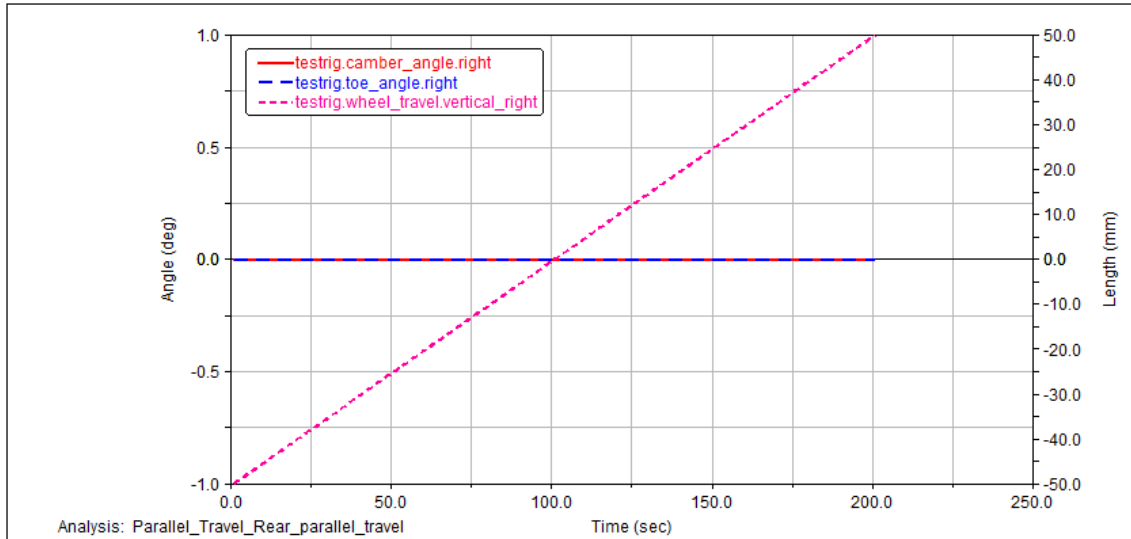


Figura 7-6. Resultados del análisis Parallel Travel Rear

Como podemos observar, pese a que las ruedas se desplazan verticalmente, los ángulos de caída y convergencia se mantienen nulos. Esto se debe a que, en su modelización, se ha utilizado un par fijo entre la suspensión y la rueda tal y como es en la realidad. Cabe decir que seguramente en la realidad existirá cierto ángulo debido al desgaste de la suspensión y que, como hemos dicho varias veces, esto es una simple aproximación al comportamiento real.

### 7.3.2 Opposite Travel Rear

Del mismo modo que realizamos con la suspensión delantera, realizaremos el ensayo Opposite Travel para la suspensión trasera. Para ello, introduciremos los mismos parámetros que se están utilizando en el proyecto para poder comparar los resultados entre ellos.

Tras realizar el análisis, obtenemos los siguientes resultados.

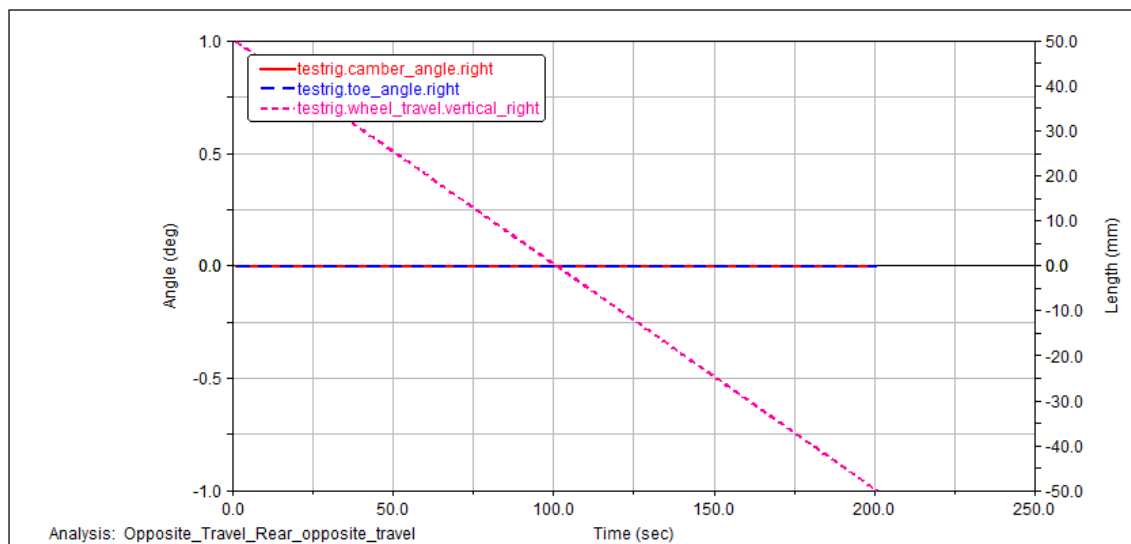


Figura 7-7. Resultados del análisis Opposite Travel Rear

Tal y como sucedía en el apartado anterior, podemos observar como los ángulos de caída y convergencia se mantienen nulos a lo largo del recorrido de las ruedas, lo cual es el resultado esperado para esta suspensión.

## 7.4 Simulación dinámica del vehículo completo

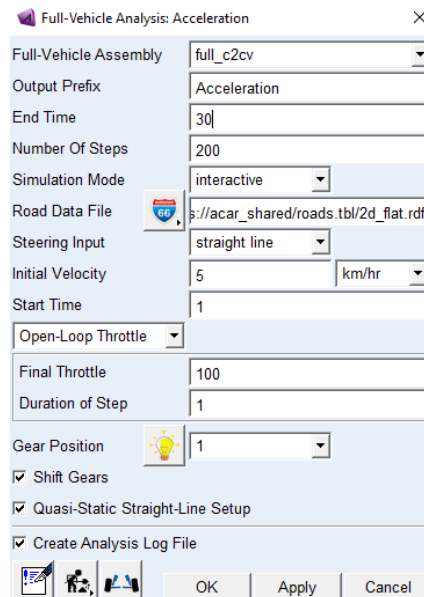
Tal y como hemos realizado en los apartados anteriores, para realizar la simulación dinámica del vehículo será necesario cargar el *assembly* correspondiente mediante el menú *File -> Open -> Assembly*.

Al igual que para las suspensiones, existen varios ensayos para el vehículo completo. Para acceder a ellos, podemos hacerlo desde el menú *Simulate -> Full Vehicle Analysis*.

### 7.4.1 Acceleration

El primer análisis que le realizaremos a nuestro modelo Citroën 2CV consistirá en una prueba de aceleración.

Para realizar el análisis, navegaremos a través de *Simulate -> Full Vehicle Analysis -> Straight-Line Events -> Acceleration*. Introduciremos las siguientes condiciones.



Parameter	Value
Full-Vehicle Assembly	full_c2cv
Output Prefix	Acceleration
End Time	30
Number Of Steps	200
Simulation Mode	interactive
Road Data File	s://acar_shared/roads.tbl/2d_flat.rdf
Steering Input	straight line
Initial Velocity	5 km/hr
Start Time	1
Open-Loop Throttle	[Dropdown]
Final Throttle	100
Duration of Step	1
Gear Position	1
Shift Gears	<input checked="" type="checkbox"/>
Quasi-Static Straight-Line Setup	<input checked="" type="checkbox"/>
Create Analysis Log File	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 7-8. Parámetros del análisis Acceleration

Tras realizar el análisis, analizaremos los resultados obtenidos para comprobar si nuestro modelo es similar al real o no. Es por ello que necesitamos datos para comparar las simulaciones, los cuales podremos encontrar en el **Anexo II** del proyecto.

Seguidamente, abriendo el PostProcesador mediante *Review -> PostProcessing Window* obtendremos las gráficas calculadas.

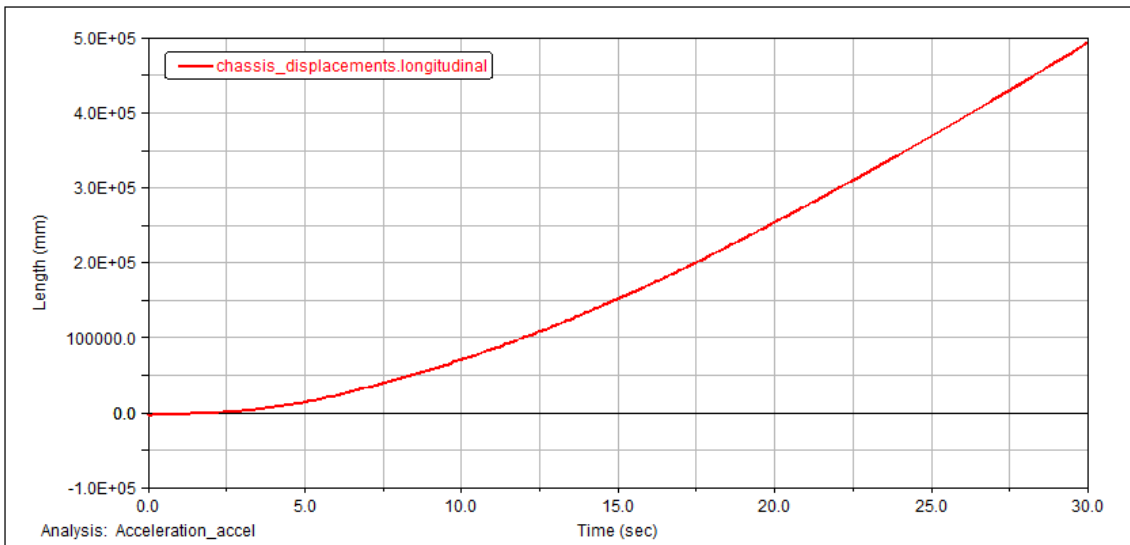


Figura 7-9. Análisis del desplazamiento del vehículo. Simulación Acceleration

En primer lugar, tal y como podemos observar, el vehículo realiza  $\frac{1}{4}$  de milla en aproximadamente unos 26 segundos. En la realidad, según los datos de Citroën el vehículo real también los realiza en 26 segundos, por lo que es un resultado exitoso.

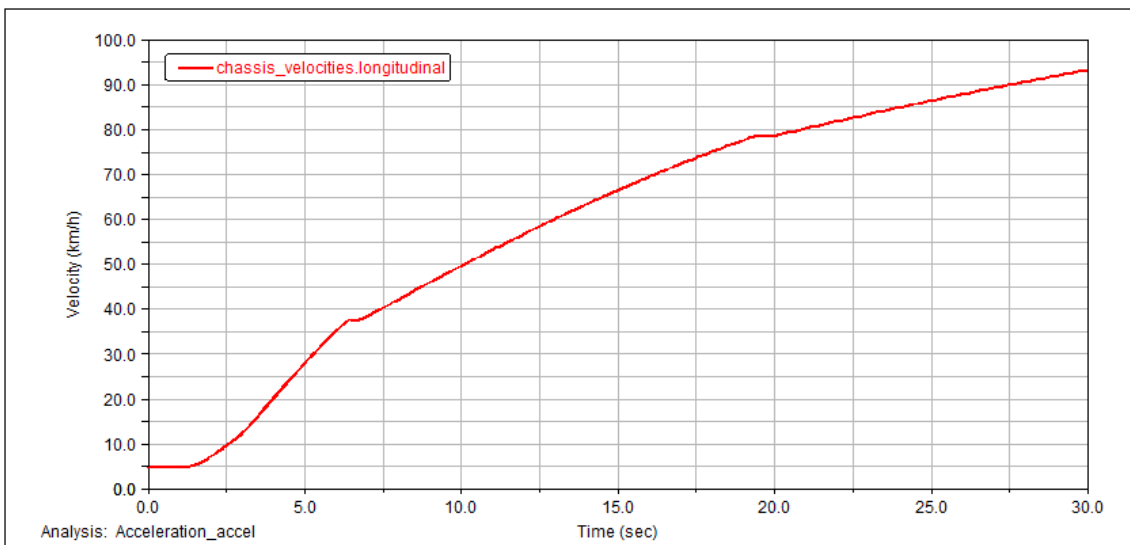


Figura 7-10. Análisis de la velocidad del vehículo. Simulación Acceleration

Como podemos observar en las gráficas de velocidad, nuestro vehículo consigue alcanzar los 50 km/h en aproximadamente 10 segundos. Pese a ello, a los 30 segundos todavía no ha logrado llegar a su velocidad máxima de aproximadamente 100 km/h.

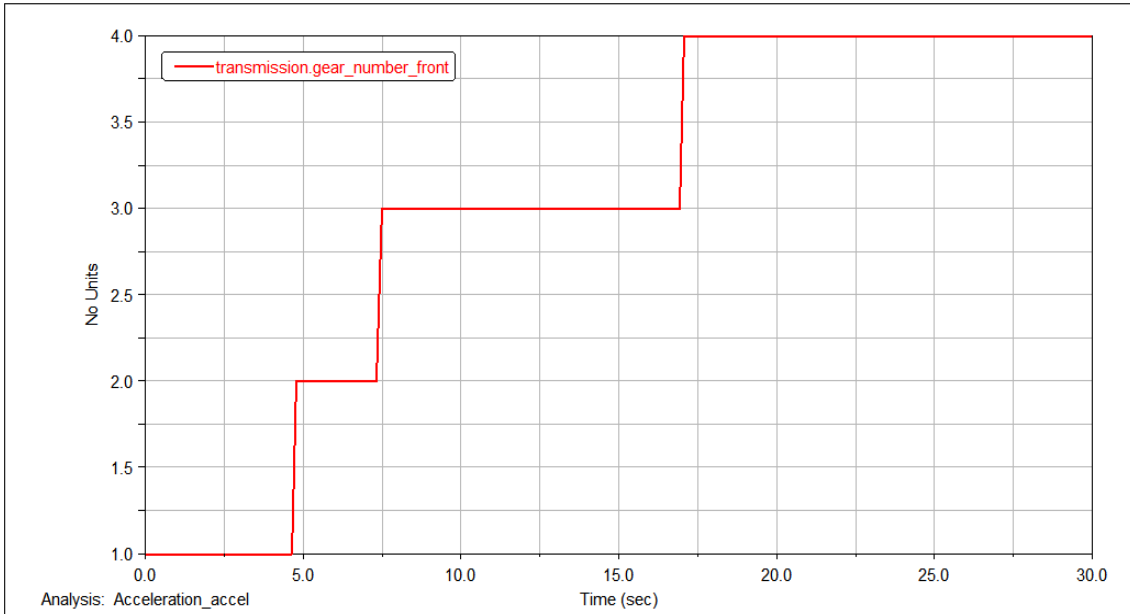


Figura 7-11. Análisis del cambio de marchas del vehículo. Simulación Acceleration

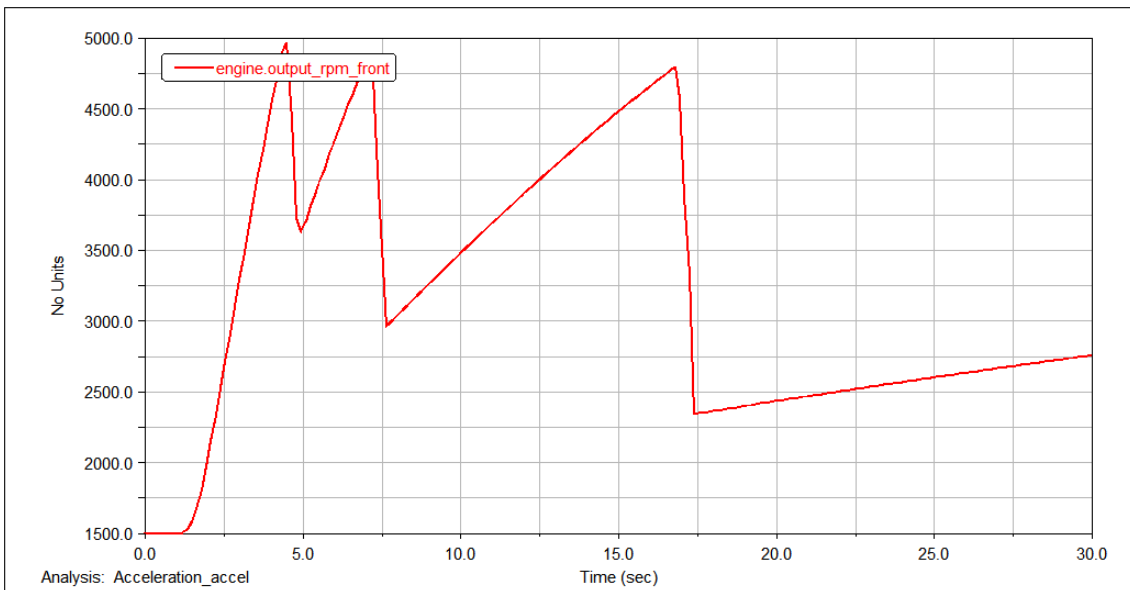


Figura 7-12. Análisis del rpm del vehículo. Simulación Acceleration

En las gráficas anteriores podemos ver cómo se comporta el motor y la caja de cambios del vehículo. Como observamos, el motor va aumentando las marchas conforme aumenta la aceleración hasta llegar a la cuarta velocidad, que es la máxima del vehículo. Como podemos observar, al realizar el cambio de marcha el rpm cae puesto que se produce un corto periodo al desembragar y embragar.

