



UNIVERSIDAD DE ALMERÍA
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR Y FACULTAD
DE CIENCIAS EXPERIMENTALES

TITULACIÓN DE INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL ESPECIALIDAD
MECÁNICA

PROYECTO FIN DE CARRERA

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL
SISTEMA DE SUSPENSIÓN Y
DIRECCIÓN DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO

ALUMNO

JOSÉ ANTONIO MATEOS RAMÍREZ
ALMERÍA, MARZO 2014

DIRECTOR

JOSÉ LUIS TORRES MORENO

AGRADECIMIENTOS

Ha sido un largo camino que ha llegado a su fin. En este tiempo hay muchas personas que han estado a mi lado apoyándome y a las que le estoy agradecido.

Quiero empezar agradeciendo en primer lugar a familiares y amigos que tanto me han apoyado y siempre han estado a mi lado hasta llegar hasta donde he llegado.

También quiero agradecer a los compañeros de carrera con los que tan buenos ratos hemos pasado y a los profesores con los que tanto hemos aprendido.

Por supuesto quiero agradecer el tiempo, la ayuda y toda la paciencia que ha tenido mi director de proyecto José Luis Torres. Además de todos los conocimientos que me ha aportado.

INDICE

| | |
|--|----|
| 1. INTERÉS Y OBJETIVOS | 11 |
| 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA | 15 |
| 2.1. EL CHASIS | 15 |
| 2.1.1. Introducción..... | 15 |
| 2.1.2. Historia del chasis..... | 15 |
| 2.1.3. Chasis en el vehículo eléctrico del laboratorio | 19 |
| 2.2. SISTEMA DE SUSPENSIÓN | 20 |
| 2.2.1. Introducción..... | 20 |
| 2.2.2. Elementos de suspensión..... | 20 |
| 2.2.3. Tipos de suspensión..... | 28 |
| 2.2.4. Suspensiones en el vehículo eléctrico del laboratorio | 36 |
| 2.3. SISTEMA DE DIRECCIÓN | 37 |
| 2.3.1. Introducción..... | 37 |
| 2.3.2. Disposición de los elementos sobre el vehículo | 38 |
| 2.3.3. Estudio de órganos constructivos | 38 |
| 2.3.4. Geometría de la dirección | 42 |
| 2.3.5. Sistema de dirección en el vehículo eléctrico del laboratorio | 50 |
| 3. MATERIAL Y MÉTODOS | 52 |
| 3.1. MEDICIÓN DEL CHASIS Y ELEMENTOS DE SUSPENSIÓN Y DIRECCIÓN..... | 52 |
| 3.2. MODELADO DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO EN CATIA..... | 54 |
| 3.3. MODELO CINEMÁTICO Y DINÁMICO..... | 55 |
| 3.4. DISEÑO DE EXPERIMENTOS..... | 56 |
| 3.5. PRUEBA REAL DE ADELANTAMIENTO A OTRO VEHÍCULO ESTACIONADO | 57 |
| 3.6. POSPROCESADO DE DATOS..... | 63 |
| 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 65 |
| 4.1. MODELOS 3D | 65 |
| 4.1.1. FICHA TÉCNICA DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO | 65 |
| 4.1.2. MEDIDAS Y DATOS OBTENIDOS DEL MODELO 3D..... | 66 |
| 4.1.3. CALCULO DE LA CONSTANTE “K” | 85 |
| 4.2. RESTRICCIONES ENTRE PIEZAS Y GRADOS DE LIBERTAD | 90 |
| 4.2.1. RESTRICCIONES DE LA SUSPENSIÓN DELANTERA..... | 90 |
| 4.2.2. RESTRICCIONES DE LA SUSPENSIÓN TRASERA | 92 |
| 4.2.3. RESTRICCIONES DE LA DIRECCIÓN | 94 |

| | | |
|---------------|--|------------|
| 4.3. | RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS MANIOBRAS | 96 |
| 4.3.1. | SIMULACIÓN EN LÍNEA RECTA | 98 |
| 4.3.2. | SIMULACIÓN DE GIRO A LA IZQUIERDA "J" | 100 |
| 4.3.3. | ANÁLISIS DE VIRAJE | 104 |
| 4.3.4. | PRUEBA DE ADELANTAMIENTO A VEHÍCULO PARADO | 108 |
| 4.3.5. | PRUEBA DE ADELANTAMIENTO A VEHÍCULO EN MARCHA | 111 |
| 5. | CONCLUSIONES | 115 |
| 6. | LÍNEAS FUTURAS DE TRABAJO EN EL COCHE ELÉCTRICO | 118 |
| 7. | BIBLIOGRAFÍA | 120 |
| 8. | ANEXOS | 124 |
| 9. | PLANOS | 141 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 2.1. Baterías del vehículo eléctrico..... | 2 |
| Figura 2.2. Chasis tubular | 16 |
| Figura 2.3. Carrocería de aluminio | 16 |
| Figura 2.4 Chasis de carbono de Porsche Carrera Gt..... | 16 |
| Figura 2.5. Chasis Space Frame de Audi A8 | 17 |
| Figura 2.6. Vehículo eléctrico | 18 |
| Figura 2.7. Muelles | 19 |
| Figura 2.8 Ballesta | 21 |
| Figura 2.9. Barra de torsión | 21 |
| Figura 2.10. Amortiguador | 22 |
| Figura 2.11. Amortiguador con válvula de doble efecto | 23 |
| Figura 2.12. Tirantes longitudinales | 23 |
| Figura 2.13. Barra estabilizadora | 24 |
| Figura 2.14. Barra estabilizadora accionada mediante bieletas | 24 |
| Figura 2.15. Barra estabilizadora Panhard | 25 |
| Figura 2.16. Rotula..... | 25 |
| Figura 2.17. Silentblocs..... | 25 |
| Figura 2.18 Brazo de suspensión | 26 |
| Figura 2.19. Brazos transversales | 26 |
| Figura 2.20. Brazos longitudinales..... | 26 |
| Figura 2.21. Brazos tirados unidos a chasis | 27 |
| Figura 2.22. Brazo tirado unidos al eje | 27 |
| Figura 2.23. Brazos oblicuos | 27 |
| Figura 2.24. Eje rígido con ballestas | 28 |
| Figura 2.25. Eje rígido y muelles..... | 29 |
| Figura 2.26. Eje de Dion | 29 |
| Figura 2.27. Deltalink..... | 30 |
| Figura 2.28. Eje oscilante de una articulación | 32 |
| Figura 2.29. Eje oscilante de dos articulaciones | 32 |
| Figura 2.30. Montaje longitudinal de las barras | 33 |
| Figura 2.31. Montaje transversal de las barras | 33 |
| Figura 2.32. Brazo tirado y muelle helicoidal | 34 |
| Figura 2.33. Suspensión McPherson | 35 |
| Figura 2.34. Suspensión de paralelogramos deformable | 34 |
| Figura 2.35. Paralelogramo deformable multibrazo | 35 |
| Figura 2.36. Suspensión McPherson | 36 |
| Figura 2.37. Eje rígido con barra Panhard | 36 |
| Figura 2.38. Dirección de cremallera..... | 38 |
| Figura 2.39. Dirección de tonillos sinfín y selector | 38 |

| | |
|---|----|
| Figura 2.40. Columna o árbol de dirección | 39 |
| Figura 2.41. Conjunto de dirección | 39 |
| Figura 2.42. Dirección de cremallera | 40 |
| Figura 2.43. Tornillo sinfín | 41 |
| Figura 2.44. Tornillo sinfín y rodillo | 41 |
| Figura 2.45. Tornillo sinfín y dedo | 41 |
| Figura 2.46. A, B, C solo los puntos de apoyo común de los tres tipos de suspensión . | 42 |
| Figura 2.47. Ángulo de ruedas según centro instantáneo | 43 |
| Figura 2.48. Ángulo de caída | 44 |
| Figura 2.49. Ángulo de salida | 45 |
| Figura 2.50. Reducción del ángulo de caída mediante el ángulo de salida..... | 47 |
| Figura 2.51. Ángulo de avance | 48 |
| Figura 2.52. Convergencia | 49 |
| Figura 2.53. Convergencia positiva y negativa (divergencia) | 50 |
| Figura 2.54. Efectos dinámicos de la convergencia | 50 |
| Figura 2.55. Influencia del paralelismo | 51 |
| Figura 2.56. Sistema de dirección de cremallera | 52 |
| Figuras 3.1. Elevador | 52 |
| Figura 3.2. Mediciones en el elevador | 52 |
| Figuras 3.3. Cinta métrica | 52 |
| Figura 3.4. Calibre | 52 |
| Figura 3.5. Medición del incremento de longitud de suspensiones con y sin pasajero | 53 |
| Figura 3.6. Pluma de taller..... | 53 |
| Figura 3.7. Catia V5..... | 54 |
| Figura 3.8. Fortran | 55 |
| Figura 3.9. Microsoft Visual Studio | 56 |
| Figura 3.10. Blender | 56 |
| Figura 3.11. Situación del parking donde se ha realizado las pruebas | 57 |
| Figuras 3.12. Cinta métrica..... | 57 |
| Figuras 3.13. Pivotes..... | 57 |
| Figura 3.14. Medidas de circuito para ensayo de cambio de carril..... | 58 |
| Figura 3.15. Circuito para ensayo de adelantamiento a otro vehículo | 59 |
| Figura 3.17. Escenas del ensayo de adelantamiento | 60 |
| Figura 3.18. GPS | 61 |
| Figura 3.19. Encoder y motor situado en la columna de dirección | 61 |
| Figura 3.20. Sensor de velocidad | 61 |
| Figura 3.21. Recogida de datos de los ensayos | 62 |
| Figura 3.22. Tarjeta PCI-TMC-12A | 62 |
| Figura 3.23. Matlab..... | 63 |
| Figura 4.1. Coche eléctrico “Teycar AL2” | 65 |
| Figura 4.2. Chasis modelado en Catia V5 | 69 |

| | |
|---|-----|
| Figura 4.3. Cremallera real | 71 |
| Figura 4.4. Cremallera modelada | 71 |
| Figura 4.5. Barra de dirección izquierda real | 72 |
| Figura 4.6. Barra de dirección izquierda modelada | 72 |
| Figura 4.7. Barra de dirección derecha real | 73 |
| Figura 4.8. Barra de dirección modelada | 73 |
| Figura 4.9. Mangueta izquierda real | 74 |
| Figura 4.10. Mangueta izquierda modelada | 74 |
| Figura 4.11. Mangueta y suspensión derecha real | 76 |
| Figura 4.12. Mangueta y suspensión derecho modelado | 76 |
| Figura 4.13. Brazo izquierdo real | 78 |
| Figura 4.14. Brazo izquierdo modelado | 78 |
| Figura 4.15. Brazo derecho real | 79 |
| Figura 4.16. Brazo derecho modelado | 79 |
| Figura 4.17. Eje rígido trasero real | 80 |
| Figura 4.18. Eje rígido trasero modelado | 80 |
| Figura 4.19. Brazo tirado izquierdo real | 82 |
| Figura 4.20. Brazo tirado izquierdo modelado | 82 |
| Figura 4.21. Brazo tirado derecho real | 83 |
| Figura 4.22. Brazo tirado derecho modelado | 83 |
| Figura 4.23. Barra Panhard real | 84 |
| Figura 4.24. Barra Panhard modelada | 84 |
| Figura 4.25. Ubicación del motor eléctrico y de las baterías | 85 |
| Figura 4.26. Comprobación del centro de gravedad con dos ocupantes..... | 85 |
| Figura 4.27. Centro de gravedad con dos ocupantes | 86 |
| Figura 4.28 Distribución de pesos en ejes del vehículo eléctrico | 87 |
| Figura 4.29. Suspensión delantera McPherson | 90 |
| Figura 4.30. Longitud del muelle con el peso del vehículo | 91 |
| Figura 4.31. Componentes de la suspensión trasera | 92 |
| Figura 4.32. Longitud de los muelles traseros | 93 |
| Figura 4.33. Uniones entre los elementos de la suspensión trasera | 93 |
| Figura 4.34. Componentes de la dirección | 94 |
| Figura 4.35. Restricciones de la dirección | 94 |
| Figura 4.36. Ejes axiales en el vehículo modelado | 97 |
| Figura 4.37. Distancia de adelantamiento | 111 |

INDICE DE GRAFICAS

| | |
|---|-----|
| Grafica 4.1. Ángulo de volante y dirección | 95 |
| Grafica 4.2. Ensayos realizados en parking de la UAL. | 96 |
| Grafica 4.3. Trayectoria en línea recta | 98 |
| Grafica 4.4. Velocidad del ensayo en línea recta | 98 |
| Grafica 4.5. Balanceo en el ensayo en línea recta | 99 |
| Grafica 4.6. Comportamiento de las suspensiones | 99 |
| Grafica 4.7. Trayectoria del ensayo de giro en forma de "J" | 100 |
| Grafica 4.8. Guiñado en el ensayo "J" | 101 |
| Grafica 4.9. Velocidad en el ensayo "J" | 101 |
| Grafica 4.10. Balanceo en ensayo "J" | 102 |
| Grafica 4.11. Comportamiento de las suspensiones delantera en ensayo "J" | 102 |
| Grafica 4.12. Longitud de las suspensiones trasera durante el ensayo en "J" | 103 |
| Grafica 4.13. Trayectoria de ensayo en "C" | 104 |
| Grafica 4.14. Guiñado en el ensayo "C" | 105 |
| Grafica 4.15. Velocidad en ensayo en "C" | 105 |
| Grafica 4.16. Balanceo en el ensayo en "C" | 106 |
| Grafica 4.17. Suspensiones delanteras | 107 |
| Grafica 4.18. Suspensiones traseras..... | 107 |
| Grafica 4.19. Trayectoria de adelantamiento en la simulación | 108 |
| Grafica 4.20. Trayectoria de adelantamiento en el ensayo real | 108 |
| Grafica 4.21. Ángulo de las ruedas en el ensayo de adelantamiento | 109 |
| Grafica 4.22. Aceleración lateral en el ensayo de adelantamiento | 109 |
| Grafica 4.23. Guiñado en el ensayo de adelantamiento | 110 |
| Grafica 4.24. Velocidad de guiñado en el adelantamiento | 110 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 2.1 Cotas de dirección | 43 |
| Tabla 4.1. Coordenadas parte delantera del vehículo | 67 |
| Tabla 4.2. Coordenadas parte trasera del vehículo | 68 |
| Tabla 4.3. Datos del chasis | 69 |
| Tabla 4.4. Datos de la cremallera | 69 |
| Tabla 4.5. Datos de barra de dirección izquierda | 72 |
| Tabla 4.6. Datos de barra de dirección derecha | 73 |
| Tabla 4.7. Datos de mangueta y suspensión izquierda | 75 |
| Tabla 4.8. Datos de mangueta y suspensión derecha | 77 |
| Tabla 4.9. Datos de brazo derecho | 78 |
| Tabla 4.10. Datos de brazo derecho | 79 |
| Tabla 4.11. Datos del eje rígido | 80 |
| Tabla 4.12. Datos de brazo trasero izquierdo | 82 |
| Tabla 4.13. Datos brazo trasero derecho | 83 |
| Tabla 4.14. Datos de barra estabilizadora Panhard | 84 |
| Tabla 4.15. Datos de muelles delanteros | 88 |
| Tabla 4.16. Datos de muelles traseros | 89 |

1.- INTERÉS Y OBJETIVO

1. INTERÉS Y OBJETIVOS

En los últimos años las compañías automovilísticas están optando por la modelización de sus vehículos, para obtener unos coches que sean más seguros y, además, fáciles y agradables de conducir. Las suspensiones y demás elementos se comprueban antes matemáticamente que experimentalmente. De esta manera, los elementos involucrados en la modelización se comportan más eficientemente desde el comienzo de las pruebas con prototipos, acortando los períodos de desarrollo de nuevos modelos.

Sin embargo, estas dos aplicaciones de la modelización de vehículo no podrán separarse de las pruebas experimentales para obtener datos reales hasta que los modelos sean lo suficientemente precisos, fiables y representativos de los sistemas reales. A la modelización se le presentan algunas dificultades y limitaciones.

La modelización ha de ser tal que el comportamiento del sistema se acerque al de la realidad: dependiendo de la precisión requerida y del sistema analizado, esto puede llevar a una modelización de complejidad excesiva, que pueda ralentizar el cálculo computacional del modelo.

La fase de definición, desarrollo y evaluación del modelo puede resultar demasiado larga y sus resultados seguir siendo relativamente alejados de la realidad. Es decir, se ha de analizar cada caso cuidadosamente y evaluar si el coste de creación de un modelo es admisible, tanto a nivel económico como de tiempo.

Sin embargo, los resultados obtenidos conllevan las siguientes ventajas:

El modelo contribuye a localizar de manera más sencilla posibles errores o aspectos delicados en el diseño. La modelización es un buen complemento para llevar a cabo una fase de diseño más fiable, al mismo tiempo que puede hacer disminuir los costes de prototipos y ensayos.

El modelo puede ir siendo actualizado o contribuir a la optimización de sus elementos, análisis de nuevas aplicaciones con el esfuerzo suplementario relativamente reducido.

La Universidad de Almería cuenta con un vehículo eléctrico en el laboratorio del CITE II-a. Este vehículo pertenece al grupo de investigación “Automática, Robótica y Mecatrónica” (ARM, código TEP197 del Plan Andaluz de Investigación), es cual está formado por 28 investigadores. En este vehículo este trabajado para el grupo de investigación para convertirlo en un coche autómatas, es decir, que pueda circular sin conductor. El vehículo ya cuenta con GPS y varios sensores que miden la velocidad, ángulo de giro del volante y se le está montando varios sensores de ultrasonido, los mismos sensores de aparcamiento que se utilizar algunos coches, y dos cámaras para detectar la distancia a la que se encuentran los obstáculos.

El objetivo del proyecto es realizar un estudio del comportamiento del vehículo y del sistema de suspensión y de dirección de en este tipo de vehículo con el centro de gravedad se encuentra próximo al centro del vehículo debido al menor peso del motor y a las baterías que se encuentran en la parte trasera. Las baterías se encuentran situadas debajo de los asientos (Figura 1.1) y a esa misma altura ahí otras dos más debajo del maletero.



Figura 1.1. Baterías del vehículo eléctrico

El vehículo cuenta con una suspensión independiente de tipo McPherson en la parte delantera y en la parte trasera una suspensión rígida con amortiguadores, muelles y una barra estabilizadora Panhard. En cuanto al sistema de dirección tiene una cremallera sin sistema de dirección asistida.

Para poder realizar el estudio de las suspensiones y de la dirección hay que modelar en CATIA del chasis con todos los componentes móviles que componen el sistema de suspensión y dirección. Hemos creado una nube de puntos, que se trata de coger las coordenadas en varios puntos en diferentes partes del chasis y de los diferentes elementos que componen el coche para poder situar cada elemento en la situación del vehículo en reposo y también se ha medido cada elemento para poder pasarlo con las medidas reales a CATIA. Y una vez que tengamos todas las piezas diseñadas y ensambladas se introducirán en un programa de simulación para que el vehículo pueda simular diferentes maniobras y también simularemos un adelantamiento a otro vehículo que se encuentre en movimiento, ambos a una velocidad constante y en un terreno similar en el cual queremos realizar posteriormente la simulación con el vehículo que tenemos en la universidad. El lugar escogido para la realización de la simulación es la recta que se encuentra entre las dos redondas por detrás de la biblioteca de la universidad. Aunque por motivos de seguridad el ensayo de la maniobra de adelantamiento lo haremos a otro vehículo que se encuentra estacionado y lo realizaremos en los aparcamientos de la universidad. La simulación la realizaremos con Visual Studio, y los datos de la simulación los obtenemos de Matlab.

Ya con los datos de la simulación y los datos que se recogen de la prueba hecha con el coche, compararemos si ambos resultados coinciden.

El objetivo de este proyecto es el estudio del comportamiento dinámico del coche para continuar con futuras líneas de trabajo en este vehículo.

En este proyecto en concreto los objetivos marcados son:

- Determinación de la geometría de los mecanismos del coche eléctrico mediante medidas experimentales.
- Cálculo de los datos necesarios para la modelización del vehículo.
- Evaluación cinemática del chasis, suspensiones delanteras y traseras y dirección.
- Evaluación dinámica del modelo.
- Incorporación de un modelo de neumáticos.
- Simulación de una serie de maniobras representativas del comportamiento dinámico del vehículo e interpretación de los resultados.
- Validación del modelo por medio de esas mismas maniobras llevadas a cabo con el coche en la realidad comparando las mediciones de los sensores con los resultados de las simulaciones.

La línea futuro trabajo que se quiere seguir en el vehículo eléctrico es para que el coche sea capaz de realizar un recorrido de forma automática, sin necesidad de conductor. Ya están trabajando con la sensorización del vehículo mediante encoders que recogen datos de la velocidad, el giro del volante y otros sensores de posición del coche. Se quiere colocar un motor que gire sea capaz de girar el volante un ángulo determinado, otro motor que mueva el pedal de freno y un regulador de velocidad del vehículo. También se está realizando un estudio del comportamiento del sistema de frenado del vehículo y la diseño para colocar en el sistema de frenado con servofreno.

2.- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. EL CHASIS

2.1.1. Introducción

El chasis de un vehículo es la estructura en la que se montan y sujetan los demás componentes. Soporta sus cargas y ofrecen una resistente protección en caso de accidente.

En la construcción de un chasis existen tres parámetros fundamentales:

- **Ligereza:** Se puede mejorar mucho la potencia y rendimiento de un motor, pero debe ir acompañado de un chasis ligero, en otro caso se está desperdiciando potencia. Por otro lado, el chasis es uno de los elementos más pesados del vehículo, y un aumento de ligereza proporciona una disminución de consumo importante.
- **Rigidez:** Sin duda es el parámetro fundamental de funcionamiento del chasis. Es importante conseguir una estructura resistente a impactos para la protección del piloto, siendo la rigidez el factor del chasis que más influyen el comportamiento del vehículo en pista.
- **Economía:** La fabricación debe ser económicamente viable. Los chasis con presupuestos elevados son únicamente utilizados en series cortas de vehículos de gama alta.

2.1.2. Historia del chasis

En el comienzo de la industria del automóvil (Karl Benz 1885) con motores de combustión interna, el diseño de la estructura del chasis se consideraba el factor secundario, debido a las bajas potencias de los automóviles de la época. Poco a poco y con el desarrollo de motores más potentes, el estudio de la estructura principal del coche toma una vital importancia en la evolución del automóvil. Este breve paso por la historia ayudará a entender la tendencia actual en el diseño de chasis y carrocerías tanto en los coches de serie como en los automóviles de competición.

Al comienzo y hasta 1910, tanto la estructura como carrocería de los coches de la época eran de madera, muy similares a los coches de caballos. A partir de 1910 se comienza a trabajar con acero y aluminio en la estructura de coches. Es en estos años cuando se empieza a evolucionar buscando una mayor rigidez torsional del chasis. En 1934 Citroën es la primera marca que introduce un monocasco en un modelo fabricado en serie (Traction avant). Tras la Segunda Guerra Mundial y con una gran carencia de acero en Europa, se desarrollan aleaciones de aluminio y aumenta su uso en los chasis de la época. En 1953 Chevrolet, saca al mercado su Corvette, con un chasis tubular y carrocería de fibra de vidrio. Durante los años sesenta, mientras que en Estados Unidos se seguía utilizando el chasis y montado sobre él la carrocería

Figura 2.1, en Europa se empieza a investigar sobre materiales compuestos y cada vez más se busca un diseño integrado de carrocería y chasis. Con la crisis energética a finales de los sesenta, las compañías dirigen sus esfuerzos a la reducción de peso, llegando en algunos casos a rebajar en 500 kg. En 1979 Ford termina su primer vehículo fabricado totalmente de fibra de carbono. A partir de estos años el objetivo de las empresas es mejorar las ideas existentes para reducir peso, la meta ahora es reducir consumos y emisiones.



Figura2.1. Chasis y carrocería separados.

En los años 80 empezó a utilizarse en clásicos deportivos chasis de tipo tubular (Figura 2.2) debido a su gran resistencia estructural y bajo peso, aunque fue creado en 1937 por el carrocerero Touring. Consiste en construir el chasis con una red de finos tubos metálicos soldados entre sí. Este tipo de chasis es muy laborioso y bastante caro, se suele utilizar en vehículo deportivo de alta gama o para competición.

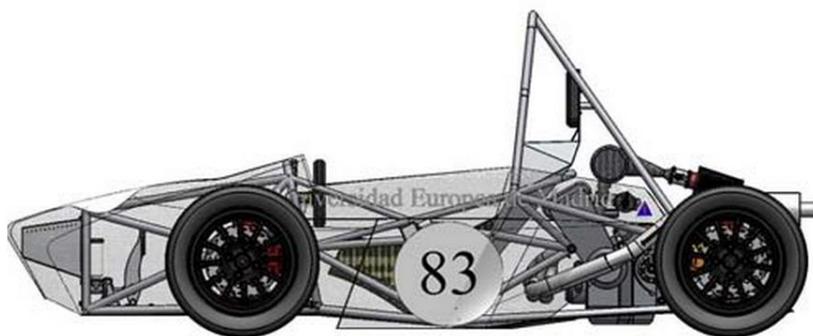


Figura 2.2 Chasis tubular.

El modelo de mayor implantación en la actualidad, es el que integra chasis y carrocería, el llamado monocasco. Puede encontrarse de distintos materiales, como acero, aluminio Figura 2.3 o materiales compuestos Figura 2.4, dándose éstos últimos sólo en algunos coches de lujo debido a su alto coste y en coches de competición como los fórmula 1. Sin duda el modelo más utilizado en la actualidad es el monocasco de acero.



Figura 2.3. Carrocería de aluminio.



Figura 2.4. Chasis de carbono de Porsche Carrera GT, con un peso de 100 kg.

Otro tipo de chasis desarrollado en la actualidad, es el basado en la tecnología llamada Space Frame (Figura 2.5). Este tipo de estudio se basa en una estructura teórica de enlaces infinitamente fuertes unidos en nodos libres para rotar. Es una estructura que hace la función de soportar y de aportar rigidez al vehículo, a la vez que protege a los ocupantes. La estructura forma un marco, en el que luego se fijan los paneles. Éstos tienen también una función activa en el soporte de las cargas del coche. Audi es una de las marcas que más ha desarrollado esta tecnología, fabricando muchos de sus modelos en aluminio, reduciendo en algunos casos el peso en un 40%, con las ventajas que eso conlleva de maniobrabilidad y consumo.

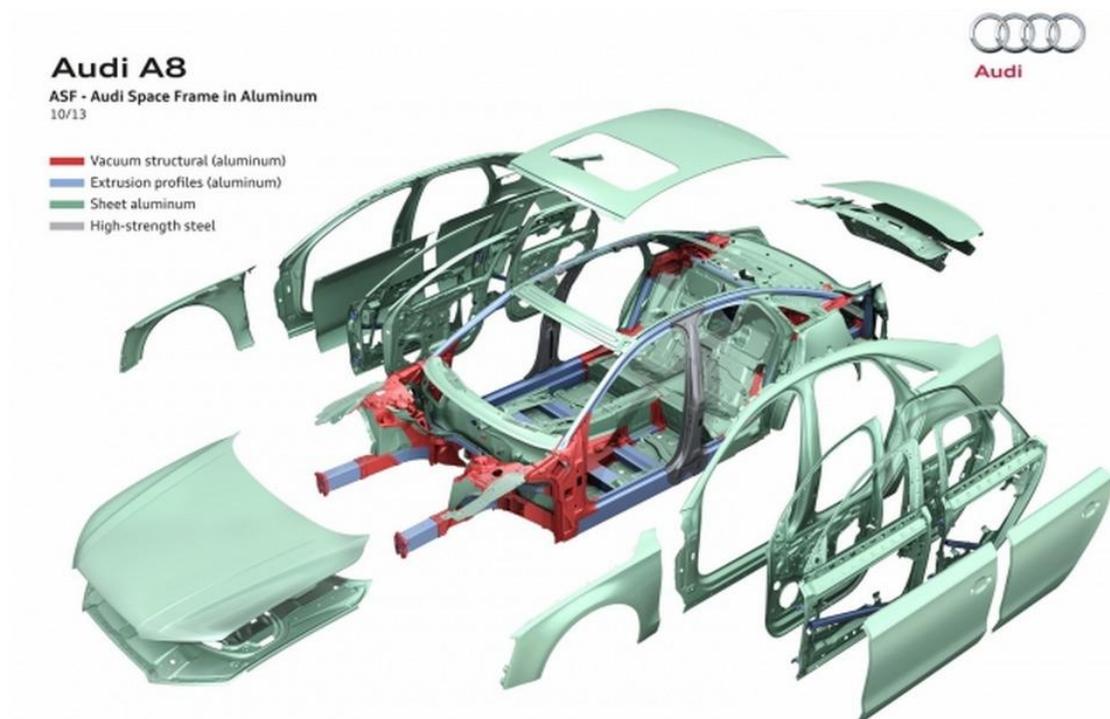


Figura 2.5. Chasis Space Frame DE AUDI A8.

2.1.3. Chasis en el vehículo eléctrico del laboratorio

El chasis del vehículo eléctrico del laboratorio es un chasis tubular de acero de sección cuadrada y la carrocería es de fibra de vidrio Figura 2.6.



Figura 2.6. Vehículo eléctrico.

El chasis tubular de acero ofrece una gran resistencia a los esfuerzos y reduce considerablemente el peso, algo muy importante para este tipo de vehículos. En general los chasis de tipo tubular utilizado para la competición suelen ser caros debido a la complejidad que deben tener para conseguir con tubos lo más ligeros y finos posible la mayor resistencia. Pero en este caso, como el vehículo no soportará grandes esfuerzos y el peso tiene que ser ligero pero no es tan importante como en la competición, la fabricación de este chasis no es tan costosa.

2.2. SISTEMA DE SUSPENSIÓN

2.2.1. Introducción

A pesar del buen estado de las carreteras, los vehículos no circulan siempre por superficies planas. Estas irregularidades del firme producen movimientos de subida y bajadas continuas en función de la velocidad del vehículo. Gran parte de esta sección está basada en [1,2 y 3].

Por tanto, el vehículo recibe todas las variaciones del pavimento en forma de vibraciones y pequeños golpes provocando incomodidad a los pasajeros, inestabilidad, desgaste y deformaciones al vehículo.

Para dar solución a este problema se ha añadido la suspensión.

Los elementos de suspensión están colocados entre la carrocería y las ruedas. Tienen suficiente elasticidad para permitir que las ruedas suban y bajen, adaptándose a las irregularidades del firme, proporcionando la máxima comodidad a los pasajeros y contribuyendo a incrementar la seguridad activa del vehículo.

2.2.2. Elementos de suspensión

2.2.2.1. Resortes

Son los elementos contruidos de acero especial para resortes (acero al manganeso, al silicio manganeso o al vanadio), a los que se le aplican diferentes tratamientos térmicos para mejorar sus propiedades, tales como elasticidad, resistencia mecánica...

Por sus formas constructivas pueden ser: muelles, ballestas o barras de torsión.

- **Muelles**

Están contruidos por una varilla cilíndrica (10 a 14 milímetros de diámetro) de acero especial, arrollado en hélice (Figura 2.7). El muelle helicoidal trabaja a torsión retorciéndose con los esfuerzos exteriores que soporta. Esta torsión se traduce en una disminución de la longitud del muelle al ser cargado, volviendo a su posición primitiva, por su elasticidad, cuando cesa la fuerza que actúa sobre él



Figura 2.7. Muelles.

Los muelles tienen excelentes cualidades elásticas, pero poca capacidad para almacenar energía, de ahí la necesidad del amortiguador que absorbe la reacción del muelle.

- **Ballestas**

Están compuestas por una serie de láminas superpuestas, de diferentes longitudes, construidas en acero elástico para muelles. Este tipo de resorte tiene un rendimiento bastante débil en elasticidad.

Las láminas son unidas por un perno central que las atraviesa, y unas abrazaderas que permiten que las láminas se deslicen al cargar un peso sobre ellas.

La lámina más larga tiene en sus extremos unos orificios denominados ojos, para sujetarlas al chasis con unos pasadores. Uno de los apoyos es fijo, o punto de reacción, y el otro es móvil, y va unido al chasis través de una pieza llamada gemela, que permite aumentar o disminuir la longitud para favorecer los movimientos de flexión (Figura 2.8).



Figura 2.8 Ballesta.

Las ballestas se montan en los vehículos de forma longitudinal o transversal respecto al sentido de marcha.

- **Barras de torsión**

Estas barras están sujetamos fuertemente por uno de sus extremos en el chasis y en el otro extremo en el brazo de suspensión, si le aplicamos un par de giro exterior en el lado del brazo, se retuerce ligeramente a causa de su elasticidad, oponiendo un par de reacción de igual valor y sentido contrario: tenemos así una barra de torsión (Figura 2.9).



Figura 2.9. Barra de torsión.

Son barras macizas fabricadas de un material elástico que le confiere una elasticidad excepcional.

Poseen en los extremos una forma particular (estriado), que sirve de anclaje. En funcionamiento, el brazo oscila y hace trabajar a la barra dándole un movimiento de torsión. De este modo, constituye un resorte que ocupa poco espacio y tiene un montaje más simple.

2.2.2.2. Amortiguadores

El amortiguador es el encargado de absorber vibraciones o los golpes cuando la rueda se encuentra con un obstáculo, así como las reacciones del resorte.

Se trata de un pistón que se desliza en un cilindro. El cilindro está lleno de aceite (Figura 2.10). Es necesario permitir el paso del aceite entre un lado y el otro del pistón para que este pueda moverse.

En funcionamiento, el pistón sigue los movimientos alternativos de subida y bajada de la rueda, si bien resulta más o menos frenado dependiendo de lo difícil que sea el paso de aceite entre ambas cámaras colocadas en cada lado del pistón. Además del paso de aceite que pueda existir entre la periferia, el pistón y el cilindro, el pistón tiene varios orificios llamados orificios calibrados o válvulas de paso. Gracias a estas el pistón resulta mejor guiado, debido a que encuentra menos dificultad.

En la parte superior del cilindro va colocado un pequeño volumen de aire, sobre el aceite, para absorber las pequeñas variaciones de la varilla (Figura 2.10).

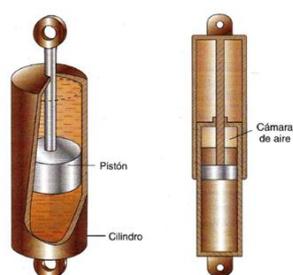


Figura 2.10. Amortiguador.

En el montaje, el cilindro va fijado al chasis y el pistón al eje o brazo de suspensión mediante cojinetes elásticos (silentblocs) o arandelas de caucho. De esta forma, el volumen de aire queda siempre en la parte superior del cilindro. Esto permite absorber los movimientos lentos de la carrocería, a la vez que al encontrarse en la parte superior, no se emulsiona con el aceite (mezcla).

- **Amortiguadores de doble efecto**

Este amortiguador constituye una válvula de doble efecto (Figura 2.11) a un determinado nivel de aceite. Esta válvula dispone de agujeros calibrados provistos a su vez de válvulas, dispuestas en sentido opuesto.

La mitad de ellas funciona a expansión y la otra mitad a compresión. La ventaja de este sistema es que, variando el diámetro de una u otra mitad a compresión. La ventaja de este sistema es que, variando el diámetro de una y otra válvula, podemos conseguir distinto efecto en cada sentido.

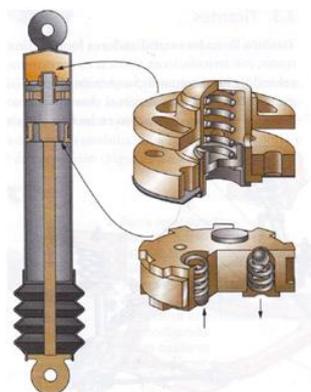


Figura 2.11. Amortiguador con válvula de doble efecto.

2.2.2.3. Tirantes

También llamados estabilizadores longitudinales, son brazos de acero muy resistentes, con articulaciones elásticas en sus extremos, colocados entre la estructura del vehículo y los sistemas de suspensión (Figura 2.12). Tienen a misión de unir longitudinalmente la suspensión al chasis para absorber los desplazamientos longitudinales y esfuerzos de reacción en las frenadas y aceleraciones del vehículo.

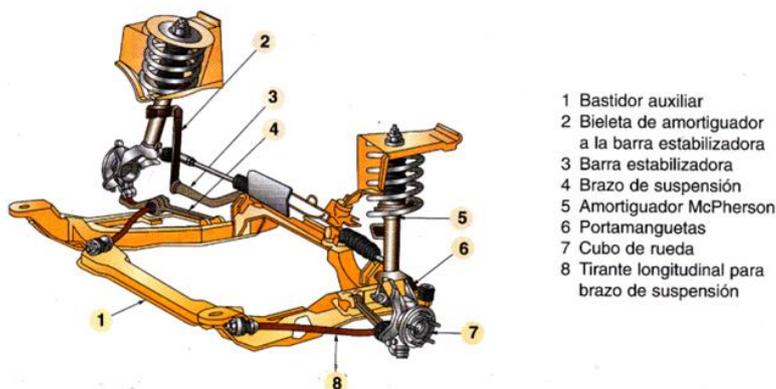


Figura 2.12. Tirantes longitudinales.

2.2.2.4. Barras estabilizadoras

La misión de la barra estabilizadora es mantener el vehículo paralelo al suelo, sobre todo al tomar una curva, ya que este tiende a inclinarse con el consiguiente peligro de vuelco y gran molestia para los ocupantes.

Estas están formadas por una barra de acero elástico que realiza su oposición a estos desplazamientos mediante rigidez torsional. Las barras estabilizadoras tienen por misión compensar los esfuerzos de una rueda sobre la otra del mismo eje.

Su montaje en el vehículo depende del tipo de suspensión, pudiendo adoptar las formas siguientes:

- En vehículos equipados con ruedas independientes, va colocada transversalmente, unida al chasis por dos cojinetes elásticos. Cada extremo está fijado a un brazo de suspensión a través de un cojinete elástico de caucho (Figura 2.13).

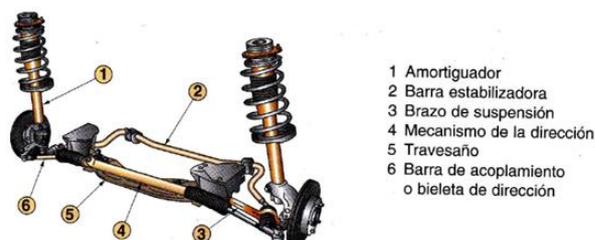


Figura 2.13. Barra estabilizadora.

- En otros casos se utiliza una disposición parecida a la anterior con la diferencia de que intercala una bieleta de conexión entre los extremos de la barra estabilizadora y los brazos de suspensión, de tal forma que un extremo de la bieleta de conexión está fijada al extremo de la barra estabilizadora mediante una rótula y el otro se une al brazo superior de suspensión (Figura 2.14).

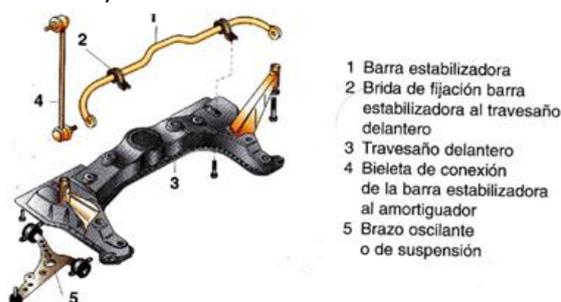


Figura 2.14. Barra estabilizadora accionada mediante bieletas.

- En vehículos con eje rígido, va colocada transversalmente, unida al eje por un extremo y al chasis por el otro extremo. Esta barra se caracteriza por ser totalmente recta con sujeciones elásticas en cada extremo y también es conocida por el nombre de su inventor: barra Panhard (Figura 2.15). Sirve para evitar el desplazamiento transversal del eje, actuando de tirante transversal.

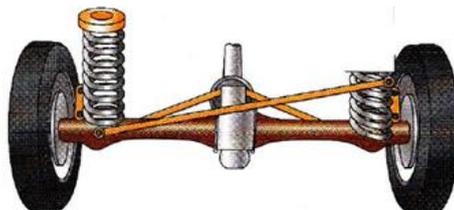


Figura 2.15. Barra estabilizadora Panhard.

Los elementos de suspensión están unidos a la mangueta de las ruedas por rótulas de articulación (Figura 2.16) y al bastidor por cojinetes elásticos, también llamados silentblocs (Figura 2.17).

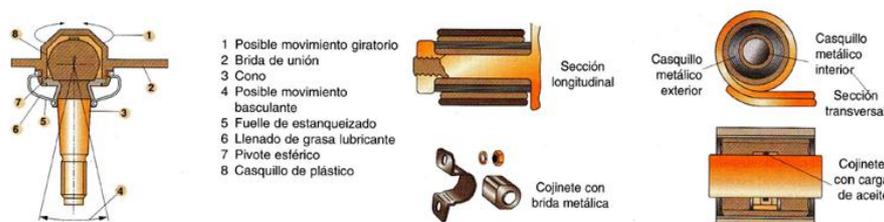


Figura 2.16 y 2.17. Rotula y silentblocs.

Los cojinetes elásticos pueden estar contruidos de tres formas:

- Exclusivamente a base de caucho
- Con dos cojinetes (casquillo guía) metálicos entre los que va colocado el caucho.
- Mediante silentblocs rellenos de aceite. En las cargas originadas por las fuerzas laterales, el aceite debe pasar de un lado a otro.

Estos trabajan a torsión de la forma siguiente:

- Realizando una pequeña amortiguación.
- Absorbiendo las leves vibraciones que producen las ruedas sobre la carrocería.

2.2.2.5. Brazos de suspensión

Cuando el vehículo está equipado con eje rígido, los elementos de suspensión van colocados entre el mismo eje y la carrocería. Sin embargo, los vehículos con ruedas independientes utilizan los brazos de suspensión.

Su misión es:

- Realizar la unión entre el bastidor y las ruedas. Por un extremo están unidos al bastidor y por el otro, a las ruedas independientes.
- Sirven de elementos soporte para el resorte y el amortiguador.

Los brazos de suspensión realizan el arrastre del vehículo; para ello deben estar elaborados de material altamente resistente (Figura 2.18).

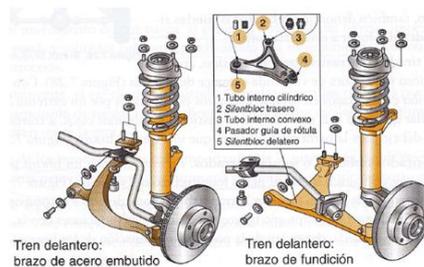


Figura 2.18 Brazo de suspensión.

- **Disposición de los brazos**

Los brazos de suspensión pueden estar colocados de dos formas diferentes (Figura 2.19 y 2.20):

- Brazos transversales
- Brazos longitudinales

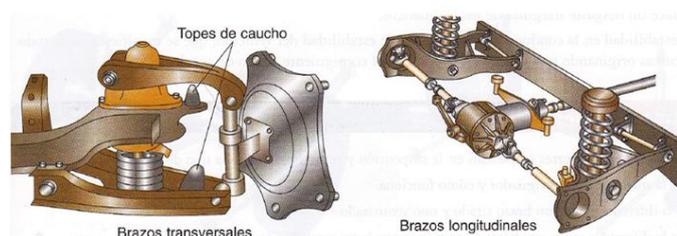


Figura 2.19 y 2.20. Brazos transversales y longitudinales.

Los brazos transversales, también llamados brazos oscilantes, realizan la unión del bastidor con la mangueta y pueden estar constituidos por uno o varios brazos dependiendo del tipo de suspensión.

Esta disposición se utiliza en la suspensión de paralelogramo deformable, pudiendo adoptar la forma de dos triángulos superpuestos o varios brazos oscilantes, dando lugar a una suspensión multibrazo y también como brazo inferior y único en la suspensión McPherson.

Esta disposición se puede emplear en trenes delanteros y traseros.

Con este montaje de brazos transversales se puede emplear cualquier resorte acompañado de un amortiguador.

En esta disposición, para limitar los movimientos del brazo y evitar golpes en la carrocería, se coloca un tope elástico, construido de caucho.

Los brazos longitudinales varían la forma de montaje, pero el funcionamiento es el mismo.

Este montaje se utiliza solo para el tren trasero. A esta disposición, también denominado brazos o ruedas tirados pueden dar lugar a dos variaciones.

- Brazo tirado o arrastrado. Este tipo apenas se producen variaciones de vía, caída o avance de la rueda (Figura 2.21). Con esta disposición existen casos en los que los brazos están unidos por un extremo a un eje tubular que, a su vez, está anclado al bastidor. En algunos casos, a través del interior del eje pasa la barra estabilizadora que une los dos brazos (Figura 2.22).

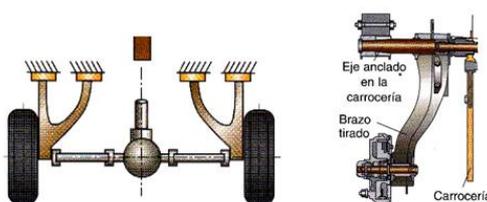


Figura 2.21 y 2.22. Brazos tirados unidos a chasis y brazo tirado unidos al eje.

- Brazos tirados oblicuos o semiarrastrados. En este montaje los brazos pivotan sobre ejes oblicuos respecto al plano longitudinal del vehículo (Figura 2.23). Tienen la ventaja de que no precisan barra estabilizadora, debido a la componente longitudinal que tiene el propio brazo; en este caso, las variaciones de vía, caída o avance de la rueda, depende de la posición e inclinación.

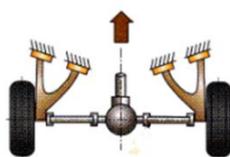


Figura 2.23. Brazos oblicuos.

2.2.3. Tipos de suspensión

Existen varias disposiciones de suspensión. Se utilizan en los vehículos en función de:

- Las prestaciones como confort y estabilidad.
- El accionamiento de las ruedas delanteras y traseras.
- El propio diseño del vehículo

Las suspensiones mecánicas o convencionales se clasifican en tres grupos:

- Suspensiones rígidas
- Suspensiones semirígidas
- Suspensiones independientes

2.2.3.1. Suspensión rígida

Las dos montadas sobre el mismo eje.

Todo movimiento de una rueda, al pasar un accidente del terreno, repercute en la otra rueda y sobre los pasajeros, produciendo una incomodidad y una oscilación de la carrocería.

Actualmente, el eje rígido está siendo reemplazado en los turismos por el sistema de suspensión de ruedas independientes, en el cual las oscilaciones de una rueda no influyen sobre la otra.

Uno de los inconvenientes más importantes de la suspensión rígida es que cuando la rueda pasa un obstáculo, la carrocería no conserva su posición horizontal.

En la Figura 2.24 se muestra un eje rígido de un tren trasero actuando de eje propulsor. Está compuesto por la unión de dos tubos de forma cónica, denominados trompetas, que sirven de alojamiento a los palieres, con una gran cavidad central que alojan al diferencial.

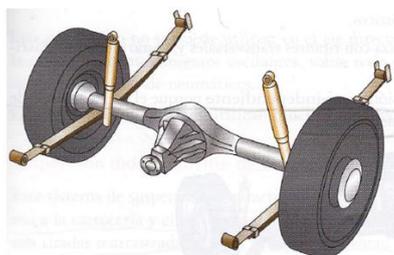


Figura 2.24. Eje rígido con ballestas.

En la Figura 7.32 se muestra un eje rígido de un tren trasero para un vehículo de tracción delantera. Está constituido por un eje unido a los cubos de la ruedas a través de las manguetas de rodamiento. Sobre este eje se apoyan los elementos de suspensión. En este caso, se suele utilizar el muelle como elemento elástico.

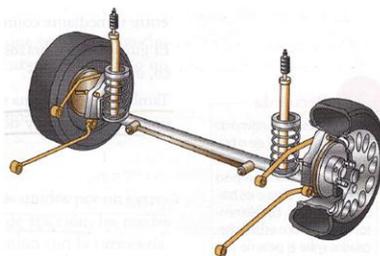


Figura 2.25. Eje rígido y muelles.

2.2.3.2. Suspensión semirígida

Estas suspensiones se caracterizan porque las ruedas están unidas entre sí, como en el eje rígido, pero transmiten menos las irregularidades recibidas del firme al resto del vehículo.

- **Suspensión semirígida con eje de Dion**

En el eje de Dion (Figura 2.26), las ruedas están unidas mediante semiejes articulados al diferencial, el cual es parte de la masa suspendida, ya que está unido al chasis del vehículo. El giro se transmite a las ruedas por semiejes como en la suspensión independiente. Las dos ruedas están unidas de forma rígida, mediante una travesía o eje de Dion, anclado al chasis.

Este sistema, respecto al eje rígido, tiene la ventaja de tener menos peso no suspendido, ya que el eje de Dion pesa menos que el conjunto diferencial.

Tiene como elemento elástico el muelle y va acompañado de dos tirantes longitudinales para limitar el desplazamiento longitudinal del vehículo.

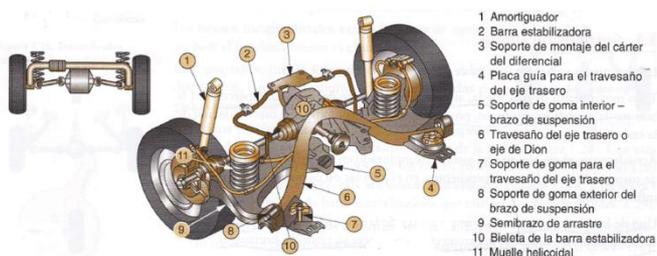


Figura 2.26. Eje de Dion.

- **Suspensión semirígida con eje Deltalink**

Este sistema es de ruedas tiradas mediante dos brazos longitudinales, unidos al eje Deltalink (Figura 2.27). Este eje está formado por dos brazos transversales unidos entre sí mediante cojinetes elásticos.

El guiado de los brazos se realiza con tirantes trasversales y, con tirantes transversales y, como elemento elástico, utiliza el muelle.

También se denomina suspensión semi-independiente porque el eje va anclado de una forma elástica y no totalmente rígida.

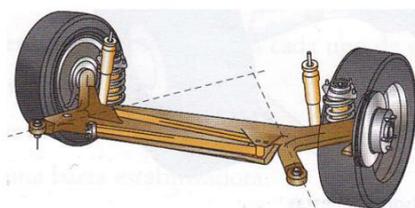


Figura 2.27. Deltalink.

2.2.3.3. Suspensión independiente

El montaje de suspensiones independientes en cada una de las cuatro ruedas es la tendencia actual de los fabricantes de turismos. Su objetivo es mejorar el confort y la estabilidad y, al mismo tiempo reducir las oscilaciones recibidas del firme y no transmitir las de una rueda a otra.

Además se consigue menor desplazamiento de la carrocería, favoreciendo el agarre de las ruedas al suelo al tener menor peso no suspendido, puesto que se sustituye el eje rígido por los brazos, de menor peso. Por tanto, se reduce el efecto que se produce sobre el peso suspendido, es decir, hay menos peso unido a las ruedas y como consecuencia menor movimiento transmitido a la carrocería.

Existen los siguientes tipos de suspensión independiente:

- Eje oscilante
- Brazos tirados y barras de torsión
- Brazos tirados y muelles
- McPherson
- Paralelogramo deformable
- Multibrazo

- **Suspensión independiente de eje oscilante**

En este sistema los elementos de rodadura y el semieje solitarios, de manera que el conjunto oscila alrededor de una o dos articulaciones próximas al punto medio de la vía del vehículo.

En estos dos modelos se utilizan de la forma siguiente:

- Si un eje es propulsor, el montaje se realiza sobre una articulación (Figura 2.28).
- Si el eje es arrastrado, sobre dos articulaciones (Figura 2.29).



Figuras 2.28 y 2.29. Eje oscilante de una y de dos articulaciones.

Esta suspensión no se puede utilizar en el eje directriz, porque este altera mucho la caída en sus movimientos oscilantes, sobre todo en la curvas, provocando un desgaste irregular de neumáticos.

- Suspensión independiente de brazos tirados

Este sistema de suspensión se caracteriza por tener los brazos unidos por un extremo a la carrocería y el otro extremo a la rueda. Si el eje es de tracción, las ruedas son tiradas o arrastradas por los brazos que pivotan en la unión con la carrocería.

Este sistema utiliza barras de torsión y muelles como elementos elásticos.

El elemento elástico que más se emplea en suspensiones de brazos tirados, es la barra de torsión. Esta puede adoptar dos montajes según su aplicación:

- En el tren delantero, las barras de torsión están colocadas de forma longitudinal.
- En el tren trasero, las barras de torsión están colocadas de forma transversal.

- **Brazos tirados y barras de torsión. Tren delantero**

Este sistema tiende a utilizarse cada vez menos. Está formado por:

- Ruedas independientes.
- Brazos transversales superior e inferior unidos a la carrocería por cojinetes elásticos.
- Las barras de torsión dispuestas longitudinalmente. Están unidas por un extremo al brazo longitudinal inferior, y por el otro extremo, mediante un estriado fino a un soporte anclado en la carrocería (Figura 2.30).

Entre ambos brazos va colocado el amortiguador telescópico de doble efecto.

Este montaje requiere un reglaje equilibrado para obtener un plano correcto del vehículo. Se obtiene mediante unas excéntricas que actúan sobre la palanca de fijación de la barra a la carrocería.

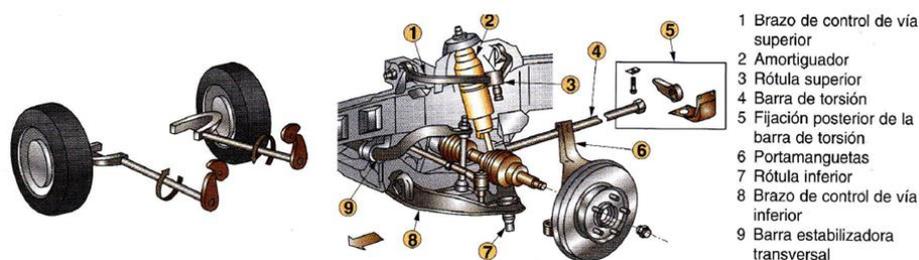


Figura 2.30. Montaje longitudinal de las barras.

- **Brazo tirados y barras de torsión. Tren trasero**

Es uno de los sistemas más empleados en el eje trasero.

Se caracteriza por:

- Las barras de torsión traseras llevan una colocación trasversal con respecto al eje longitudinal del vehículo.
- El anclaje de las barras traseras se encuentra en el brazo de suspensión en un soporte con estriado fino, anclado en la carrocería (Figura 2.31).

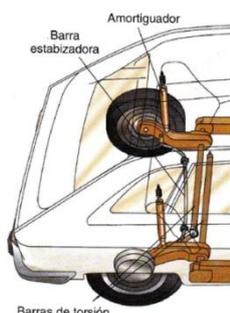


Figura 2.31. Montaje transversal de las barras.

- Cada barra es torsionada de forma independiente para cada rueda, de forma que cada movimiento del brazo longitudinal realiza una torsión en la barra.

En algunos casos, este sistema permite hacer del tren trasero un eje autodireccional con un pequeño ángulo de giro entre 1 y 2 grados. Este se consigue mediante unos cojinetes elásticos colocados en la unión del eje con el bastidor. Esta unión elástica se deforma según la velocidad y el radio de la curva.

En algún caso, aplicado en vehículos pequeños, las dos barras de torsión pueden estar unidas en un punto medio a través de una gemela especial, dando lugar a una disposición denominado tren de cuatro barras.

- **Brazos tirados y muelles**

Este sistema está formado por ruedas independientes y brazos tirados longitudinales, unidos por un extremo al bastidor y, por el otro, a la mangueta de la rueda.

Utiliza muelles y amortiguadores hidráulicos telescópicos de doble efecto, además, cuenta con un brazo superior y otro inferior que unen el brazo tirado con el bastidor mediante cojinetes elásticos (Figura 2.32).

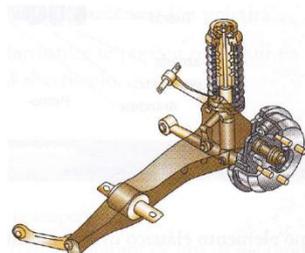


Figura 2.32. Brazo tirado y muelle helicoidal.

- **Suspensión McPherson**

Es uno de los sistemas más empleados en el eje delantero. Este sistema solamente lleva un brazo oscilante, unido por un extremo al bastidor mediante cojinetes elásticos, y por el otro extremo a la mangueta a través de una rótula. La mangueta por su parte superior está unida al amortiguador vertical. Este está dotado de una plataforma en la cual se apoya el muelle que lo rodea y, por el extremo superior, se apoyan la carrocería en el conjunto muelle y amortiguador (Figura 2.33).

Esta disposición, además de cumplir su función como suspensión y amortiguación, también sirve como eje vertical de giro de las ruedas. Por tanto, el conjunto describe un ángulo proporcional al efectuado en el volante.

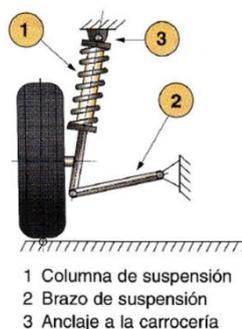


Figura 2.33. Suspensión McPherson.

- **Suspensión independiente de paralelogramo deformable**

La suspensión independiente de paralelogramo deformable, junto a la McPherson, es de las más utilizadas, tanto en tren delantero como trasero.

El paralelogramo está formado por dos brazos en forma de triángulo, uno superior y otro inferior unidos al bastidor mediante cojinetes elásticos. Cerrando el paralelogramo, ambos se unen a la mangueta, que va articulada mediante rótulas (Figura 2.34).

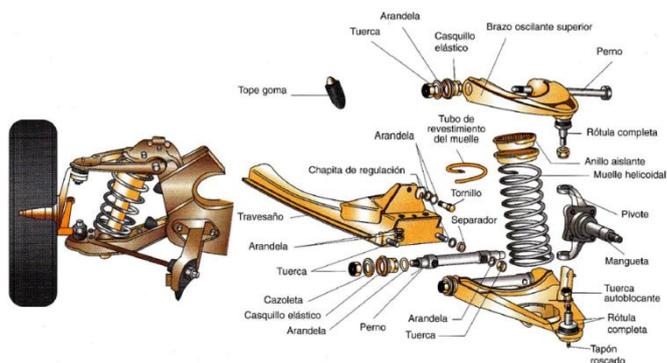


Figura 2.34. Suspensión de paralelogramos deformables.

Como elemento elástico utiliza un muelle, que va colocado entre el brazo inferior y el bastidor.

Unos bloques de choque sirven de tope elástico para evitar que el brazo inferior suba en exceso y limitar la carrera de compresión del amortiguador.

- **Suspensión independiente multibrazo**

Es una evolución de la suspensión de paralelogramo deformable. Como acabamos de ver, el paralelogramo está formado por los dos brazos transversales, la mangueta y el bastidor.

La diferencia fundamental de este sistema es que los elementos de guía (brazos) de la suspensión multibrazo tienen varios brazos oscilantes anclados mediante cojinetes elásticos (Figura 2.35). Esto permite modificar los parámetros de la rueda, como caída o convergencia, de la forma más apropiada. En caso de su utilización, en el tren trasero permite ruedas autodireccionables para mejorar la estabilidad en las distintas situaciones de uso del automóvil.

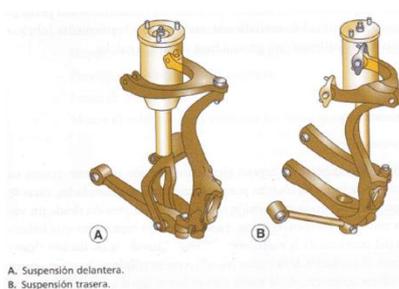


Figura 2.35. Paralelogramo deformable multibrazo.

2.2.4. Suspensiones en el vehículo eléctrico del laboratorio

En la parte delantera, el vehículo eléctrico del laboratorio está compuesto por una suspensión independiente McPherson Figura 2.36 con amortiguadores y muelles y una barra estabilizadora, este tipo de suspensión está anclada al chasis en cada lado por el brazo de suspensión y el amortiguador. El amortiguador y el muelle es el encargado de absorber las irregularidades del terreno, está unido solidario mediante tornillos a la mangueta. Y la mangueta a su vez va unida a los tirantes de dirección, para permitir que la dirección del coche sea precisa, y también al brazo de suspensión mediante una rotula. La rueda está unida a la mangueta mediante un cojinete, la rueda pueda rodar puesto que la mangueta no gira. Para evitar el bamboleo, que son los movimiento laterales cuando el vehículo realiza una curva a alta velocidad el vehículo tiene una barra estabilizadora que está unida por un lado al chasis y por otro a los brazos de suspensión.



Figura 2.36. Suspensión McPherson

En la parte trasera tiene una suspensión de tipo rígido con una barra Panhard, que es un tipo de barra estabilizadora para este tipo de suspensión rígida. El eje rígido esta unido al chasis por los amortiguadores, los muelles, los brazos tirados y la barra Panhard, que una barra de acero rígida que se une por un extremo al chasis en la parte izquierda del vehículo y por el otro extremos esta unida al eje en la parte derecha como podemos observar en la Figura 2.37.



Figura 2.37. Eje rígido con barra Panhard.

2.3. SISTEMA DE DIRECCIÓN

2.3.1. Introducción

Algo primordial es la orientación de las ruedas delanteras de forma segura y con precisión para que el vehículo tome la trayectoria deseada por el conductor, esto se consigue mediante un sistema de dirección en el eje delantero, equipado con todos los elementos que permiten dirigir el vehículo, además de los órganos de suspensión y frenado. Gran parte de esta sección está basada en [1,2 y 3]

La dirección debe cumplir en todas las situaciones las exigencias requeridas, con precisión y control, tales como:

- Mantenimiento de la estabilidad en línea recta y curva.
- Conservación de los elementos mecánicos y neumáticos.
- Precisión y suavidad.
- Insensibilidad a factores exteriores de la carretera como el viento o irregularidades del pavimento.

Para conseguir una dirección óptima, el tren delantero debe cumplir una serie de medidas angulares que se denominan cotas de dirección y la relación existente entre la misma geometría de dirección.