### 7.4.2 Braking

Adams Car nos ofrece también la oportunidad de realizar pruebas de frenado. Para realizar la simulación de frenado, seleccionaremos la *Simulate: Braking*. Los parámetros utilizados en la prueba de frenado se exponen en la siguiente figura.

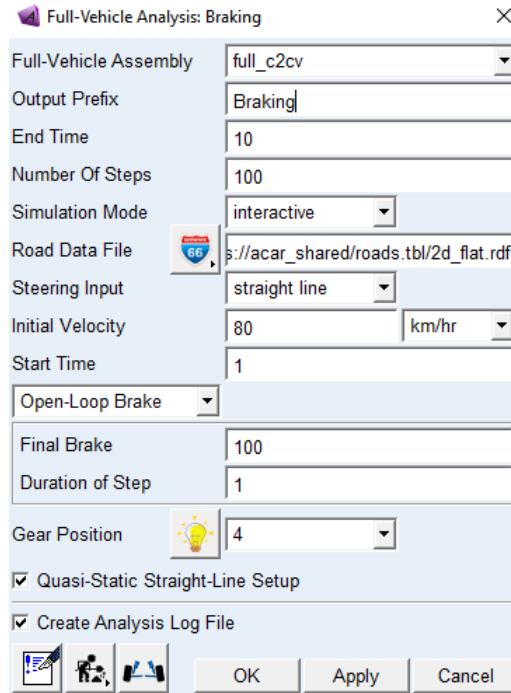


Figura 7-13. Parámetros del análisis *Braking*

Seguidamente, abriremos el *PostProcessor* para leer los resultados obtenidos.

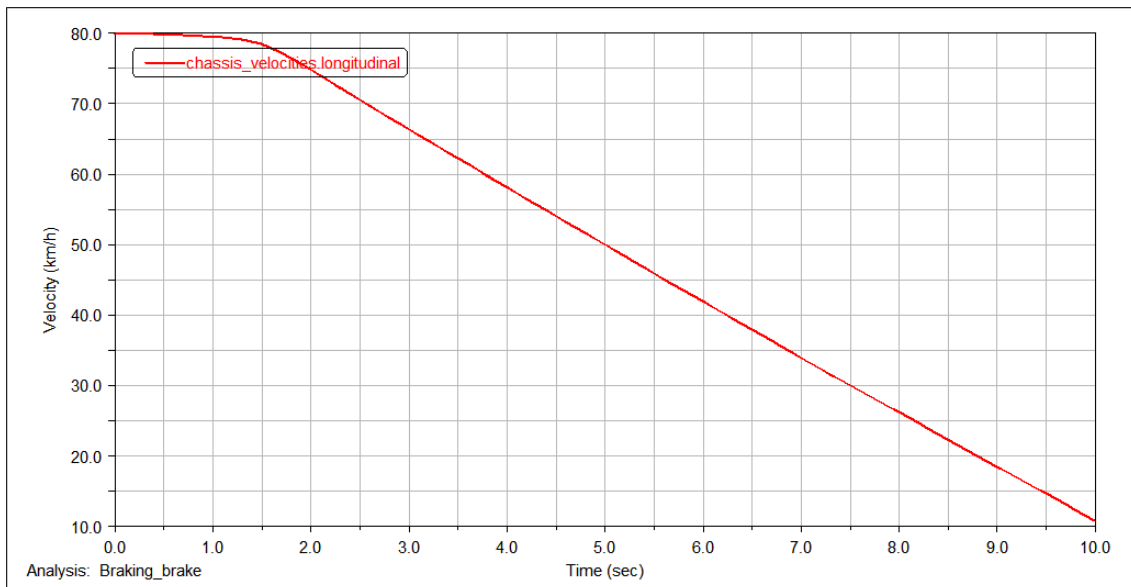


Figura 7-14. Análisis de la velocidad del vehículo. Simulación *Braking*



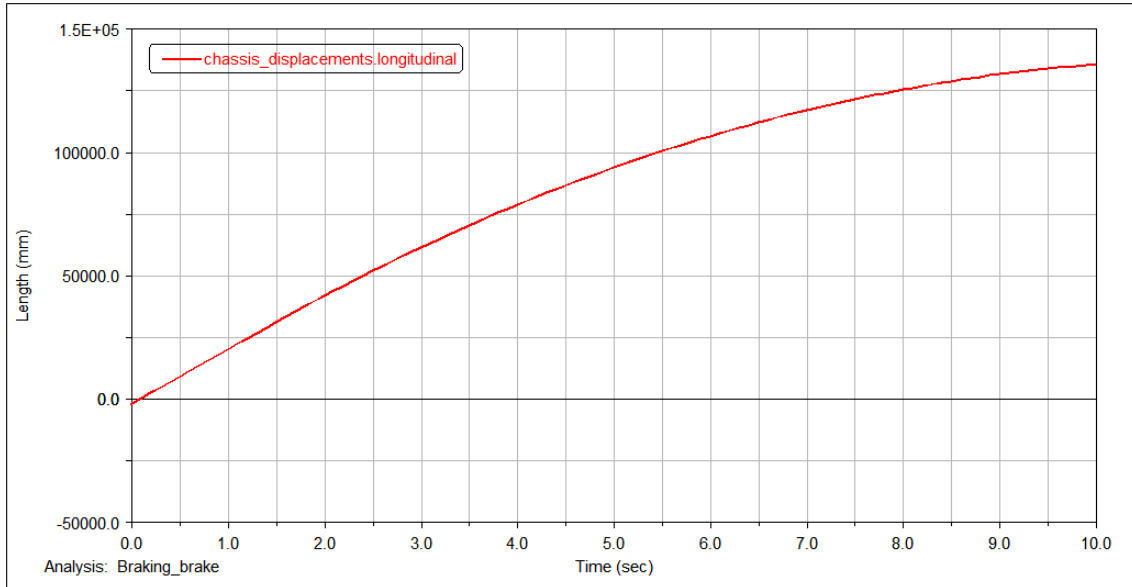


Figura 7-15. Análisis del desplazamiento del vehículo. Simulación Braking

Como podemos observar, el vehículo pasa de 80 km/h a 10 km/h en 10 segundos. Esto es un valor estimado puesto que desconocemos las mediciones reales del vehículo, además que los frenos han sido modelizados mediante prueba-error. Además, podemos observar como para realizar la frenada el vehículo se desplaza unos 125 metros aproximadamente, un valor poco razonable ya que la información encontrada varía entre 80 y 90 metros.

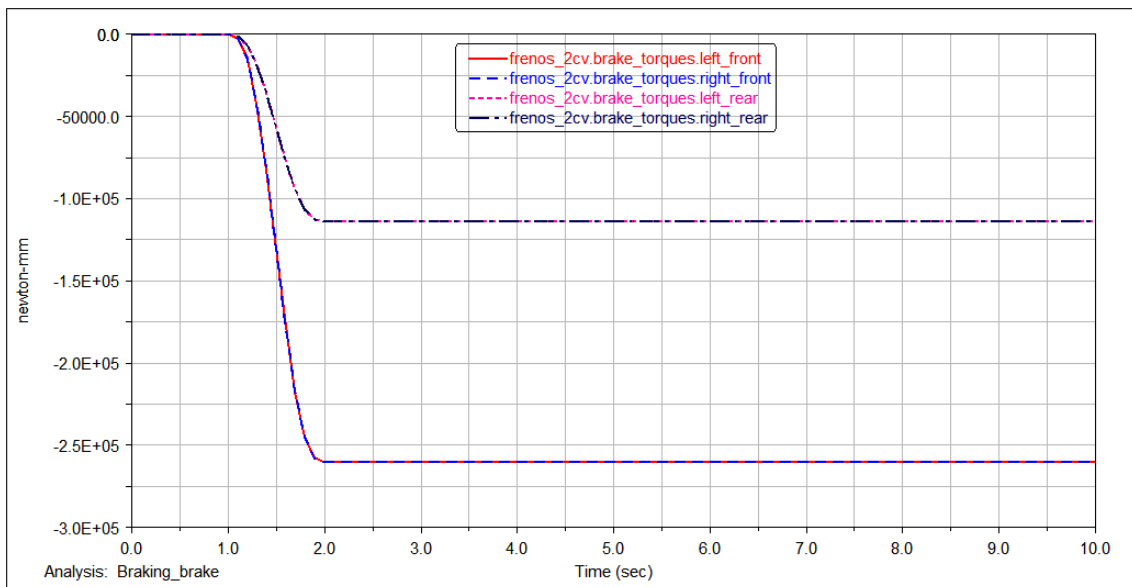


Figura 7-16. Análisis del par de frenado en el vehículo. Simulación Braking

En la gráfica anterior podemos observar como ambas ruedas de un mismo eje tienen el mismo par de frenado. Además, las ruedas delanteras tienen un par de frenado mayor que las traseras, puesto que poseen unos tamaños de tambor más grandes.

### 7.4.3 Braking In\_Turn

Una situación cotidiana de la vida real es la frenada en curva. Mediante este tipo de ensayos, podemos observar cómo reacciona el vehículo cuando está girando una curva de cierto radio y se realiza una deceleración de frenada.

Para realizar el ensayo *Braking In Turn* debemos iniciarlo desde *Simulate -> Full-Vehicle Analysis -> Cornering Events -> Braking In Turn*. En nuestro caso, nuestro modelo girará por una curva de 30 metros de radio con una aceleración lateral de 0.1g y con una deceleración de frenado de 0.07g, tal y como podemos ver en la siguiente figura.

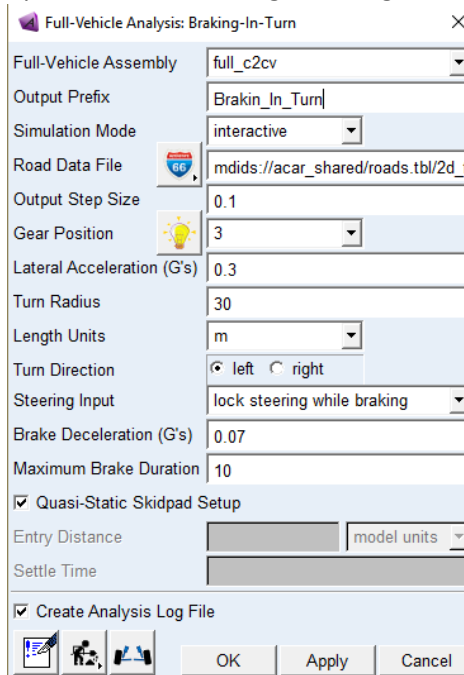


Figura 7-17. Parámetros del análisis Braking In Turn

Seguidamente, acudimos al PostProcesador para analizar los resultados.

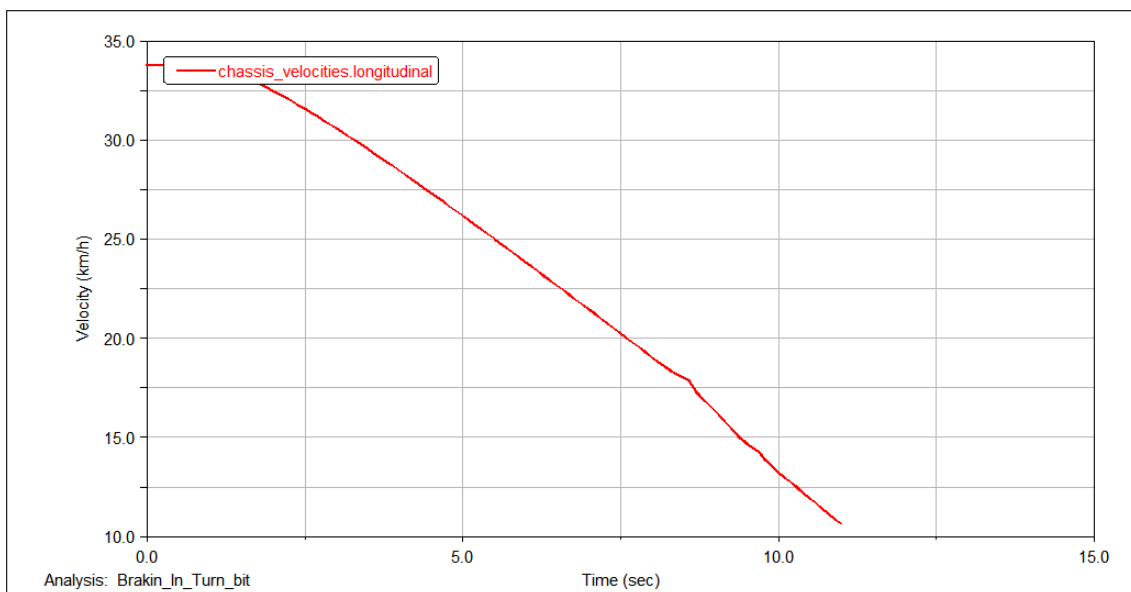


Figura 7-18. Análisis de la velocidad de vehículo. Simulación Braking In Turn

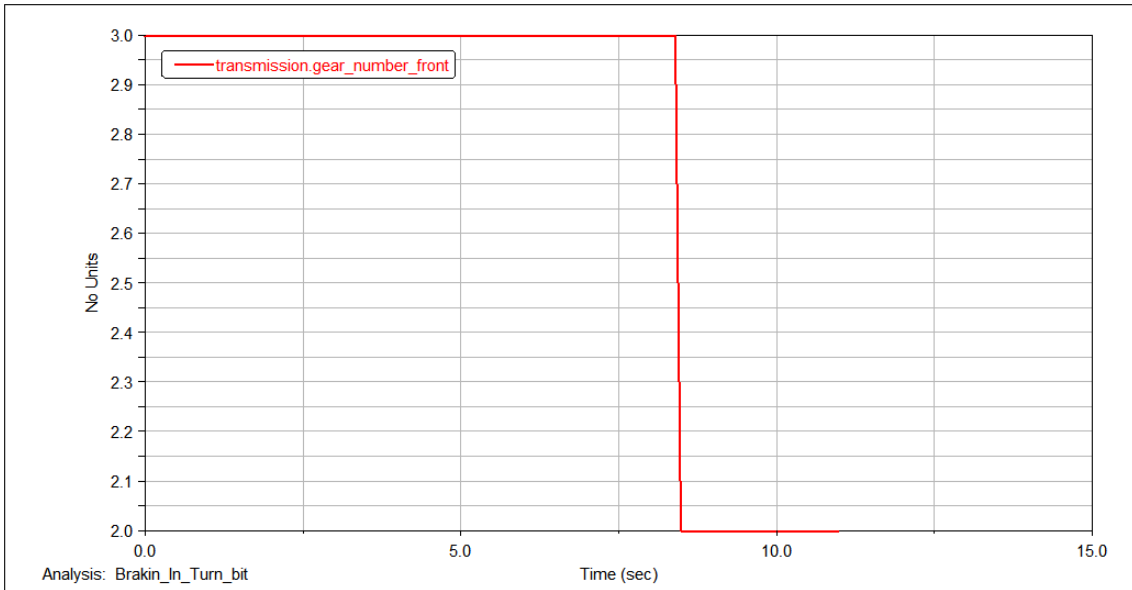


Figura 7-19. Análisis del cambio de marchas del vehículo. Simulación Braking In Turn

Como podemos observar, a lo largo del recorrido el vehículo va decelerando debido a la condición de deceleración de frenada de 0.07g implantada en el análisis. Como podemos observar, también se reduce la marcha del vehículo, puesto que el numero de revoluciones es inferior al límite impuesto en la modelización del motor tal y como podemos ver en la siguiente figura.

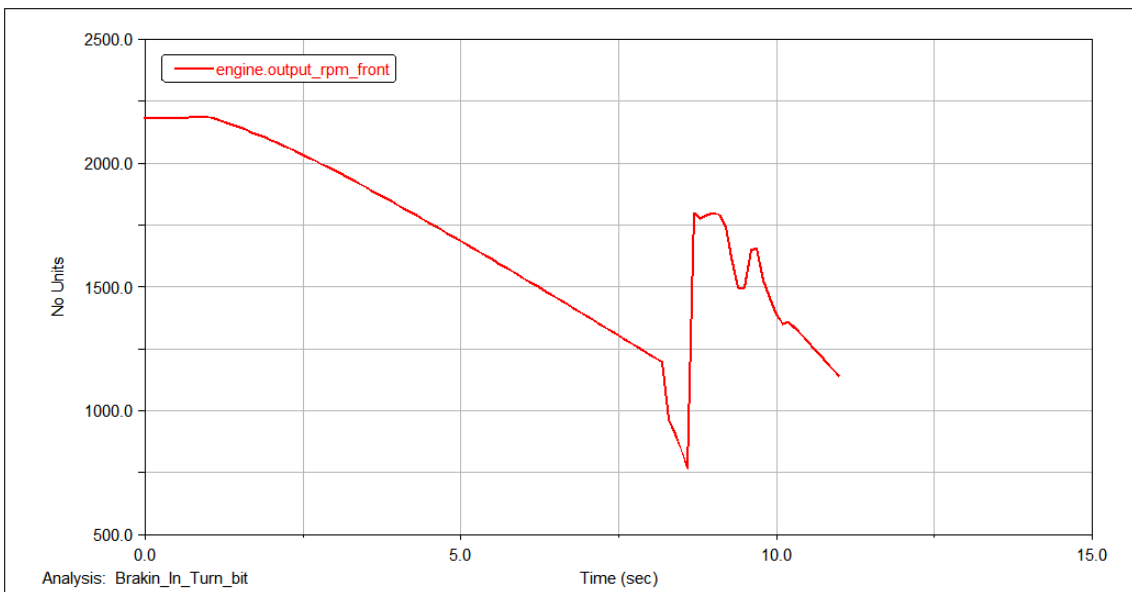
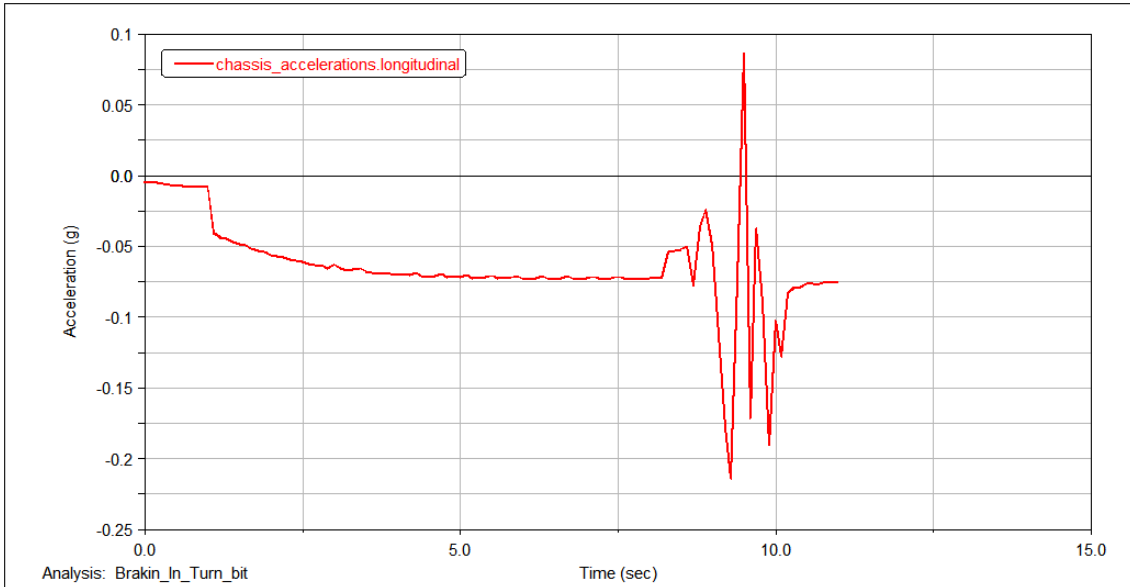
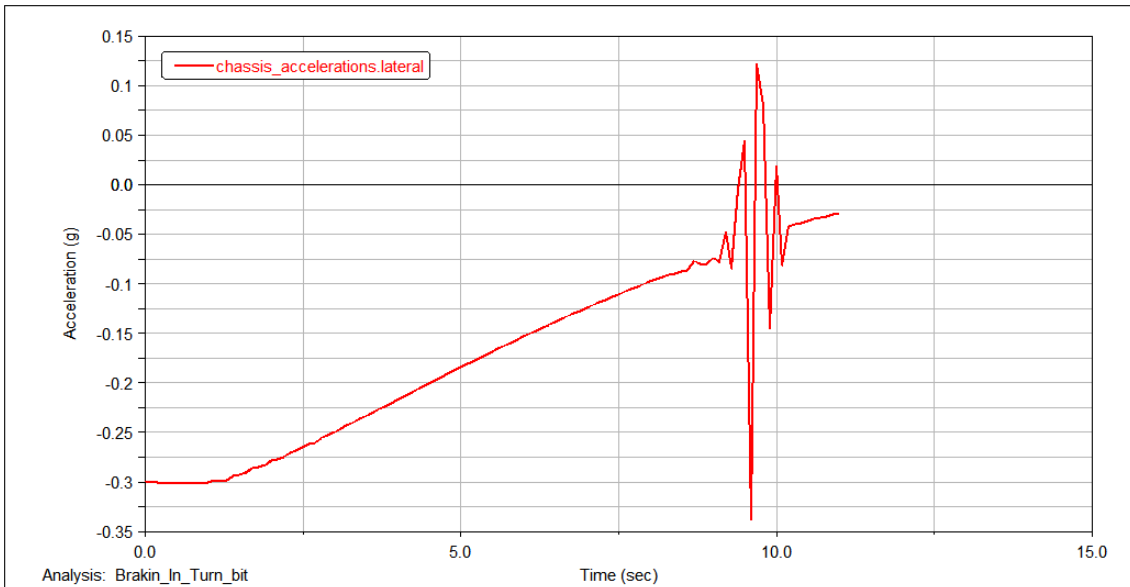


Figura 7-20. Analisis de rpm del vehículo. Simulación Braking In Turn



**Figura 7-21. Análisis de la aceleración longitudinal del vehículo. Simulación Braking In Turn**



**Figura 7-22. Análisis de la aceleración lateral dl vehículo. Simulación Braking In Turn**

En las imágenes anteriores, podemos ver como se han impuesto con éxito las condiciones del análisis. En primer lugar, observamos como la aceleración longitudinal se establece en  $-0.7g$ , que es el valor declarado como condición de diseño. Cerca del segundo 10, podemos observar unas oscilaciones tanto en la aceleración longitudinal como en la lateral. Estas oscilaciones son debidas al cambio de marcha del vehículo, por lo que tras establecerla los valores vuelven a su tendencia. Finalmente, en la gráfica de aceleración lateral, podemos observar como la aceleración varía desde  $0.3g$  hasta un valor nulo debido a que, finalmente, el vehículo debe frenar.

### 7.4.4 ISO Lane Change

Mediante el ensayo *ISO Lane Change* podemos observar el comportamiento del vehículo a la hora de cambiar de carril o esquivar un obstáculo en el terreno. En este ensayo, además del comportamiento del vehículo, también estaría en juego la reacción del conductor.

Para realizar el ensayo, supondremos que el vehículo circula a una velocidad de 30 km/h y deberá cambiar de carril bruscamente para evitar un obstáculo. Las condiciones del ensayo son las siguientes.

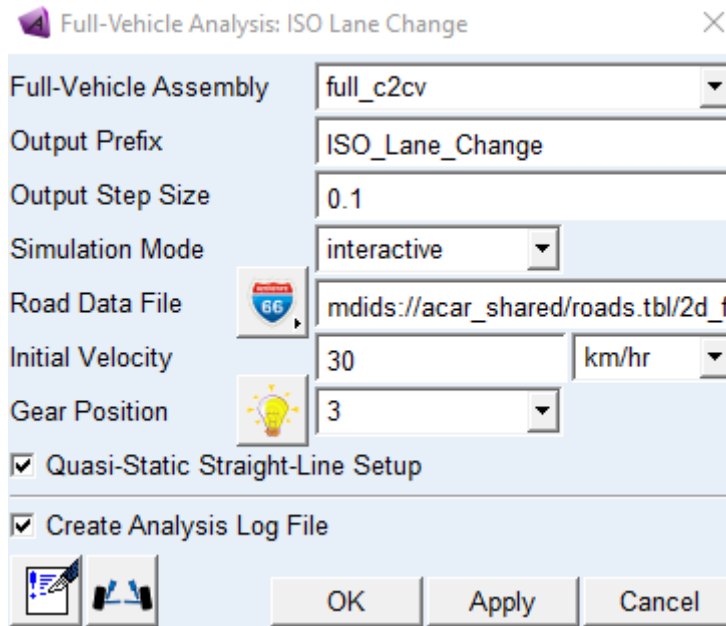


Figura 7-23. Parámetros del análisis ISO Lane Change

Seguidamente, en el *PostProcessor* podemos leer los siguientes resultados.

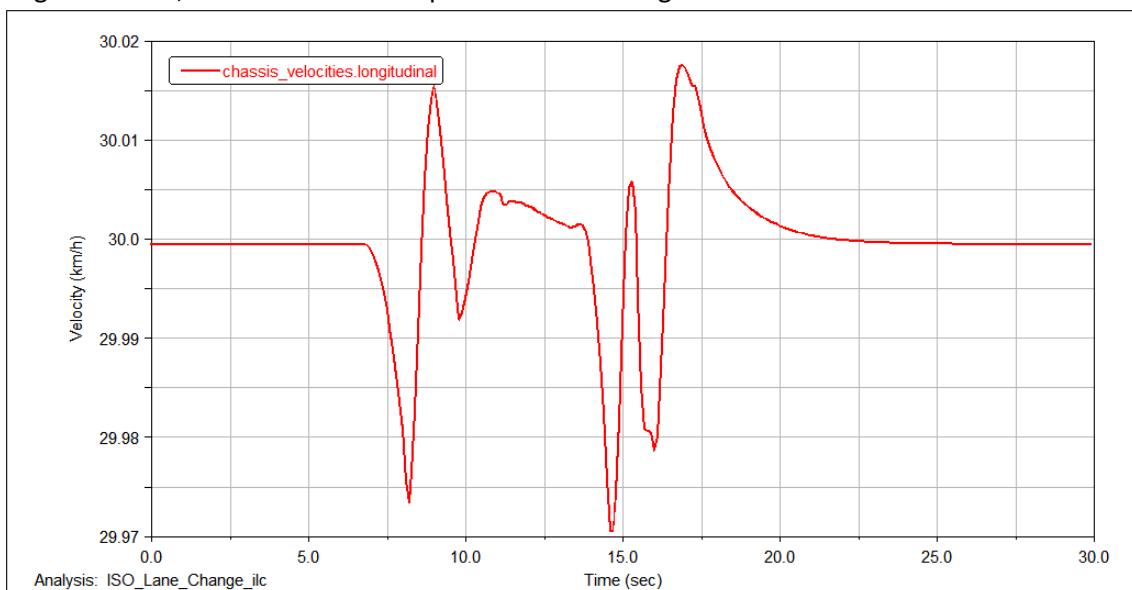


Figura 7-24. Análisis de la velocidad longitudinal del vehículo. Simulación ISO Lane Change

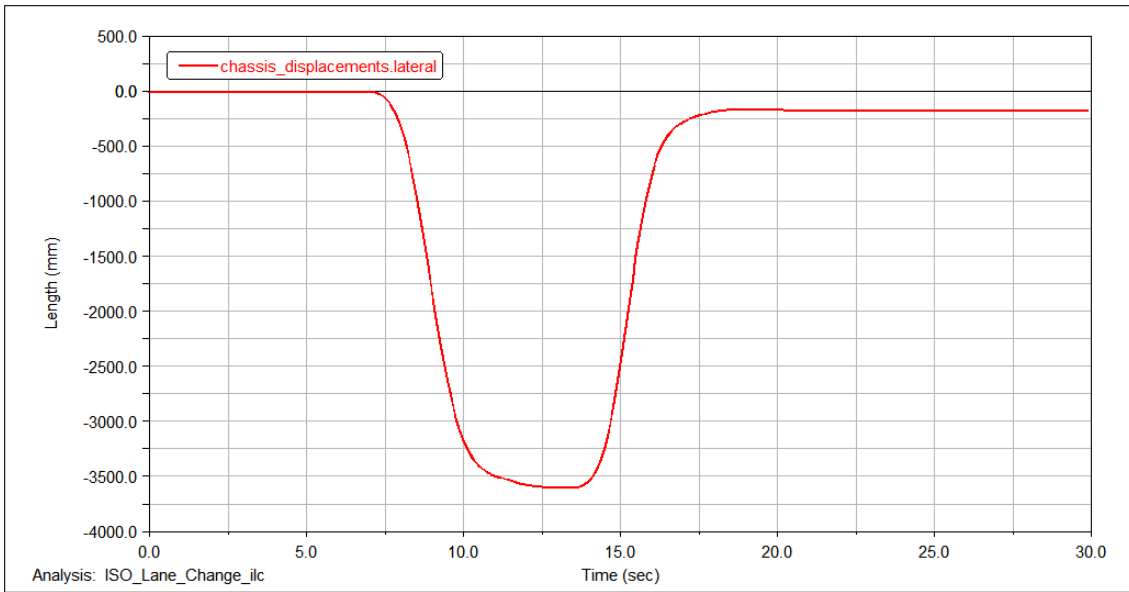


Figura 7-25. Análisis del desplazamiento lateral del vehículo. Simulación ISO Lane Change

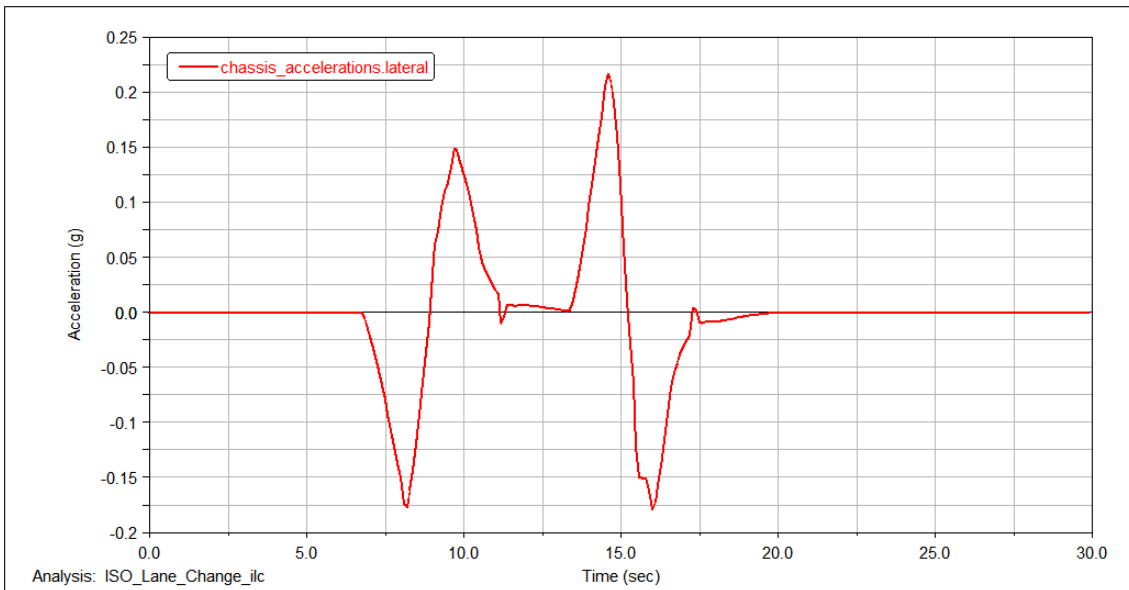


Figura 7-26. Análisis de la aceleración lateral del vehículo. Simulación ISO Lane Change

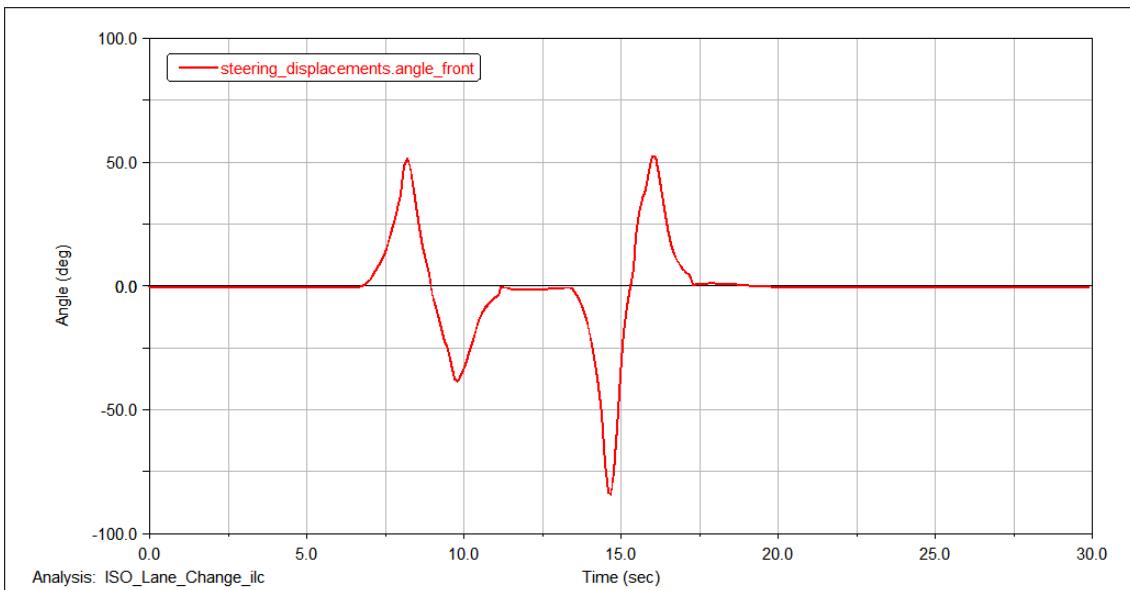


Figura 7-27. Análisis del giro de volante del vehículo. Simulación ISO Lane Change

Como podemos observar en las diferentes gráficas, el vehículo circula a una velocidad constante estabilizado. Cerca del segundo 5, se modifica el ángulo del volante, lo que produce en el vehículo una reducción de velocidad debido al giro y una deceleración lateral. También, podemos observar en la gráfica del desplazamiento lateral como el vehículo gira y posteriormente, cerca del segundo 17 vuelve a su dirección inicial. Como podemos concluir, al realizar una maniobra de estas características aparecen una gran variedad de reacciones en nuestro vehículo, las cuales pueden desestabilizar el automóvil.