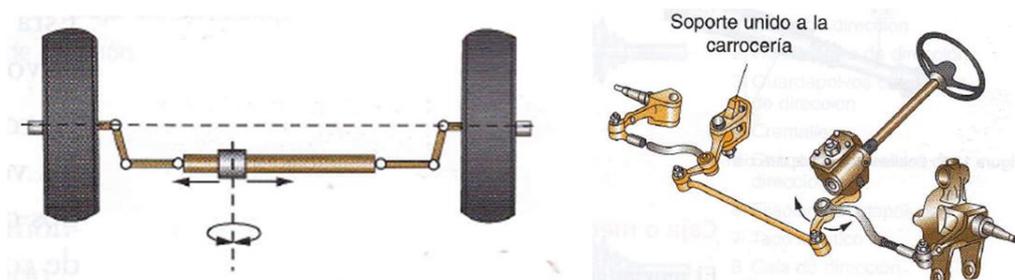
Con una correcta geometría, obtenemos una dirección segura y agradable. Por esta razón, en todos los vehículos, el tren delantero debe cumplir unos valores angulares.

2.3.2. Disposición de los elementos sobre el vehículo

Los elementos que intervienen en la dirección son los siguientes:

- Volante
- Columna de dirección
- Caja o mecanismo de dirección
- Timonería de mando o brazos de acoplamiento y de mando
- Ruedas

En la Figura 2.38 se muestra una dirección de cremallera, la cual está unida a las ruedas mediante las barras de acoplamiento. En la Figura 2.39 se muestra una caja de dirección de tipo sinfín y sector dentado que necesita más timonería de mando para establecer la unión con las ruedas.



Figuras 2.38 y 2.39. Dirección de cremallera y dirección de tonillos sinfín y selector.

En funcionamiento, cuando el conductor acciona el volante unido a la columna de dirección transmite a las ruedas el ángulo de giro deseado. La caja de dirección y la relación de palancas realizan la desmultiplicación de giro y la multiplicación de fuerza necesaria para orientar las ruedas con el mínimo esfuerzo del conductor.

Los brazos de mando y acoplamiento transmiten el movimiento desde la caja de dirección a las ruedas.

2.3.3. Estudio de órganos constructivos

- **Volante**

Está diseñado con una forma ergonómica con dos a cuatro brazos normalmente, con la finalidad de obtener mayor facilidad de manejo y comodidad. Su misión consiste en reducir el esfuerzo que el conductor aplica a las ruedas.

En los vehículos actuales es obligatorio que tenga airbag en el volante.

- **Columna de dirección**

Está constituida por un árbol articulado que une el mecanismo de dirección con el volante (Figura 2.40).

La columna de la dirección tiene una gran influencia en la seguridad pasiva. Todos los vehículos están equipados con una columna de dirección retráctil, formado por dos o tres tramos con el fin de colapsarse y no producir daños al conductor en caso de colisión. Estos tramos están unidos mediante juntas cardan y elásticas diseñadas para tal fin.

La columna de dirección permite la regulación del volante en altura y, en algunos casos, también la profundidad, para facilitar la conducción.

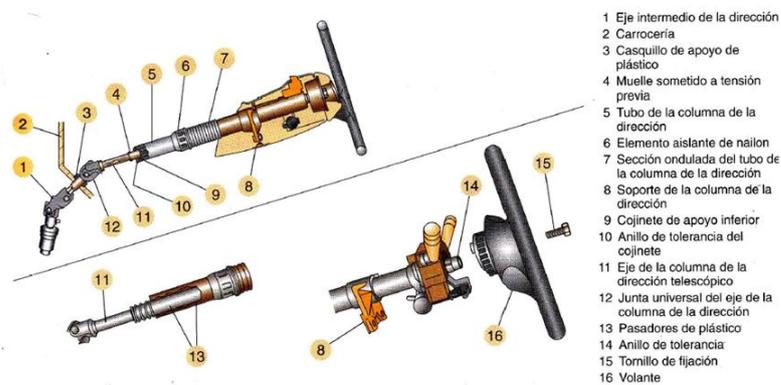


Figura 2.40. Columna o árbol de dirección.

- **Caja o mecanismo de dirección**

El movimiento giratorio del volante se transmite a través del árbol y llega a la caja de dirección, que transforma el movimiento giratorio en otro rectilíneo transversal al vehículo.

A través de las barras, articuladas con rótulas, el mecanismo de dirección alojado en la caja transmite el movimiento transversal a las bieletas o brazos de acoplamiento que hacen girar las ruedas alrededor del eje del pivote (Figura 2.41).

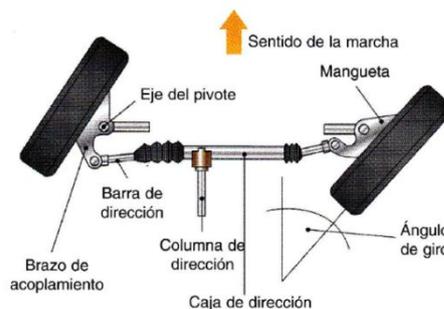


Figura 2.41. Conjunto de dirección.

Existen los siguientes tipos de cajas o mecanismos de dirección:

- **Cremallera**

Este tipo de dirección se caracteriza por su mecanismo desmultiplicador (piñón-cremallera) y su sencillez de montaje. Elimina parte de la timonería de mando.

La dirección de cremallera está constituida por una barra en la que hay tallada un dentado de cremallera, que se desplaza lateralmente en el interior de un cárter apoyado en unos casquillos de bronce o nailon (Figura 2.42). Está accionada por el piñón, montado en extremo del árbol del volante, engranando con la de cremallera.

Es el más utilizado en los vehículos de turismo, sobre todo en los de motor y tracción delantera, porque disminuye notablemente los esfuerzos en el volante. Es suave en los giros y tiene rapidez de recuperación, resultando una dirección estable y segura.

La cremallera se une directamente a los brazos de acoplamiento de las ruedas a través de dos bielass de dirección, en cuyo extremo se sitúa las rótulas que, a su vez, son regulables para modificar la convergencia.

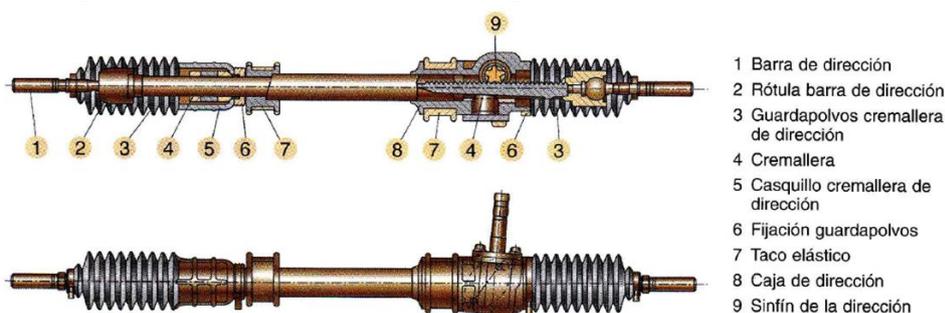


Figura 2.42. Dirección de cremallera

- **Cremallera de relación variable**

Es muy similar a la cremallera de relación constante, sin embargo, en las maniobras de aparcamiento, es necesaria una dirección con relación de reducción elevada para disminuir el esfuerzo del volante, lo que implica una disminución de la sensibilidad en la conducción durante la marcha.

En la parte central de la cremallera, los dientes tienen un módulo variable, de tal forma que permite:

- Una relación corta ideal, para la conducción durante la marcha en línea recta.

- El módulo se reduce progresivamente cuando la cremallera se desplaza hacia sus extremos, reduciendo así el esfuerzo de maniobrabilidad en el estacionamiento.

○ **Tornillo sinfín**

Es un mecanismo basado en un tornillo sinfín (Figura 2.43). Está unido al árbol del volante para transmitir su movimiento de rotación a un dispositivo de translación que engrana con el mismo, generalmente un sector, una tuerca, un rodillo o un dedo, encargados de transmitir el movimiento a la palanca de ataque y ésta a su vez a las barras de acoplamiento.

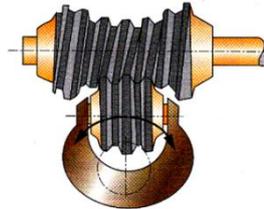


Figura 2.43. Tornillo sinfín

○ **Tornillo sinfín y rodillo**

Está formado por un sinfín globoide apoyado en cojinetes de rodillo cónico (Figura 2.44). Un rodillo está apoyado en el tornillo sinfín, que al girar desplaza lateralmente el rodillo produciendo un movimiento angular en el eje de la palanca de ataque.



Figura 2.44. Tornillo sinfín y rodillo.

○ **Tornillo sinfín y dedo**

Como muestra la Figura 2.45, está formado por un sinfín cilíndrico y un dedo o tetón. Al girar el sinfín, el dedo se desplaza sobre las ranuras del sinfín transmitiendo un movimiento oscilante a la palanca de ataque.

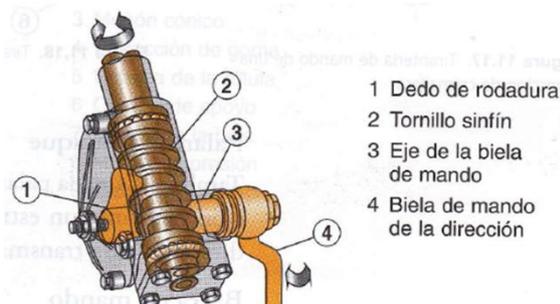


Figura 2.45. Tornillo sinfín y dedo.

2.3.4. Geometría de la dirección

Para determinar la posición de las ruedas en movimiento, tanto en línea recta como en curva, todos los órganos que afectan a la dirección, suspensión y ruedas tienen que cumplir unas condiciones geométricas, que están determinadas por la geometría de las ruedas.

Estas condiciones permiten la orientación de las ruedas delanteras con seguridad y precisión para que el vehículo tome la trayectoria deseada por el conductor.

La suspensión desarrolla el control de dos parámetros fundamentales:

- Posición de la rueda respecto al pavimento.
- Movimientos longitudinales de la rueda.

En la Figura 2.46 se muestran los sistemas de suspensión más comunes.

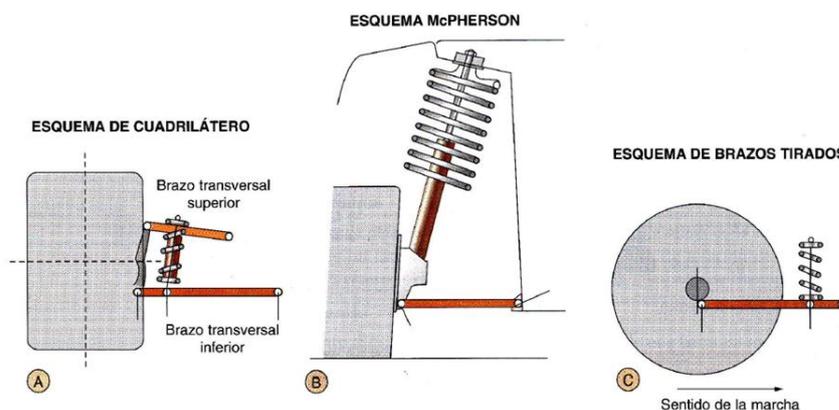


Figura 2.46. A, B, C solo los puntos de apoyo común de los tres tipos de suspensión

2.3.4.1. Geometría de giro

Cuando el vehículo toma una curva, la trayectoria recorrida por cada una de las ruedas es diferente, porque tienen distinto radio de curvatura. Por tanto, la orientación que hay que dar a cada una de ellas es distinta.

Las ruedas tienen diferente ángulo en la curva gracias a la forma que tiene las manguetas. Cuando el vehículo gira la rueda que se queda en la parte interior gira más que exterior.

Como se muestra en la Figura 2.47, este efecto director está dado por las dos ruedas directrices y resulta evidente que deben de funcionar de manera simultánea.

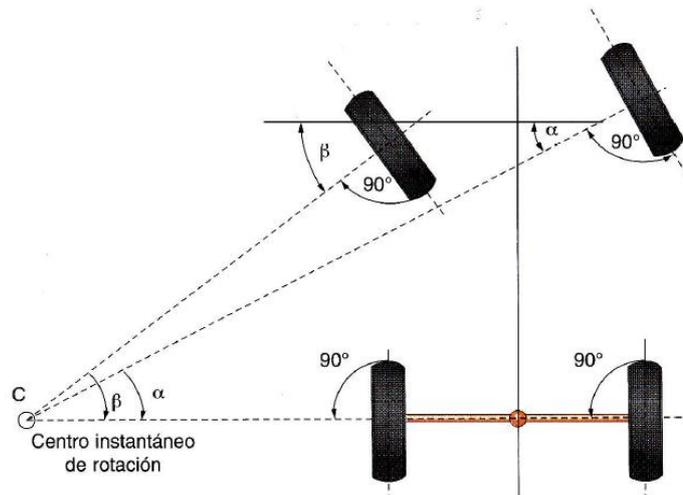
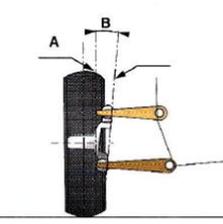
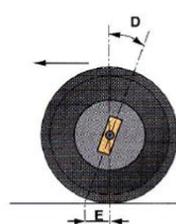
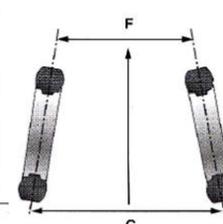


Figura 2.47. Ángulo de ruedas según centro instantáneo

2.3.4.2. Geometría de ruedas

Para obtener una dirección segura y fácil de manejar, las ruedas tienen que obedecer al volante y su orientación no debe alternarse con las irregularidades del pavimento. Para ello, es necesario que las ruedas cumplan una serie de condiciones geométricas, denominadas cotas de dirección (Tabla 2.1).

Tabla 2.1 Cotas de dirección

| Ángulos | VISTA DEL VEHÍCULO | | |
|----------------|---|--|---|
| | Frontal | Lateral | En planta |
| |  |  |  |
| De la rueda | A Caída de rueda o ángulo de caída | | F - G Convergencia/ Divergencia |
| De la mangueta | B Inclinación del pivote o ángulo de salida | E Avance de pivote o Ángulo de avance | |

Las cotas de dirección son las siguientes:

- **Ángulo de caída**

El ángulo de caída es el ángulo comprendido entre la horizontal y el eje de la mangueta en el plano transversal del vehículo. También es llamado inclinación de la rueda (Figura 2.48).

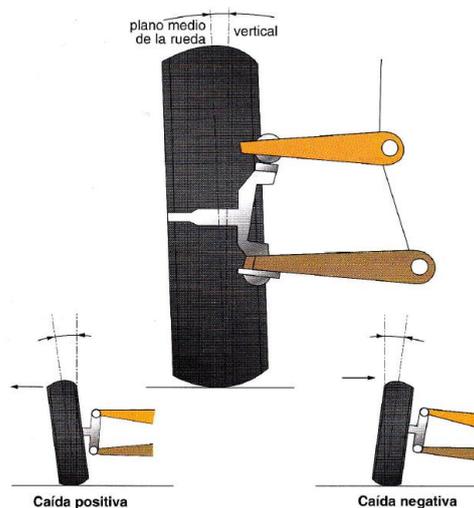


Figura 2.48. Ángulo de caída.

Este ángulo provoca una inclinación idéntica de la parte superior de las ruedas directrices hacia el exterior del vehículo. El ángulo puede considerarse comprendido entre la vertical y el plano de rueda. Este ángulo hace converger a las dos ruedas hacia el suelo.

Es un ángulo muy pequeño que está 0° y 2° .

Permite hacer coincidir el eje del pivote con el centro de la superficie de los neumáticos sobre el suelo.

El ángulo de caída realiza las funciones siguientes:

- Compensa la deformación por flexión del tren delantero.
- Desplaza el peso del vehículo sobre el eje, que está apoyado la parte interior de la mangueta, disminuyendo así el empuje lateral de los cojinetes sobre los que se apoya la rueda.
- Evita el desgaste de neumáticos y rodamientos.
- Reduce el esfuerzo de giro del volante de dirección.
- Evita que los neumáticos se desgasten de forma anormal y rápidamente.

- **Ángulo de salida**

También llamado ángulo de pivote, está formado por la prolongación del eje del pivote, sobre el cual gira la rueda para orientarse, con la prolongación del eje vertical que pasa por el centro de apoyo de la rueda (Figura 2.49).

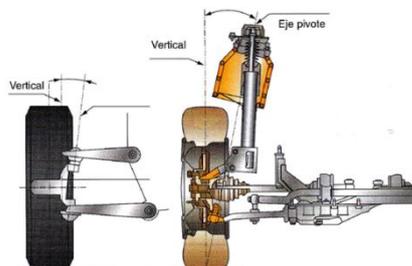


Figura 2.49. Ángulo de salida.

Se trata de hacer coincidir el centro de la superficie del neumático en contacto con el suelo con la prolongación del eje del pivote (Figura 2.50) para obtener las funciones siguientes:

- Reducir el esfuerzo para realizar la orientación de la rueda.
- Disminuir el ángulo de caída para mejorar el desgaste del neumático, sobre todo en los vehículos modernos con neumáticos de sección ancha.
- Favorecer la reversibilidad de la dirección.
- Evitar que los neumáticos se desgasten de forma anormal y rápidamente.

Conviene que los ejes se corten un poco por debajo del punto de contacto con el suelo para obtener mayor estabilidad de dirección sobre todo, al circular por irregularidades del pavimento, que tienden a desorientarse.

El ángulo de salida incide sobre la caída. Por lo tanto, tendremos las mismas consecuencias y efectos de desgaste en los neumáticos.

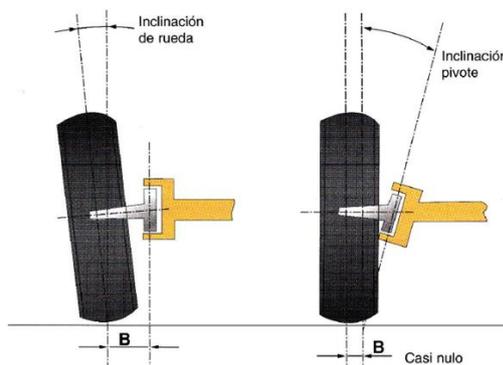


Figura 2.50. Reducción del ángulo de caída mediante el ángulo de salida.

- **Ángulo de avance**

Es el ángulo formado por la propagación del eje del pivote con el eje vertical que pasa por el centro de la rueda y en sentido de avance de la misma (Figura 2.51). Cuando el vehículo es de propulsión trasera el empuje, realizado por las ruedas traseras, produce un arrastre del eje delantero, generando una cierta inestabilidad de dirección. Se corrige dando al pivote una inclinación (ángulo de avance) de tal forma que su eje corte la línea de desplazamiento un poco por delante del punto de apoyo de la rueda. Este ángulo está comprendido entre 5 y 10 grados.

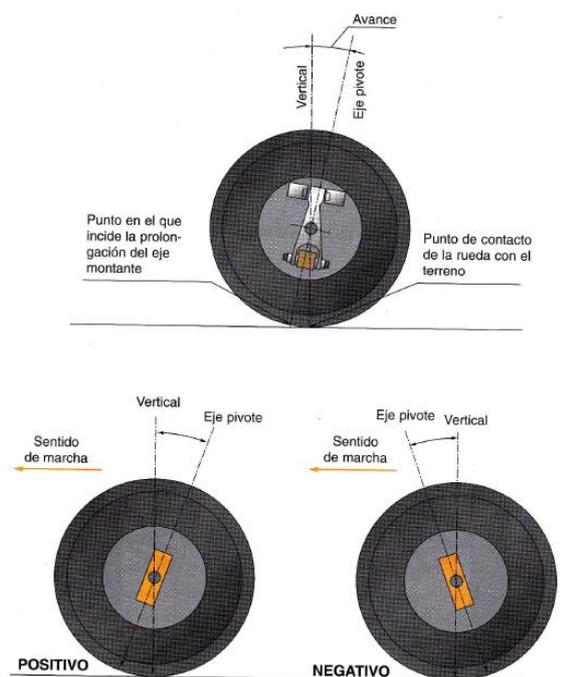


Figura 2.51. Ángulo de avance.

Cuando el vehículo es de tracción delantera, este fenómeno de arrastre de las ruedas delanteras no se produce, por tanto, el ángulo de avance es mucho menor. Está comprendido entre 0 y 3 grados.

El ángulo de avance permite conseguir las funciones siguientes:

- Mantener la dirección estable y precisa, con un efecto direccional o autocentrado del vehículo.
- Favorecer la reversibilidad para que las ruedas vuelvan a la línea recta después de tomar una curva.
- Evitar las vibraciones en las ruedas y la consiguiente repercusión en la dirección.
- El efecto de avance aumenta en las ruedas directrices y disminuye en las ruedas directrices motrices.

Este ángulo se complementa con el de la caída de virajes para realizar las funciones siguientes:

- Aumentar el ángulo de caída de la rueda exterior en la curva con la suspensión comprimida.
- Disminuye el ángulo de caída de la rueda interior en la curva con la suspensión extendida.

Cuando el ángulo de caída es incorrecto o está repartido de forma desigual entre ambas ruedas provoca la desviación del vehículo de su trayectoria hacia el lado donde el avance sea menor.

Si es insuficiente el ángulo provoca poca reversibilidad y dirección poco estable.

Un ángulo de avance excesivo provoca una dirección muy reversible y dura e inestable en los virajes.

- **Convergencia**

La convergencia determina el paralelismo que existe entre los ejes longitudinales de las ruedas visto el vehículo desde arriba y el sentido de marcha normal (Figura 2.52).

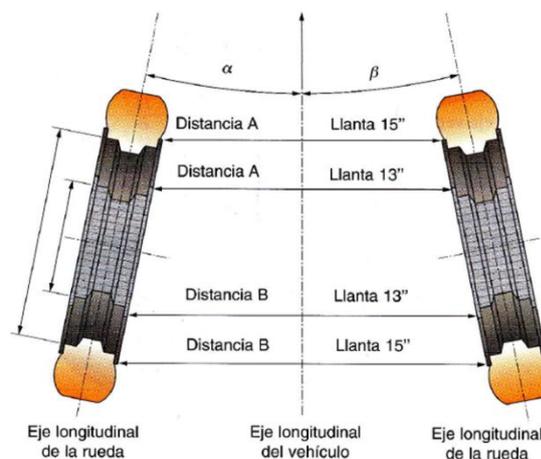


Figura 2.52. Convergencia.

Su función consiste en permitir girar las ruedas de cada eje, paralelas entre sí, con el vehículo en marcha y evitar que las ruedas derrapen con el consiguiente desgaste de neumáticos.

La convergencia se expresa en milímetros por la diferencia entre las distancias obtenidas entre la parte delantera y trasera de las ruedas, tomadas en puntos diametralmente opuestos. Suele estar comprendida entre 0 y 5 mm.

El ángulo de convergencia en la desviación angular respecto a la dirección de marcha.

Se denomina convergencia positiva cuando la prolongación de los ejes longitudinales de las ruedas se cortan por delante (ruedas cerradas) y se expresa con signo positivo (Figura 2.53).

Se denomina convergencia negativa o divergencia cuando la prolongación de los ejes longitudinales de las ruedas se cortan por detrás (ruedas abiertas) y se expresa con signo negativo (Figura 2.53).

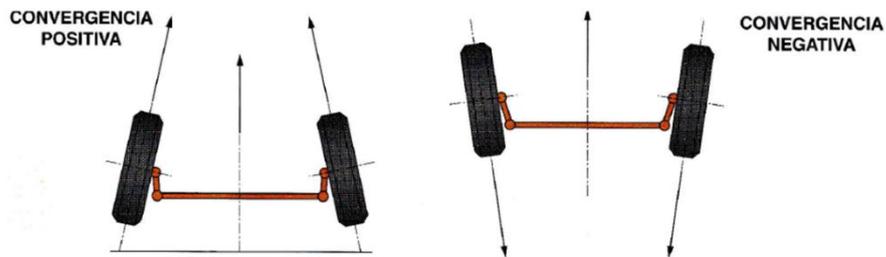


Figura 2.53. Convergencia positiva y negativa (divergencia).

Los efectos dinámicos de la convergencia en las ruedas anteriores y posteriores no motrices, durante el rodaje, se producen una apertura de las ruedas, por tanto, hay que dar un cierre inicial o convergencia (Figura 2.54A).

En las ruedas anteriores y posteriores motrices, durante el rodaje se produce un cierre de las mismas. En este caso hay que dar una apertura inicial o divergencia (Figura 2.54B).

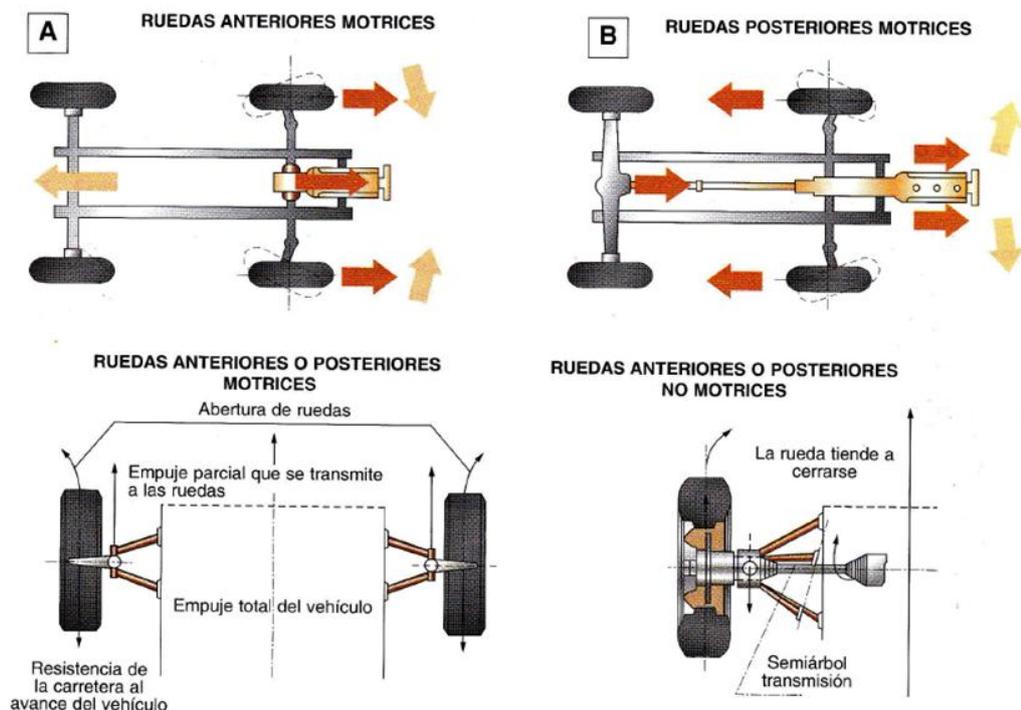


Figura 2.54. Efectos dinámicos de la convergencia.

La consecuencia de un mal reglaje de paralelismo por un exceso de divergencia o insuficiencia convergencia provoca en la banda de rodadura rebabas de fuera hacia dentro, además de un desgaste excesivo de los bordes interior (Figura 2.55), y un exceso de convergencia o insuficiente divergencia provoca en la banda de rodadura rebabas de dentro hacia fuera y un desgaste excesivo en el borde exterior (Figura 2.55).

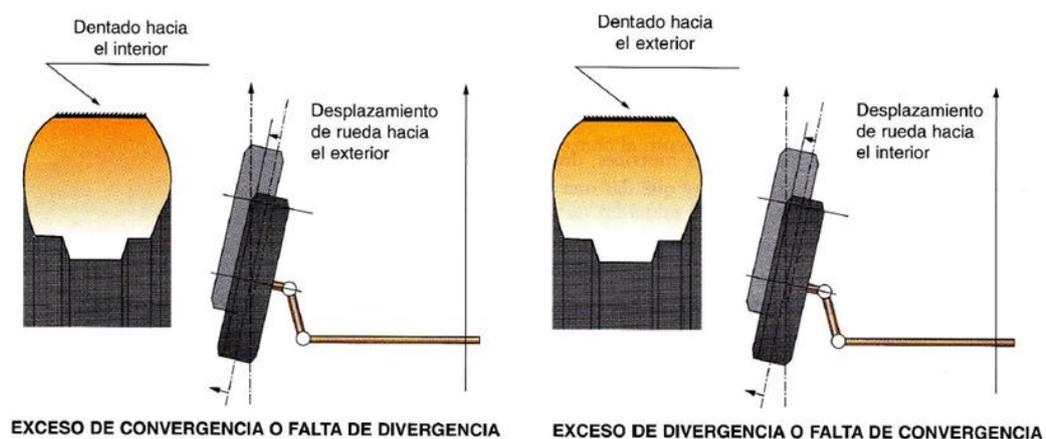


Figura 2.55. Influencia del paralelismo.

2.3.5. Sistema de dirección en el vehículo eléctrico del laboratorio

El vehículo eléctrico del laboratorio tiene un sistema de dirección de cremallera con relación constante entre giro de rueda y volante de 32/565 sin dirección asistida. El sistema de dirección Figura 2.57 está constituido por un volante, columna de dirección, caja de dirección, cremallera, dos tirantes, dos manguetas, dos cojinetes, dos frenos de disco y las dos ruedas delanteras.



Figura 2.56. Sistema de dirección de cremallera.

El volante va solidario a la columna de dirección. La caja de dirección tiene un mecanismo de una hace que el giro del volante mediante un engranaje se transforme en un movimiento lineal en la cremallera. La cremallera transmite su movimiento lineal a las ruedas por medio de unos tirantes que unen la cremallera con las manguetas, para que éstas giran con la ruedas para el conseguir que la dirección del vehículo sea precisa y segura.

3.- MATERIAL Y MÉTODOS

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. MEDICIÓN DEL CHASIS Y ELEMENTOS DE SUSPENSIÓN Y DIRECCIÓN

Hemos trabajado con un vehículo eléctrico de la Universidad de Almería que se encuentra en el laboratorio del CITE II-a, para realizar las mediciones la hemos realizado en el elevador Figura 3.1 ayudándonos de dos tablas para medir la distancia, una que colocamos como el “Punto 0 (P_0)” (Figura 3.2) y otra que íbamos se colocaba a la altura del punto del coche que queríamos medir.



Figuras 3.1. Elevador.



Figura 3.2. Mediciones en el elevador.

Para poder modelar en 3D el vehículo con Catia se ha tenido que medir tanto el chasis como todos los elementos móviles que componen el sistema de suspensión y de dirección. Para realizar las mediciones hemos utilizado una cinta métrica 3.3 y un calibre Figura 3.4.



Figuras 3.3. Cinta métrica.



Figura 3.4. Calibre.

Además de medir cada elemento para diseñar cada pieza hay que ensamblar cada pieza en la posición de reposo con el peso del vehículo. Para que las piezas al realizar el modelado en 3D se encuentren en la misma posición que esta el vehículo con su propio peso. Hemos tomado una serie de puntos donde se unen el chasis y los elementos que componen la suspensión y la dirección, y también los puntos en las uniones entre las piezas. A las coordenadas de los puntos que he tomado del vehículo con su peso las he llamado “Nube de puntos”. Para la nube de

puntos hemos tomado como punto de referencia “ P_0 ”, que es un punto que hemos situado en el centro de la barra de estabilizadora pero a la altura del suelo en el “eje z”. Y los ejes de coordenadas lo hemos colocado el “eje x” o “eje longitudinal” en el sentido de la marcha del vehículo, el “eje y” o “eje transversal” en perpendicular al sentido de la marcha hacia el lado izquierdo del vehículo y el “eje z” o “eje vertical” correspondiente a la altura del vehículo.