## 8. CONCLUSIÓN DEL PROYECTO

### 8.1 Análisis del proyecto

A lo largo de este Trabajo de Fin de Grado hemos hablado de la historia de un icono automovilístico como es el Citroën 2CV, así como de su evolución. También, hemos realizado un modelo del vehículo para analizar su comportamiento mediante la herramienta informática Adams Car, la cual nos permite estudiar el comportamiento del vehículo mediante diferentes tipos de análisis. Tras ello, hemos estudiado el comportamiento de nuestro modelo para verificar su correcto funcionamiento.

Ahora bien, tal y como se ha ido mencionando a lo largo del proyecto, esta simulación no deja de ser una aproximación en la realidad.

En primer lugar, hemos de decir que la información técnica del Citroën 2CV en la red no es abundante, por lo que dificulta en gran medida la implementación del vehículo en el programa de simulación. Además, gracias a realizar el proyecto hemos conocido el gran abanico de variantes que hay de este vehículo. Este hecho, a su vez, dificulta la realización del mismo puesto que al hablar en generalidad del 2CV en la red se hace referencia desde el primer modelo de 1949 hasta las últimas versiones de los 80. Así pues, los datos técnicos del vehículo encontrados generalmente no dictan la versión del 2CV al que pertenece.

En segundo lugar, la herramienta Adams Car es una potente herramienta de modelización y simulación, tal y como hemos podido comprobar en la realización del proyecto. No obstante, no es una herramienta muy popular, por lo que tratar de solucionar cualquier problema o aprender su uso es una tarea complicada ya que existen pocos manuales en la red. Además, la herramienta nos puede restringir a la hora de realizar diseños tal y como nos ha ocurrido en el proyecto, como por ejemplo en el momento de modelizar los brazos de las suspensiones, los cuales poseen una geometría compleja que Adams no es capaz de crear. Finalmente, podemos afirmar que Adams es una herramienta compleja de utilizar, ya que realizar la modelización completa de las suspensiones ha sido un procedimiento largo y complejo. Además, hemos tenido que partir de la hipótesis de que nuestro vehículo posee frenos de disco dado que no ha sido posible crear frenos de tambor lo cual ha provocado un error en la obtención de la distancia de frenado.

Finalmente, hemos de mencionar el hecho de que se ha tomado la hipótesis de que el funcionamiento de los mecanismos es ideal, es decir, no existe fricción entre ellos pese a que Adams Car nos permite incorporarla.

Por esta serie de acontecimientos podemos concluir que el modelo realizado es una aproximación a la realidad, por lo que los resultados obtenidos no se han de tomar como valores de medición reales. De cualquier forma, realizar este proyecto nos ha servido para conocer la historia de un vehículo histórico de nuestro país, además de cómo está fabricado y como ha ido evolucionando desde su primera versión.

### 8.2 Opinión personal

El proyecto de modelizar el Citroën 2CV en Adams Car para su posterior análisis era un trabajo que me motivaba, puesto que abarcaba los conocimientos de la ingeniería mecánica y de los automóviles, dos de mis ramas de estudio favoritas. No obstante, la limitación de horas para realizar el proyecto me ha creado cierto malestar, puesto que considero que se puede trabajar



más en el proyecto realizando comparaciones entre los diferentes sistemas de suspensión que ha tenido el Citroën 2CV. Considero que algunos aspectos del proyecto podrían desarrollarse con mayor precisión, como pueden ser las medidas de la suspensión o las diferentes hipótesis que hemos tenido que considerar. De cualquier modo, es una buena manera para aprender a usar el programa Adams Car y conocer aspectos fundamentales sobre los automóviles. También, este proyecto es un buen método para conocer profundamente un vehículo, su comportamiento y su funcionamiento.

## 9. PLIEGO DE CONDICIONES

Para realizar el Trabajo de Fin de Grado *Modelado y simulación dinámica del Citroën 2CV* es necesario establecer una serie de condiciones. Por ello, a lo largo de este capítulo trataremos de exponer las herramientas que vamos a necesitar, así como sus características.

En primer lugar, necesitaremos un laptop Lenovo G50-80 que incorpore un procesador Intel CORE i5, una tarjeta gráfica AMD Radeon, 4GB de memoria RAM y 1 TB de disco duro para realizar el proyecto.

También será necesaria la licencia del programa MSC Adams Car versión 2017.1 para realizar el modelaje y análisis del vehículo.

Necesitaremos poseer una licencia para el paquete Microsoft Office Professional 2016 para realizar la redacción de la memoria y las curvas motor del vehículo.

Además, para el diseño del vehículo necesitaremos el software SolidWorks 2014, puesto que las versiones posteriores no son compatibles con nuestro archivo SLDPRT.

Finalmente, utilizaremos el vehículo Citroën 2CV de D. Francisco José Lerma para realizar mediciones y análisis del automóvil.

## 10. PRESUPUESTO

### Horas de los ingenieros

Concepto	Cantidad en horas	Precio	Parcial
Consultas al tutor del proyecto	40	15,00 €	600,00 €
Ingeniero Mecánico	380	9,00 €	3.420,00 €
		<b>TOTAL</b>	<b>4.020,00 €</b>

### Licencias informáticas

Concepto	Cantidad en horas	Precio
Microsoft Office Professional 2016	60	99,00 €
SolidWorks 2014 Student Edition	5	125,00 €
MSC Adams Car	290	1.906,00 €
		<b>TOTAL</b>
		<b>2.130,00 €</b>

### Material de proyecto

Concepto	Cantidad en horas	Precio
PC Lenovo G50-80	370	370,00 €
Material de oficina		24,00 €
		<b>TOTAL</b>
		<b>394,00 €</b>

<b>COSTE TOTAL</b>	<b>6.544,00 €</b>
<b>IVA</b>	<b>1.374,24 €</b>
<b>COSTE TOTAL DEL PROYECTO</b>	<b>7.918,24 €</b>

El coste total del proyecto es de *siete mil novecientos dieciocho con veinticuatro céntimos*

## 11. BIBLIOGRAFÍA

### 11.1 Bibliografía

FONT MEQUITA, José; DOLS RUIZ, Juan Fco. Tratado sobre automóviles TOMO IV.  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

LUQUE, Pablo; ÁLVAREZ, Daniel; VERA, Carlos. Ingeniería del automóvil: Sistemas y  
comportamiento dinámico. Thomson Editores Spain.

<http://tectonicablog.com/?p=11425> [Consulta: 20 de mayo de 2017]

<http://www.yclasicos.com/spa/item/ART31473.html> [Consulta: 20 de mayo de 2017]

<http://www.carinf.com/en/456045478.html> [Consulta: 21 de mayo de 2017]

[http://iconroad.es/pasion/la\\_suspension\\_del\\_2cv.html](http://iconroad.es/pasion/la_suspension_del_2cv.html) [Consulta: 22 de mayo de 2017]

<http://2cv-legende.com/mecanique-generale-2cv-2> [Consulta: 30 de mayo de 2017]

<http://fpswest.com/> [Consulta: 7 de Junio de 2017]

[https://es.wikipedia.org/wiki/Suspensi%C3%B3n\\_\(autom%C3%B3vil\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Suspensi%C3%B3n_(autom%C3%B3vil)) [Consulta: 13 de junio de 2017]

<http://www.aficionadosalamecanica.net/direccion-geometria.htm> [Consulta: 13 de junio de 2017]

<http://www.sabelotodo.org/automovil/geometriaruedas.html> [Consulta: 13 de junio de 2017]

[https://es.wikipedia.org/wiki/Direcci%C3%B3n\\_\(autom%C3%B3vil\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Direcci%C3%B3n_(autom%C3%B3vil)) [Consulta: 13 de junio de 2017]

### 11.2 Referencias

[1] <http://www.citroen.es/conocenos/la-historia-citroen.html> [Consulta: 20 de mayo de 2017]

[2] <http://www.citroen.es/conocenos/la-historia-citroen.html> [Consulta: 20 de mayo de 2017]

[3] <http://www.citroen.es/conocenos/la-historia-citroen.html> [Consulta: 20 de mayo de 2017]

[4] <http://www.citroen.es/conocenos/la-historia-citroen.html> [Consulta: 20 de mayo de 2017]

[5] <http://www.citroenet.org.uk/passenger-cars/michelin/2cv/history/> [Consulta: 22 de mayo de 2017]

[6] <http://www.citroenet.org.uk/passenger-cars/michelin/2cv/history/> [Consulta: 22 de mayo de 2017]

[7] <http://www.typologycentral.com/forums/science-technology-and-future-tech/54744-car-thread-31.html> [Consulta: 22 de mayo de 2017]

- [8] <http://www.citroenet.org.uk/passenger-cars/michelin/2cv/history/> [Consulta: 22 de mayo de 2017]
- [9] <http://www.citroenet.org.uk/passenger-cars/michelin/2cv/history/> [Consulta: 22 de mayo de 2017]
- [10] <http://www.citroenet.org.uk/passenger-cars/michelin/2cv/history/> [Consulta: 22 de mayo de 2017]
- [11] <http://www.citroenet.org.uk/passenger-cars/michelin/2cv/history/> [Consulta: 22 de mayo de 2017]
- [12] <http://automovilblogargentino.blogspot.com.es/2012/08/historia-citroen-sahara-2cv-4x4.html> [Consulta: 22 de mayo de 2017]
- [13] <http://www.citroenet.org.uk/passenger-cars/michelin/2cv/history/> [Consulta: 22 de mayo de 2017]
- [14] <http://www.citroenet.org.uk/passenger-cars/michelin/2cv/history/> [Consulta: 22 de mayo de 2017]
- [15] <http://www.citroenet.org.uk/passenger-cars/michelin/2cv/history/> [Consulta: 22 de mayo de 2017]
- [16] <http://www.citroenet.org.uk/passenger-cars/michelin/2cv/history/> [Consulta: 22 de mayo de 2017]
- [17] <http://www.citroenet.org.uk/passenger-cars/michelin/2cv/history/> [Consulta: 22 de mayo de 2017]
- [18] <http://www.citroenet.org.uk/passenger-cars/michelin/2cv/history/> [Consulta: 22 de mayo de 2017]
- [19] <https://es.pinterest.com/pin/308989224411700324/> [Consulta: 13 de junio de 2017]
- [20] <file:///G:/UPV/GIM%204/Automoviles/Automoviles/PRESENTACIONES%20TEMAS/UD4-T4-2-%20DINAMICA%20VERTICAL-PROPIEDADES%20DE%20RESPUESTA%20DEL%20VEHICULO-SUSPENSIONES%20I.pdf> [Consulta: 13 de junio de 2017]
- [21] [http://www.autobodymagazine.com.mx/abm\\_previo/2015/05/como-interpretar-los-angulos-de-alineacion-de-un-vehiculo3/](http://www.autobodymagazine.com.mx/abm_previo/2015/05/como-interpretar-los-angulos-de-alineacion-de-un-vehiculo3/) [Consulta: 13 de junio de 2017]
- [22] [http://www.autobodymagazine.com.mx/abm\\_previo/2015/05/como-interpretar-los-angulos-de-alineacion-de-un-vehiculo3/](http://www.autobodymagazine.com.mx/abm_previo/2015/05/como-interpretar-los-angulos-de-alineacion-de-un-vehiculo3/) [Consulta: 13 de junio de 2017]
- [23] [http://www.autobodymagazine.com.mx/abm\\_previo/2015/05/como-interpretar-los-angulos-de-alineacion-de-un-vehiculo3/](http://www.autobodymagazine.com.mx/abm_previo/2015/05/como-interpretar-los-angulos-de-alineacion-de-un-vehiculo3/) [Consulta: 13 de junio de 2017]
- [24] <http://autastec.com/blog/historia-automovil/citroen-2-cv/> [Consulta: 13 de junio de 2017]
- [25] [https://www.google.es/search?q=citroen+2cv+suspension&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKewj3fujie7UAhXGPRoKHfvZDeIQ\\_AUICigB&biw=1280&bih=907#tbm=isch&q=citroen+2cv+suspension+arm&imgsrc=sGuz5\\_OmuaZlJM:&spf=1499117879698](https://www.google.es/search?q=citroen+2cv+suspension&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKewj3fujie7UAhXGPRoKHfvZDeIQ_AUICigB&biw=1280&bih=907#tbm=isch&q=citroen+2cv+suspension+arm&imgsrc=sGuz5_OmuaZlJM:&spf=1499117879698) [Consulta: 13 de junio de 2017]

[26] <https://www.repuestosjj.com/p1037286-brazo-suspension-trasero-citroen-2cv.html>

[Consulta: 13 de junio de 2017]

[27] <http://fpswest.com/steering-rack-assembly,92.html> [Consulta: 13 de junio de 2017]

[28] <http://www.aficionadosalamecanica.net/frenos-2.htm> [Consulta: 13 de junio de 2017]

## 12. ANEXOS

### 12.1 Anexo I. Evolución del Citroën 2CV

Year	Engine - Clutch - Gearbox - transmission	Suspension - Brakes - Steering - Tyres	Electrical equipment	Bodywork - Colours	Interior fittings	Weight - Performance
1949	375 cc 6.2 : 1 compression ratio 9 bhp @ 3 500 rpm	4 friction dampers 4 inertia shock absorbers Michelin Pilote 125 x 400	Battery 6 volt - 50 Ah 6 volt dynamo One rear light One stop lamp	No door locks Gunmetal grey body Aluminium colour wheels	No ignition key Grey upholstery Black steering wheel	Weight 510 kg Maximum speed 65 kph Fuel consumption 4 to 5 litres per 100 km
1953	4 blade fan	No change	No change	Lockable doors introduced Lighter grey paintwork Yellow wheels	Ignition key	No change
1955	425 cc 6.2 : 1 compression ratio 12 bhp @ 3 500 rpm Centrifugal clutch	No change	Indicator lights Two rear lights one of which comprises the stop lamp	Restyled badge loses its oval surround Rubber bung fitted to enable front windows to be left in the fully open position	Blue tartan upholstery Grey steering wheel	Maximum speed 70 kph Fuel consumption 5 litres/100 km
1956	Compression ratio increased to 7 : 1	No change	No change	No change	No change	No change
1957	Introduction of AZL	No change	No change	Wheels, steering wheel and seat frames in light grey Larger rear screen	Demister fitted	No change
1958	Introduction of AZLP	No change	No change	Metal boot lid introduced	No change	No change
1958	2 CV 4 x 4 Sahara 2 x 425 cc engines, one at front, one at rear	Reinforced suspension arms	60 Ah battery 2 dynamos	Cutaway rear wings Spare wheel mounted on bonnet	Floor mounted gearchange	Maximum speed 100 kph Fuel consumption 9 litres/100 km
1960	No change	380 diameter wheels 135 x 380 Michelin Pilote tyres	No change	Blue bodywork available	Radio en radio available as option	No change
1961	Centrifugal clutch available as option Production of 375 cc models ends	No change	No change	New bonnet	No change	No change
1962	Power output increased to 13.5 bhp @ 4 000 rpm	Dampers modified	No change	No change	No change	Maximum speed 85 kph

1962	Power output increased to 13.5 bhp @ 4 000 rpm	Dampers modified	No change	No change	No change	Maximum speed 85 kph
1963	Introduction of AZAM Power output increased to 18 bhp @ 5 000 rpm	No change	No change	Introduction of 2 CV Mixte fitted with tailgate and spare wheel placed under bonnet	Electric windscreen wipers New dash board Electric fuel gauge	Maximum speed 95 kph
1964	No change	Tubeless 125 x 380 tyres	No change	No change	No change	No change
1965	No change	No change	No change	Front doors hinged at the front	No change	No change
1966	Constant velocity joints fitted to driveshafts	Hydraulic rear shock absorbers	12 volt 240 W electrical system	Introduction of six light body	No change	No change
1967	No change	No change	No change	New door handles	New dashboard	No change
1968	No change	No change	No change	No change	Suspended pedals	No change
1970	2 CV 4 435 cc 8.5 : 1 compression ratio 26 bhp @ 6 750 rpm  2 CV 6 602 cc 8.5 : 1 compression ratio 33 bhp @ 7 000 rpm	No change	390 W alternator	Indicators fitted in front wings	No change	Weight 560 kg Maximum speed 102 kph 5.4 litres/100 km fuel consumption  Weight 560 kg Maximum speed 110 kph 6.11 litres/100 km fuel consumption
1971	9 blade fan	Inertia dampers no longer fitted on front wheels	No change	No change	Lap and diagonal seat belts fitted	No change
1974	No change	No change	No change	Rectangular headlamps fitted New grille New bumpers	No change	No change
1975	2 CV Spécial introduced employing mechanics of the 2 CV 4	No change	No change	4 light body re-introduced	No change	No change



1976	2 CV Spot introduced	No change	No change	No change	No change	No change
1976	2 CV 6 power output reduced to 26 bhp @ 5 500 rpm	No change	No change	No change	No change	No change
1978	2 CV 4 dropped from production	No change	No change	No change	No change	No change
1979	2 CV 6 power output increased to 29 bhp @ 5 750 rpm Twin choke carburettor 2 CV 4 ceases production	No change	No change	2 CV Spécial acquires 6 light body and round headlights	No change	No change
1980	No change	No change	No change	Charleston introduced	No change	No change
1981	No change	Front disc brakes fitted	No change	Charleston acquires chromed headlamps	No change	
1985	2 CV Dolly introduced	No change	No change	No change	No change	No change

## 12.2 Anexo II. Especificaciones técnicas

<b>Brand name</b> <i>The name of the company, which has manufactured this vehicle.</i>	Citroën
<b>Series</b> <i>The series the vehicle's model belongs to.</i>	2CV
<b>Model name</b> <i>The model name of the vehicle.</i>	2cv Special
<b>Model code</b> <i>The code provided by the manufacturer, which marks this model.</i>	-
<b>Model family</b> <i>A family this model belongs to.</i>	-
<b>Produced since</b> <i>The year since the model has been in production.</i>	1979
<b>Type of vehicle</b> <i>Information about the body type of this vehicle.</i>	sedan/saloon
<b>Drive system</b> <i>The type of the drive system used in the vehicle.</i>	front wheel drive (FWD)
<b>Number of seats</b> <i>The number of seats the vehicle has.</i>	5
<b>Number of doors</b> <i>The number of doors the vehicle has.</i>	4
<b>Length</b> <i>The distance from the rear-most point to the front-most point of the vehicle.</i>	3831.00 mm <i>(millimeters)</i>
	150.8268 in <i>(inches)</i>
	12.5689 ft <i>(feet)</i>
<b>Width</b> <i>The width of the vehicle. Devices like door handles, mirrors and lights usually are not included in the calculation of the width. The width is measured with doors and windows closed and the wheels in a straight-ahead position.</i>	1480.00 mm <i>(millimeters)</i>
	58.2677 in <i>(inches)</i>
	4.8556 ft <i>(feet)</i>
<b>Height</b> <i>The distance from the floor to the top-most part of the vehicle.</i>	1600.00 mm <i>(millimeters)</i>
	62.9921 in <i>(inches)</i>
	5.2493 ft <i>(feet)</i>

<p><b>Wheelbase</b> <i>The horizontal distance between the centers of the front and rear wheels. The distance between the front and rear axle.</i></p>	<p>2399.00 mm <i>(millimeters)</i></p> <p>94.4488 in <i>(inches)</i></p> <p>7.8707 ft <i>(feet)</i></p>
<p><b>Front track</b> <i>The distance between the centers of the wheels on the front axle.</i></p>	<p>1259.00 mm <i>(millimeters)</i></p> <p>49.5669 in <i>(inches)</i></p> <p>4.1306 ft <i>(feet)</i></p>
<p><b>Rear track</b> <i>The distance between the centers of the wheels on the rear axle.</i></p>	<p>1259.00 mm <i>(millimeters)</i></p> <p>49.5669 in <i>(inches)</i></p> <p>4.1306 ft <i>(feet)</i></p>
<p><b>Ground clearance</b> <i>The distance from the lowest hanging point under the vehicle to the ground, measured with standard vehicle equipment, without cargo or passengers.</i></p>	<p>150.00 mm <i>(millimeters)</i></p> <p>5.9055 in <i>(inches)</i></p> <p>0.4921 ft <i>(feet)</i></p>
<p><b>Weight</b> <i>The weight of a vehicle with standard equipment and all necessary operating consumables, without passengers or cargo.</i></p>	<p>561 kg <i>(kilograms)</i></p> <p>1236.79 lb <i>(pounds)</i></p>
<p><b>Weight front/rear</b> <i>The percentage of weight distribution on the front and rear tyres.</i></p>	<p>58.00% / 42.00%</p>
<p><b>Engine manufacturer</b> <i>The name of the company, which has manufactured the engine.</i></p>	<p>Citroën</p>
<p><b>Engine code</b> <i>The code of the engine.</i></p>	<p>-</p>
<p><b>Engine displacement</b> <i>The total volume of the air/fuel mixture an engine can produce during one complete cycle. The engine displacement is the sum if the displacement of its cylinders, which includes the volume of the space between the upper and lower dead point of every cylinder.</i></p>	<p>~ 0.4 l <i>(liters)</i></p> <p>435 cc <i>(cubic centimeters)</i></p>
<p><b>Number of cylinders</b> <i>The total number of cylinders in the engine. A cylinder is the space, in which a piston moves between it's upper and lower dead point.</i></p>	<p>2</p>

<p><b>Cylinder arrangement</b></p> <p><i>Information on how the cylinders in the engine are arranged. Some of the most common arrangements are: Inline, V and Boxer (opposite).</i></p>	boxer
<p><b>Valves per cylinder</b></p> <p><i>Most engines have two or more valves per cylinder to control the flow of gases and fluids at proper timings. Intake valves are used to control the flow of air and fuel into each cylinder, while the exhaust valves make sure exhaust gases leave the cylinder.</i></p>	2
<p><b>Bore</b></p> <p><i>The diameter of the cylinder in the engine. Most internal combustion engines have bores in the 70 mm - 105 mm range.</i></p>	<p>68.50 mm (millimeters)</p> <p>2.6969 in (inches)</p> <p>0.2247 ft (feet)</p>
<p><b>Stroke</b></p> <p><i>The length of the piston stroke within the cylinders. The distance the piston travels back-and-forth between it's upper and lower dead point.</i></p>	<p>59.00 mm (millimeters)</p> <p>2.3228 in (inches)</p> <p>0.1936 ft (feet)</p>
<p><b>Compression ratio</b></p> <p><i>The ratio between the largest and the smallest volume of the combustion chamber when the piston is at the top of its stroke (smallest volume) and the bottom of its stroke (largest volume).</i></p>	8.50:1
<p><b>BMEP</b></p> <p><i>Break mean effective pressure is the average pressure that acts on the piston. The higher the pressure is, the more optimized design has been achieved. BMEP takes into account engine's volume, rpm and power output.</i></p>	<p>117.27 psi (pounds per square inch)</p> <p>808.55 kPa (kilopascals)</p> <p>8.09 bar (bars)</p>
<p><b>Aspiration</b></p> <p><i>The type of aspiration. Some engines are naturally aspirated, while others are turbo/supercharged.</i></p>	naturally-aspirated
<p><b>Engine design</b></p> <p><i>The design of the engine in regards to the number and arrangement of camshaft(s), intake and exhaust valves, etc.</i></p>	overhead valve (OHV)
<p><b>Sump type</b></p> <p><i>The lubricating oil system used to oil the engine's parts. Lubrication prevents friction and respectively - wearing out of the elements, which are in contact while the engine is working. There are two main types of sump systems - wet and dry.</i></p>	-

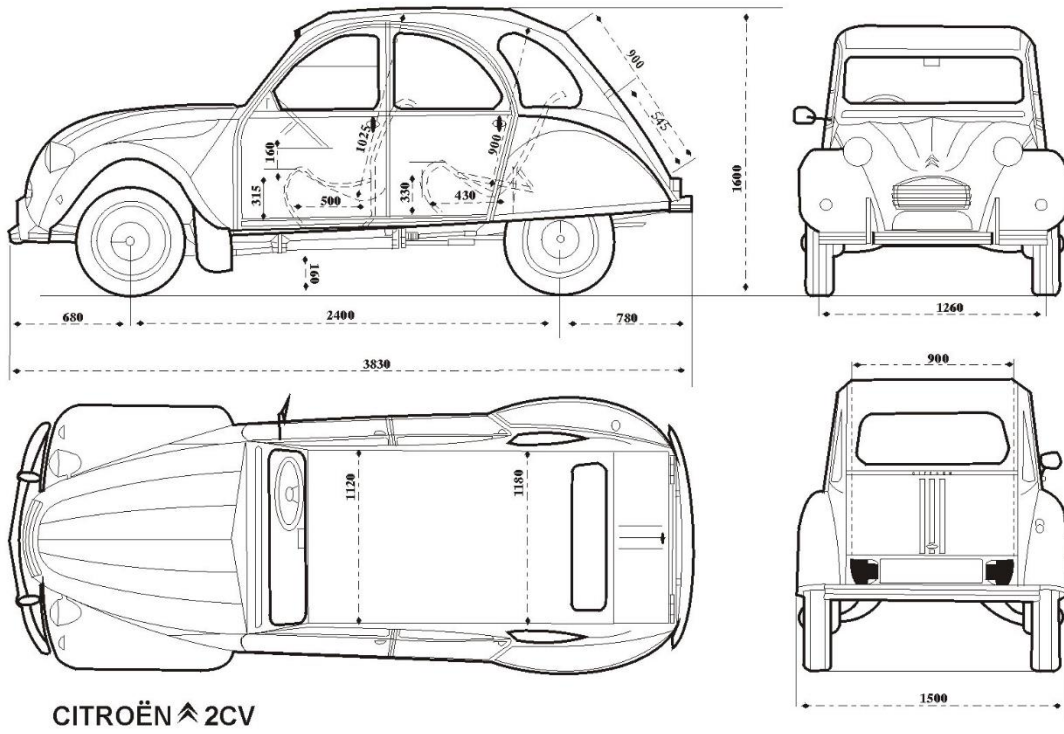
<p><b>Main bearings</b></p> <p><i>The main bearings are the bearings on which the crankshaft rotates. The number of main bearings depends on the engine type.</i></p>	2
<p><b>Coolant</b></p> <p><i>The type of engine coolant system used to remove the heat from the engine.</i></p>	air
<p><b>Intercooler</b></p> <p><i>An air-to-air or air-to-liquid heat exchange device used between the turbo and the intake manifold to reduce the temperature of the air, which increases its density.</i></p>	no
<p><b>Engine location</b></p> <p><i>The location of the engine in the vehicle - whether it is front mounted, middle mounted or rear mounted.</i></p>	front
<p><b>Engine alignment</b></p> <p><i>The alignment/orientation of the engine in the vehicle. A transverse engine is mounted so that the engine's crankshaft axis is perpendicular to the long axis of the vehicle. Longitudinal engine is mounted so that the crankshaft is paralel to the long axis of the vehicle.</i></p>	-
<p><b>Fuel system</b></p> <p><i>The fuel system type used to store and supply fuel in the cylinder chamber.</i></p>	carburettor
<p><b>Catalytic converter</b></p> <p><i>It reduces the toxicity of the emissions from the engine by causing a chemical reaction that transforms harmful gases into less harmful substances.</i></p>	no
	18 kW (kilowatts)
<p><b>Max power</b></p> <p><i>The maximum amount of power the engine can produce.</i></p>	25 ps (Pferdestärke)
	24 hp (horse power)
<p><b>Max power at rpm</b></p> <p><i>The number of revolutions per minute at which the engine produces its maximum power.</i></p>	6750 rpm (revolutions per minute)
	28 Nm (newton meters)
<p><b>Max torque</b></p> <p><i>The maximum torque the engine can produce. Torque is the turning effect, produced when force is applied to rotate an object around an axis, fulcrum, or pivot.</i></p>	20 ft-lb (foot-pounds)
	2 kgm (kilogram meters)
<p><b>Max torque at rpm</b></p> <p><i>The number of revolutions per minute at which the engine produces its maximum torque.</i></p>	3750 rpm (revolutions per minute)

<p><b>Max speed</b> <i>The maximum speed the vehicle can achieve.</i></p>	<p>102 km/h <i>(kilometers per hour)</i></p> <p>63.38 mph <i>(miles per hour)</i></p>
<p><b>Max rpm</b> <i>The maximum number of revolutions per minute of the crankshaft the engine is allowed to run.</i></p>	-
<p><b>0 - 60 mph</b> <i>The time in seconds in which the vehicle accelerates from 0 to 60 miles per hour.</i></p>	-
<p><b>0 - 100 km/h</b> <i>The time in seconds the vehicle needs to accelerate from 0 to 100 kilometers per hour.</i></p>	-
<p><b>Quarter mile time</b> <i>The time in seconds the vehicle needs to do a quarter mile.</i></p>	24.30 s <i>(seconds)</i>
<p><b>Drag coefficient (<math>C_d/C_x/C_w</math>)</b> <i>Quantifies the resistance (drag) of the vehicle, while moving through the air. Contemporary automobiles achieve a drag coefficient from 0.30 to 0.35. <math>C_d</math> is also known as <math>C_x</math> in France and <math>C_w</math> in Germany</i></p>	-
<p><b>Frontal area (A)</b> <i>The total surface area of the front of a vehicle that is exposed to the air flow.</i></p>	-
<p><b>Drag area (<math>C_dA</math>)</b> <i>Expresses the aerodynamic efficiency of the vehicle and is measured by multiplying the drag coefficient (<math>C_d</math>) and the frontal surface area (A). The lower the drag area is the more efficient aerodynamically the vehicle is.</i></p>	-
<p><b>Fuel capacity</b> <i>The maximum amount of fuel that the vehicle's fuel tank can hold.</i></p>	<p>20.00 l <i>(liters)</i></p> <p>5.28 US gal <i>(US gallons)</i></p> <p>4.40 UK gal <i>(UK gallons)</i></p>
<p><b>Fuel consumption - urban</b> <i>The amount of fuel used by the vehicle to cover the distance of 100 kilometers where the speed varies from 0 to 50 km/h.</i></p>	-
<p><b>Fuel consumption - extra urban</b> <i>The amount of fuel used by the vehicle to cover the distance of 100 kilometers where the speed varies from 80 to 120 km/h.</i></p>	-
<p><b>Fuel consumption - combined</b> <i>The average amount of fuel consumed by the vehicle per unit distance in urban and extra-urban traffic.</i></p>	-

<p><b>CO<sub>2</sub> emissions</b></p> <p><i>Information about the carbone dioxide emitted by the vehicle. The average CO<sub>2</sub> emissions rating is 167 grams of carbon dioxide per kilometer driven.</i></p>	-
<p><b>Suspension front</b></p> <p><i>Information about the front suspension mechanism used in the vehicle. The mechanical system that connects the wheels and axles to the chassis of the vehicle.</i></p>	<p>independent</p> <p>live axle</p>
<p><b>Suspension rear</b></p> <p><i>Information about the rear suspension mechanism used in the vehicle. The suspension contributes to the vehicle's handling and braking, isolates the passengers from the road noise and vibrations.</i></p>	<p>coil springs</p> <p>independent</p>
<p><b>Transmission</b></p> <p><i>A transmission a.k.a gearbox adapts the output of the engine to the drive wheels. The transmission can increase the torque while reducing the speed of the crankshaft or do the opposite - reduce the torque while increasing the speed of the crankshaft.</i></p>	manual
<p><b>Number of gears</b></p> <p><i>The number of gears in the transmision of the vehicle.</i></p>	4
<p><b>Top gear ratio</b></p> <p><i>The gear ratio of the top gear. The gears ratio expresses the ratio between the number of teeth of the larger gear and the pinion, or simply put the ratio between the gears radiuses/diameters. E.g. the ratio of a gear with 24 teeth and a pinion with 13 teeth is 1.84:1.</i></p>	1.47:1
<p><b>Final drvie ratio</b></p> <p><i>The final drive ratio expresses the ratio between the number of rotations of the drive shaft for one rotation of a wheel or the ratio between the number of revolutions of the pinion for one revolution of the drive axle.</i></p>	4.13:1
<p><b>Brakes front</b></p> <p><i>The brake system used on the front wheels. In general, the brake system transmits the force from the brake pedal to the brake pads, which allows the vehicle to slow down and stop.</i></p>	drums
<p><b>Brakes rear</b></p> <p><i>Information about the brake system used on the rear wheels.</i></p>	drums
<p><b>Front brake diameter</b></p> <p><i>The diameter of the front brake disks. The brake disk is located between the brake pads, which when forced against both sides of the disk slow and stop the rotation of the wheel.</i></p>	-
<p><b>Rear brake diameter</b></p> <p><i>The diameter of the rear brake disks.</i></p>	-
<p><b>Wheels front</b></p> <p><i>The size/type of the front wheels. For example in "7.5J x 16", the first number represents the width in inches, the second one represents the height in inches. The letter J represents the wheel contour.</i></p>	-