Para el proyecto también necesitamos calcular la constante “k” de los muelles, para saber la dureza de los muelles, para ello hemos tenido que medir los muelles delanteros y traseros con el propio peso del coche la diferencia de longitud de los muelles cuando dejamos las ruedas al aire (Figura 3.5) y con el peso de dos personas de entre unos 75-80 kg. Para elevar el coche hemos necesitado una pluma de taller y unas cuerdas para poder dejar las ruedas a vuelo (Figura 3.6).

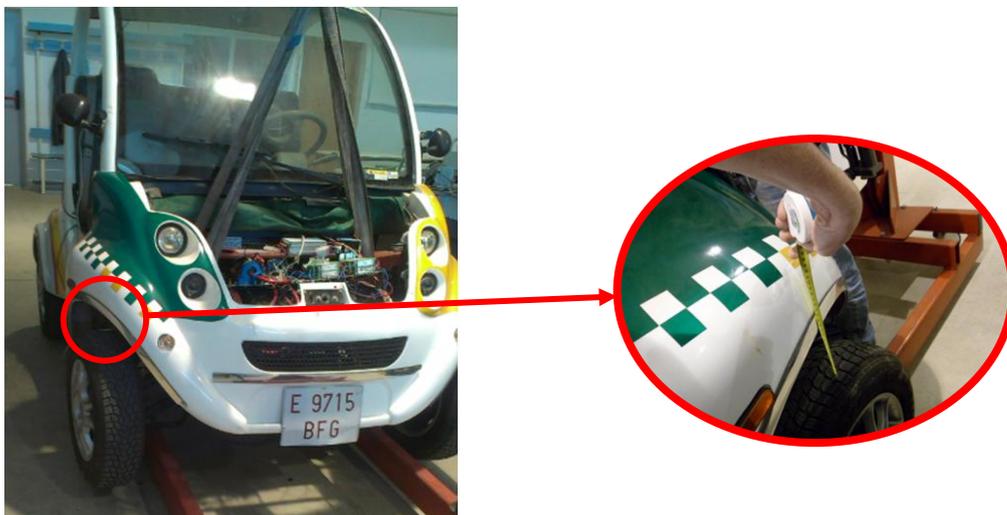


Figura 3.5. Medición del incremento de longitud de suspensiones con y sin pasajero



Figura 3.6. Pluma de taller.

3.2. MODELADO DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO EN CATIA

Para el modelado del vehículo hemos utilizado la herramienta de diseño CATIA V5.

CATIA, en inglés Computer-Aided Three-Dimensional Interactive Application, que es un programa informático de diseño asistido, fabricación e ingeniería asistida por ordenador realizado por Dassault Systemes.

La empresa francesa aeronáutica Avions Marcel Dassault (AMD) fue el primer cliente de CADAM, un programa de diseño de 2D. Más tarde la propia empresa ADM empezó a hacer programas y utilidades en ese entorno gráfico y diseño un programa en 3D, propias de una empresa aeronáutica y se dio cuenta que esas utilidades podían interesar a otras empresas del sector.



Figura 3.7. Catia V5.

Hemos modelado el chasis y cada pieza perteneciente al sistema de suspensión y de dirección por individual y después la hemos ensamblado al chasis.

El chasis se encuentra anclado a la nube de puntos, que contiene puntos en determinadas partes de las piezas para así poder anclarlas en la posición en la que se encontraría cuando el vehículo se encuentra en su posición de reposo con su propio peso. Una vez que tenemos hecho el chasis y las piezas que componen la suspensión y la dirección vamos uniendo las piezas al chasis y entre ellas, y a cada una le ponemos las restricciones para que en Catia tenga los mismos grados de libertad que cada pieza tiene en el vehículo real.

Del modelado hemos obtenido todas las coordenadas globales (son las coordenadas de cada pieza tomando como eje de coordenadas el que se encuentra en P_0) y coordenadas locales de cada pieza (que son las coordenadas tomando como eje de coordenadas el que tiene cada pieza).

También del modelado de cada pieza hemos obtenido las masas de cada pieza, centros de gravedad y los momentos de inercia.

3.3. MODELO CINEMÁTICO Y DINÁMICO

A partir de los sub-apartados anteriores se obtiene la nube de puntos correspondiente a la posición geométrica de los principales componentes del vehículo que intervienen de forma directa en el comportamiento dinámico del mismo. Con esta información, se lleva a cabo un análisis cinemático y dinámico del vehículo en su conjunto. Para ello es necesario convertir esta información en un formato que pueda ser implementada para la resolución de las ecuaciones de movimiento computacionalmente. La labor más relevante en este apartado consiste en la definición de sólidos a partir de los puntos mencionados anteriormente, y las relaciones cinemáticas que guardan entre sí dichos sólidos. Estas relaciones cinemáticas son definidas mediante un análisis de la topología y configuración del vehículo, relacionándolo con las configuraciones básicas presentadas en la revisión bibliográfica. A partir de estas relaciones se obtienen las restricciones que son explicadas con más detalle en el apartado 4.5.

Para la introducción de estos datos se generan unos ficheros de configuración con toda la información sobre la definición de sólidos y sus relaciones cinemáticas. En concreto, los sólidos son definidos mediante sus puntos y vectores característicos. En base a las mediciones que es posible tomar, y dependiendo de los casos, se definirán utilizando 3 puntos en el espacio, dos puntos y un vector, etc. Para las restricciones cinemáticas se utilizan restricciones de longitud constante, pares de revolución y pares prismáticos, de modo que el vehículo sólo conste de 14 grados de libertad. Estos grados de libertad se corresponden con las tres traslaciones y rotaciones del chasis (6), más el giro de cada rueda (4), más la compresión/extensión de cada amortiguador (4). El grado de libertad de la cremallera se considera una variable guiada cinemáticamente, con lo que no representa un grado de libertad real. Al igual que antes, se utilizan coordenadas de puntos en el espacio y vectores unitarios.

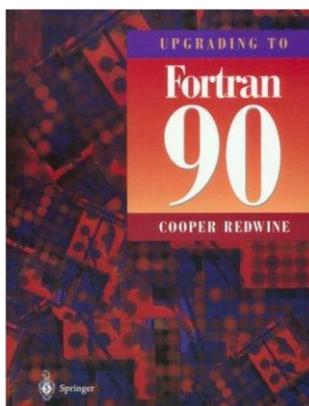


Figura 3.8. Fortran

Para la simulación de estos modelos vamos a utilizar el programa Microsoft Visual Studio, que es un entorno de desarrollo integrado que soporta varios lenguajes de programación, con lo cual, podemos realizar simulaciones de diferentes maniobras. Para ello se introducen los ficheros de configuración generados en software programado en fortran 90 y c++ desarrollado en la Universidad de la Coruña en Ferrol, y que se encarga de la resolución de las ecuaciones diferenciales de movimiento mediante integración por métodos numéricos.



Figura 3.9. Microsoft Visual Studio.

Para la representación gráfica de la simulación dinámica se convierten los archivos 3D a un formato compatible con la librería OpenSceneGraph, mediante la utilización del software de código abierto Blender, que permite la conversión de formatos .stl a .obj.

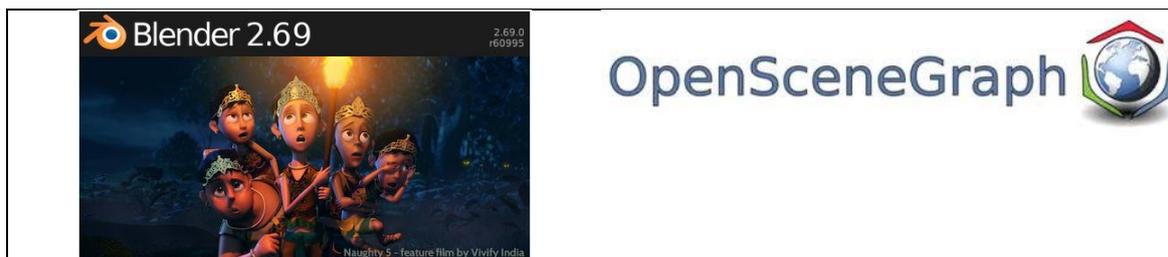


Figura 3.10. Blender

3.4. DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Tanto para la simulación como para la prueba real vamos a realizar diferentes maniobras. Se realizara un ensayo en línea recta, otra que consiste en un giro, maniobra en circulo y adelantamiento a otro vehículo estacionado, las cuales posteriormente compararemos los resultados de la simulación por ordenador y los datos obtenidos en la prueba real.

3.5. PRUEBA REAL DE ADELANTAMIENTO A OTRO VEHÍCULO ESTACIONADO

Esta prueba se ha realizado en los aparcamientos de la Universidad de Almería (Figura 3.11) situados al lado de las pistas deportivas con el vehículo eléctrico.



Figura 3.11. Situación del parking donde se ha realizado las pruebas

Para dicha prueba hemos necesitado una cinta métrica de 50 m (Figura 3.12), varios pivotes (Figura 3.13) y tizas para delimitar el circuito para el cambio de carril.



Figuras 3.12 y 3.13. Cinta métrica y pivotes utilizados en los ensayos reales.

Con estos materiales montamos el circuito para el cambio de carril, el cual hemos utilizado la normativa ISO 3888 (Figura 3.14). Esta norma se utiliza para evaluar el rendimiento de la manipulación de un vehículo y es una parte integral de los procedimientos de diseño de vehículos y evaluación de los vehículos. Consiste en hacer el cambio de carril a alta velocidad con el vehículo sin volcar ningún pivote.

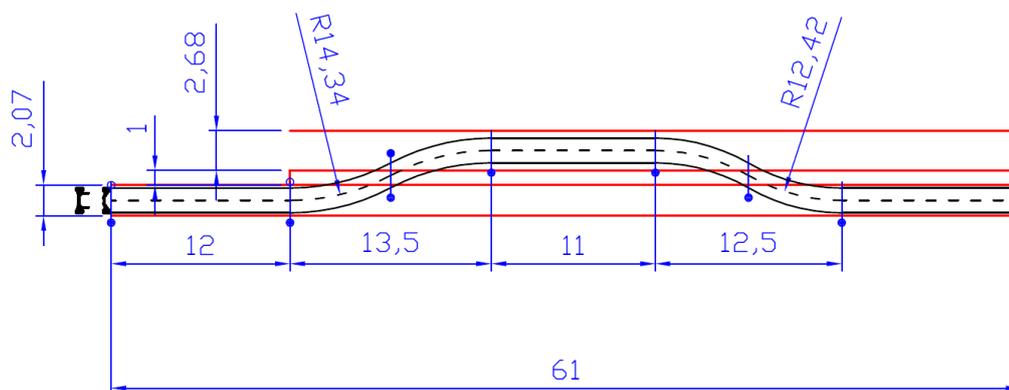


Figura 3.14. Medidas de circuito para ensayo de cambio de carril

Estas medidas nos sirven para la prueba teórica con el simulador Visual Studio y para la prueba real que hemos realizado en los aparcamientos de la Universidad de Almería con el vehículo.

La prueba de adelantamiento (Figura 3.15) consiste en realizar el adelantamiento al vehículo que se encuentra estacionado, para ello tenemos que poner el vehículo a una velocidad constante de unos 5 m/s y mantenerlo desde que el coche para por la línea de salida de 0 metros hasta la línea de llegada de 61 metros. Este ensayo se ha realizado con dos ocupantes.



Figura 3.15. Circuito para ensayo de adelantamiento a otro vehículo estacionado

Empezamos a acelerar antes de la línea de salida para coger una velocidad constante de 5 m/s en la línea de salida. El giro hacia la izquierda para realizar el cambio de carril se realiza a los 12 metros, hasta los 25,5 metros, que vuelves a girar el volante hacia la izquierda para ponerte en paralelo al otro vehículo.

Desde los 25.5 metros hasta los 36,5 metros se mantiene en paralelo al otro vehículo en el carril contrario para conseguir el adelantamiento, girando el volante hacia la izquierda al llegar al pivote situado a 36,5 metros.

Desde los 36,5 metros a los 48, 5 metros es cuando se realiza el retorno al carril original.

Y por último se reincorpora a su finalmente del todo a los 61 metros, donde se da por finalizado el ensayo.

A continuación podemos observar las distintas escenas que hemos explicado antes (Figura 3.16):

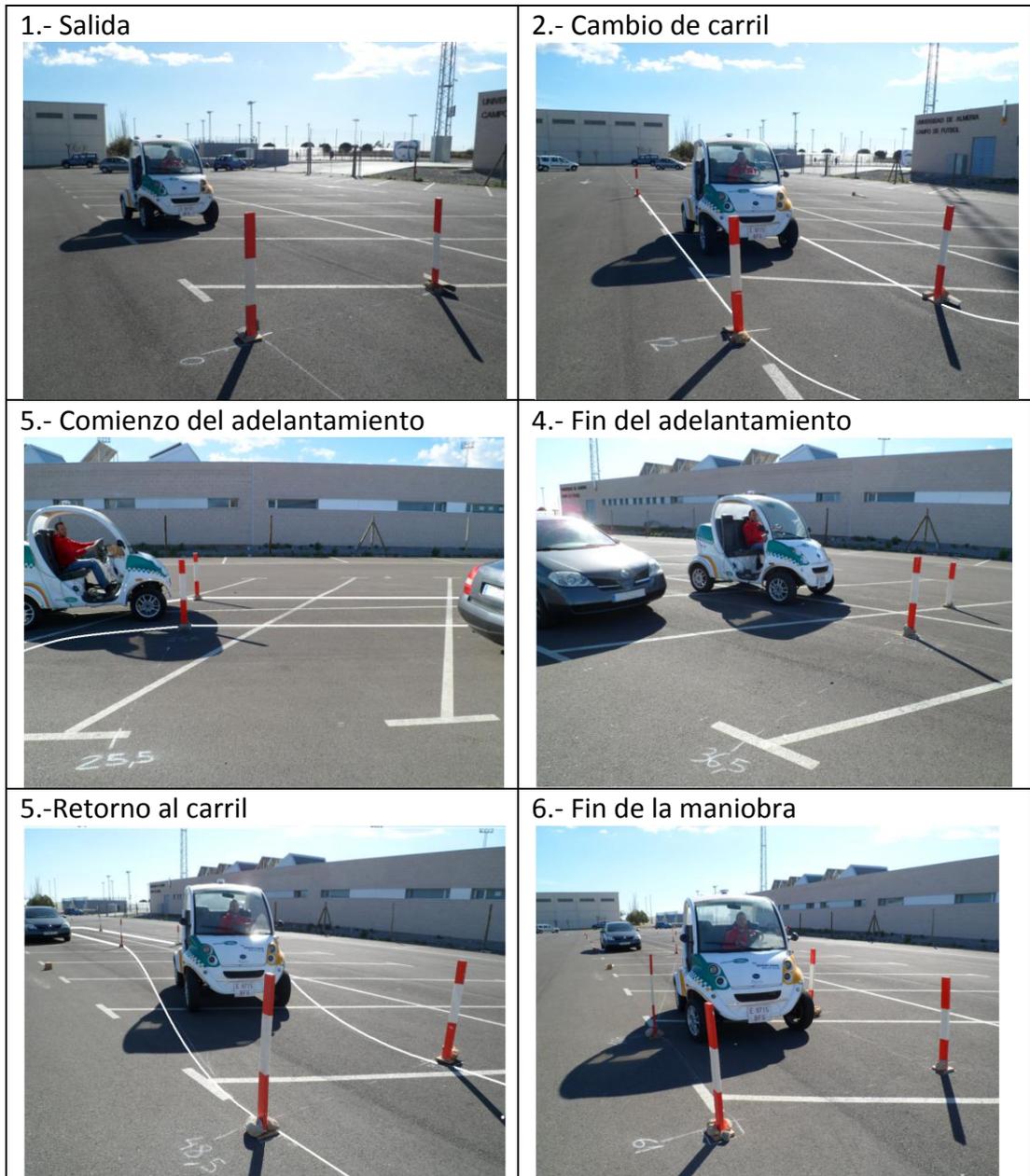


Figura 3.17. Escenas del ensayo de adelantamiento.

Dicho vehículo cuenta con un GPS Figura 3.18 que nos indica la situación del vehículo, la antena está colocada en el techo del coche para una mejor recepción de la señal GPS.



Figura 3.18. GPS

Cuenta con un encoder en la columna de dirección Figura 3.19 que recoge información del ángulo y la velocidad y aceleración con la que se gira la columna de dirección, y por tanto el ángulo de las ruedas.



Figura 3.19. Encoder y motor situado en la columna de dirección.

En la rueda trasera izquierda del vehículo Figura 3.20 que nos indica la velocidad a la que va en todo momento, y todos estos sensores a su vez se conectan al ordenador que recoge la posición angular. Con un software se hace la derivada para calcular la velocidad y si derivamos dos veces se obtiene la aceleración.



Figura 3.20. Sensor de velocidad

Esta prueba se hizo con un ordenador portátil como podemos observar en la Figura 3.21, pero se pretende adaptar una torre de ordenador en el maletero del vehículo para que se quede fija en el vehículo.



Figura 3.21. Recogida de datos de los ensayos

Se quiere hacer un soporte de aluminio para alojar la torre de ordenador, y así poder recoger los datos o en un futuro que el vehículo funcione de forma automática con un software que controle el vehículo. La torre encargada de recoger datos y controlar el vehículo se encontrara en el maletero del vehículo. Este vehículo consta de una tarjeta NI-USB-6211, en la que se recoge la información de los sensores.



Figura 3.22. Tarjeta NI-USB-6211.

3.6. POSPROCESADO DE DATOS

Una vez que se han realizado todos los ensayos reales y simulaciones se introducirán los datos recogidos en Matlab y obtendremos las diferentes graficas para ver el comportamiento del vehículo.

Matlab (es la abreviatura de Matrix Laboratory, que en español significa laboratorio de matrices) es una herramienta software de cálculo matemático que tiene su propio lenguaje Figura 3.23.

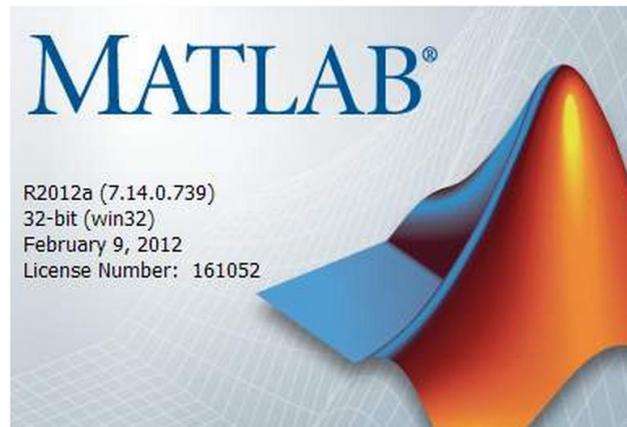


Figura 3.23. Matlab

Con este programa se puede modificar matrices, representar datos y funciones, la implementación de algoritmos, la creación de interfaces de usuario y la comunicación con programas de otros lenguajes y con otros dispositivos de hardware.

Con Matab podemos obtener graficas que nos facilita la comprensión del comportamiento del vehículo en las distintas maniobras que hemos realizado y en relación con el tiempo en el que se está desarrollando la maniobra. Y con las gráficas podemos comparar los resultados de los ensayos reales con los ensayos de simulación y comparar si se comportan de forma similar.

Con los datos que obtuvimos con el programa Visual Studio los introducimos en Matlab, y con este programa podremos obtener diferentes graficas con información del comportamiento del coche en los distintos ensayos.

4.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. MODELOS 3D

4.1.1. FICHA TÉCNICA DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO

Para realizar el diseño en 3D se ha realizado ingeniería inversa, partiendo del modelo del que disponemos en la universidad se ha modelado en 3D dicho vehículo de la forma más precisa posible.



Figura 4.1. Coche eléctrico “Teycars AL2”.

FICHA TÉCNICA DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO:

Marca: Teycars
Tipo: AL2
Denominación comercial: ALSO-2
Peso sin baterías: 472 kg
Tara: 748 kg
Masa Máxima Autorizada (MMA): 950 kg
MMA en 1^{er} eje: 440 kg
MMA en 2^{er} eje: 510 kg
N° de asientos: 2
Neumáticos: 4 - 165/70 R13
Altura máxima: 1820 mm
Anchura máxima: 1540 mm
Vía anterior/posterior: 1300/1265 mm
Distancia entre ejes: 1800 mm
Motor marca: Teycars
Tipo: XQ-3.8-8(eléctrico)
Potencia (fiscal/real): 0,57/4,3 (C.V.F./kW)

4.1.2. MEDIDAS Y DATOS OBTENIDOS DEL MODELO 3D

NUBE DE PUNTOS

[13] Se ha llamado nube puntos a los puntos de unión entre las diferentes piezas móviles y la unión de estas al chasis. Se ha cogido como punto de referencia P_0 (Punto 0), este punto se ha situado en el centro de la barra estabilizadora delantera, pero situado a la altura del suelo. En este punto hemos situado unos ejes de coordenadas, el “eje x” es el correspondiente al eje longitudinal, el “eje y” corresponde al eje axial transversal y el “eje z” corresponde al eje axial vertical. A este eje de coordenadas se le ha llamado eje de “coordenadas globales”. A partir de P_0 se han medido los diferentes puntos que hemos tomado como referencia para que a la hora de unir las piezas en el modelo 3D se sitúen en la misma posición que se encuentran en el vehículo real cuando se encuentra en reposo con su propio peso.

La nomenclatura en los puntos “ P_{123} ”, el primer dígito nos indica en la zona del vehículo donde se localiza ese elemento y el segundo y tercer dígito lo utilizamos para numerar los distintos elementos.

Las zonas de localización que nos indica el primer dígito:

P_{100} : Parte delantera izquierda

P_{200} : Parte delantera derecha

P_{300} : Parte trasera izquierda

P_{400} : Parte trasera derecha

Tabla 4.1. Coordenadas parte delantera del vehículo

| Situación del punto | Parte izquierda | | | Parte derecha | | |
|-------------------------------------|--------------------|-------------|----------|--------------------|-------------|----------|
| | Punto | Coordenadas | | Punto | Coordenadas | |
| Barra estabilizadora-chasis | P ₁₀₁ | x | 0 | P ₂₀₁ | x | 0 |
| | | y | 312.5 | | y | -312.5 |
| | | z | 340 | | z | 340 |
| Barra estabilizadora-brazo de susp. | P ₁₀₂ | x | -250 | P ₂₀₂ | x | -250 |
| | | y | 525 | | y | -525 |
| | | z | 220 | | z | 220 |
| Brazo susp-mangueta | P ₁₀₃ | x | -228.815 | P ₂₀₃ | x | -228.821 |
| | | y | 604.092 | | y | -604.094 |
| | | z | 209.903 | | z | 209.903 |
| Brazo susp.-chasis | P ₁₀₄ | x | -310 | P ₂₀₄ | x | -310 |
| | | y | 350 | | y | -350 |
| | | z | 270 | | z | 270 |
| Brazo susp.-chasis (2) | P _{104-b} | x | -286.167 | P _{204-b} | x | -286.167 |
| | | y | 342.429 | | y | -342.429 |
| | | z | 270 | | z | 270 |
| Tirante-mangueta | P ₁₀₅ | x | -342.387 | P ₂₀₅ | x | -342.387 |
| | | y | 607.29 | | y | -607.29 |
| | | z | 266.699 | | z | 266.699 |
| cremallera-tirante | P ₁₀₆ | x | -410 | P ₂₀₆ | x | -410 |
| | | y | 315 | | y | -315 |
| | | z | 350 | | z | 350 |
| Transmisión-mangueta | P ₁₀₇ | x | -230 | P ₂₀₇ | x | -230 |
| | | y | 625 | | y | -625 |
| | | z | 285 | | z | 285 |
| Transmisión-chasis | P ₁₀₈ | x | -240 | P ₂₀₈ | x | -240 |
| | | y | 225 | | y | -45 |
| | | z | 400 | | z | 400 |
| Suspensión-mangueta (enganche 1) | P ₁₀₉ | x | -258.776 | P ₂₀₉ | x | -258.776 |
| | | y | 506.211 | | y | -506.211 |
| | | z | 474.779 | | z | 474.779 |
| Suspensión-mangueta (enganche 2) | P ₁₁₀ | x | -239.685 | P ₂₁₀ | x | -239.685 |
| | | y | 524.913 | | y | -524.913 |
| | | z | 348.88 | | z | 348.88 |
| Suspensión-chasis | P ₁₁₁ | x | -315.731 | P ₂₁₁ | x | -315.731 |
| | | y | 450.412 | | y | -450.412 |
| | | z | 850.414 | | z | 850.414 |

Tabla 4.2. Coordenadas parte trasera del vehículo

| Situación del punto | Parte izquierda | | | Parte derecha | | |
|--------------------------------------|------------------|-------------|-----------|------------------|-------------|-----------|
| | Punto | Coordenadas | | Punto | Coordenadas | |
| Brazo susp.-chasis | P ₃₀₁ | x | -1485 | P ₄₀₁ | x | -1485 |
| | | y | 480 | | y | -480 |
| | | z | 240 | | z | 240 |
| Brazo susp.-eje trasero (enganche 1) | P ₃₀₂ | x | -1980.259 | P ₄₀₂ | x | -1980.259 |
| | | y | 479.926 | | y | -480.074 |
| | | z | 237.296 | | z | 237.296 |
| Brazo susp.-eje trasero (enganche 2) | P ₃₀₃ | x | -2099.55 | P ₄₀₃ | x | -2099.55 |
| | | y | 479.926 | | y | -480.074 |
| | | z | 216.478 | | z | 216.478 |
| Amortiguador-eje trasero | P ₃₀₄ | x | -1990.808 | P ₄₀₄ | x | -1990.808 |
| | | y | 404.926 | | y | -405.074 |
| | | z | 213.51 | | z | 213.51 |
| Amortiguador-chasis | P ₃₀₅ | x | -1855 | P ₄₀₅ | x | -1855 |
| | | y | 430 | | y | -430 |
| | | z | 520 | | z | 520 |
| Muelle-chasis | P ₃₀₆ | x | -2058 | P ₄₀₆ | x | -2058 |
| | | y | 440 | | y | -440 |
| | | z | 510 | | z | 510 |
| Muelle-eje trasero | P ₃₀₇ | x | -2063.202 | P ₄₀₇ | x | -2063.202 |
| | | y | 444.926 | | y | -445.074 |
| | | z | 324.471 | | z | 324.471 |
| Barra estabilizadora-eje trasero | P ₃₀₈ | x | -2164 | P ₄₀₈ | x | -2164 |
| | | y | 463.61 | | y | -480 |
| | | z | 360 | | z | 250 |
| Eje trasero-rueda | P ₃₀₉ | x | -2061.699 | P ₄₀₉ | x | -2061.699 |
| | | y | 663.057 | | y | -663.206 |
| | | z | 316.999 | | z | 316.999 |

MEDICIONES DE LOS ELEMENTOS QUE COMPONEN LA SUSPENSIÓN Y DIRECCIÓN

En este apartado hemos medido de forma manual los diferentes elementos que constituyen el sistema de dirección y de suspensión del vehículo eléctrico para diseñarlo en CATIA. Para cada pieza individual hemos cogido un eje de coordenadas local en la propia pieza y la coordenada global de la nube de puntos. Además del modelo 3D que hemos realizado en Catia se ha obtenido las masas, los centros de gravedad y los momentos de inercia de cada pieza.

CHASIS

En el chasis se han cogido solo coordenadas globales, el chasis se ha considerado que como un elemento fijo en el modelado.

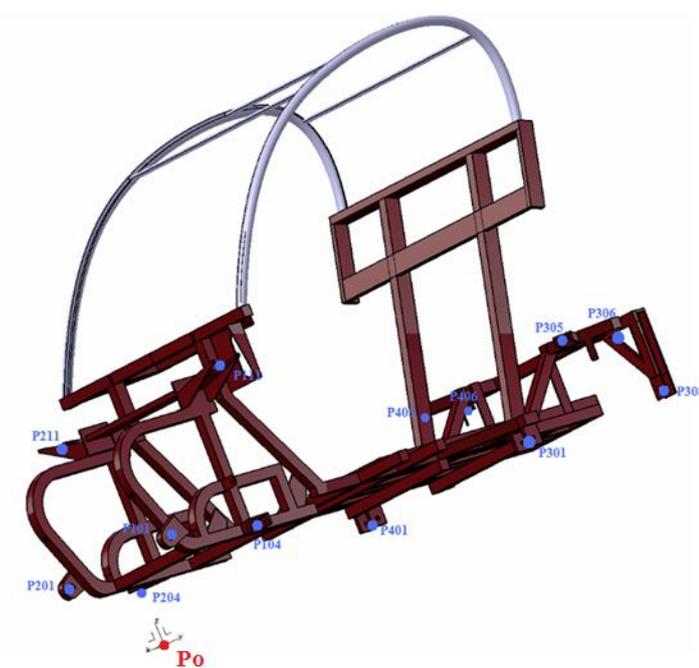


Figura 4.2. Chasis modelado en Catia V5.

Tabla 4.3. Datos del chasis.

| |
|------------------|
| Masa (kg) |
| 396.721 |

| COG (mm) | | MOMENTOS DE INERCIA (kg·m ²) | | | |
|----------|-----------|--|---------|-----------------------|---------|
| x | -1125.258 | <i>I_{xx}</i> | 185.483 | <i>I_{xy}</i> | 5.161 |
| y | 6.532 | <i>I_{yy}</i> | 842.065 | <i>I_{xz}</i> | 247.496 |
| z | 543.538 | <i>I_{zz}</i> | 717.888 | <i>I_{yz}</i> | -1.372 |

Tabla 4.3. Datos del chasis. Continuación.

| | SITUACIÓN DEL PUNTO | PUNTO | Coord. Global | | Coord. Local | |
|----------------------------------|--|-------|---------------|----------|--------------|----------|
| | | | x | y | x | y |
| CHASIS | Barra estabilizadora delantero izquierda | P101 | x | -1485 | x | -1485 |
| | | | y | 480 | y | 480 |
| | | | z | 240 | z | 240 |
| | Brazo de suspensión delantero izquierda | P104 | x | -310 | x | -310 |
| | | | y | 350 | y | 350 |
| | | | z | 270 | z | 270 |
| | Amortiguador izquierda | P111 | x | -315.731 | x | -315.731 |
| | | | y | 450.412 | y | 450.412 |
| | | | z | 850.414 | z | 850.414 |
| | Barra estabilizadora derecha | P201 | x | -1485 | x | -1485 |
| | | | y | -480 | y | -480 |
| | | | z | 240 | z | 240 |
| | Brazo de suspensión derecha | P204 | x | -310 | x | -310 |
| | | | y | -350 | y | -350 |
| | | | z | 270 | z | 270 |
| | Amortiguador derecha | P211 | x | -315.731 | x | -315.731 |
| | | | y | -450.412 | y | -450.412 |
| | | | z | 850.414 | z | 850.414 |
| | Brazo suspensión trasero izquierda | P301 | x | -1485 | x | -1485 |
| | | | y | 480 | y | 480 |
| | | | z | 240 | z | 240 |
| | Amortiguador trasero izquierda | P305 | x | -1855 | x | -1855 |
| | | | y | 430 | y | 430 |
| | | | z | 520 | z | 520 |
| Muelle trasero izquierda | P306 | x | -2058 | x | -2058 | |
| | | y | 440 | y | 440 | |
| | | z | 510 | z | 510 | |
| Barra Panhard | P308 | x | -2061.699 | x | -2061.699 | |
| | | y | 663.057 | y | 663.057 | |
| | | z | 316.999 | z | 316.999 | |
| Brazo suspensión trasero derecha | P401 | x | -1485 | x | -1485 | |
| | | y | -480 | y | -480 | |
| | | z | 240 | z | 240 | |
| Amortiguador trasero derecha | P405 | x | -1855 | x | -1855 | |
| | | y | -430 | y | -430 | |
| | | z | 520 | z | 520 | |
| Muelle trasero derecha | P406 | x | -2058 | x | -2058 | |
| | | y | -440 | y | -440 | |
| | | z | 510 | z | 510 | |

CREMALLERA DE DIRECCIÓN

La cremallera (Figura 4.3 y 4.4) tiene un recorrido lineal en su eje x con un recorrido total de 53 mm entre los topes cuando se gira al máximo el volante.



Figura 4.3. Cremallera real.

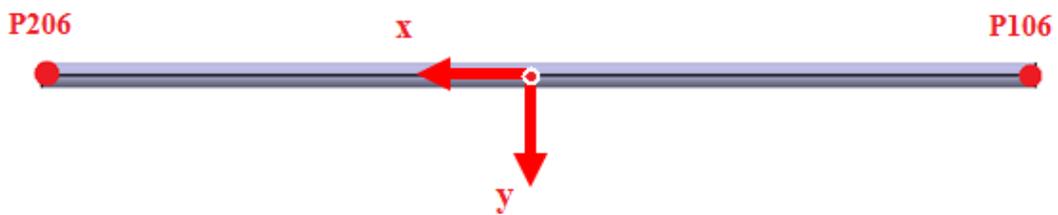


Figura 4.4. Cremallera modelada

Tabla 4.4. Datos de la cremallera.

| |
|------------------|
| Masa (kg) |
| 0.97 |

| COG (mm) | | MOMENTOS DE INERCIA (kg·m ²) | | | |
|----------|---|--|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
| x | 0 | <i>I_{xx}</i> | $3.026 \cdot 10^{-5}$ | <i>I_{xy}</i> | 0 |
| y | 0 | <i>I_{yy}</i> | 0.032 | <i>I_{xz}</i> | $1.83 \cdot 10^{-21}$ |
| z | 0 | <i>I_{zz}</i> | 0.032 | <i>I_{yz}</i> | $-5.433 \cdot 10^{-22}$ |

| CREMALLERA | SITUACIÓN DEL PUNTO | PUNTO | Coord. Global | | Coord. Local | |
|------------|---------------------|-------|---------------|------|--------------|------|
| | tirante izquierdo | P106 | x | -410 | x | -315 |
| | | | y | 315 | y | 0 |
| | | | z | 350 | z | 0 |
| | tirante derecho | P206 | x | -410 | x | 315 |
| | | | y | -315 | y | 0 |
| z | | | 350 | z | 0 | |

BARRA DE DIRECCIÓN IZQUIERDA

Los tirantes o barra de dirección (Figura 4.5 y 4.6) son la pieza que une la cremallera con la mangueta de dirección para que transmita el movimiento lineal de la cremallera a un movimiento angular a la mangueta que permite que el vehículo gire con precisión. En las barras de dirección se desprecia la masa y los momentos de inercia.

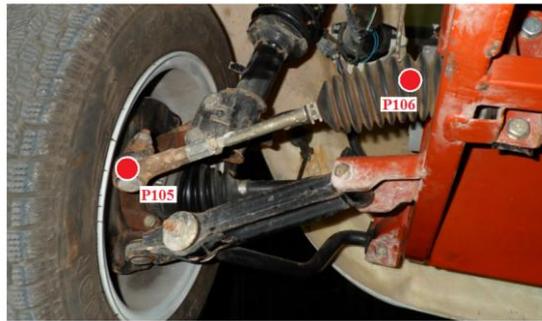


Figura 4.5. Barra de dirección izquierda real.

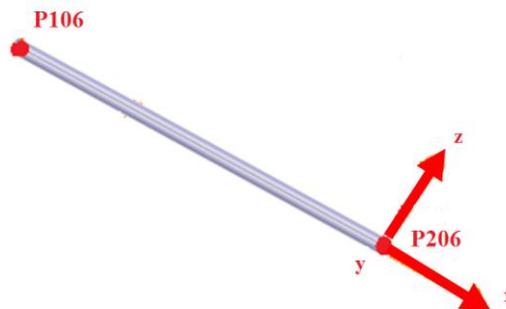


Figura 4.6. Barra de dirección izquierda modelada.

Tabla 4.5. Datos de barra de dirección izquierda

Masa (kg)
Despreciable

| TIRANTE DIRECCIÓN | SITUACIÓN DEL PUNTO | PUNTO | Coord. Global | | Coord. Local | |
|-------------------|---------------------|-------|---------------|----------|--------------|----------|
| | Mangueta | P105 | x | -342.387 | x | 0 |
| | | | y | 607.29 | y | 0 |
| | | | z | 266.699 | z | 0 |
| | Cremallera | P106 | x | -410 | x | -311.358 |
| | | | y | 315 | Y | 0 |
| z | | | 350 | Z | 0 | |

BARRA DE DIRECCIÓN DERECHA

Las barras de dirección izquierda y derecha son iguales.



Figura 4.7. Barra de dirección derecha real.

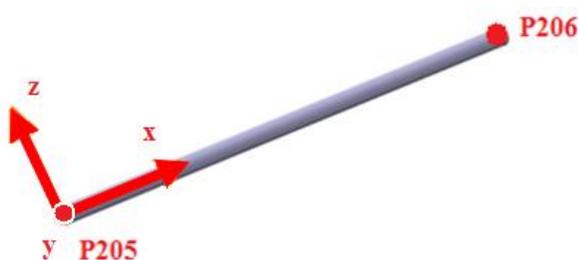


Figura 4.8. Barra de dirección modelada.

Tabla 4.6. Datos de barra de dirección derecha

Masa (kg)
Despreciable

| TIRANTE DIRECCIÓN | SITUACIÓN DEL PUNTO | PUNTO | Coord. Global | | Coord. Local | |
|-------------------|---------------------|-------|---------------|----------|--------------|---------|
| | Cremallera | P205 | x | -342.387 | x | 0 |
| | | | y | -607.29 | y | 0 |
| | | | Z | 266.699 | z | 0 |
| | Mangueta | P206 | X | -410 | x | 311.358 |
| | | | y | -315 | y | 0 |
| z | | | 350 | z | 0 | |

MANGUETA DE DIRECCIÓN Y SUSPENSIÓN IZQUIERDA

La mangueta y el amortiguador están unidos con tornillos (Figura 4.9 y 4.10). Con el cual no hay movimiento es solidario, entre la mangueta y la rueda se encuentra un cojinete y el disco de freno. Gracias a la forma que tiene la mangueta en la parte donde va unida al tirante de dirección, cuando se gira el volante, permite que las ruedas tengan diferente ángulo de giro, ya que la rueda que queda en el interior de la curva tiene que tener un ángulo mayor.

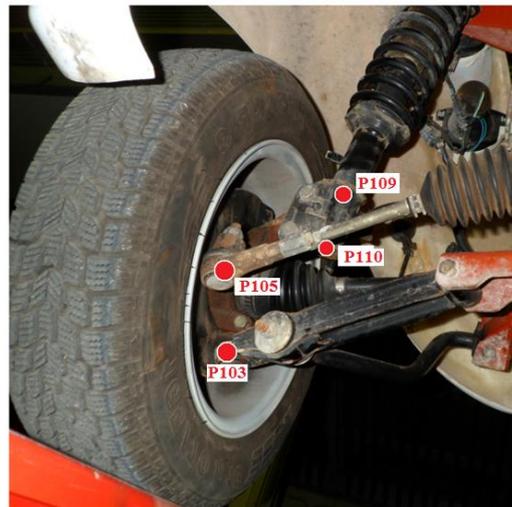


Figura 4.9. Mangueta izquierda real.

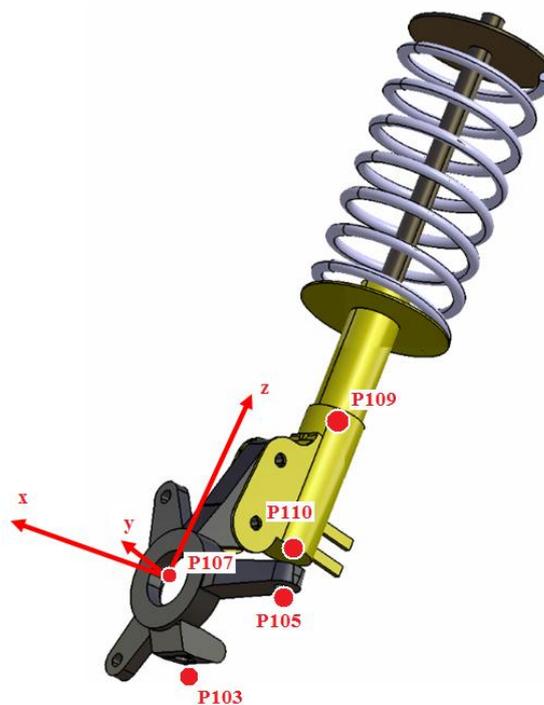


Figura 4.10. Mangueta izquierda modelada.

Tabla 4.7. Datos de mangueta y suspensión izquierda

| |
|------------------|
| Masa (kg) |
| 6.653 |

| | COG (mm) | MOMENTOS DE INERCIA (kg·m²) | | | |
|----------|-----------------|---|-------|-----------------------|--------|
| x | -19.885 | <i>I_{xx}</i> | 0.196 | <i>I_{xy}</i> | -0.013 |
| y | -73.02 | <i>I_{yy}</i> | 0.152 | <i>I_{xz}</i> | 0.021 |
| z | 112.052 | <i>I_{zz}</i> | 0.06 | <i>I_{yz}</i> | 0.081 |

| | SITUACIÓN DEL PUNTO | PUNTO | Coord. Global | | Coord. Local | |
|---------------------------|----------------------------|--------------|----------------------|----------|---------------------|----------|
| | | | x | y | x | y |
| MANGUETA IZQUIERDA | <i>Brazo</i> | <i>P103</i> | x | -228.815 | x | 1.185 |
| | | | y | 604.092 | y | -20.908 |
| | | | z | 209.903 | z | -75.097 |
| | <i>Tirante</i> | <i>P105</i> | x | -342.387 | x | -112.387 |
| | | | y | 607.29 | y | -17.709 |
| | | | z | 266.699 | z | -18.307 |
| | <i>Rueda</i> | <i>P107</i> | x | -230 | x | 0 |
| | | | y | 625 | y | 0 |
| | | | z | 285 | z | 0 |
| | <i>Suspensión</i> | <i>P109</i> | x | -258.776 | x | -28.775 |
| | | | y | 506.211 | y | -188.789 |
| | | | z | 474.779 | z | 189.783 |
| <i>Suspensión</i> | <i>P110</i> | x | -239.685 | x | -9.685 | |
| | | y | 524.913 | y | -100.087 | |
| | | z | 348.88 | z | 63.88 | |

MANGUETA DE DIRECCIÓN Y SUSPENSIÓN DERECHA

La mangueta y amortiguador izquierdo y derecho (Figura 4.11 y 4.12) son simétricos.



Figura 4.11. Mangueta y suspensión derecha real.

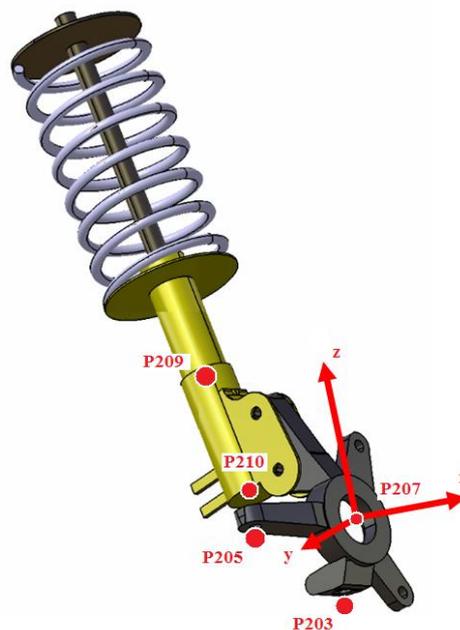


Figura 4.12. Mangueta y suspensión derecho modelado.

Tabla 4.8. Datos de mangueta y suspensión derecha

| |
|------------------|
| Masa (kg) |
| 6.653 |

| COG (mm) | | MOMENTOS DE INERCIA (kg·m ²) | | | |
|----------|---------|--|-------|-----------------------|--------|
| x | -19.885 | <i>I_{xx}</i> | 0.196 | <i>I_{xy}</i> | 0.013 |
| y | 73.02 | <i>I_{yy}</i> | 0.152 | <i>I_{xz}</i> | 0.021 |
| z | 112.052 | <i>I_{zz}</i> | 0.06 | <i>I_{yz}</i> | -0.081 |

| MANGUETA DERECHA | SITUACIÓN DEL PUNTO | PUNTO | Coord. Global (mm) | | Coord. Local (mm) | |
|------------------|---------------------|-------|--------------------|----------|-------------------|-------|
| | Brazo | P203 | x | -228.821 | x | 1.179 |
| y | | | -604.094 | y | 20.906 | |
| z | | | 209.903 | z | -75.383 | |
| Tirante | P205 | x | -342.387 | x | -112.387 | |
| | | y | -607.29 | y | 17.709 | |
| | | z | 266.699 | z | -18.307 | |
| Rueda | P207 | x | -230 | x | 0 | |
| | | y | -625 | y | 0 | |
| | | z | 285 | z | 0 | |
| Suspensión | P209 | x | -258.776 | x | -28.775 | |
| | | y | -506.211 | y | 188.789 | |
| | | z | 474.779 | z | 189.783 | |
| Suspensión | P210 | x | -239.685 | x | -9.685 | |
| | | y | -524.913 | y | 100.087 | |
| | | z | 348.88 | z | 63.88 | |

BRAZO DELANTERO IZQUIERDO

El brazo (Figura 4.13 y 4.14) permite que la rueda se mueva arriba y abajo y gracias al amortiguador evitar que las irregularidades del pavimento se transmitan al chasis. En el punto P₁₀₃ la unión entre el brazo y la mangueta se realiza con una rotula.



Figura 4.13. Brazo izquierdo real.

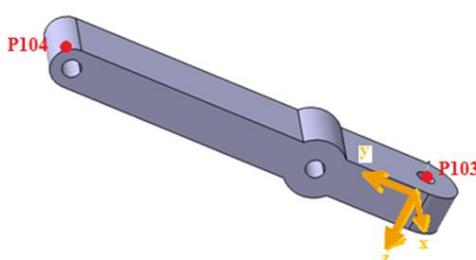


Figura 4.14. Brazo izquierdo modelado.

Tabla 4.9. Datos de brazo derecho

| Masa (kg) |
|-----------|
| 3.691 |

| COG (mm) | | MOMENTOS DE INERCIA (kg·m ²) | | | |
|----------|---------|--|-------|-----------------------|--------------------------|
| x | 0 | <i>I_{xx}</i> | 0.091 | <i>I_{xy}</i> | -1.145·10 ⁻¹⁹ |
| y | 130.744 | <i>I_{yy}</i> | 0.001 | <i>I_{xz}</i> | 2.14·10 ⁻²⁰ |
| z | 0 | <i>I_{zz}</i> | 0.091 | <i>I_{yz}</i> | 1.171·10 ⁻¹⁹ |

| BRAZO IZQUIERDO | SITUACIÓN DEL PUNTO | PUNTO | Coord. Global | | Coord. Local | |
|-----------------|---------------------|-------|---------------|----------|--------------|---------|
| | Mangueta | P103 | x | -228.815 | x | 0 |
| | | | y | 604.092 | y | 0 |
| | | | z | 209.903 | z | -15.5 |
| | Chasis | P104 | x | -310 | x | 0 |
| | | | y | 350 | y | 272.993 |
| z | | | 270 | z | 0 | |

BRAZO DELANTERO DERECHO

El brazo izquierdo y el derecho (Figura 4.15 y 4.16) son exactamente igual.



Figura 4.15. Brazo derecho real.

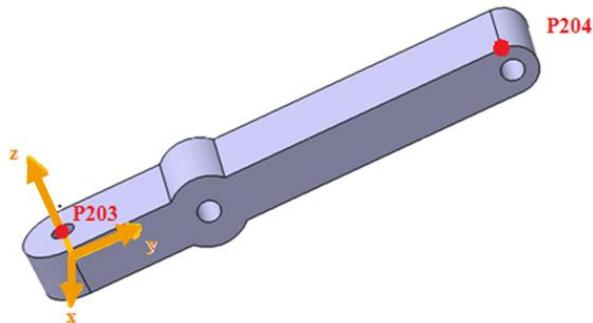


Figura 4.16. Brazo derecho modelado

Tabla 4.10. Datos de brazo derecho

| Masa (kg) |
|-----------|
| 3.691 |

| COG (mm) | | MOMENTOS DE INERCIA (kg·m ²) | | | |
|----------|---------|--|-------|-----------------------|-------------------------|
| x | 0 | <i>I_{xx}</i> | 0.091 | <i>I_{xy}</i> | 1.145·10 ⁻¹⁹ |
| y | 130.744 | <i>I_{yy}</i> | 0.001 | <i>I_{xz}</i> | 2.14·10 ⁻²⁰ |
| z | 0 | <i>I_{zz}</i> | 0.091 | <i>I_{yz}</i> | 1.171·10 ⁻¹⁹ |

| BRAZO DERECHO | SITUACIÓN DEL PUNTO | PUNTO | Coord. Global | | Coord. Local | |
|---------------|---------------------|-------|---------------|----------|--------------|---------|
| | Mangueta | P203 | x | -228.821 | x | 0 |
| | | | y | -604.094 | y | 0 |
| | | | z | 209.903 | z | 15.5 |
| | Chasis | P204 | x | -310 | x | 0 |
| | | | y | -350 | y | 272.993 |
| z | | | 270 | z | 0 | |

EJE RÍGIDO TRASERO

El eje (Figura 4.17 y 4.18) va unido al chasis mediante dos brazos tirados, dos amortiguadores y dos muelles. Entre el eje y el chasis también está la barra estabilizadora Panhard. Entre el eje y las ruedas se encuentra un dispositivo de frenos de tambor.



Figura 4.17. Eje rígido trasero real.

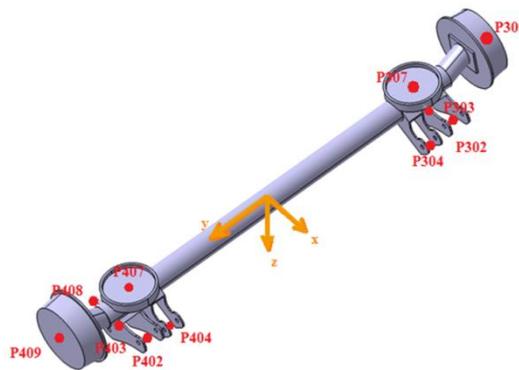


Figura 4.18. Eje rígido trasero modelado.

Tabla 4.11. Datos del eje rígido

| |
|------------------|
| Masa (kg) |
| 57.162 |

| COG (mm) | MOMENTOS DE INERCIA (kg·m ²) | | | | |
|----------|--|-----------------------|--------|-----------------------|-------------------------|
| x | -2.108 | <i>I_{xx}</i> | 14.33 | <i>I_{xy}</i> | 0.001 |
| y | 0.264 | <i>I_{yy}</i> | 0.157 | <i>I_{xz}</i> | -9.786·10 ⁻⁴ |
| z | -12.109 | <i>I_{zz}</i> | 14.313 | <i>I_{yz}</i> | -8.245·10 ⁻⁴ |

Tabla 4.11. Datos del eje rígido. Continuación

| | SITUACIÓN DEL PUNTO | PUNTO | Coord. Global | | Coord. Local | |
|----------------|------------------------|-------|---------------|-----------|--------------|----------|
| | | | x | y | x | y |
| EJE TRASERO | Brazo izquierdo | P302 | x | -1980.259 | x | 94.948 |
| | | | y | 479.926 | y | -480 |
| | | | z | 237.296 | z | 38.919 |
| | Brazo izquierdo | P303 | x | -2099.55 | x | -19.939 |
| | | | y | 479.926 | y | -480 |
| | | | z | 216.48 | z | 77.188 |
| | Amortiguador izquierdo | P304 | x | -1990.808 | x | 88.042 |
| | | | y | 404.926 | y | -405 |
| | | | z | 213.51 | z | 64.006 |
| | Muelle izquierdo | P307 | x | -2063.202 | x | 0 |
| | | | y | 444.926 | y | -445 |
| | | | z | 324.471 | z | -35 |
| | Rueda izquierda | P309 | x | -2061.699 | x | 2.595 |
| | | | y | 663.057 | y | -663.132 |
| | | | z | 316.999 | z | -27.833 |
| | Brazo derecho | P402 | x | -1980.259 | x | 94.948 |
| | | | y | -480.074 | y | 480 |
| | | | z | 237.286 | z | 38.919 |
| | Brazo derecho | P403 | x | -2099.55 | x | -19.939 |
| | | | y | -480.074 | y | 480 |
| | | | z | 216.478 | z | 77.188 |
| | Amortiguador derecho | P404 | x | -1990.808 | x | 88.042 |
| | | | y | -405.074 | y | 405 |
| | | | z | 213.51 | z | 64.006 |
| Muelle derecho | P407 | x | -2063.202 | x | 0 | |
| | | y | -445.074 | y | 445 | |
| | | z | 324.471 | z | -35 | |
| Barra Panhard | P408 | x | -2164 | x | -88.646 | |
| | | y | -480 | y | 479.926 | |
| | | z | 250 | z | 53.589 | |
| Rueda derecha | P409 | x | -2061.699 | x | 2.595 | |
| | | y | -663.206 | y | 663.132 | |
| | | z | 316.999 | z | -27.833 | |

BRAZO TIRADO TRASERO IZQUIERDO

Son brazos tirados (Figura 4.19 y Figura 4.20). Entre las uniones del brazo tanto al chasis como al eje se encuentran unas gomas llamadas silentblocs, que permite que en las uniones entre piezas haya un mayor grado de libertad.



Figura 4.19. Brazo tirado izquierdo real.

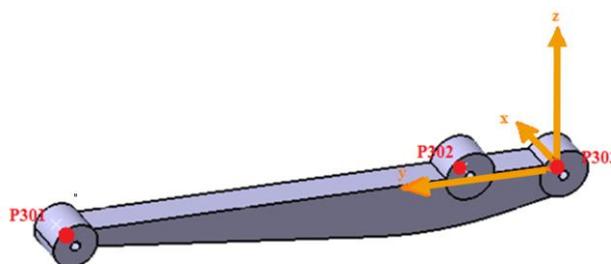


Figura 4.20. Brazo tirado izquierdo modelado.

Tabla 4.12. Datos de brazo trasero izquierdo

| |
|------------------|
| Masa (kg) |
| 10.918 |

| COG (mm) | | MOMENTOS DE INERCIA (kg·m ²) | | | |
|----------|---------|--|-------|-----------------------|------------------------|
| x | 0 | <i>I_{xx}</i> | 1.182 | <i>I_{xy}</i> | $6.025 \cdot 10^{-9}$ |
| y | 271.624 | <i>I_{yy}</i> | 0.006 | <i>I_{xz}</i> | $-1.358 \cdot 10^{-9}$ |
| z | -6.85 | <i>I_{zz}</i> | 1.18 | <i>I_{yz}</i> | 0.016 |

| BRAZO TRASERO | SITUACIÓN DEL PUNTO | PUNTO | Coord. Global | | Coord. Local | |
|---------------|---------------------|-------|---------------|-----------|--------------|-------|
| | Chasis | P301 | x | -1485 | x | 0 |
| | | | y | 480 | y | 615 |
| | | | z | 240 | z | 0 |
| | Eje trasero | P302 | x | -1980.259 | x | 0 |
| | | | y | 479.926 | y | 120 |
| | | | z | 237.296 | z | 16.24 |
| | Eje trasero | P303 | x | -2099.55 | x | 0 |
| | | | y | 479.926 | y | 0 |
| | | | z | 216.48 | z | 0 |

BRAZO TRASERO DERECHO

Son brazos tirados (Figura 4.21 y Figura 4.22). El brazo izquierdo y el brazo derecho son iguales.



Figura 4.21. Brazo tirado derecho real

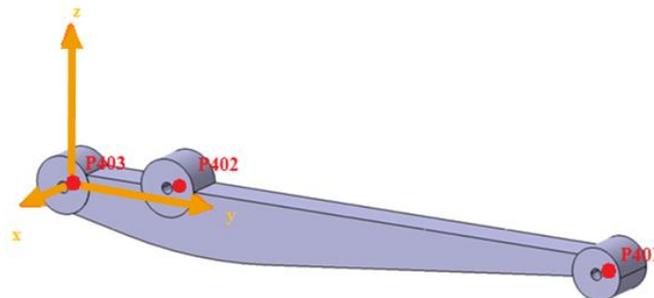


Figura 4.22. Brazo tirado derecho modelado

Tabla 4.13. Datos brazo trasero derecho

| |
|-----------|
| Masa (kg) |
| 10.918 |

| COG (mm) | | MOMENTOS DE INERCIA (kg·m ²) | | | |
|----------|---------|--|-------|-----------------------|-------------------------|
| x | 0 | <i>I_{xx}</i> | 1.182 | <i>I_{xy}</i> | 6.025·10 ⁻⁹ |
| y | 271.624 | <i>I_{yy}</i> | 0.006 | <i>I_{xz}</i> | -1.358·10 ⁻⁹ |
| z | -6.85 | <i>I_{zz}</i> | 1.18 | <i>I_{yz}</i> | 0.016 |

| BRAZO TRASERO | SITUACIÓN DEL PUNTO | PUNTO | Coord. Global | | Coord. Local | |
|---------------|---------------------|-------|---------------|-----------|--------------|-------|
| | Chasis | P301 | x | -1485 | x | 0 |
| | | | y | -480 | y | 615 |
| | | | z | 240 | z | 0 |
| | Eje trasero | P302 | x | -1980.259 | x | 0 |
| | | | y | -480.074 | y | 120 |
| | | | z | 237.286 | z | 16.24 |
| | Eje trasero | P303 | x | -2099.55 | x | 0 |
| | | | y | -480.074 | y | 0 |
| | | | z | 216.478 | z | 0 |

BARRA ESTABILIZADORA PANHARD

Esta barra estabilizadora (Figura 4.23 y 4.24) lo que permite que el vehículo tenga menor balanceo respecto al eje longitudinal. Esta barra, cuando el eje se mueve hacia arriba, al ir anclada al chasis y al eje, el eje también se mueve hacia la derecha y cuando baja se mueve a la izquierda.



Figura 4.23. Barra Panhard real.

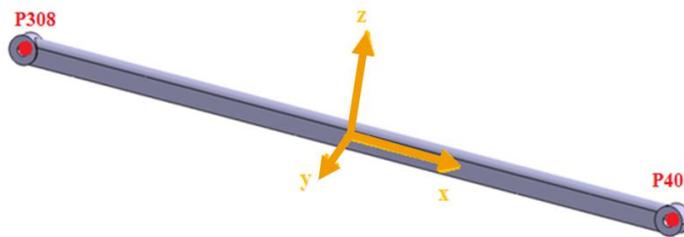


Figura 4.24. Barra Panhard modelada

Tabla 4.14. Datos de barra estabilizadora Panhard

| |
|------------------|
| Masa (kg) |
| 2.051 |

| COG (mm) | | MOMENTOS DE INERCIA (kg·m ²) | | | |
|----------|-------|--|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| x | 0 | <i>I_{xx}</i> | $3.488 \cdot 10^{-4}$ | <i>I_{xy}</i> | $1.505 \cdot 10^{-8}$ |
| y | 0 | <i>I_{yy}</i> | 0.205 | <i>I_{xz}</i> | $2.228 \cdot 10^{-8}$ |
| z | 1.001 | <i>I_{zz}</i> | 0.205 | <i>I_{yz}</i> | $-1.104 \cdot 10^{-7}$ |

| BARRA PANHARD | SITUACIÓN DEL PUNTO | PUNTO | Coord. Global | | Coord. Local | |
|---------------|---------------------|-------|---------------|--------|--------------|------|
| | Chasis | P308 | x | -2164 | x | -475 |
| | | | y | 463.61 | y | 0 |
| | | | z | 360 | z | 0 |
| | Eje trasero | P408 | x | -2164 | x | 475 |
| | | | y | -480 | y | 0 |
| z | | | 250 | z | 0 | |

4.1.3. CALCULO DE LA CONSTANTE "K"

Para el cálculo de la constante "k" hay que medir la variación de longitud del muelle con el peso del vehículo sin pasajeros y con pasajeros.

El vehículo eléctrico tiene el centro de gravedad más o menos en la parte central del vehículo debido al peso de las baterías que están en la parte trasera del vehículo y a que el motor eléctrico es menos pesado que un motor de combustión como se puede ver en la Figura 4.25.

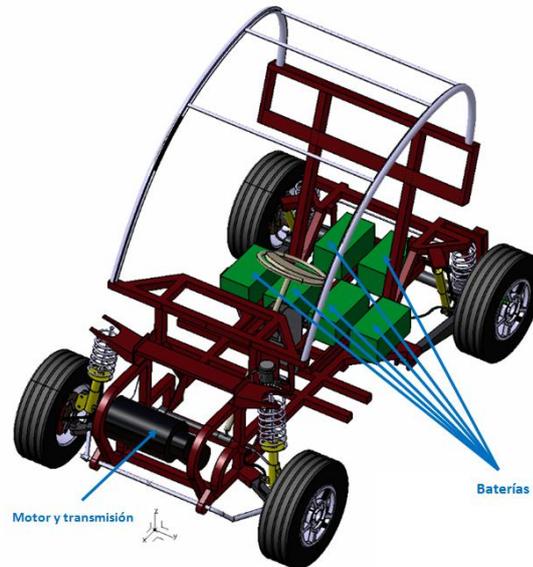


Figura 4.25. Ubicación del motor eléctrico y de las baterías.

Se ha comprobado el peso del vehículo y el centro de gravedad con dos personas con una grúa y un peso Figura 4.26. El peso de los ocupantes es de 90 kg cada uno, a este peso hay que restar el peso de la barra de hierro y de los tacos con los que hemos sujetado en vehículo que es de 15 kg.



Figura 4.26. Comprobación del centro de gravedad con dos ocupantes

El centro de gravedad con dos ocupantes se encuentra a 1023 mm del eje delantero y del eje trasero a 805 mm como podemos observar en la Figura 4.27. Con lo cual en este tipo de vehículo se puede decir que el centro de gravedad está en el centro del vehículo, desplazado un poco hacia la parte trasera. Y como el centro de gravedad cae en el centro de los asientos este va a ser el mismo con ocupantes y sin ocupantes.