<p><b>Wheels rear</b></p> <p><i>The size/type of the rear wheels used in the vehicle.</i></p>	-
<p><b>Tyres front</b></p> <p><i>The size/type of the front tyres. For example in the tyre code "225/55 R 16" the first number stands for width in mm, the second number stands for aspect ratio of height to width in %, R stands for construction type (radial) and 16 stands for wheel diameter in inches.</i></p>	-
<p><b>Tyres rear</b></p> <p><i>The size/type of the rear tyres used in the vehicle.</i></p>	-
<p><b>Turning circle</b></p> <p><i>The smallest possible diameter of the circle described by the outside wheels when the vehicle is turning on full lock.</i></p>	<p>11.20 m (meters)</p> <p>440.9449 in (inches)</p> <p>36.7454 ft (feet)</p>
<p><b>Steering</b></p> <p><i>Information about the design of the mechanism used in the vehicle which allows it to follow the desired course. The steering mechanism aims to ensure that the wheels are pointing in the desired directions.</i></p>	rack and pinion
<p><b>Turns lock to lock</b></p> <p><i>The number of complete rotations a steering wheel makes when turned from one extreme lock position to the other. For example, from extreme left to extreme right.</i></p>	3.3





## 12.3 Anexo III. Subsistemas

### 12.3.1 Suspension frontal

\$-----MDI\_HEADER

[MDI\_HEADER]

FILE\_TYPE = 'sub'

FILE\_VERSION = 7.0

FILE\_FORMAT = 'ASCII'

\$-----SUBSYSTEM\_HEADER

[SUBSYSTEM\_HEADER]

TEMPLATE\_NAME = 'mdids://Citroen2CV/templates.tbl/\_suspension\_frontal.tpl'

MAJOR\_ROLE = 'suspension'

MINOR\_ROLE = 'front'

TIMESTAMP = '2017/07/04,17:25:22'

\$-----UNITS

[UNITS]

LENGTH = 'mm'

FORCE = 'newton'

ANGLE = 'deg'

MASS = 'kg'

TIME = 'sec'

\$-----HARDPOINT

[HARDPOINT]

{hardpoint_name	symmetry	x_value	y_value	z_value}
'arm_1	'left/right'	680.0	-500.0	250.0
'arm_2	'left/right'	1100.0	-500.0	380.0
'arm_3	'left/right'	1200.0	-500.0	250.0
'center_upright	'left/right'	680.0	-600.0	335.0
'drive_shaft_inr	'left/right'	680.0	-200.0	500.0
'lwr_circle_upright	'left/right'	680.0	-600.0	280.0
'spring_1	'left/right'	1850.0	-500.0	260.0
'spring_2	'left/right'	1640.0	-500.0	257.0

```
'tierod_inner      ' 'left/right' 1050.0  -50.0  400.0
'tierod_outer     ' 'left/right'  800.0  -600.0  400.0
'top_circle_upright ' 'left/right'  680.0  -600.0  390.0
'wheel_center     ' 'left/right'  680.0  -630.0  335.0
'wheel_to_arm     ' 'left/right'  680.0  -600.0  250.0
$-----PART_ASSEMBLY
```

[PART\_ASSEMBLY]

USAGE = 'arm'

SYMMETRY = 'left/right'

MODE = 'rigid'

\$ Rigid body data:

MASS = 9.9458045723

SPRUNG\_PERCENTAGE = 100.0

\$ Part location is dependent.

\$ X,Y,Z location = 680.0, -550.0, 250.0

\$ Part orientation is dependent.

\$ ZP vector = 0.0, 1.0, 0.0

\$ XP vector = 1.0, 0.0, 0.0

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_X = 265.1900681165

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_Y = -93.9960909915

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_Z = 53.4958357204

IXX = 90190.9864307268

IYY = 3.6985559585E+05

IZZ = 4.3824572639E+05

IXY = -69414.0395741797

IZX = 30342.5622144742

IYZ = -10754.8606894821

\$-----LINK\_GEOMETRY

[LINK\_GEOMETRY]

USAGE = 'arm\_1'

PART = 'arm'

SYMMETRY = 'left/right'

RADIUS = 20.0

\$-----LINK\_GEOMETRY

[LINK\_GEOMETRY]

USAGE = 'arm\_2'

PART = 'arm'

SYMMETRY = 'left/right'

RADIUS = 20.0

\$-----LINK\_GEOMETRY

[LINK\_GEOMETRY]

USAGE = 'arm\_3'

PART = 'arm'

SYMMETRY = 'left/right'

RADIUS = 20.0

\$-----PART\_ASSEMBLY

[PART\_ASSEMBLY]

USAGE = 'bar\_front'

SYMMETRY = 'left/right'

MODE = 'rigid'

\$ Rigid body data:

MASS = 0.2634533023

SPRUNG\_PERCENTAGE = 100.0

\$ Part location is dependent.

\$ X,Y,Z location = 1525.0, -500.0, 255.0

\$ Part orientation is dependent.

\$ ZP vector = 0.9998816778, 0.0, 0.015382795

\$ XP vector = 0.015382795, 0.0, -0.9998816778

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_X = -2.092108612E-14

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_Y = -1.4480624693E-16

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_Z = 2.7755575616E-14

IXX = 4306.8651806095

```
IYY          = 4306.8651806095
IZZ          = 3.198263218
IXY          = 4.5163510668E-14
IZX          = -4.9580289696E-13
IYZ          = 6.5076131994E-13

$-----LINK_GEOMETRY

[LINK_GEOMETRY]

USAGE       = 'bar_front'
PART        = 'bar_front'
SYMMETRY    = 'left/right'
RADIUS      = 5.0

$-----PART_ASSEMBLY

[PART_ASSEMBLY]

USAGE       = 'spindle'
SYMMETRY    = 'left/right'
MODE        = 'rigid'

$ Rigid body data:

MASS        = 0.4759428829
SPRUNG_PERCENTAGE = 100.0

$ Part location is dependent.

$ X,Y,Z location = 680.0, -630.0, 335.0

$ Part orientation is dependent.

$ ZP vector = 0.0, -1.0, 0.0

$ XP vector = 1.0, 0.0, 0.0

CM_LOCATION_FROM_PART_X = 4.2531569558E-16
CM_LOCATION_FROM_PART_Y = -1.3658405012E-15
CM_LOCATION_FROM_PART_Z = -25.0

IXX          = 145.377474755
IYY          = 145.377474755
IZZ          = 92.4454149704
IXY          = 2.6248950276E-15
```

IZX = 2.8071531043E-14

IYZ = 8.6644805359E-15

\$-----PART\_ASSEMBLY

[PART\_ASSEMBLY]

USAGE = 'spring'

SYMMETRY = 'left/right'

MODE = 'rigid'

\$ Rigid body data:

MASS = 1.0

SPRUNG\_PERCENTAGE = 100.0

\$ Part location is dependent.

\$ X,Y,Z location = 1745.0, -500.0, 258.5

PART\_ORI\_ZP1 = 0.0

PART\_ORI\_ZP2 = 0.0

PART\_ORI\_ZP3 = 1.0

PART\_ORI\_XP1 = 1.0

PART\_ORI\_XP2 = 0.0

PART\_ORI\_XP3 = 0.0

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_X = 0.0

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_Y = 0.0

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_Z = 0.0

IXX = 1.0

IYY = 1.0

IZZ = 1.0

IXY = 0.0

IZX = 0.0

IYZ = 0.0

\$-----PART\_ASSEMBLY

[PART\_ASSEMBLY]

USAGE = 'tierod'

SYMMETRY = 'left/right'

MODE = 'rigid'

\$ Rigid body data:

MASS = 1.4786818495

SPRUNG\_PERCENTAGE = 100.0

\$ Part location is dependent.

\$ X,Y,Z location = 925.0, -325.0, 400.0

\$ Part orientation is dependent.

\$ ZP vector = 0.4138029443, 0.9103664775, 0.0

\$ XP vector = 0.0, 0.0, -1.0

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_X = 6.2039701601E-14

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_Y = -1.2220851944E-13

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_Z = 0.0

IXX = 47612.4902318764

IYY = 47612.4902318764

IZZ = 71.8034464333

IXY = -2.2795411979E-12

IZX = 2.4768590094E-12

IYZ = 3.0973420358E-12

\$-----LINK\_GEOMETRY

[LINK\_GEOMETRY]

USAGE = 'tierod'

PART = 'tierod'

SYMMETRY = 'left/right'

RADIUS = 10.0

\$-----PART\_ASSEMBLY

[PART\_ASSEMBLY]

USAGE = 'upright'

SYMMETRY = 'left/right'

MODE = 'rigid'

\$ Rigid body data:

MASS = 3.5038332864

SPRUNG\_PERCENTAGE = 100.0

\$ Part location is dependent.

\$ X,Y,Z location = 680.0, -630.0, 335.0

PART\_ORI\_ZP1 = 0.0

PART\_ORI\_ZP2 = 0.0

PART\_ORI\_ZP3 = 1.0

PART\_ORI\_XP1 = 1.0

PART\_ORI\_XP2 = 0.0

PART\_ORI\_XP3 = 0.0

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_X = 1.3666417102

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_Y = 15.3241741759

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_Z = -9.104868955

IXX = 4656.1233976497

IYY = 7033.7083290513

IZZ = 3074.2487931568

IXY = 70.2749676342

IZX = 340.4862674257

IYZ = -77.3770682826

\$-----LINK\_GEOMETRY

[LINK\_GEOMETRY]

USAGE = 'upright\_tierod'

PART = 'upright'

SYMMETRY = 'left/right'

RADIUS = 5.0

\$-----NSPRING\_ASSEMBLY

[NSPRING\_ASSEMBLY]

DEFINITION = '.ACAR.forces.ac\_spring'

USAGE = 'spring'

SYMMETRY = 'left/right'

PROPERTY\_FILE = 'mdids://Citroen2CV/springs.tbl/mdi\_0001.spr'

VALUE\_TYPE = 'preload'



USER\_VALUE = 0.0

\$-----DAMPER\_ASSEMBLY

[DAMPER\_ASSEMBLY]

DEFINITION = '.ACAR.forces.ac\_damper'

USAGE = 'damper'

SYMMETRY = 'left/right'

PROPERTY\_FILE = 'mdids://Citroen2CV/dampers.tbl/damperitos.dpr'

\$-----PARAMETER

[PARAMETER]

{parameter\_name            symmetry    type    value}

'driveline\_active        ' 'single ' 'integer' 0

'kinematic\_flag        ' 'single ' 'integer' 0

'hub\_compliance\_offset    ' 'single ' 'real' 0.0

'camber\_angle            ' 'left/right' 'real' 0.0

'drive\_shaft\_offset      ' 'left/right' 'real' 50.0

'toe\_angle                ' 'left/right' 'real' 0.0

### 12.3.2 Suspensión trasera

\$-----MDI\_HEADER

[MDI\_HEADER]

FILE\_TYPE = 'sub'

FILE\_VERSION = 7.0

FILE\_FORMAT = 'ASCII'

\$-----SUBSYSTEM\_HEADER

[SUBSYSTEM\_HEADER]

TEMPLATE\_NAME = 'mdids://Citroen2CV/templates.tbl/\_suspension\_trasera.tpl'

MAJOR\_ROLE = 'suspension'

MINOR\_ROLE = 'rear'

TIMESTAMP = '2017/07/04,17:24:50'

\$-----UNITS

[UNITS]

LENGTH = 'mm'

FORCE = 'newton'

ANGLE = 'deg'

MASS = 'kg'

TIME = 'sec'

\$-----HARDPOINT

[HARDPOINT]

{hardpoint_name	symmetry	x_value	y_value	z_value}
'arm_1	'left/right'	3080.0	-500.0	335.0
'arm_2	'left/right'	2660.0	-500.0	380.0
'arm_3	'left/right'	2560.0	-500.0	250.0
'center_upright	'left/right'	3080.0	-600.0	335.0
'drive_shaft_inr	'left/right'	3080.0	-200.0	500.0
'lwr_circle_upright	'left/right'	3080.0	-600.0	280.0
'spring_1	'left/right'	1910.0	-500.0	260.0
'spring_2	'left/right'	2120.0	-500.0	257.0
'tierod_inner	'left/right'	2960.0	-600.0	400.0
'tierod_outer	'left/right'	2960.0	-600.0	400.0
'top_circle_upright	'left/right'	3080.0	-600.0	390.0
'wheel_center	'left/right'	3080.0	-630.0	335.0
'wheel_to_arm	'left/right'	3080.0	-600.0	335.0

\$-----PART\_ASSEMBLY

[PART\_ASSEMBLY]

USAGE = 'arm'

SYMMETRY = 'left/right'

MODE = 'rigid'

\$ Rigid body data:

MASS = 9.9458045723

SPRUNG\_PERCENTAGE = 100.0

\$ Part location is dependent.

\$ X,Y,Z location = 3080.0, -550.0, 335.0

\$ Part orientation is dependent.

\$ ZP vector = 0.0, 1.0, 0.0

\$ XP vector = 1.0, 0.0, 0.0

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_X = 265.1900681165

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_Y = -93.9960909915

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_Z = 53.4958357204

IXX = 90190.9864307268

IYY = 3.6985559585E+05

IZZ = 4.3824572639E+05

IXY = -69414.0395741797

IZX = 30342.5622144742

IYZ = -10754.8606894821

\$-----LINK\_GEOMETRY

[LINK\_GEOMETRY]

USAGE = 'arm\_1'

PART = 'arm'

SYMMETRY = 'left/right'

RADIUS = 20.0

\$-----LINK\_GEOMETRY

[LINK\_GEOMETRY]

USAGE = 'arm\_2'

PART = 'arm'

SYMMETRY = 'left/right'

RADIUS = 20.0

\$-----LINK\_GEOMETRY

[LINK\_GEOMETRY]

USAGE = 'arm\_3'

PART = 'arm'

SYMMETRY = 'left/right'

RADIUS = 20.0

\$-----PART\_ASSEMBLY

[PART\_ASSEMBLY]

USAGE = 'bar\_front'

SYMMETRY = 'left/right'

MODE = 'rigid'

\$ Rigid body data:

MASS = 0.2634533023

SPRUNG\_PERCENTAGE = 100.0

\$ Part location is dependent.

\$ X,Y,Z location = 2235.0, -500.0, 255.0

\$ Part orientation is dependent.

\$ ZP vector = -0.9998816778, 0.0, 0.015382795

\$ XP vector = 0.015382795, 0.0, 0.9998816778

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_X = -2.092108612E-14

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_Y = -1.4480624693E-16

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_Z = 2.7755575616E-14

IXX = 4306.8651806095

IYY = 4306.8651806095

IZZ = 3.198263218

IXY = 4.5163510668E-14

IZX = -4.9580289696E-13

IYZ = 6.5076131994E-13

\$-----LINK\_GEOMETRY

[LINK\_GEOMETRY]

USAGE = 'bar\_front'

PART = 'bar\_front'

SYMMETRY = 'left/right'

RADIUS = 5.0

\$-----PART\_ASSEMBLY

[PART\_ASSEMBLY]

USAGE = 'spindle'

SYMMETRY = 'left/right'

MODE = 'rigid'

\$ Rigid body data:

MASS = 0.4759428829

SPRUNG\_PERCENTAGE = 100.0

\$ Part location is dependent.

\$ X,Y,Z location = 3080.0, -630.0, 335.0

\$ Part orientation is dependent.

\$ ZP vector = 0.0, -1.0, 0.0

\$ XP vector = 1.0, 0.0, 0.0

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_X = 4.2531569558E-16

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_Y = -1.3658405012E-15

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_Z = -25.0

IXX = 145.377474755

IYY = 145.377474755

IZZ = 92.4454149704

IXY = 2.6248950276E-15

IZX = 2.8071531043E-14

IYZ = 8.6644805359E-15

\$-----PART\_ASSEMBLY

[PART\_ASSEMBLY]

USAGE = 'spring'

SYMMETRY = 'left/right'

MODE = 'rigid'

\$ Rigid body data:

MASS = 1.0

SPRUNG\_PERCENTAGE = 100.0

\$ Part location is dependent.