Figura 4.27. Centro de gravedad con dos ocupantes

Peso del vehículo sin ocupantes: 791.5 kg

Peso del vehículo con dos ocupantes de unos 90 kg: 971.5 kg

El reparto de peso entre ejes del vehículo sin pasajeros y con pasajeros se muestra en la Figura 4.28:

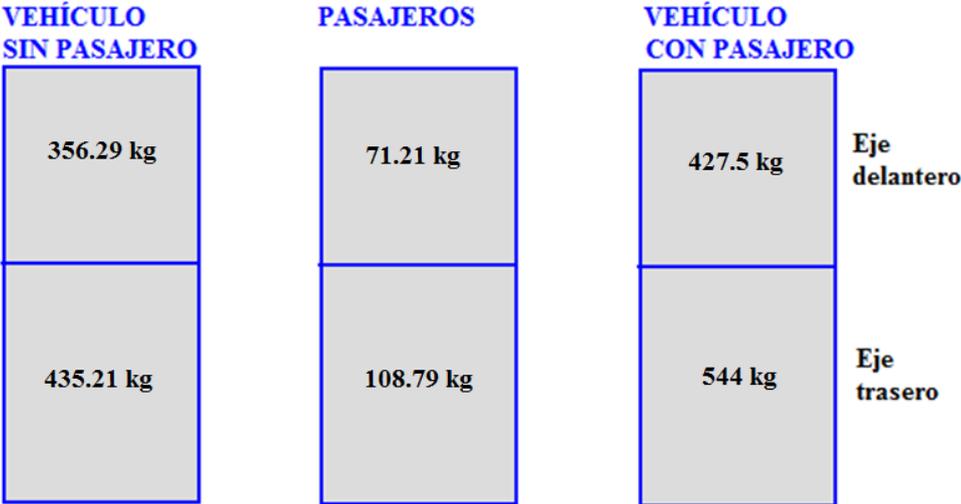


Figura 4.28 Distribución de pesos en ejes del vehículo eléctrico

MUELLES DELANTEROS

Lo primero que tenemos que hacer es medir las dimensiones que tiene el muelle delantero y el número de espiras que tiene, aunque para calcular el coeficiente k del muelle las medidas que nos interesan son las longitudes del muelle con el peso del vehículo con y sin pasajeros y los pesos:

Tabla 4.15. Datos de muelles delanteros.

| DATOS DE MUELLES DELANTEROS | |
|--|-----------|
| El diámetro del muelle | 115 mm |
| Longitud de muelle con ruedas al vuelo | 270 mm |
| Longitud del muelle con peso del vehículo L_1 | 260 mm |
| Longitud del muelle con peso de vehículo y dos personas de unos 80 kg cada uno L_2 | 245 mm |
| Peso que soporta el eje delantero con el peso del vehículo solo | 356,29 kg |
| Cada muelle delantero soporta sin ocupantes p_1 | 178,15 kg |
| Peso que soporta el eje delantero con 2 personas | 427,5 kg |
| Cada muelle delantero soporta con 2 personas p_2 | 213,75 kg |

Para el cálculo la constante del muelle “k” hemos cogido la longitud y el peso con dos personas.

$$\Delta F = -k * \Delta x$$

$$L_1 = 260 \text{ mm}$$

$$L_2 = 245 \text{ mm}$$

$$-F_1 = p * g = 178.15 \text{ kg} * 9.81 = 1747.65 \text{ N}$$

$$-F_2 = p * g = 213.75 \text{ kg} * 9.81 = 2096.89 \text{ N}$$

$$k = \frac{|\Delta F|}{|\Delta x|} = \frac{2096.89 \text{ N} - 1747.65 \text{ N}}{245 \text{ mm} - 260 \text{ mm}} = 23.28 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

$$k = 23282.67 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

MUELLES TRASEROS

Con los muelles traseros medimos las dimensiones y el número de espiras que tiene, aunque para calcular el coeficiente k del muelle las medidas que nos interesan son las longitudes del muelle con el peso del vehículo con y sin pasajeros y los pesos:

Tabla 4.16. Datos de muelles traseros.

| DATOS DE MUELLES TRASEROS | |
|--|-----------|
| El diámetro del muelle | 120 mm |
| Longitud de muelle con ruedas al vuelo | 205 mm |
| Longitud del muelle con peso del vehículo L_1 | 185 mm |
| Longitud del muelle con peso de vehículo y dos personas de unos 80 kg cada uno L_2 | 145 mm |
| Peso que soporta el eje trasero con el peso del vehículo solo | 435,21 kg |
| Cada muelle trasero soporta sin ocupantes p_1 | 217,61 kg |
| Peso que soporta el eje trasero con 2 personas | 544 kg |
| Cada muelle delantero soporta con 2 personas p_2 | 272 kg |

Para el cálculo la constante del muelle “k” hemos cogido la longitud y el peso con dos personas.

$$\Delta F = -k * \Delta x$$

$$L_1 = 185 \text{ mm}$$

$$L_2 = 145 \text{ mm}$$

$$-F_1 = p * g = 217.61 \text{ kg} * 9.81 = 2134.75 \text{ N}$$

$$-F_2 = p * g = 272 \text{ kg} * 9.81 = 2668.32 \text{ N}$$

$$k = \frac{|\Delta F|}{|\Delta x|} = \frac{2668.32 \text{ N} - 2134.75 \text{ N}}{145 \text{ mm} - 185 \text{ mm}} = 13.34 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

$$k = 13339.25 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

4.2. RESTRICCIONES ENTRE PIEZAS Y GRADOS DE LIBERTAD

4.2.1. RESTRICCIONES DE LA SUSPENSIÓN DELANTERA

La suspensión delantera es una suspensión independiente de tipo McPherson, la suspensión está compuesta en cada lado por el brazo de suspensión, la mangueta, el amortiguador y los tirantes de dirección como se observa en la Figura 4.29. La mangueta y el amortiguador lo podemos considerar la misma pieza porque está unida por tornillos y no hay movimiento entre ambas piezas.

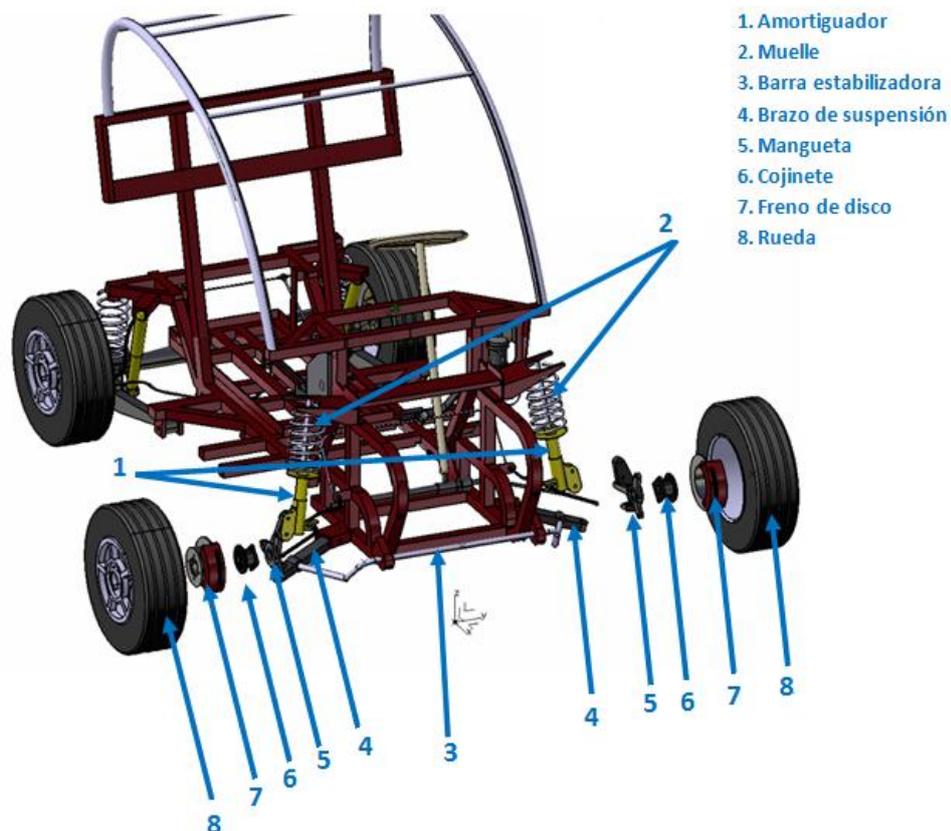


Figura 4.29. Suspensión delantera McPherson

En la (Figura 4.30) podemos observar cómo van unidas los diferentes elementos entre sí en ambos lados por igual. La suspensión en la parte derecha del vehículo, el amortiguador está ensamblado al chasis en el punto P_{211} (Figura 4.30). Los grados de libertad permiten que el amortiguador se pueda mover angularmente en todas las direcciones pero no tiene translación en el eje. Entre los puntos P_{203} y P_{111} , entre el amortiguador y su vástago habrá un grado de libertad con un movimiento de translación. El amortiguador está unido solidario a la mangueta mediante pernos, con lo cual ambos se mueven solidarios. La mangueta está unida al brazo de suspensión mediante una rótula en el punto P_{203} , y también al tirante de la dirección mediante otra rótula en P_{205} . Estas rótulas solo permiten que el movimiento entre piezas sean

angular en todas las direcciones. Y por último el brazo de suspensión esta unido al chasis mediante un tornillo en el punto P₂₀₄, que permite que el brazo de suspensión se mueva angularmente respecto del eje del tornillo, es decir, solo tendría un grado de libertad respecto a un eje. También tenemos la barra estabilizadora que está unida al chasis mediante silentblocs al chasis y a los brazos de suspensión, estos silentbloc permiten que tenga un movimiento angular en todas la direcciones y tengan un movimiento muy pequeño entre las piezas en las que se encuentra el silentblocs, pero en los ensayos no la hemos tenido en cuenta porque no permite esas restricciones.

Las restricciones que hay son del amortiguador respecto del chasis permite un movimiento angular. El amortiguador tiene un movimiento longitudinal del vástago con respecto del cilindro. El amortiguador como podemos observar en la Figura 4.30, cuando el vehículo se encuentra si ocupantes, solamente con su peso, la longitud del muelle es de 260 mm.

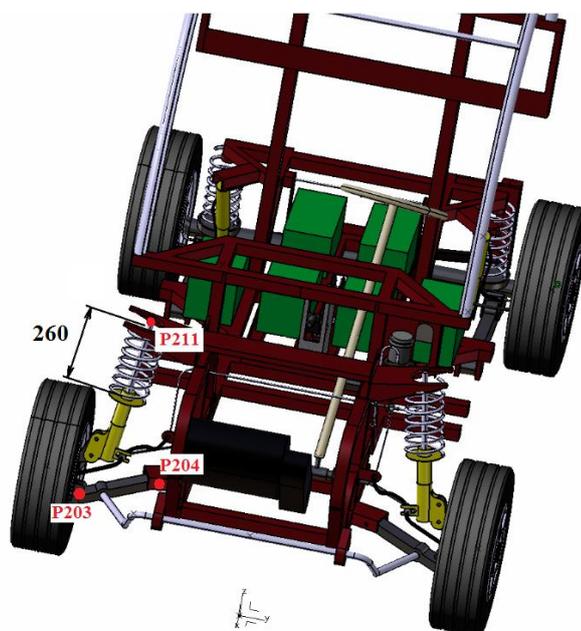


Figura 4.30. Longitud del muelle con el peso del vehículo.

Los límites que restringen el movimiento total de la suspensión están restringidos por el muelle, siendo el limite cuando la rueda esta al vuelo de 270 mm. El muelle al tener 8 espiras y la sección es de 11 mm haría tope a los 88 mm, aunque antes de llegar a ese límite del muelle tiene un tope en el amortiguador que toca antes cuando el muelle tiene una longitud de 140 mm, aunque a esos límites no llegara porque en realidad no tendrá que absorber esfuerzos tan grandes la suspensión.

Con los cual los límites están cuando la longitud de los muelles está entre 140 mm y 270 mm.

4.2.2. RESTRICCIONES DE LA SUSPENSIÓN TRASERA

La suspensión trasera cuenta con una suspensión rígida de brazos tirados con muelles y amortiguador independiente y una barra Panhard como se puede observar en la Figura 4.31.

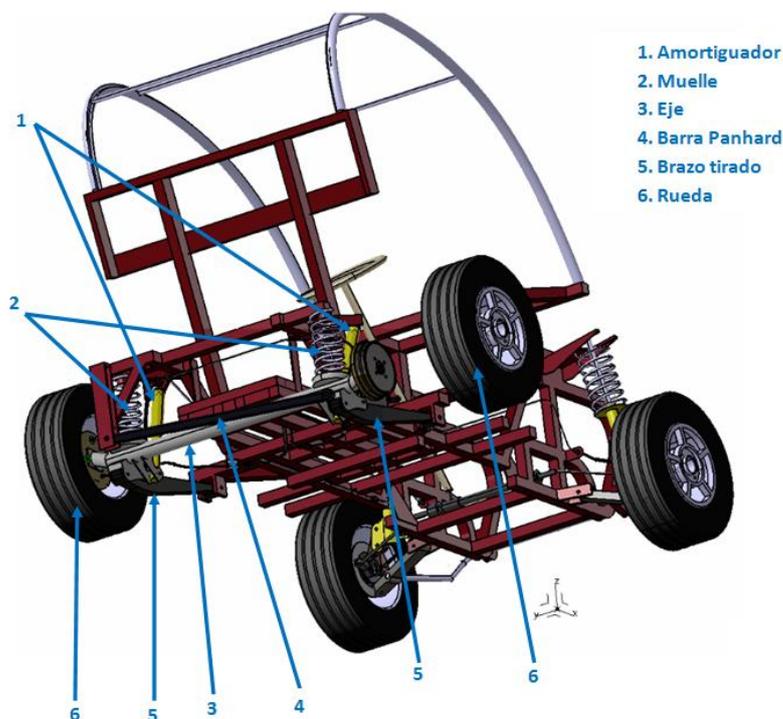


Figura 4.31. Componentes de la suspensión trasera

Para que en Catia y en el simulador nos permita que el vehículo amortigüe como en la realidad, debido a lo restrictivos que son estos programas, hemos anclado la suspensión al chasis en los puntos P_{301} y P_{401} (Figura 4.33) con una restricción angular en un punto, con lo cual permite que el brazo se mueva angularmente en todas las direcciones pero no tenga desplazamiento y por otro lado está unido al chasis por la barra Panhard en P_{308} . En el vehículo los brazos tirados están unidos por dos tornillos cada uno, pero para unir en Catia se ha unido solo en uno, P_{303} y P_{403} , y con la restricción de un punto, es decir que se puede mover angularmente en todas las direcciones. Y por último hemos unido el eje a la barra Panhard por una unión en un punto P_{408} .

Las limitaciones del movimiento están relacionadas con longitud del muelle.

El muelle en condiciones normales (Figura 4.32), cuando el vehículo se encuentra sin ocupantes, únicamente con su propio peso, la longitud de los amortiguadores es de 185 mm.

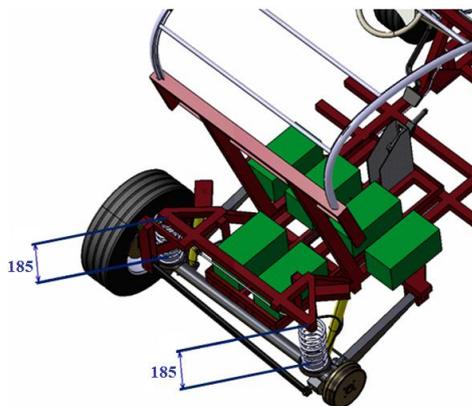


Figura 4.32. Longitud de los muelles traseros.

Cuando las ruedas traseras se encuentran al vuelo, la longitud del muelle se alarga a 205 mm. Y encogido al máximo el muelle, la longitud del muelle sería de 85 mm, ya que tiene 7 espiras y el diámetro de la espiral es de 12 mm.

Con lo cual los límites lo marca la longitud del muelle, está entre 85 mm y 205 mm.

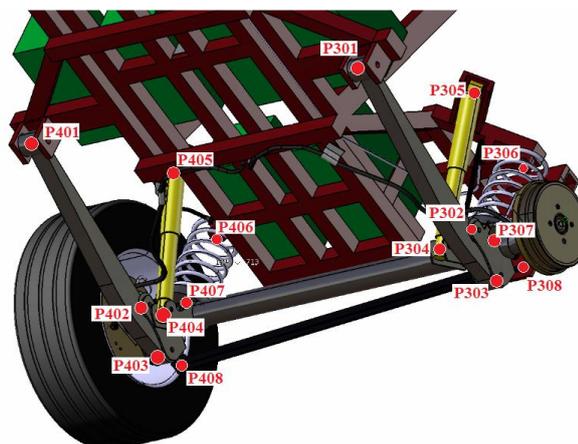


Figura 4.33. Uniones entre los elementos de la suspensión trasera.

4.2.3. RESTRICCIONES DE LA DIRECCIÓN

El vehículo cuenta con un sistema de dirección compuesto por una caja de dirección de cremallera si ningún tipo de sistema de dirección asistida. En la Figura 4.34 se puede observar de forma explosionada los componentes de la dirección en el coche modelado.

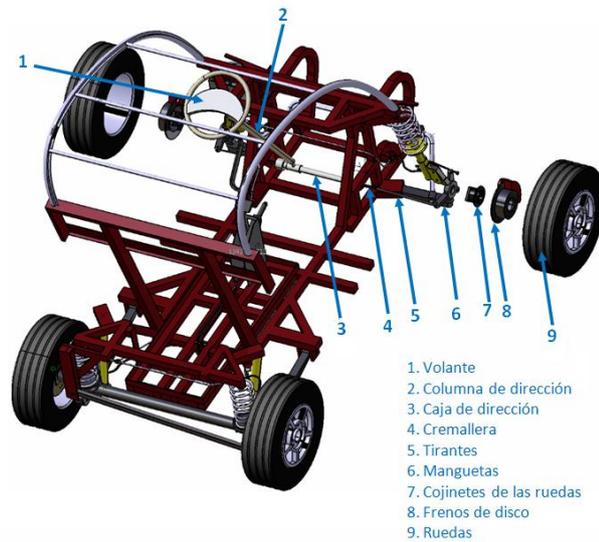


Figura 4.34. Componentes de la dirección

En el sistema de dirección tenemos que introducir la restricción de cremallera que se mueve de forma rectilíneo transversal dentro de la caja de dirección que se encuentra anclada al chasis. La cremallera hace un recorrido idéntico en ambas direcciones, la distancia del recorrido de la cremallera cuando las ruedas se encuentran en línea recta hasta el giro máximo de las ruedas es de 53 mm.

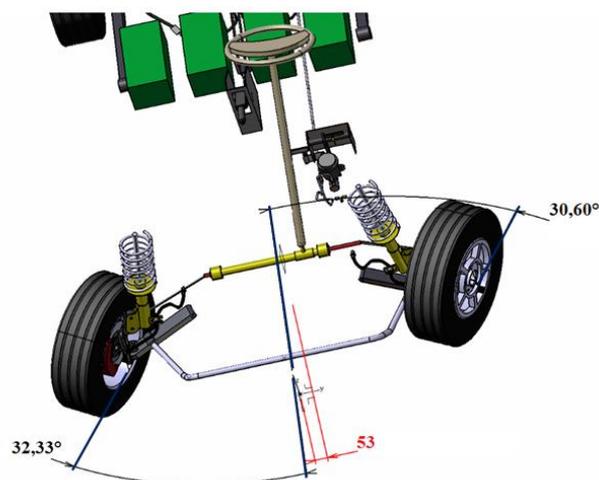
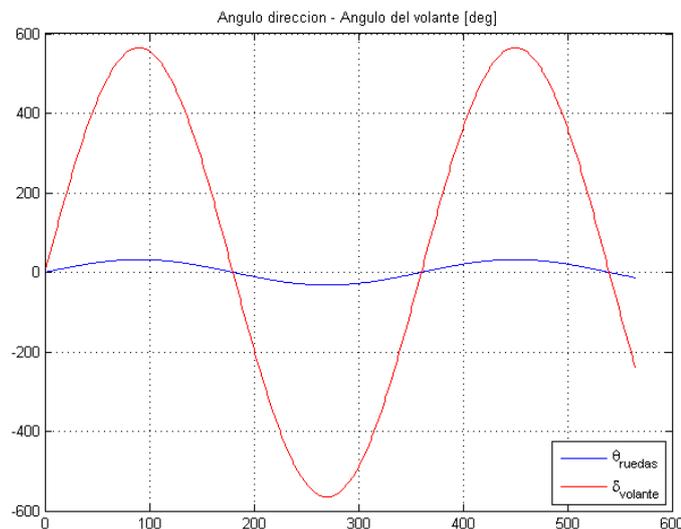


Figura 4.35. Restricciones de la dirección

Gracias al diseño de las manguetas se consigue que cuando giramos el volante a izquierda o a la derecha, la rueda que se queda en el interior de la curva tenga un mayor ángulo de giro. En este vehículo, cuando la dirección esta girada al máximo el ángulo de la rueda que esta que se encuentra en la parte interior de la curva tiene un giro máximo de 32.33° y la rueda de la parte exterior de 30.60° .

La relación de giro de las ruedas con respecto al giro del volante es $32/565 \approx 1/18$. El volante gira 3,139 vueltas de entre topes o lo que es lo mismo 1130° . En la grafica 4.1 podemos observar la relación entre el giro del volante y de las ruedas.

Los ángulo en el ensayo real se han medido con dos IMUS que se situaron en las ruedas y con el encoder que hay colocado en el volante. El encoder está unido mediante una correa a la columna de dirección. La polea en la columna de dirección es de mayor diámetro que la polea del encoder, hay una relación 16/60



Grafica 4.1. Ángulo de volante y dirección

4.3. RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS MANIOBRAS

La primera prueba que se ha realizado es el ensayo en línea recta. Se acelera hasta una determinada velocidad y después se frena hasta parar el vehículo por completo.

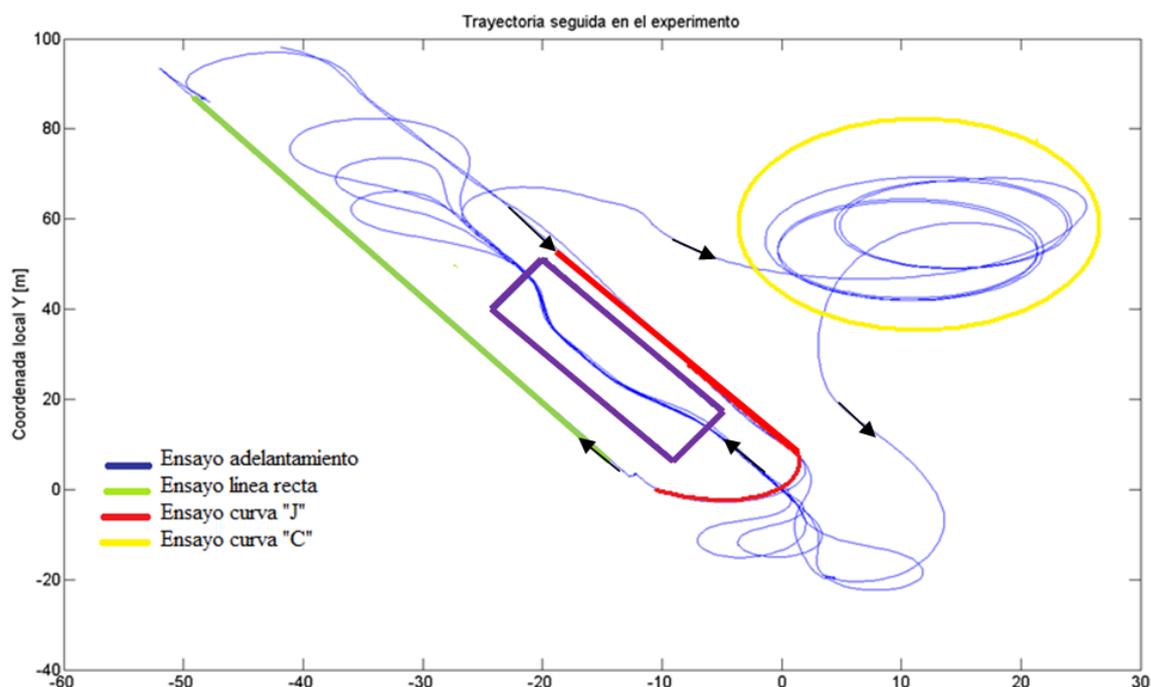
Después se hizo el giro "J" es una simulación de un giro para ver el comportamiento del vehículo y de la suspensiones. La prueba se realiza a una velocidad de 5 m/s.

La prueba siguiente fue la de cambio de carril, se acelera hasta 5 m/s y se realiza el recorrido sin tirar ningún pivote.

La siguiente prueba realizada es el giro máximo de la dirección en un sentido y manteniéndola y con el vehículo parado se empieza a aumentar la velocidad hasta que el vehículo empieza a perder adherencia en los neumáticos delanteros o en los traseros.

Por último la prueba realizada es la de cambio de carril, simulando un adelantamiento a un vehículo que se encuentra parado. Esta prueba se realiza con el vehículo y se realiza la simulación. La velocidad también es de unos 5 m/s. Al hacerlo con el vehículo se obtiene también datos del giro del volante, aceleraciones y velocidades laterales.

Se han realizado diferentes pruebas para ver el comportamiento dinámico del vehículo. Se han hecho pruebas prácticas con el vehículo y simulaciones y poder comparar los resultados obtenidos por los sensores del vehículo y los resultados de la simulación. Los datos del GPS en los ensayos reales que hemos realizado con el vehículo se pueden ver en la Grafica 4.2.



Grafica 4.2. Ensayos realizados en parking de la UAL

Estas pruebas sirven para comprobar el comportamiento de un vehículo cuando realiza diferentes maniobras. Un cuerpo en 3D se puede girar en tres o seis grados de libertad en tres ejes ortogonales. Estos movimientos son tres de rotación (Roll que en español es el balanceo o bamboleo, Pitch que es el cabeceo y Yaw que es el guiñado) y tres movimientos de translación (que son los movimientos que sufre el vehículo paralelos a los ejes axiales longitudinal "Surge", transversal "Sway" y vertical "Heave").

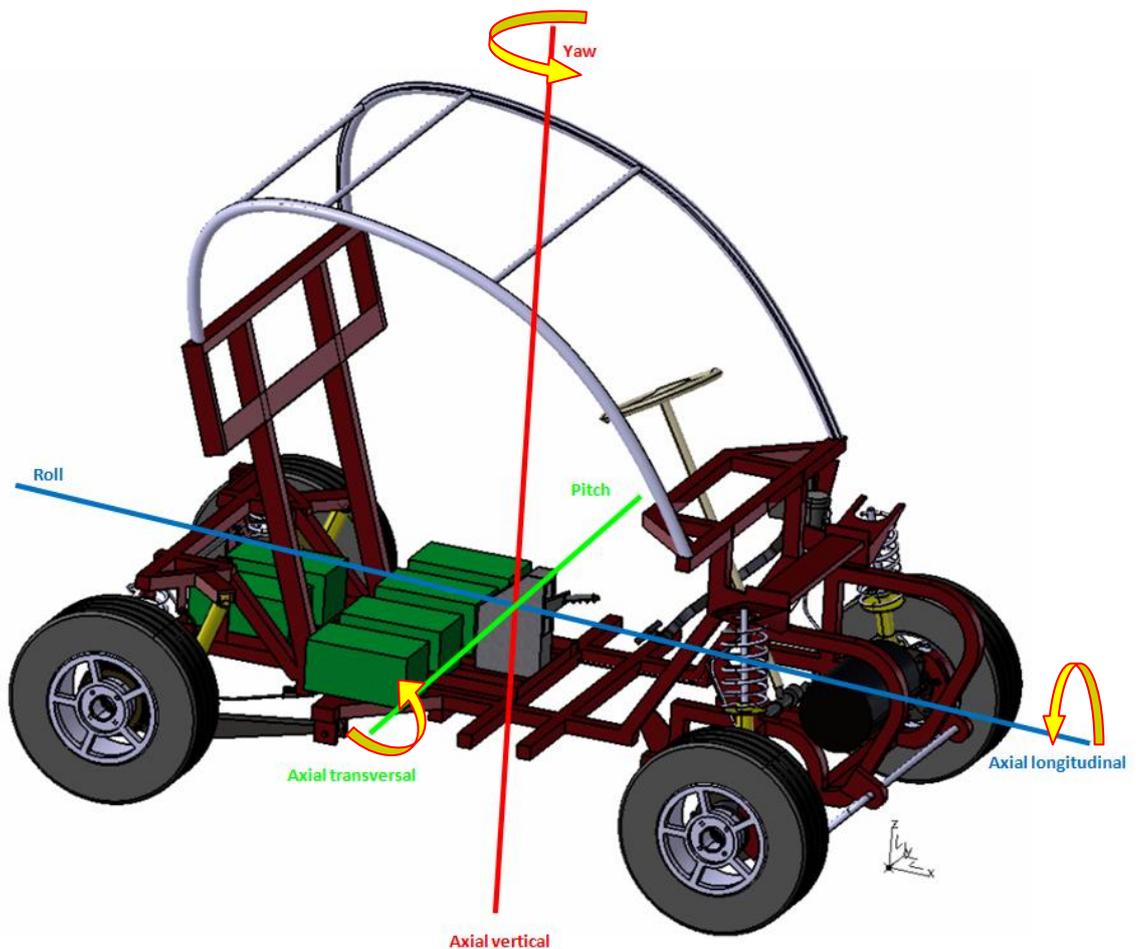
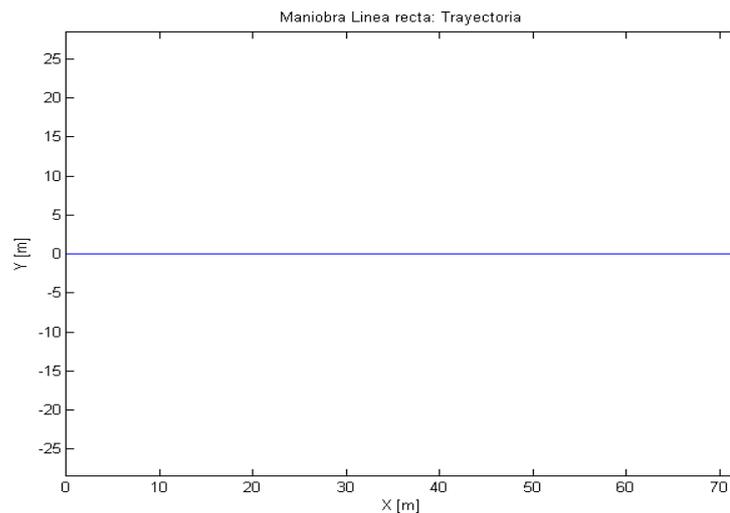


Figura 4.36. Ejes axiales en el vehículo modelado.

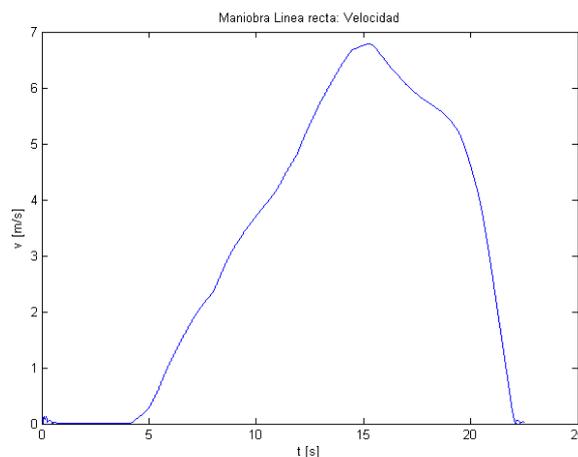
4.3.1. SIMULACIÓN EN LÍNEA RECTA

La primera prueba es para comprobar el comportamiento del vehículo en línea recta con el vehículo parado, se acelera hasta una velocidad de unos 6.8 m/s y se frena hasta detener por completo el vehículo. En la grafica 4.3 se observa que el vehículo avanza en línea recta en el “eje x” paralelo al eje longitudinal del vehículo, recorriendo una longitud de unos 70 metros.



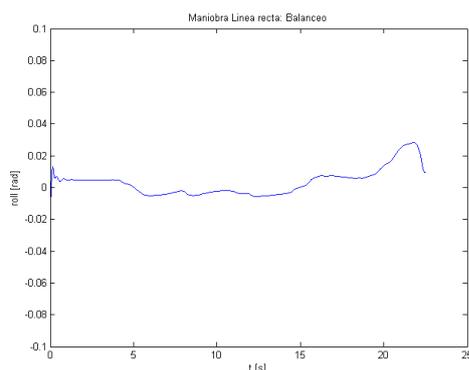
Grafica 4.3. Trayectoria en línea recta

En la grafica 4.4 se observa la maniobra la velocidad a la que se realiza la maniobra, en esta maniobra se comienza con el vehículo en parado y se empieza a acelerar hasta llegar a una velocidad máxima de 6.8 m/s a los 15 segundo, en ese momento se empieza a disminuir la velocidad hasta quedar el vehículo totalmente parado. La maniobra con trayectoria en línea recta dura en total 23 segundos.



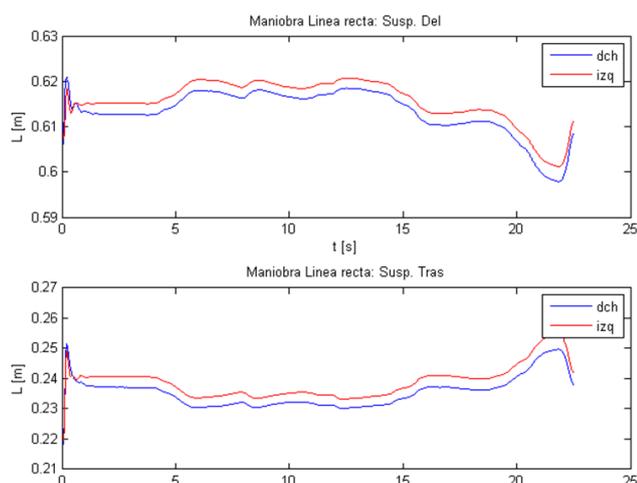
Grafica 4.4. Velocidad del ensayo en línea recta

En la siguiente grafica 4.5 se puede observar el ángulo de balanceo que tiene el vehículo durante la maniobra. Durante los primeros segundos se observa un poco de balanceo hasta que el vehículo se estabiliza por el programa. Los ángulos de balanceo que nos interesa son a partir de los 4 segundos, que es cuando el vehículo empieza a acelerar, se puede observar como el ángulo cuando está acelerando el vehículo es negativo, cuando han transcurrido 15 segundos del comienzo de la maniobra, el vehículo deja de acelerar y empieza a disminuir la velocidad. Se puede observar que en la frenada el ángulo de balanceo se positivo.



Gráfica 4.5. Balanceo en el ensayo en línea recta

En la grafica 4.6, representa la longitud que tienen los muelles durante la simulación. Podemos observar en primer lugar que el vehículo tiene un peso mayor en el lado derecho, esto es debido a que el motor se encuentra en le parte derecha. En la simulación, una vez que el vehículo se ha estabilizada a los 4 segundos, se observa que cuando el vehículo está acelerando la suspensión delantera se alarga y la trasera se encoge y cuando dejamos de acelerar a los 15 segundo se observa que las suspensiones tienen aproximadamente la misma longitud que en parado y conforme empieza a frenar la suspensión delantera se comienza a comprimir y la trasera alarga.

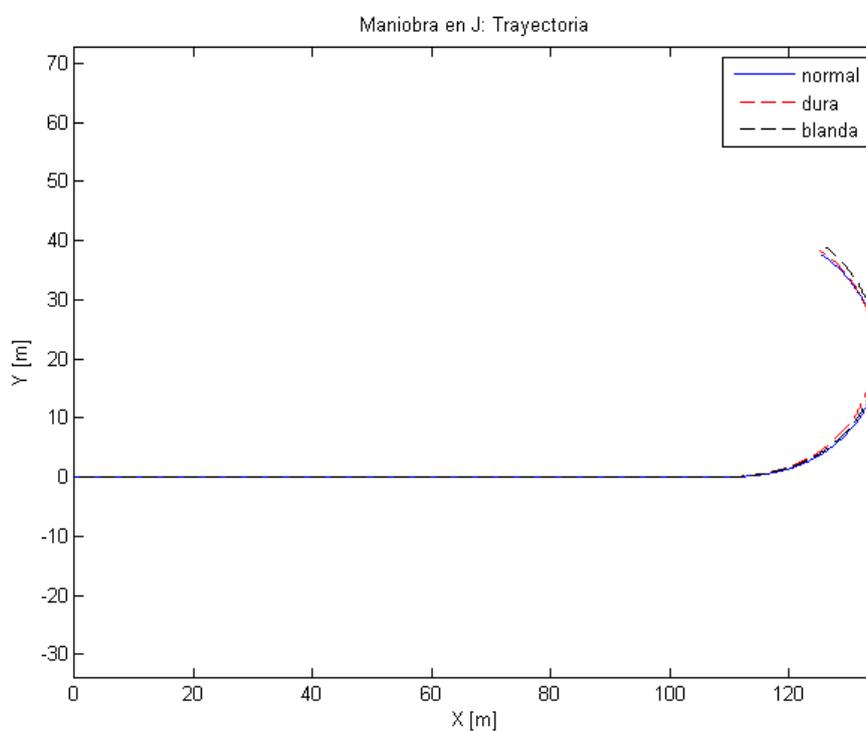


Gráfica 4.6. Comportamiento de las suspensiones

4.3.2. SIMULACIÓN DE GIRO A LA IZQUIERDA “J”

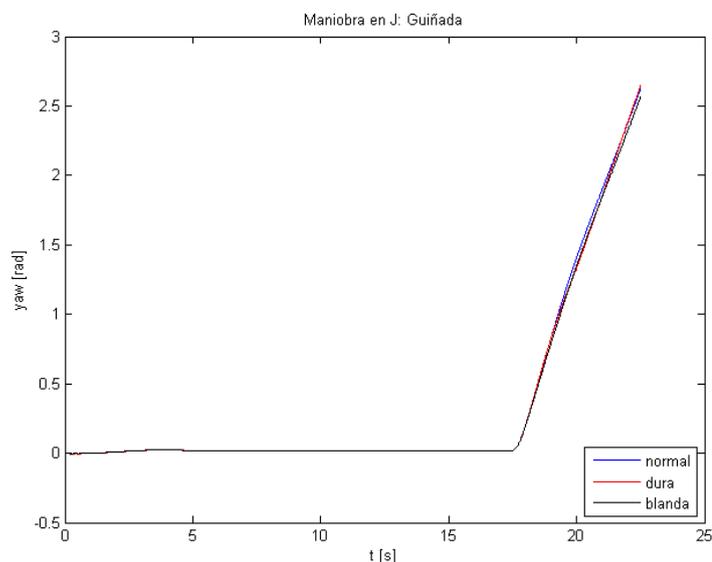
La siguiente simulación consiste en hacer un giro a izquierdas, en esta simulación la el vehículo se va acelerando en línea recta hasta alcanzar una velocidad de unos 12 m/s y realizar un giro a izquierdas. La simulación se ha realizado la misma dureza que tiene los muelles del vehículo del laboratorio, con el coeficiente “k” del muelle que hemos calculado. Y además se han introducido un coeficiente menor y otro mayor al original para comparar como se comportaría el vehículo suspensiones más blandas y con suspensiones más duras.

En la grafica 4.7 se puede observar la trayectoria. El vehículo circula en línea recta unos 110 metros y a partir de los 110 metros se realiza un giro a izquierdas con un ángulo constante.



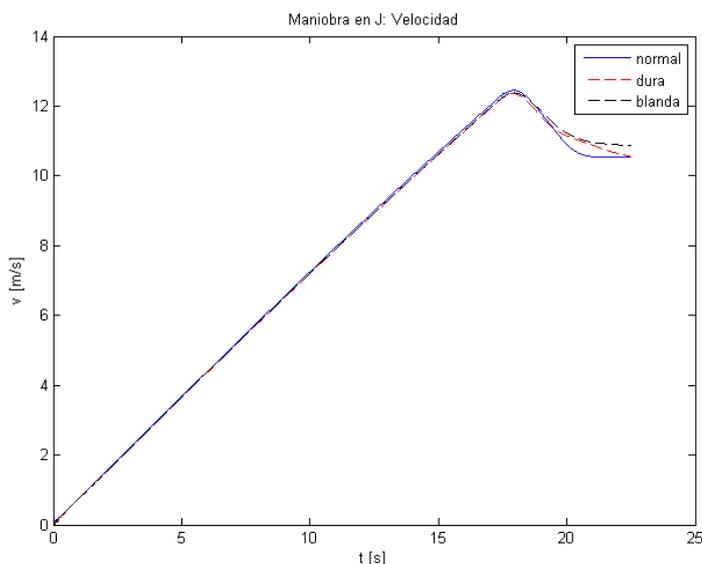
Grafica 4.7. Trayectoria del ensayo de giro en forma de “J”.

En la grafica 4.8 nos muestra el ángulo de guiñado del vehículo, que es el ángulo que se encuentra el “eje x” o “eje longitudinal” del vehículo con respecto al “eje x” de la trayectoria. El giro se observa como comienza a los 18 segundos hasta los 23 segundos. Podemos observar como con una suspensión más dura se consigue un mayor giro.



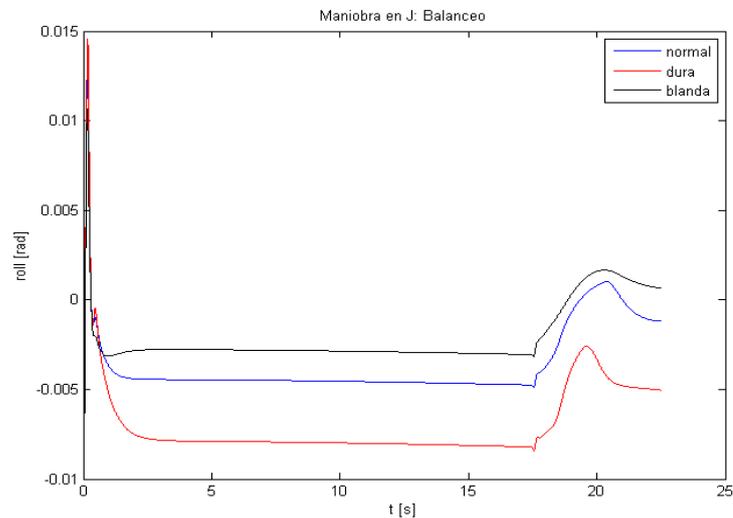
Grafica 4.8. Guiñado en el ensayo “J”

En la grafica 4.9 se representa la velocidad durante la simulación. Se observa como el vehículo empieza a acelerar hasta alcanzar una velocidad de 12 m/s cuando ha transcurrido unos 18 segundos. A partir de los 18 segundos empieza a girar hacia la izquierda y también se produce una disminución de la velocidad.



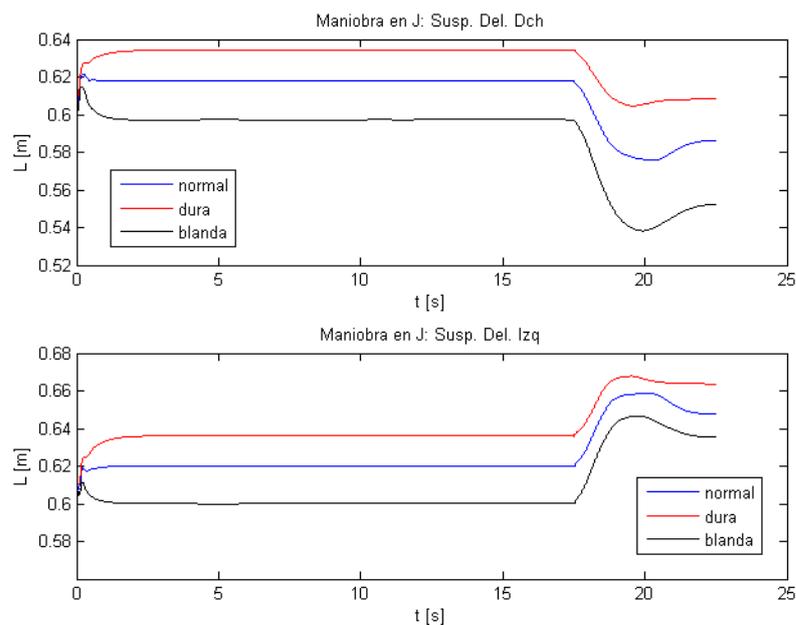
Grafica 4.9. Velocidad en el ensayo “J”

La grafica 4.10 nos muestra el balanceo del vehículo. A partir de los 4 segundos el vehículo ya se estabiliza en el simulador. Aquí si comparamos las diferentes durezas de la suspensiones se puede observar que cuando la dureza es mayor, aunque el ángulo de balanceo, el tiempo en estabilizarse el vehículo es menor.



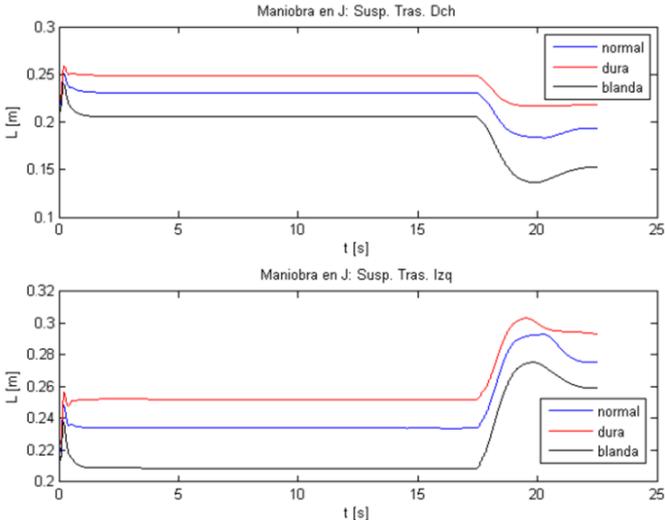
Grafica 4.10. Balanceo en ensayo “J”

En la grafica 4.11 nos muestran las longitudes de las suspensiones a lo largo de la maniobra. Se puede observar como la que en ambas graficas al ser el tiro a izquierda los muelles del lado derecho disminuyen de longitud a comenzar el giro en el segundo 18 y los muelles de lado izquierdo aumenta.



Grafica 4.11. Comportamiento de las suspensiones delantera en ensayo “J”

Otra cosa que se puede observar en ambas graficas es que con suspensiones más duras la variación de longitud en el giro es menor, y con lo cual como se ve en la grafica 4.12 ángulo el balanceo es menor.

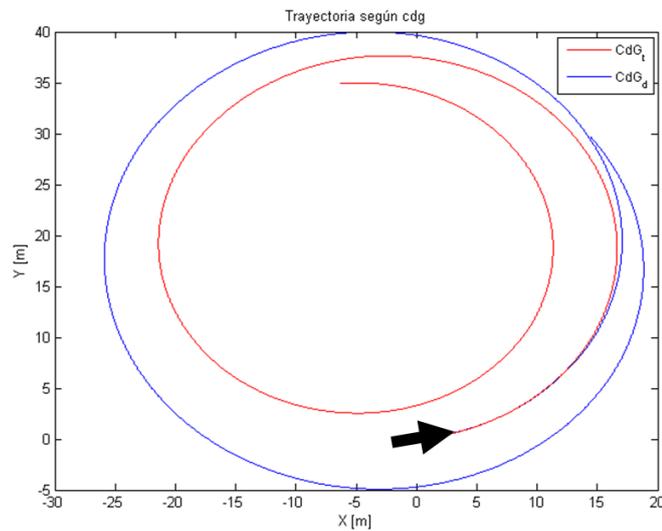


Graficas 4.12. Longitud de las suspensiones trasera durante el ensayo en “J”

4.3.3. ANALISIS DE VIRAJE

[15, 16] En esta simulación se hace una prueba para comprobar si el vehículo del laboratorio tiene sobreviraje o subviraje y se compara con otro vehículo con el centro de gravedad en la parte delantera, igual que ocurre con los vehículos convencionales con motor de combustión en la parte delantera.

En la grafica 4.13 se compara la trayectoria del vehículo eléctrico, que sería la línea azul en la grafica, el vehículo sobrevireje, en cambio el vehículo con el centro de gravedad en la parte delantera, que sería el representado con la línea roja, se comprueba que el vehículo tiene subviraje.

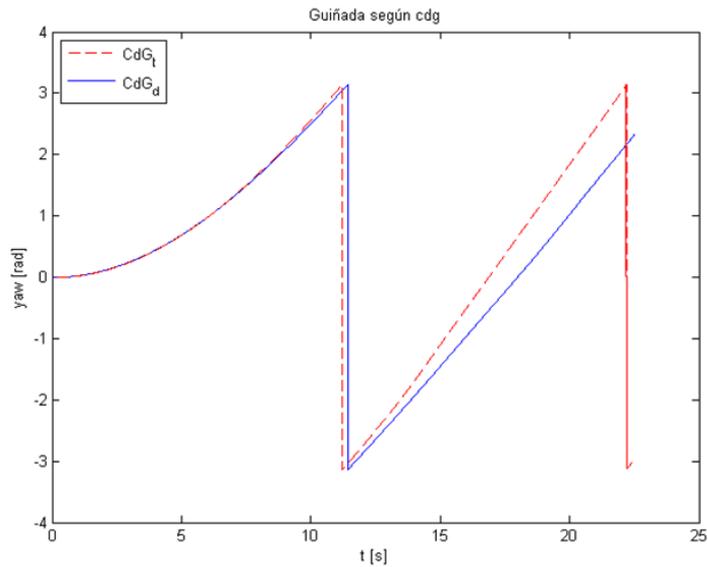


Grafica 4.13. Trayectoria de ensayo en "C"

Como podemos comprobar en las siguientes formulas según donde esté ubicado el centro de gravedad el vehículo tendrá sobreviraje (cuando el CdG está se encuentra en la parte trasera) o subviraje (cuando el CdG está se encuentra en la parte delantera). Como en la simulación solo hemos cambiado el centro de gravedad, el resto de parámetros son iguales, se cumple esta formula

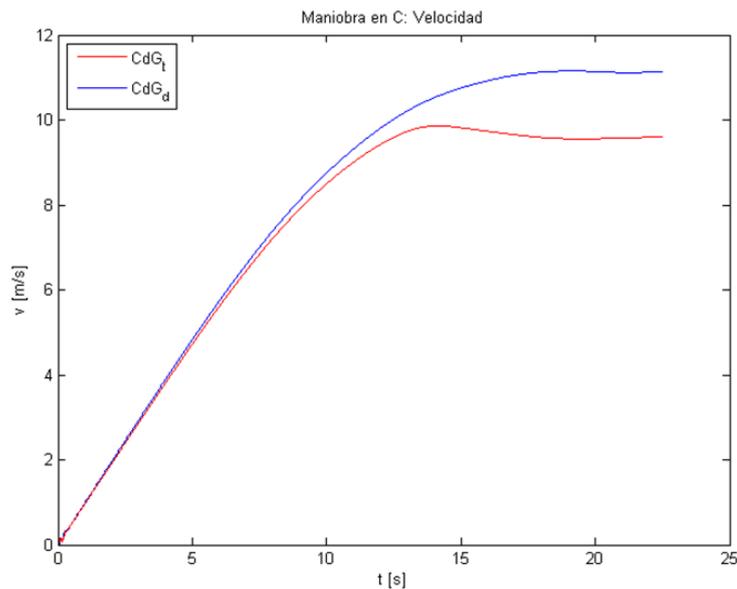
| | |
|---|--|
| $\alpha_f = W_f V^2 / (C_{\alpha f} g R)$ $\alpha_r = W_r V^2 / (C_{\alpha r} g R)$ $\delta = 57.3 L/R + \alpha_f - \alpha_r$ | δ = Ángulo de las ruedas delanteras L = Distancia entre ruedas R = Radio de viraje V = Velocidad g = gravedad W _f = Carga en el eje delantero W _r = Carga en el eje trasero C _{αf} = Curva de rigidez de los neumáticos delanteros C _{αr} = Curva de rigidez de los neumáticos delanteros |
| Neutral: $W_f/C_{\alpha f} = W_r/C_{\alpha r} \rightarrow K=0 \rightarrow \alpha_f = \alpha_r$ | |
| Subviraje: $W_f/C_{\alpha f} > W_r/C_{\alpha r} \rightarrow K > 0 \rightarrow \alpha_f > \alpha_r$ | |
| Sobreviraje: $W_f/C_{\alpha f} < W_r/C_{\alpha r} \rightarrow K < 0 \rightarrow \alpha_f < \alpha_r$ | |

En la grafica 4.14 representa los grados de guiñado que hay entre el eje longitudinal del vehículo con respecto al eje x de la trayectoria. Se puede ver como el vehículo con el centro de gravedad trasero gira antes que el del el del centro de gravedad delantero. En la simulación se observa como el vehiculo con CdG trasero tarda unos 25 segundos en hacer un giro de 360° y el que tiene el CdG delante 23 segundos.



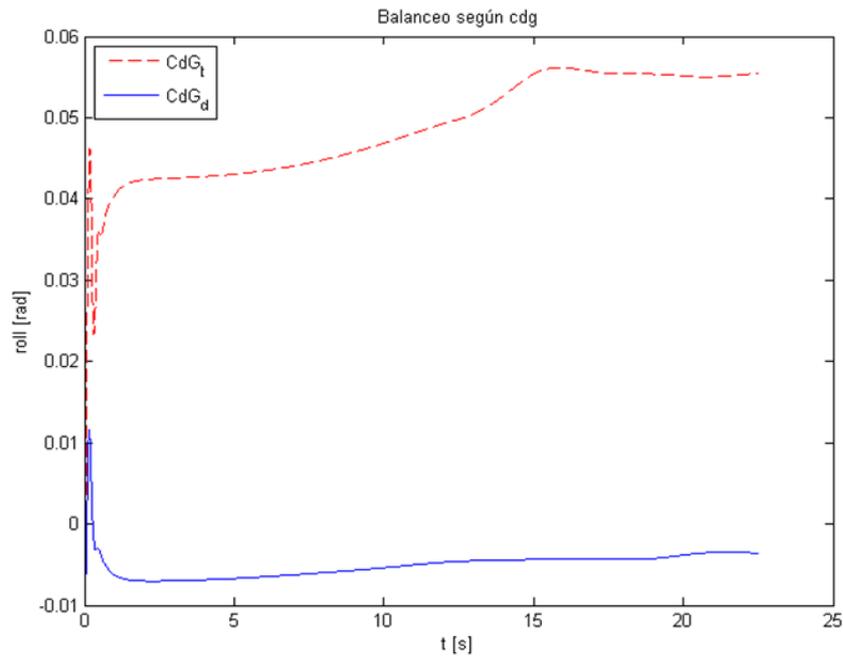
Grafica 4.14. Guiñado en el ensayo “C”

La velocidad también varía cuando se empieza a producir el sobreviraje (representado con la línea roja) o subviraje (representada con la línea azul) como se puede ver en la grafica 4.15. Cuando se produce un sobreviraje se disminuye más bruscamente la velocidad.



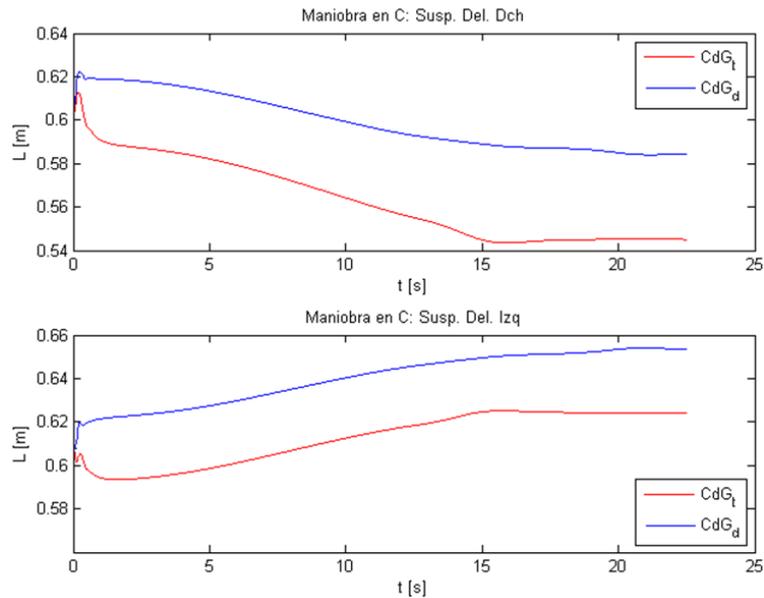
Grafica 4.15. Velocidad en ensayo en “C”

El ángulo de balanceo cambia dependiendo de donde se encuentre el centro de gravedad del vehículo como vemos en la grafica 4.16. El vehículo con sobreviraje se balancea a la izquierda y el que tiene subviraje se balancea a la derecha, aunque el balanceo que se observa no es muy grande.

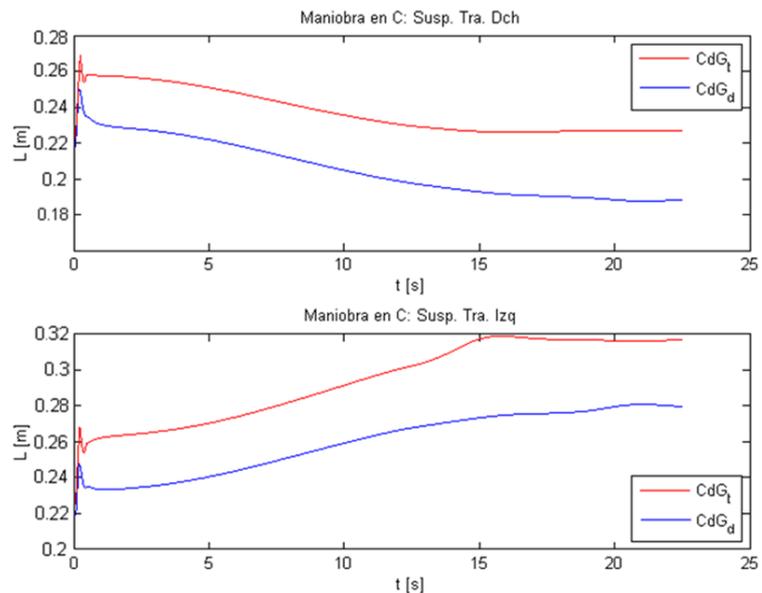


Grafica 4.16. Balanceo en el ensayo en "C"

En las graficas 4.17 y 4.18 se comparan cómo se comportan los muelles dependiendo de donde colocamos los centros de gravedad. Cuando el centro de gravedad se encuentra en la parte delantera la suspensiones delanteras se encogen más que en cuando el centro de gravedad está en la parte trasera. En los las suspensiones traseras pasa al contrario. Y los al ser el giro a izquierdas la suspensión del lado derecho se encoge y la izquierda de alarga.



Graficas 4.17. Suspensiones delanteras

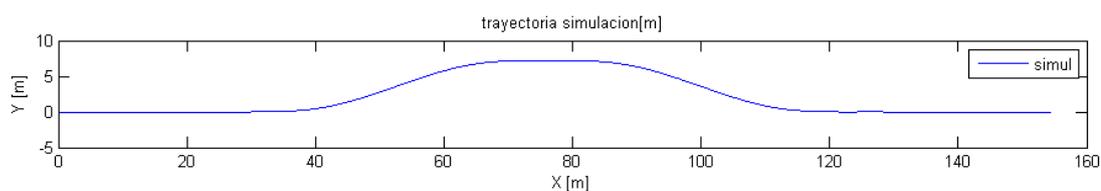


Graficas 4.18. Suspensiones traseras

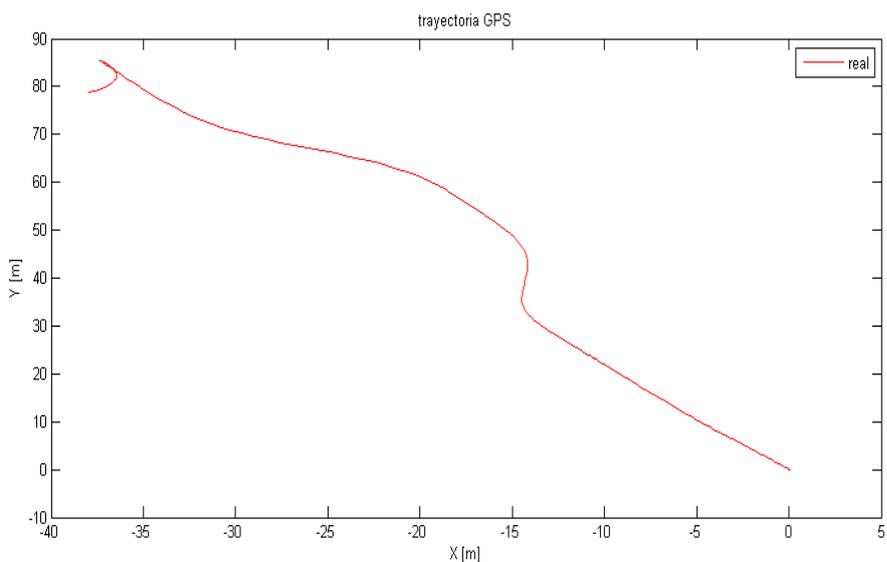
4.3.4. PRUEBA DE ADELANTAMIENTO A VEHÍCULO PARADO

Se ha realizado este ensayo de maniobra de adelantamiento con el propio vehículo en los aparcamientos de la universidad y también se ha realizado la simulación del mismo recorrido con el vehículo que hemos modelado en Catia.

En las graficas 4.19 tenemos la trayectoria de la simulación y en la grafica 4.20 se recoge la trayectoria en el ensayo real, con los datos que se recoge el GPS del vehículo.