\$ X,Y,Z location = 2015.0, -500.0, 258.5

PART\_ORI\_ZP1 = 0.0

```
PART_ORI_ZP2      = 0.0
PART_ORI_ZP3      = 1.0
PART_ORI_XP1      = 1.0
PART_ORI_XP2      = 0.0
PART_ORI_XP3      = 0.0

CM_LOCATION_FROM_PART_X = 0.0
CM_LOCATION_FROM_PART_Y = 0.0
CM_LOCATION_FROM_PART_Z = 0.0

IXX      = 1.0
IYY      = 1.0
IZZ      = 1.0
IXY      = 0.0
IZX      = 0.0
IYZ      = 0.0

$-----PART_ASSEMBLY

[PART_ASSEMBLY]
USAGE      = 'upright'
SYMMETRY   = 'left/right'
MODE       = 'rigid'

$ Rigid body data:
MASS       = 3.5038332864
SPRUNG_PERCENTAGE = 100.0

$ Part location is dependent.
$ X,Y,Z location = 3080.0, -630.0, 335.0

PART_ORI_ZP1      = 0.0
PART_ORI_ZP2      = 0.0
PART_ORI_ZP3      = 1.0
PART_ORI_XP1      = 1.0
PART_ORI_XP2      = 0.0
PART_ORI_XP3      = 0.0

CM_LOCATION_FROM_PART_X = 1.3666417102
```

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_Y = 15.3241741759

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_Z = -9.104868955

IXX = 4656.1233976497

IYY = 7033.7083290513

IZZ = 3074.2487931568

IXY = 70.2749676342

IZX = 340.4862674257

IYZ = -77.3770682826

\$-----LINK\_GEOMETRY

[LINK\_GEOMETRY]

USAGE = 'upright\_tierod'

PART = 'upright'

SYMMETRY = 'left/right'

RADIUS = 5.0

\$-----NSPRING\_ASSEMBLY

[NSPRING\_ASSEMBLY]

DEFINITION = '.ACAR.forces.ac\_spring'

USAGE = 'spring'

SYMMETRY = 'left/right'

PROPERTY\_FILE = 'mdids://Citroen2CV/springs.tbl/mdi\_0001.spr'

VALUE\_TYPE = 'preload'

USER\_VALUE = 0.0

\$-----DAMPER\_ASSEMBLY

[DAMPER\_ASSEMBLY]

DEFINITION = '.ACAR.forces.ac\_damper'

USAGE = 'damper'

SYMMETRY = 'left/right'

PROPERTY\_FILE = 'mdids://acar\_shared/dampers.tbl/mdi\_0001.dpr'

\$-----PARAMETER

[PARAMETER]

{parameter\_name            symmetry    type    value}

```
'driveline_active      ' 'single' 'integer' 0
'kinematic_flag       ' 'single' 'integer' 0
'hub_compliance_offset ' 'single' 'real' 0.0
'camber_angle         ' 'left/right' 'real' 0.0
'drive_shaft_offset   ' 'left/right' 'real' 50.0
'toe_angle            ' 'left/right' 'real' 0.0
```

### 12.3.3 Body

```
$-----MDI_HEADER

[MDI_HEADER]
FILE_TYPE   = 'sub'
FILE_VERSION = 7.0
FILE_FORMAT = 'ASCII'

$-----SUBSYSTEM_HEADER

[SUBSYSTEM_HEADER]
TEMPLATE_NAME = 'mdids://Citroen2CV/templates.tbl/_body.tpl'
MAJOR_ROLE    = 'body'
MINOR_ROLE    = 'any'
TIMESTAMP     = '2017/07/03,17:46:29'

$-----UNITS

[UNITS]
LENGTH = 'mm'
FORCE  = 'newton'
ANGLE  = 'deg'
MASS   = 'kg'
TIME   = 'sec'

$-----HARDPOINT

[HARDPOINT]
{hardpoint_name      symmetry      x_value  y_value  z_value}
'aero_center_of_pressure ' 'single' ' 1600.0   0.0   800.0
```



```
'path_reference      ' 'single '    0.0    0.0    0.0
'trim_dummy         ' 'single '   1600.0    0.0   700.0
$-----PART_ASSEMBLY
[PART_ASSEMBLY]
USAGE              = 'chassis'
SYMMETRY           = 'single'
MODE               = 'rigid'
$ Rigid body data:
MASS               = 600.0
SPRUNG_PERCENTAGE = 100.0
SPRUNG_LOCATION    = 'any'
PART_LOC_X         = 0.0
PART_LOC_Y         = 0.0
PART_LOC_Z         = 0.0
PART_ORI_ZP1       = 0.0
PART_ORI_ZP2       = 0.0
PART_ORI_ZP3       = 1.0
PART_ORI_XP1       = 1.0
PART_ORI_XP2       = 0.0
PART_ORI_XP3       = 0.0
CM_LOCATION_FROM_PART_X = 1900.0
CM_LOCATION_FROM_PART_Y = 0.0
CM_LOCATION_FROM_PART_Z = 700.0
IXX                = 1.443E+09
IYY                = 5.16867E+09
IZZ                = 5.07567E+09
IXY                = 0.0
IZX                = 0.0
IYZ                = 0.0
$-----PART_ASSEMBLY
[PART_ASSEMBLY]
```

USAGE = 'trim\_mass'

SYMMETRY = 'single'

MODE = 'rigid'

\$ Rigid body data:

MASS = 1.0

SPRUNG\_PERCENTAGE = 100.0

SPRUNG\_LOCATION = 'any'

\$ Part location is dependent.

\$ X,Y,Z location = 1600.0, 0.0, 700.0

PART\_ORI\_ZP1 = 0.0

PART\_ORI\_ZP2 = 0.0

PART\_ORI\_ZP3 = 1.0

PART\_ORI\_XP1 = 1.0

PART\_ORI\_XP2 = 0.0

PART\_ORI\_XP3 = 0.0

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_X = 300.0

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_Y = 0.0

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_Z = 0.0

IXX = 1.0

IYY = 1.0

IZZ = 1.0

IXY = 0.0

IZX = 0.0

IYZ = 0.0

\$-----PARAMETER

[PARAMETER]

{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  
'outline\_toggle        ' 'single ' 'integer' 0

#### 12.3.4 Motor

\$-----MDI\_HEADER

[MDI\_HEADER]

FILE\_TYPE    = 'sub'  
FILE\_VERSION = 7.0  
FILE\_FORMAT = 'ASCII'

\$-----SUBSYSTEM\_HEADER

[SUBSYSTEM\_HEADER]

TEMPLATE\_NAME = '<acar\_concept>/templates.tbl/\_engine\_transmission.tpl'  
MAJOR\_ROLE    = 'powertrain'  
MINOR\_ROLE    = 'front'  
TIMESTAMP    = '2017/07/04,23:35:58'

\$-----UNITS

[UNITS]

LENGTH = 'mm'  
FORCE   = 'newton'  
ANGLE   = 'deg'  
MASS    = 'kg'  
TIME    = 'sec'

\$-----HARDPOINT

[HARDPOINT]

{hardpoint_name	symmetry	x_value	y_value	z_value}
'engine_transmission_cg	' 'single ' '	650.0	100.0	550.0
'transmission_output	' 'single ' '	750.0	0.0	300.0
'front_engine_mount	' 'left/right'	400.0	-300.0	400.0
'rear_engine_mount	' 'left/right'	850.0	-300.0	400.0

\$-----PART\_ASSEMBLY

[PART\_ASSEMBLY]

USAGE = 'powertrain'

SYMMETRY = 'single'

MODE = 'rigid'

\$ Rigid body data:

MASS = 187.4349375204

SPRUNG\_PERCENTAGE = 100.0

\$ Part location is dependent.

\$ X,Y,Z location = 650.0, 100.0, 550.0

PART\_ORI\_ZP1 = 0.0

PART\_ORI\_ZP2 = 0.0

PART\_ORI\_ZP3 = 1.0

PART\_ORI\_XP1 = 1.0

PART\_ORI\_XP2 = 0.0

PART\_ORI\_XP3 = 0.0

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_X = 0.0

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_Y = 0.0

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_Z = 0.0

IXX = 4.1712889223E+06

IYY = 1.2668213886E+07

IZZ = 1.0977091463E+07

IXY = 0.0

IZX = 0.0

IYZ = 0.0

\$-----SWITCH\_PART

[SWITCH\_PART]

USAGE = 'engine\_mount\_option'

SYMMETRY = 'single'

\$ Switched Parts:

\$ [1] = nd (unknown part)

\$ [2] = chassis (general part)

INDEX = 2

§-----BUSHING\_ASSEMBLY

[BUSHING\_ASSEMBLY]

DEFINITION = '.ACAR.attachments.ac\_bushing'

USAGE = 'front\_engine\_mount'

SYMMETRY = 'left/right'

ORIENTATION\_ZP1 = 0.0

ORIENTATION\_ZP2 = 0.0

ORIENTATION\_ZP3 = 1.0

ORIENTATION\_XP1 = 1.0

ORIENTATION\_XP2 = 0.0

ORIENTATION\_XP3 = 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      = '<acar_shared>/bushings.tbl/mdi_0001.bus'
$-----BUSHING_ASSEMBLY
[BUSHING_ASSEMBLY]
DEFINITION      = '.ACAR.attachments.ac_bushing'
USAGE           = 'rear_engine_mount'
SYMMETRY        = 'left/right'
ORIENTATION_ZP1 = 0.0
ORIENTATION_ZP2 = 0.0
ORIENTATION_ZP3 = 1.0
ORIENTATION_XP1 = 1.0
ORIENTATION_XP2 = 0.0
ORIENTATION_XP3 = 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        = '<acar_shared>/bushings.tbl/mdi_0001.bus'
$-----GENERAL_SPLINE
[GENERAL_SPLINE]
USAGE                = 'capacity_factor'
SYMMETRY             = 'single'
TYPE                 = 'two_dimensional'
PROPERTY_FILE        = '<acar_shared>/torque_converters.tbl/mdi_0001.tcf'
CURVE_NAME           = 'CAPACITY_FACTOR'
$-----GENERAL_SPLINE
[GENERAL_SPLINE]
USAGE                = 'engine_torque'
SYMMETRY             = 'single'
TYPE                 = 'three_dimensional'
PROPERTY_FILE        = 'mdids://Citroen2CV/powertrains.tbl/curvas.pwr'
CURVE_NAME           = 'ENGINE'
$-----GENERAL_SPLINE
[GENERAL_SPLINE]
USAGE                = 'torque_ratio'
SYMMETRY             = 'single'
TYPE                 = 'two_dimensional'
PROPERTY_FILE        = '<acar_shared>/torque_converters.tbl/mdi_0001.tcf'
```

CURVE\_NAME = 'TORQUE\_RATIO'

§-----PARAMETER

[PARAMETER]

{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
'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'	6750.0
'engine_stall_speed	'single	'real'	750.0
'gear_downshift_2	'single	'real'	1000.0
'gear_downshift_3	'single	'real'	1200.0
'gear_downshift_4	'single	'real'	1200.0
'gear_downshift_5	'single	'real'	1300.0
'gear_downshift_6	'single	'real'	1400.0
'gear_ratio_1	'single	'real'	7.0
'gear_ratio_2	'single	'real'	5.0
'gear_ratio_3	'single	'real'	3.0
'gear_ratio_4	'single	'real'	1.47
'gear_ratio_5	'single	'real'	0.8
'gear_ratio_6	'single	'real'	0.65
'gear_ratio_R	'single	'real'	-7.0
'gear_sport_1	'single	'real'	5800.0



```
'gear_sport_2      ' 'single ' 'real' 5800.0
'gear_sport_3      ' 'single ' 'real' 5750.0
'gear_sport_4      ' 'single ' 'real' 5750.0
'gear_sport_5      ' 'single ' 'real' 5700.0
'gear_upshift_1    ' 'single ' 'real' 5000.0
'gear_upshift_2    ' 'single ' 'real' 4900.0
'gear_upshift_3    ' 'single ' 'real' 4800.0
'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
'longitudinal      ' 'single ' 'integer' 0
'max_engine_power  ' 'single ' 'real' 3.10E+08
'max_engine_torque ' 'single ' 'real' 4.00E+05
'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' 0
'torque_tau        ' 'single ' 'real' 0.1
```

### 12.3.5 Dirección

```
§-----MDI_HEADER
```

```
[MDI_HEADER]
```

```
FILE_TYPE = 'sub'
```

```
FILE_VERSION = 7.0
```

```

FILE_FORMAT = 'ASCII'

$-----SUBSYSTEM_HEADER

[SUBSYSTEM_HEADER]

TEMPLATE_NAME = 'mdids://Citroen2CV/templates.tbl/_direccion.tpl'

MAJOR_ROLE = 'steering'

MINOR_ROLE = 'front'

TIMESTAMP = '2017/07/04,17:25:26'

$-----UNITS

[UNITS]

LENGTH = 'mm'

FORCE = 'newton'

ANGLE = 'deg'

MASS = 'kg'

TIME = 'sec'

$-----HARDPOINT

[HARDPOINT]

{hardpoint_name      symmetry    x_value  y_value  z_value}
'intermediate_shaft_forward ' 'single ' 1250.0  -300.0  600.0
'intermediate_shaft_rearward ' 'single ' 1400.0  -300.0  1000.0
'pinion_pivot        ' 'single ' 1050.0  -300.0  400.0
'steering_wheel_center ' 'single ' 1650.0  -300.0  1050.0
'rack_house_mount    ' 'left/right' 1050.0  -400.0  400.0
'tierod_inner        ' 'left/right' 1050.0  -50.0  400.0

$-----PART_ASSEMBLY

[PART_ASSEMBLY]

USAGE = 'intermediate_shaft'

SYMMETRY = 'single'

MODE = 'rigid'

$ Rigid body data:

MASS = 1.0

SPRUNG_PERCENTAGE = 100.0

```

\$ Part location is dependent.

\$ X,Y,Z location = 1325.0, -300.0, 800.0

\$ Part orientation is dependent.

\$ ZP vector = 0.3511234416, 0.0, 0.9363291776

\$ XP vector = 0.9363291776, 0.0, -0.3511234416

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_X = 0.0

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_Y = 0.0

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_Z = 0.0

IXX = 2764.9179238818

IYY = 2764.9179238818

IZZ = 113.1691810841

IXY = 0.0

IZX = 0.0

IYZ = 0.0

\$-----LINK\_GEOMETRY

[LINK\_GEOMETRY]

USAGE = 'intermediate\_shaft'

PART = 'intermediate\_shaft'

SYMMETRY = 'single'

RADIUS = 15.0445459276

\$-----PART\_ASSEMBLY

[PART\_ASSEMBLY]

USAGE = 'pinion'

SYMMETRY = 'single'

MODE = 'rigid'

\$ Rigid body data:

MASS = 0.5

SPRUNG\_PERCENTAGE = 100.0

\$ Part location is dependent.

\$ X,Y,Z location = 1050.0, -300.0, 400.0

\$ Part orientation is dependent.

```
$ ZP vector = 0.7071067812, 0.0, 0.7071067812
$ XP vector = 0.7071067812, 0.0, -0.7071067812
CM_LOCATION_FROM_PART_X = 0.0
CM_LOCATION_FROM_PART_Y = 0.0
CM_LOCATION_FROM_PART_Z = 0.0
IXX          = 1.0
IYY          = 1.0
IZZ          = 1.0
IXY          = 0.0
IZX          = 0.0
IYZ          = 0.0
$-----PART_ASSEMBLY
[PART_ASSEMBLY]
USAGE        = 'rack'
SYMMETRY     = 'single'
MODE         = 'rigid'
$ Rigid body data:
MASS         = 1.8888888889
SPRUNG_PERCENTAGE = 100.0
$ Part location is dependent.
$ X,Y,Z location = 1050.0, 0.0, 400.0
$ Part orientation is dependent.
$ ZP vector = 0.0, -1.0, 0.0
$ XP vector = 1.0, 0.0, 0.0
CM_LOCATION_FROM_PART_X = 0.0
CM_LOCATION_FROM_PART_Y = 0.0
CM_LOCATION_FROM_PART_Z = 0.0
IXX          = 1.1376967058E+05
IYY          = 1.1376967058E+05
IZZ          = 85.6374549196
IXY          = 0.0
```

IZX = 0.0

IYZ = 0.0

\$-----LINK\_GEOMETRY

[LINK\_GEOMETRY]

USAGE = 'rack'

PART = 'rack'

SYMMETRY = 'single'

RADIUS = 9.5223396425

\$-----PART\_ASSEMBLY

[PART\_ASSEMBLY]

USAGE = 'rack\_housing'

SYMMETRY = 'single'

MODE = 'rigid'

\$ Rigid body data:

MASS = 4.0

SPRUNG\_PERCENTAGE = 100.0

\$ Part location is dependent.

\$ X,Y,Z location = 1050.0, 0.0, 400.0

\$ Part orientation is dependent.

\$ ZP vector = 0.0, -1.0, 0.0

\$ XP vector = 1.0, 0.0, 0.0

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_X = 0.0

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_Y = 0.0

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_Z = 0.0

IXX = 2.1353735198E+05

IYY = 2.1353735198E+05

IZZ = 408.0372851994

IXY = 0.0

IZX = 0.0

IYZ = 0.0

\$-----LINK\_GEOMETRY

[LINK\_GEOMETRY]

USAGE = 'rack\_housing'

PART = 'rack\_housing'

SYMMETRY = 'single'

RADIUS = 14.2835094637

\$-----PART\_ASSEMBLY

[PART\_ASSEMBLY]

USAGE = 'steering\_column'

SYMMETRY = 'single'

MODE = 'rigid'

\$ Rigid body data:

MASS = 2.0

SPRUNG\_PERCENTAGE = 100.0

\$ Part location is dependent.

\$ X,Y,Z location = 1525.0, -300.0, 1025.0

\$ Part orientation is dependent.

\$ ZP vector = -0.9805806757, 0.0, -0.1961161351

\$ XP vector = -0.1961161351, 0.0, 0.9805806757

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_X = 0.0

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_Y = 0.0

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_Z = 0.0

IXX = 22195.429797

IYY = 22195.429797

IZZ = 224.1929264276

IXY = 0.0

IZX = 0.0

IYZ = 0.0

\$-----LINK\_GEOMETRY

[LINK\_GEOMETRY]

USAGE = 'steering\_column'

PART = 'steering\_column'

SYMMETRY = 'single'

RADIUS = 14.9730733795

\$-----PART\_ASSEMBLY

[PART\_ASSEMBLY]

USAGE = 'steering\_shaft'

SYMMETRY = 'single'

MODE = 'rigid'

\$ Rigid body data:

MASS = 1.5689290811

SPRUNG\_PERCENTAGE = 100.0

\$ Part location is dependent.

\$ X,Y,Z location = 1150.0, -300.0, 500.0

\$ Part orientation is dependent.

\$ ZP vector = 0.7071067812, 0.0, 0.7071067812

\$ XP vector = 0.7071067812, 0.0, -0.7071067812

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_X = 0.0

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_Y = 0.0

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_Z = 0.0

IXX = 10548.304417

IYY = 10548.304417

IZZ = 177.5544192877

IXY = 0.0

IZX = 0.0

IYZ = 0.0

\$-----LINK\_GEOMETRY

[LINK\_GEOMETRY]

USAGE = 'steering\_shaft'

PART = 'steering\_shaft'

SYMMETRY = 'single'

RADIUS = 15.0445459276

\$-----PART\_ASSEMBLY

[PART\_ASSEMBLY]

USAGE = 'steering\_wheel'

SYMMETRY = 'single'

MODE = 'rigid'

\$ Rigid body data:

MASS = 2.1500262923

SPRUNG\_PERCENTAGE = 100.0

\$ Part location is dependent.

\$ X,Y,Z location = 1650.0, -300.0, 1050.0

\$ Part orientation is dependent.

\$ ZP vector = -0.9805806757, 0.0, -0.1961161351

\$ XP vector = -0.1961161351, 0.0, 0.9805806757

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_X = 0.0

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_Y = 0.0

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_Z = 0.5768768867

IXX = 25892.147854

IYY = 25892.147854

IZZ = 51629.176982

IXY = 0.0

IZX = 0.0

IYZ = 0.0

\$-----SWITCH\_PART

[SWITCH\_PART]

USAGE = 'rack\_house\_mount'

SYMMETRY = 'single'

\$ Switched Parts:

\$ [1] = nd (unknown part)

\$ [2] = nd (unknown part)

INDEX = 1

\$-----BUSHING\_ASSEMBLY

[BUSHING\_ASSEMBLY]



DEFINITION = '.ACAR.attachments.ac\_bushing'

USAGE = 'torsion\_bar'

SYMMETRY = 'single'

\$ Bushing orientation is dependent.

\$ ZP vector = 0.7071067812, 0.0, 0.7071067812

\$ XP vector = 0.7071067812, 0.0, -0.7071067812

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\_steering\_tbar.bus'

\$-----BUSHING\_ASSEMBLY

[BUSHING\_ASSEMBLY]

DEFINITION = '.ACAR.attachments.ac\_bushing'

USAGE = 'rack\_housing\_bushing'

SYMMETRY = 'left/right'

\$ Bushing orientation is 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 = 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'

\$-----GEAR\_ASSEMBLY

[GEAR\_ASSEMBLY]

USAGE = 'input\_shaft\_pinion\_lock'

SYMMETRY = 'single'

REDUCTION\_RATIO = 1.0

INVERT\_INPUT = 'yes'

\$-----GEAR\_ASSEMBLY

[GEAR\_ASSEMBLY]

USAGE = 'pinion\_to\_rack'

SYMMETRY = 'single'

REDUCTION\_RATIO = 0.1745329252

INVERT\_INPUT = 'yes'

\$-----GEAR\_ASSEMBLY

[GEAR\_ASSEMBLY]

USAGE = 'steering\_wheel\_column\_lock'

SYMMETRY = 'single'

REDUCTION\_RATIO = 1.0

INVERT\_INPUT = 'no'

\$-----GENERAL\_SPLINE

[GENERAL\_SPLINE]

USAGE = 'steering\_assist'

SYMMETRY = 'single'

TYPE = 'two\_dimensional'

PROPERTY\_FILE = 'mdids://acar\_shared/steering\_assists.tbl/mdi\_steer\_assist.ste'

CURVE\_NAME = 'steering\_assist'

\$-----GENERAL\_PARAMETER

[GENERAL\_PARAMETER]

USAGE = 'rack\_piston\_area'

SYMMETRY = 'single'

```
PROPERTY_FILE = 'mdids://acar_shared/steering_assists.tbl/mdi_steer_assist.ste'
```

```
DATA_BLOCK = 'STEERING_ASSIST'
```

```
ATTRIBUTE_NAME = 'piston_area'
```

```
$-----PARAMETER
```

```
[PARAMETER]
```

```
{parameter_name      symmetry  type  value}
```

```
'kinematic_flag      ' 'single ' 'integer' 0
```

```
'steering_assist_active ' 'single ' 'integer' 1
```

```
'max_rack_displacement ' 'single ' 'real' 100.0
```

```
'max_rack_force      ' 'single ' 'real' 500.0
```

```
'max_steering_angle  ' 'single ' 'real' 720.0
```

```
'max_steering_torque ' 'single ' 'real' 500.0
```

### 12.3.6 Driveline

```
$-----MDI_HEADER
```

```
[MDI_HEADER]
```

```
FILE_TYPE = 'sub'
```

```
FILE_VERSION = 7.0
```

```
FILE_FORMAT = 'ASCII'
```

```
$-----SUBSYSTEM_HEADER
```

```
[SUBSYSTEM_HEADER]
```

```
TEMPLATE_NAME = '<acar_concept>/templates.tbl/_driveline_fwd_LSD.tpl'
```

```
MAJOR_ROLE = 'driveline'
```

```
MINOR_ROLE = 'front'
```

```
TIMESTAMP = '2017/07/04,17:25:31'
```

```
$-----UNITS
```

```
[UNITS]
```

```
LENGTH = 'mm'
```

```
FORCE = 'newton'
```

```
ANGLE = 'deg'
```

MASS = 'kg'

TIME = 'sec'

\$-----HARDPOINT

[HARDPOINT]

{hardpoint\_name            symmetry    x\_value  y\_value  z\_value}

'diff\_mount            ' 'single '    680.0   -200.0   350.0

'inner\_CVJ            ' 'left/right'  680.0   -400.0   350.0

\$-----PART\_ASSEMBLY

[PART\_ASSEMBLY]

USAGE                = 'diff\_housing'

SYMMETRY            = 'single'

MODE                 = 'rigid'

\$ Rigid body data:

MASS                 = 1.0

SPRUNG\_PERCENTAGE   = 100.0

\$ Part location is dependent.

\$ X,Y,Z location = 680.0, -200.0, 350.0

\$ Part orientation is dependent.

\$ ZP vector = 1.0, 0.0, 0.0

\$ XP vector = 0.0, 1.0, 0.0

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_X = 0.0

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_Y = 0.0

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_Z = 0.0

IXX                 = 1.0

IYY                 = 1.0

IZZ                 = 1.0

IXY                 = 0.0

IZX                 = 0.0

IYZ                 = 0.0

\$-----PART\_ASSEMBLY

[PART\_ASSEMBLY]

USAGE = 'diff\_input'

SYMMETRY = 'single'

MODE = 'rigid'

\$ Rigid body data:

MASS = 0.6955492391

SPRUNG\_PERCENTAGE = 100.0

\$ Part location is dependent.

\$ X,Y,Z location = 680.0, -200.0, 350.0

\$ Part orientation is dependent.

\$ ZP vector = 1.0, 0.0, 0.0

\$ XP vector = 0.0, 1.0, 0.0

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_X = 0.0

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_Y = 0.0

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_Z = 7.5

IXX = 347.6321760416

IYY = 347.6321760416

IZZ = 669.1812556173

IXY = 0.0

IZX = 0.0

IYZ = 0.0

\$-----PART\_ASSEMBLY

[PART\_ASSEMBLY]

USAGE = 'diff\_output'

SYMMETRY = 'left/right'

MODE = 'rigid'

\$ Rigid body data:

MASS = 0.6955492391

SPRUNG\_PERCENTAGE = 100.0

\$ Part location is dependent.

\$ X,Y,Z location = 680.0, -400.0, 350.0

\$ Part orientation is dependent.

\$ ZP vector = 0.0, -1.0, 0.0

\$ XP vector = 1.0, 0.0, 0.0

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_X = 0.0

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_Y = 0.0

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_Z = -7.5

IXX = 347.6321760416

IYY = 347.6321760416

IZZ = 669.1812556173

IXY = 0.0

IZX = 0.0

IYZ = 0.0

\$-----LINK\_GEOMETRY

[LINK\_GEOMETRY]

USAGE = 'jack\_shaft'

PART = 'diff\_output'

SYMMETRY = 'left/right'

RADIUS = 10.0

\$-----PART\_ASSEMBLY

[PART\_ASSEMBLY]

USAGE = 'halfshaft'

SYMMETRY = 'left/right'

MODE = 'rigid'

\$ Rigid body data:

MASS = 0.5949286036

SPRUNG\_PERCENTAGE = 100.0

\$ Part location is dependent.

\$ X,Y,Z location = 680.0, -490.0, 342.5

\$ Part orientation is dependent.

\$ ZP vector = 0.0, -0.9965457582, -0.0830454799

\$ XP vector = -1.0, 0.0, 0.0

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_X = 2.236899862E-17

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_Y = -4.1852832761E-16

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_Z = 0.0

IXX = 3113.0310732711

IYY = 3113.0310732711

IZZ = 28.8891921783

IXY = 2.5357172811E-13

IZX = 7.8441879759E-14

IYZ = 9.1234708951E-14

\$-----LINK\_GEOMETRY

[LINK\_GEOMETRY]

USAGE = 'halfshaft'

PART = 'halfshaft'

SYMMETRY = 'left/right'

RADIUS = 10.0

\$-----PART\_ASSEMBLY

[PART\_ASSEMBLY]

USAGE = 'tripod'

SYMMETRY = 'left/right'

MODE = 'rigid'

\$ Rigid body data:

MASS = 1.0

SPRUNG\_PERCENTAGE = 100.0

\$ Part location is dependent.

\$ X,Y,Z location = 680.0, -400.0, 350.0

\$ Part orientation is dependent.

\$ ZP vector = 0.0, -1.0, 0.0

\$ XP vector = 1.0, 0.0, 0.0

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_X = 0.0

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_Y = 0.0

CM\_LOCATION\_FROM\_PART\_Z = 0.0

IXX = 1.0



IYY = 1.0

IZZ = 1.0

IXY = 0.0

IZX = 0.0

IYZ = 0.0

\$-----SWITCH\_PART

[SWITCH\_PART]

USAGE = 'diff\_mount'

SYMMETRY = 'single'

\$ Switched Parts:

\$ [1] = nd (unknown part)

\$ [2] = nd (unknown part)

\$ [3] = nd (unknown part)

INDEX = 1

\$-----GEAR\_ASSEMBLY

[GEAR\_ASSEMBLY]

USAGE = 'differential'

SYMMETRY = 'single'

REDUCTION\_RATIO = 3.0

INVERT\_INPUT = 'no'

\$-----GENERAL\_SPLINE

[GENERAL\_SPLINE]

USAGE = 'front\_differential'

SYMMETRY = 'single'

TYPE = 'two\_dimensional'

PROPERTY\_FILE = '<acar\_concept>/differentials.tbl/open\_no\_torque.dif'

CURVE\_NAME = 'DIFFERENTIAL'

\$-----PARAMETER

[PARAMETER]

{parameter\_name            symmetry    type    value}

'driveline\_active        ' 'single'   'string' 'front'

```
'kinematic_flag      ' 'single' 'integer' 0
'jack_shaft_active   ' 'left'   'integer' 0
'jack_shaft_active   ' 'right'  'integer' 1
'jack_shaft_length   ' 'left'   'real'   0.0
'jack_shaft_length   ' 'right'  'real'  400.0
```

### 12.3.7 Ruedas delanteras

```
$-----MDI_HEADER
```

```
[MDI_HEADER]
```

```
FILE_TYPE   = 'sub'
FILE_VERSION = 7.0
FILE_FORMAT  = 'ASCII'
```

```
$-----SUBSYSTEM_HEADER
```

```
[SUBSYSTEM_HEADER]
```

```
TEMPLATE_NAME = 'mdids://Citroen2CV/templates.tbl/_front_wheels_c2cv.tpl'
MAJOR_ROLE    = 'wheel'
MINOR_ROLE    = 'front'
TIMESTAMP     = '2017/07/04,17:25:12'
```

```
$-----UNITS
```

```
[UNITS]
```

```
LENGTH = 'mm'
FORCE   = 'newton'
ANGLE   = 'deg'
MASS    = 'kg'
TIME    = 'sec'
```

```
$-----WHEEL_ASSEMBLY
```

```
[WHEEL_ASSEMBLY]
```

```
USAGE      = 'wheel'
SYMMETRY   = 'left/right'
MASS       = 20.0
```

```
SPRUNG_PERCENTAGE = 0.0
IXX                = 50000.0
IYY                = 50000.0
IZZ                = 10000.0
CM_OFFSET          = 0.0
WHEEL_CENTER_OFFSET = 0.0
HIGH_PERFORMANCE   = 'no'
DEFINITION         = '.ACAR.forces.ac_tire'
PROPERTY_FILE      = 'mdids://Citroen2CV/tires.tbl/front_wheels_c2cv_pac89.tir'
CONTACT_TYPE       = 'handling'
```

```
$-----PARAMETER
```

```
[PARAMETER]
```

```
{parameter_name      symmetry  type  value}
'kinematic_flag      ' 'single' 'integer' 0
'graphics_angle_offset ' 'left/right' 'real' 0.0
```

### 12.3.8 Ruedas traseras

```
$-----MDI_HEADER
```

```
[MDI_HEADER]
```

```
FILE_TYPE = 'sub'
FILE_VERSION = 7.0
FILE_FORMAT = 'ASCII'
```

```
$-----SUBSYSTEM_HEADER
```

```
[SUBSYSTEM_HEADER]
```

```
TEMPLATE_NAME = 'mdids://Citroen2CV/templates.tbl/_rear_wheels_c2cv.tpl'
MAJOR_ROLE = 'wheel'
MINOR_ROLE = 'rear'
TIMESTAMP = '2017/07/04,17:25:09'
```

```
$-----UNITS
```

```
[UNITS]
```

LENGTH = 'mm'

FORCE = 'newton'

ANGLE = 'deg'

MASS = 'kg'

TIME = 'sec'

\$-----WHEEL\_ASSEMBLY

[WHEEL\_ASSEMBLY]

USAGE = 'wheel'

SYMMETRY = 'left/right'

MASS = 20.0

SPRUNG\_PERCENTAGE = 0.0

IXX = 50000.0

IYY = 50000.0

IZZ = 10000.0

CM\_OFFSET = 0.0

WHEEL\_CENTER\_OFFSET = 0.0

HIGH\_PERFORMANCE = 'no'

DEFINITION = '.ACAR.forces.ac\_tire'

PROPERTY\_FILE = 'mdids://Citroen2CV/tires.tbl/front\_wheels\_c2cv\_pac89.tir'

CONTACT\_TYPE = 'handling'

\$-----PARAMETER

[PARAMETER]

{parameter\_name symmetry type value}

'kinematic\_flag ' 'single' 'integer' 0

'graphics\_angle\_offset ' 'left/right' 'real' 0.0

### 12.3.9 Frenos

\$-----MDI\_HEADER

[MDI\_HEADER]

```

FILE_TYPE = 'sub'
FILE_VERSION = 7.0
FILE_FORMAT = 'ASCII'
$-----SUBSYSTEM_HEADER
[SUBSYSTEM_HEADER]
TEMPLATE_NAME = '<acar_shared>/templates.tbl/_brake_system_4Wdisk.tpl'
MAJOR_ROLE = 'brake_system'
MINOR_ROLE = 'any'
TIMESTAMP = '2017/07/04,17:24:57'
$-----UNITS
[UNITS]
LENGTH = 'mm'
FORCE = 'newton'
ANGLE = 'deg'
MASS = 'kg'
TIME = 'sec'
$-----PARAMETER
[PARAMETER]
{parameter_name      symmetry  type  value}
'kinematic_flag      ' 'single ' 'integer' 0
'front_brake_bias     ' 'single ' 'real' 0.65
'front_brake_mu       ' 'single ' 'real' 0.2
'front_effective_piston_radius' 'single ' 'real' 100.0
'front_piston_area    ' 'single ' 'real' 1000.0
'front_rotor_hub_wheel_offset' 'single ' 'real' -15.0
'front_rotor_hub_width  ' 'single ' 'real' 40.0
'front_rotor_width    ' 'single ' 'real' -25.0
'max_brake_value      ' 'single ' 'real' 20.0
'rear_brake_mu        ' 'single ' 'real' 0.2
'rear_effective_piston_radius' 'single ' 'real' 90.0
'rear_piston_area     ' 'single ' 'real' 900.0

```

'rear\_rotor\_hub\_wheel\_offset ' 'single ' 'real' -15.0

'rear\_rotor\_hub\_width ' 'single ' 'real' 40.0

'rear\_rotor\_width ' 'single ' 'real' -25.0