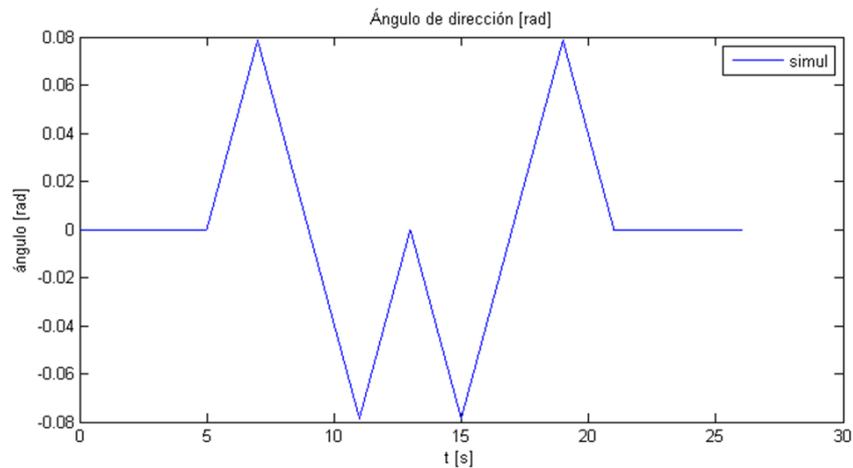


Gráfica 4.19. Trayectoria de adelantamiento en la simulación



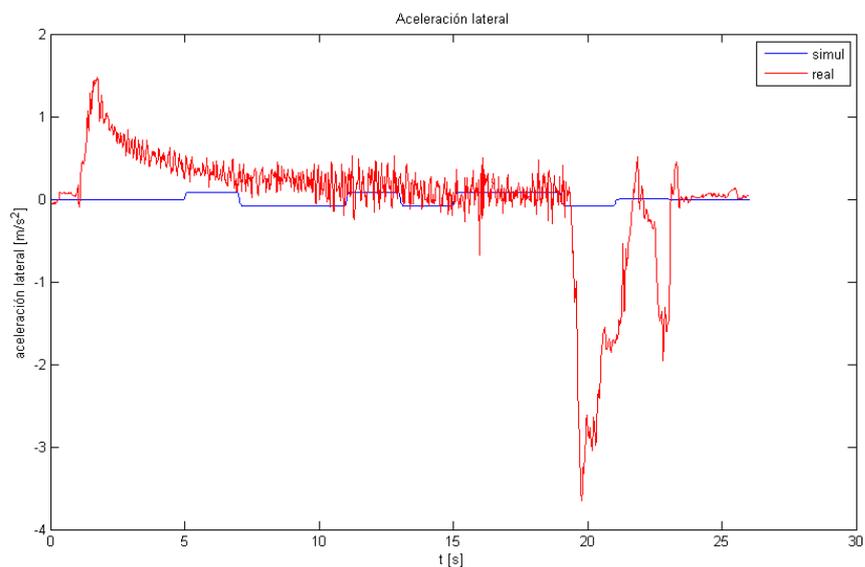
Gráfica 4.20. Trayectoria de adelantamiento en el ensayo real

En la grafica 4.21 refleja el ángulo de las ruedas durante la maniobra en la simulación.



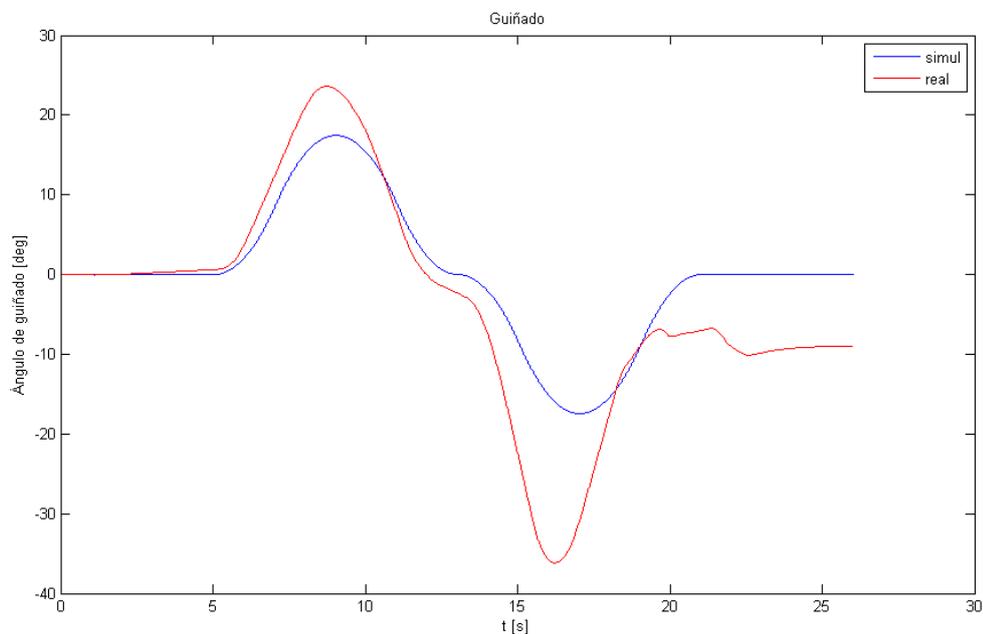
Gráfica 4.21. Ángulo de las ruedas en el ensayo de adelantamiento

La grafica 4.22 compara las aceleraciones laterales de la simulación y la aceleración lateral de la prueba real. Se puede observar que el sensor que mide la aceleración lateral del vehículo no funciona bien del todo, hay que seguir trabajando con este sensor para mejorarlo, porque el sensor es un sensor muy ruidoso.

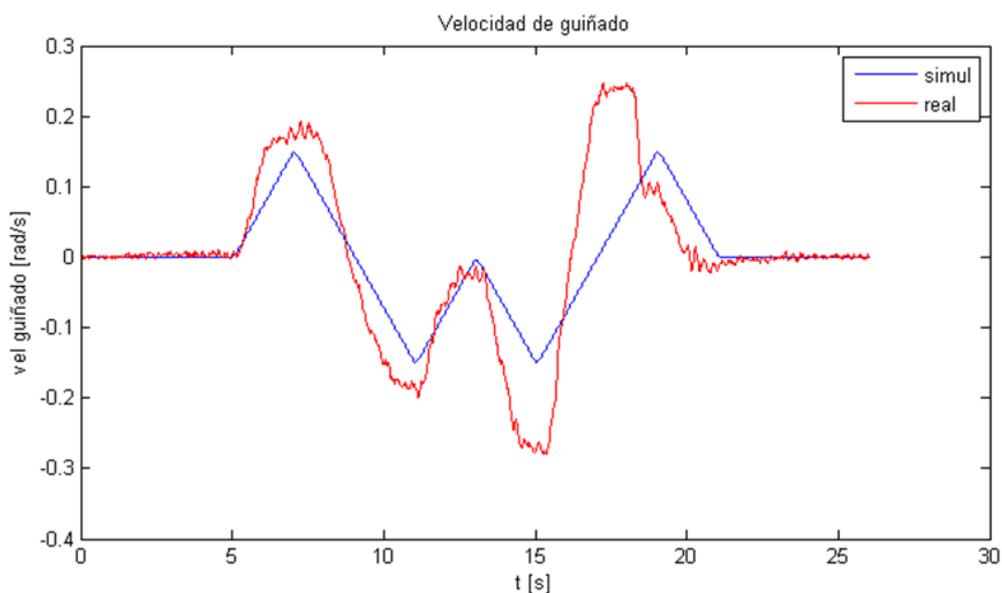


Gráfica 4.22. Aceleración lateral en el ensayo de adelantamiento

La grafica 4.23 nos indica a lo largo del ensayo el ángulo de guiñado el vehículo con respecto a su eje axial vertical. Y en la grafica 4.24 la velocidad de guiñado. El guiñado y la velocidad del guiñado si salen datos muy parecidos del vehículo del laboratorio en la prueba real y la simulación con el vehículo que hemos modelado.



Gráfica 4.23. Guiñado en el ensayo de adelantamiento



Gráfica 4.24. Velocidad de guiñado en el adelantamiento

4.3.5. PRUEBA DE ADELANTAMIENTO A VEHÍCULO EN MARCHA

[8] El proceso de adelantamiento se compone de los procesos de cambio de carril, paso por el lado del otro vehículo y cambio al carril original. Puede hacerse bajo las condiciones más variadas, por lo que resulta difícil tenerlas en cuenta para el cálculo. Por ello, para las soluciones del cálculo y gráficas, a continuación se consideran sólo dos casos extremos: El adelantamiento a velocidad constante (que es nuestro caso) y el adelantamiento con aceleración constante.

Para la representación gráfica es conveniente descomponer la distancia de adelantamiento s_u en dos subtramos y despreciar el desplazamiento lateral necesario para pasar por el lado del otro vehículo.

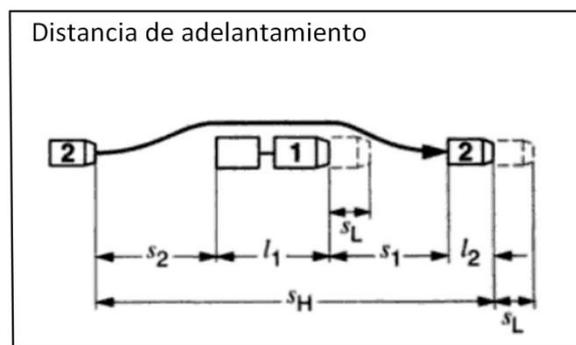


Figura 4.37. Distancia de adelantamiento

| Magnitud | | Unidad |
|------------|-------------------------------------|---------|
| a | Aceleración | m/s^2 |
| l_1, l_2 | Longitud del vehículo | m |
| s_1, s_2 | Distancia de seguridad | m |
| s_H | Trayecto relativo de quien adelanta | m |
| s_L | Trayecto relativo del adelantado | m |
| s_u | Distancia de adelantamiento | m |
| t_u | Tiempo de adelantamiento | s |
| v_L | Velocidad del vehículo más lento | km/h |
| v_H | Velocidad del vehículo más rápido | km/h |

Distancia de adelantamiento

$$s_u = s_H + s_L$$

El trayecto s_H recorrido por el vehículo más rápido, con respecto al más lento, que se mantiene en su trayectoria, está compuesto por las longitudes de los vehículos l_1 y l_2 y las distancias de seguridad s_1 y s_2 .

$$s_H = s_1 + s_2 + l_1 + l_2$$

Durante el tiempo de adelantamiento t_u , el vehículo más lento recorre el trayecto s_L , que también debe ser recorrido por el vehículo más rápido para mantener la distancia de seguridad.

$$s_L = \frac{t_u \cdot v_L}{3.6} \text{ (para } v \text{ en km/h)}$$

La distancia de seguridad

Debe corresponder, por lo menos, al trayecto recorrido durante el tiempo previo al frenado t_{vz} . Con un tiempo previo al frenado $t_{vz}=1.08s$ y velocidades en km/h, sería $(0.3 \cdot v)$ metros. No obstante, fuera de zonas urbanas, es recomendable un mínimo de $(0.5 \cdot v)$ metros.

Adelantamiento a velocidad constante

En carreteras con más de dos carriles, con frecuencia el vehículo que adelanta tiene ya la velocidad necesaria cuando comienza el adelantamiento (desde el comienzo de salida de su carril hasta el regreso al mismo) es entonces:

$$t_u = \frac{3.6 \cdot s_H}{v_H - v_L}$$

Distancia de adelantamiento:

$$s_u = \frac{s_H \cdot v_H}{v_H - v_L}$$

El adelantamiento se realizara entre las dos redondas que se encuentran por detrás de la biblioteca de la universidad de Almería. Este tramo tiene una distancia total de 550 metros y no tiene pendiente. La maniobra que se realizara de adelantamiento consiste en el adelantamiento de un coche convencional que circula a una velocidad constante de 50 km/h con el vehículo eléctrico a una velocidad constante de 60 km/h.

CACULO DE LA MANIOBRA DE ADELANTAMIENTO DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO:

Datos:

$$v_L = \text{cte} = 60 \text{ km/h}$$

$$v_H = \text{cte} = 50 \text{ km/h}$$

$$a_L = a_H = 0 \text{ m/s}^2$$

$$l_1 = 4.57 \text{ m}$$

$$l_2 = 2.64 \text{ m}$$

Calculo de distancia total del adelantamiento s_u :

$$s_u = s_H + s_L = 62.21 \text{ m} + 310.97 \text{ m} = \mathbf{373.17 \text{ m}}$$

Trayectoria relativa de quien adelanta s_H :

$$s_H = s_1 + s_2 + l_1 + l_2 = 4.57 \text{ m} + 2.64 \text{ m} + 25 \text{ m} + 30 \text{ m} = 62.21 \text{ m}$$

$$s_1 = 0.5 \cdot 50 \text{ km/h} = 25 \text{ m}$$

$$s_2 = 0.5 \cdot 60 \text{ km/h} = 30 \text{ m}$$

Trayectoria de adelantamiento s_L :

$$s_L = \frac{t_u \cdot v_L}{3.6} \left(\text{para } v \text{ en } \frac{\text{km}}{\text{h}} \right) = \frac{22.39 \text{ s} \cdot 50 \text{ km/h}}{3.6} = 310.97 \text{ m}$$

$$t_u = \frac{3.6 \cdot s_H}{v_H - v_L} = \frac{3.6 \cdot 62.21 \text{ m}}{60 \text{ km/h} - 50 \text{ km/h}} = \mathbf{22.39 \text{ s}}$$

Con lo cual la maniobra de adelantamiento requiere una distancia de 373.17 metros y se tarda en realizarlo 22.39 segundos.

5.- CONCLUSIONES

5. CONCLUSIONES

La realización del presente proyecto me ha aportado un amplio conocimiento del sistema de suspensión y de dirección de los vehículos, ampliando los conocimientos adquiridos en estos años en la universidad de Almería, además de trabajar y aprender a manejar diferentes software de diseño en 3D, programación, calculo y para realizar simulaciones por ordenador.

En el estudio los principales objetivos era comparar el comportamiento de la suspensión y dirección del vehículo real y compararlo con la simulación del vehículo del vehículo que hemos modelado en Catia. Aunque los resultados obtenidos son similares, aún habría que seguir trabajando en el estudio y perfeccionarlo, añadiéndole más parámetros para conseguir datos que se asemejen más a los que se obtienen con el modelo real, ya que los datos que se han obtenido se utilizaran para cuando se cree el software para la automatización del vehículo. Los datos obtenidos son necesarios para la implementación de controladores que permitan una conducción autónoma del vehículo.

Un dato muy interesante que se ha obtenido empíricamente es que el vehículo tiene sobreviraje, es decir, que en una curva, las ruedas del eje traseras del vehículo son las primeras que pierden adherencia. Esto se debe a que el centro de gravedad se encuentra en por detrás del centro del vehículo, aunque para el tipo de vehículo que es y la baja velocidad que puede llegar a alcanzar el comportamiento es bueno.

A pesar de la falta de información por parte parámetros del vehículo de los cuales no tenemos suficiente información por parte del fabricante, los resultados de la simulación, por lo general coinciden con los experimentales a excepción de algunos sensores que recogen un alto nivel de ruido. En algunos casos, debido a lo restrictivo que son los programas de diseño, a la hora de ensamblar las piezas hay que hacerlo de modo sencillo.

De las pruebas de adelantamiento solo se ha podido realizar el ensayo de adelantamiento a otro vehículo estacionado. Por motivos de seguridad no se ha realizado el ensayo de adelantamiento a otro vehículo en marcha, pero se ha calculado las distancias de seguridad en el adelantamiento.

También debemos mencionar la importancia de estudiar todo el sistema en conjunto, y se ha comprobado que el comportamiento en conjunto de las suspensiones y de la dirección es muy bueno para este tipo de vehículo que no alcanza velocidades elevadas. Es muy importante estudiar el conjunto de las suspensiones y dirección, ya que si se estudian por separado el comportamiento de los diferentes sistemas sean eficientes pero no sean compatibles para montarlos en el mismo vehículo. Y es por este tipo de aspectos por las que son tan importantes el diseño por ordenador y poder hacer simulaciones antes de empezar a realizar prototipos, en los cuales habría que invertir mucho tiempo y recursos económicos.

Se ha comprobado que con la herramienta de diseño como Catia V5, se pueden ahorrar mucho tiempo y dinero ya que se puede estudiar el comportamiento de las suspensiones y

de la dirección en conjunto sin necesidad de construir prototipos físicos en una fase temprana del proceso de diseño.

Aunque este no es el caso. En este proceso se ha realizado el proceso ingeniería inversa, porque nuestro vehículo ya lo teníamos en el laboratorio, hemos tenido que modelar vehículo que ya teníamos, para el sector automovilístico esta herramienta evita tener que hacer varios prototipos y modificaciones en ellos, ya que con esta herramienta se pueden obtener aproximaciones bastante cercanas a la realidad.

De las graficas hemos obtenido mucha información que nos es muy útil. Entre los datos que nos han dado la grafica podemos destacar que nuestro vehículo tiene sobreviraje, es decir, que las ruedas trasera son las primeras que pierden adherencia en el paso por curva a alta velocidad. También se ha comprobado que cuando se aumenta la dureza del muelle, conseguimos que la dirección sea más precisa, consiguiendo que el vehículo a alta velocidad gire mejor, y el balanceo es menor. El gran inconveniente que tiene al aumentar la dureza del muelle excesivamente, el vehículo es menos confortable, ya que no absorbe las irregularidades de la calzada.

En último lugar, tras la realización de este proyecto, se puede obtener información que tienen mayor repercusión para la implementación de controladores encaminados a la conducción del vehículo autónomamente ensayo nos será muy útil a la hora de automatizar el vehículo. Ya que podemos comprobar si en el conjunto de sensores hay alguno que no está actuando de forma correcta, como hemos comprobado que ocurre en el sensor que nos mide la aceleración lateral.

Es muy importante que los datos que recoge cada sensor sean los correctos, ya que si da una mala lectura puede causar un accidente.

6.- LÍNEAS FUTURAS DE TRABAJO EN EL COCHE ELÉCTRICO

6. LÍNEAS FUTURAS DE TRABAJO EN EL COCHE ELÉCTRICO

En un futuro se está trabajando en para crear un vehículo autómata, capaz de circular sin conductor. El grupo de investigación ARM de la Universidad de Almería está ya trabajando en ello. El vehículo ya dispone de varios sensores, GPS, sensores para medir velocidad del vehículo, sensores para saber el ángulo de las ruedas delanteras en todo momento, dos cámaras en la parte delantera y sensores en la parte delantera y trasera para detectar obstáculos, además ya tiene montado un motor en la columna de dirección para girar la dirección en la posición necesaria y un actuador en el pedal de acelerados que permite introducir consignas de velocidad.

Se está realizando también un proyecto sobre el sistema de frenado, al cual también tiene que añadir un motor con sensor de posición para que el vehículo sea capaz de frenar con el motor, y que este pueda frenar con una determinada fuerza, que dependerá de la situación y se pueda variar en función de la maniobra que se realice.

El grupo de investigación ARM quiere montar en el sistema de frenado el motor y sensor para que el vehículo pueda ser frenado de manera automática con el motor que se le quiere adaptar en un principio en el pedal de freno.

Una vez el vehículo tenga todos los sensores necesarios y los motores que actúan en dirección, frenos y motor, habrá que crear un software que sea capaz de controlar el vehículo para que realice la maniobra que quieras de forma precisa y con seguridad.

En último lugar habría que perfeccionar la calibración de algunos sensores, en especial el sensor de aceleración lateral, en el cual se observaba un gran nivel de ruido

7.- BIBLIOGRAFÍA

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] González, T.; Del Río, G; Tena, J; Torres, B. (2001) *Circuitos de Fluidos. Suspensión y Dirección*. Madrid: Editorial Editex, S.A.
- [2] Aparicio Izquierdo, F; Vera Álvarez, V y Díaz López, V. (2001). *Teoría de los Vehículos Automóviles (2 ed.)*. Madrid: ETS Ingenieros Industriales.
- [3] Arias-Paz, (2004). *Manual de Automóviles (55 ed.)*. Madrid: Editorial Dossat S.L.
- [4] Ribas Lagares, J. [en línea]. Actualizada: 12 de Junio de 2009 [Fecha de consulta: 10 de Octubre de 2013] <http://www.muchocatia.es>
- [5] Agüero Rubio, J. (2011). *Apuntes de la asignatura "Elasticidad y Resistencia de Materiales"*. Almería: Universidad de Almería.
- [6] García Lázaro, J. R. (2010). *Apuntes de la asignatura "Fundamentos de Informática"*. Almería: Universidad de Almería, 2010.
- [7] Ortiz Berrocal, L. (2002). *Elasticidad*. McGraw-Hill.
- [8] Bosch, R. (2005). *Manual de la técnica del automóvil. (4 ed.)*. Barcelona: Reverte.
- [9] Macías Iglesias, J. A. (2005). *Matlab. Una introducción con ejemplos prácticos*. Barcelona: Reverte
- [10] Torres Ripa, J. (2010) *Manual de estilo chicago-Deusto, edición adaptada al español* (16 ed). Bilbao:Deusto.
- [11] Villar Pérez, C.P. (2013). Proyecto Fin de Carrera: Estudio sobre instalación, montaje y funcionamiento de un codificador para calcular posición y velocidad de un vehículo eléctrico. Almería: Universidad de Almería.
- [12] Blender. [en línea]. *Blender* [Fecha de consulta: 15 de Diciembre de 2013] <http://www.blender.org>
- [13] Pastorino, R. (2012). Tesis Doctoral: *Experimental validation of multibody model for a vehicle prototype and its application to automotive state observers*. Coruña: Universidad da Coruña.
- [14] Calvo Rodriguez, A. (2007). Proyecto Fin de Carrera: Diseño y análisis de un chasis para un prototipo de fórmula SAE. Madrid: Universidad pontifica de comillas.
- [15] Casqueiro Placer, C.; Suárez García, J. A.; Vilán Vilán, J. A.; Cereijo Fernández, S. (2007). *Análisis del comportamiento dinámico de un automóvil dotado de asiento basculante*. Vigo: Área Ingeniería Mecánica. Universidad de Vigo.

- [16] Font Mezquita, J.; Dols Ruiz, J. R. (2006). *Tratado sobre automóviles*. Valencia: Editorial de la UPV.

Paginas web consultadas:

- [W 1] www.aficionadosalamecanica.net: Sistemas de suspensión y de dirección
- [W 2] http://noticias.motorflash.com/noticias_del_motor/audi-a-la-vanguardia-de-la-innovacion-en-construccion-ligera/: Información sobre chasis de aluminio.
- [W 3] http://www.formula1-dictionary.net/motions_of_f1_car.html: Grados de libertad.
- [W 4] <http://f1framework.blogspot.com.es/2012/08/f1-aero-glossary.html>: Grados de libertad.
- [W 5] http://www.sick-automation.ru/images/File/pdf/DIV01/drs60_61.pdf: Data sheet del encoder.
- [W 6] file:///D:/Downloads/NI_USB-6210.pdf: Data sheet de la tarjeta NI-USB-6210

8.- ANEXOS

8. ANEXOS

ANEXO A. SOFTWARE PROGRAMADO

DIRECCIÓN

```
% ensayo simulacion.m
% Se realiza un bucle recorriendo posiciones angulares del volante en el
% se calcula la distancia que se desplaza la cremallera para que con esta,
% mediante una aproximacion cinematica basada en las medidas
% experimentales, se obtenga el angulo girado por las ruedas (angulo de
% direccion.
clear
close all
% -----%
% constantes
% -----%
Zvolante = 61; Zencoder = 15; % n° de dientes corona y pinon polea
i_polea = Zvolante/Zencoder; % i = w_encoder/w_volane
cuadrilatero = 32/55; % grados de las ruedas por mm de la cremallera
r_eq = 1/((565*pi/180)/55); % radio equivalente del pinon wrt cremallera
% Inicializacion vectores
ang_ruedas = zeros(565,1);
theta_volante = zeros(565,1);
% -----%
% calculo del angulo de direccion
% -----%
for i=1:565
    theta_volante(i) = (565*(pi/180))*sin(i*(pi/180));
    d_crem = theta_volante(i)*r_eq;
    ang_ruedas(i) = d_crem*cuadrilatero;
end
% -----%
% representacion grafica
% -----%
figure
plot(ang_ruedas)
hold on
plot(theta_volante*180/pi,'r')
legend('\theta_{volante}', '\delta_{ruedas}')
title('Angulo direccion - Angulo del volante [deg]')
grid on
```

MANIOBRAS

```
clear
close all
load recta; load J1, load J2, load J3, load C1; load C2;

%-----%
% Trayectoria recta
%-----%

figure
plot(X_recta,Y_recta)
axis equal
title('Maniobra Linea recta: Trayectoria')
xlabel('X [m]')
ylabel('Y [m]')
figure
plot(t,v_recta)
title('Maniobra Linea recta: Velocidad')
xlabel('t [s]')
ylabel('v [m/s]')
figure
plot(t,roll_recta)
title('Maniobra Linea recta: Balanceo')
xlabel('t [s]')
ylabel('roll [rad]')
ylim([-0.1,0.1])
figure
subplot(2,1,1)
plot(t,s10_recta,t,s20_recta,'r')
title('Maniobra Linea recta: Susp. Del')
xlabel('t [s]')
ylabel('L [m]')
legend('dch','izq')
subplot(2,1,2)
plot(t,s30_recta,t,s40_recta,'r')
title('Maniobra Linea recta: Susp. Tras')
xlabel('t [s]')
ylabel('L [m]')
legend('dch','izq')

% -----
%
% Trayectoria en J
% -----
%
figure
plot(X_J1,Y_J1)
hold on
plot(X_J2,Y_J2,'--r')
plot(X_J3,Y_J3,'--k')
hold off
```

```
axis equal
legend('normal', 'dura', 'blanda')
xlabel('X [m]')
ylabel('Y [m]')
title('Maniobra en J: Trayectoria')
```

```
figure
plot(t,v_J1)
hold on
plot(t,v_J2, '--r')
plot(t,v_J3, '--k')
hold off
legend('normal', 'dura', 'blanda')
xlabel('t [s]')
ylabel('v [m/s]')
title('Maniobra en J: Velocidad')
```

```
figure
plot(t,roll_J1, 'b')
hold on
plot(t,roll_J2, 'r')
plot(t,roll_J3, 'k')
hold off
legend('normal', 'dura', 'blanda')
xlabel('t [s]')
ylabel('roll [rad]')
title('Maniobra en J: Balanceo')
```

```
figure
plot(t,yaw_J1, 'b')
hold on
plot(t,yaw_J2, 'r')
plot(t,yaw_J3, 'k')
hold off
legend('normal', 'dura', 'blanda')
xlabel('t [s]')
ylabel('yaw [rad]')
title('Maniobra en J: Guiñada')
```

```
figure
subplot(2,1,1)
plot(t,s10_J1, 'b'), hold on
plot(t,s10_J2, 'r')
plot(t,s10_J3, 'k'), hold off
title('Maniobra en J: Susp. Del. Dch')
xlabel('t [s]')
ylabel('L [m]')
legend('normal', 'dura', 'blanda')
subplot(2,1,2)
plot(t,s20_J1, 'b'), hold on
plot(t,s20_J2, 'r')
plot(t,s20_J3, 'k'), hold off
```

```
title('Maniobra en J: Susp. Del. Izq')
xlabel('t [s]')
ylabel('L [m]')
legend('normal', 'dura', 'blanda')
```

```
figure
subplot(2,1,1)
plot(t,s30_J1, 'b'), hold on
plot(t,s30_J2, 'r')
plot(t,s30_J3, 'k'), hold off
title('Maniobra en J: Susp. Tras. Dch')
xlabel('t [s]')
ylabel('L [m]')
legend('normal', 'dura', 'blanda')
subplot(2,1,2)
plot(t,s40_J1, 'b'), hold on
plot(t,s40_J2, 'r')
plot(t,s40_J3, 'k'), hold off
title('Maniobra en J: Susp. Tras. Izq')
xlabel('t [s]')
ylabel('L [m]')
legend('normal', 'dura', 'blanda')
```

```
%-----%
% Trayectoria en Circulo
%-----%
```

```
figure
plot(X_C1,Y_C1)
hold on
plot(X_C2,Y_C2, 'r')
hold off
legend('CdG_t', 'CdG_d')
xlabel('X [m]')
ylabel('Y [m]')
title('Trayectoria según cdg')
```

```
figure
plot(t,v_C1, 'b'), hold on
plot(t,v_C2, 'r'), hold off
legend('CdG_t', 'CdG_d')
xlabel('t [s]')
ylabel('v [m/s]')
title('Maniobra en C: Velocidad')
```

```
figure
plot(t,roll_C1)
hold on
plot(t,roll_C2, '--r')
hold off
legend('CdG_t', 'CdG_d')
```

```
xlabel('t [s]')
ylabel('roll [rad]')
title('Balanceo según cdg')

figure
plot(t,yaw_C1)
hold on
plot(t,yaw_C2,'--r')
hold off
legend('CdG_t','CdG_d')
xlabel('t [s]')
ylabel('yaw [rad]')
title('Guiñada según cdg')

figure
subplot(2,1,1)
plot(t,s10_C1,'b'), hold on
plot(t,s10_C2,'r'), hold off
title('Maniobra en C: Susp. Del. Dch')
xlabel('t [s]')
ylabel('L [m]')
legend('CdG_t','CdG_d')
subplot(2,1,2)
plot(t,s20_C1,'b'), hold on
plot(t,s20_C2,'r'), hold off
title('Maniobra en C: Susp. Del. Izq')
xlabel('t [s]')
ylabel('L [m]')
legend('CdG_t','CdG_d')

figure
subplot(2,1,1)
plot(t,s30_C1,'b'), hold on
plot(t,s30_C2,'r'), hold off
title('Maniobra en C: Susp. Tra. Dch')
xlabel('t [s]')
ylabel('L [m]')
legend('CdG_t','CdG_d')
subplot(2,1,2)
plot(t,s40_C1,'b'), hold on
plot(t,s40_C2,'r'), hold off
title('Maniobra en C: Susp. Tra. Izq')
xlabel('t [s]')
ylabel('L [m]')
legend('CdG_t','CdG_d')
```

ADELANTAMIENTO

```
function [] = Bicycle_main()
% Bicycle model main
clear, close all
% adelantamiento: execute this function to generate the dataset .mat file
% if doesnt exist
load experiment
yaw_rate_IMU=measurements.yaw_rate_IMU(1001:2300);
lat_acc_IMU=measurements.lat_acc_IMU(1001:2300);
X_GPS=measurements.X_GPS;
Y_GPS=measurements.Y_GPS;
yaw_IMU=measurements.yaw_IMU(1001:2300); yaw_IMU=yaw_IMU-yaw_IMU(1);
t_IMU = measurements.t_IMU(1001:2300); t_IMU = t_IMU-t_IMU(1);
gt = struct;
gt.params = params_vehicle(1);
gt.dynstate.q = [0 0 0 0 0]';
gt.dynstate.dq = [0 0 0 0 0]';
duration = 26;
At = 0.001;
steps = floor(duration/At);
t = zeros(steps,1);
X = zeros(steps,1);
Y = zeros(steps,1);
lat_acc = zeros(steps,1);
yaw_rate = zeros(steps,1);
yaw = zeros(steps,1);
delta = zeros(steps,1);
for i=1:steps,
    t(i) = i*At; delta(i) = steering(t(i));
    [gt.dynstate.q, gt.dynstate.dq] = dynsimul(gt.params,
gt.dynstate,delta(i));
    X(i) = gt.dynstate.q(3);
    Y(i) = gt.dynstate.q(4);
    yaw_rate(i) = gt.dynstate.q(2);
    yaw(i) = gt.dynstate.q(5)*180/pi;
    lat_acc(i) = gt.dynstate.dq(1);
end

%Grafica del ángulo de dirección

figure
subplot(3,2,1)
plot(t,delta); hold on
legend('simul')
xlabel('t [s]')
ylabel('ángulo [rad]')
title('Ángulo de dirección [rad]'), hold off

%GRAFICA velocidad de guiñado
```

```
figure
subplot(3,2,2)
plot(t,yaw_rate), hold on
plot(t_IMU,yaw_rate_IMU,'r')
legend('simul','real')
xlabel('t [s]')
ylabel('velocidad guiñado [rad/s]')
title('velocidad de guiñado'), hold off
```

`%Grafica aceleración lateral`

```
figure
subplot(3,2,3)
plot(t,lat_acc), hold on
plot(t_IMU,lat_acc_IMU,'r')
legend('simul','real')
xlabel('t [s]')
ylabel('aceleración lateral [m/s^2]')
title('Aceleración lateral'), hold off
```

`%Grafica ángulo de guiñado (grados)`

```
figure
subplot(3,2,4)
plot(t,yaw), hold on
plot(t_IMU,yaw_IMU,'r')
legend('simul','real')
xlabel('t [s]')
ylabel('Ángulo de guiñado [deg]')
title('Guiñado'), hold off
```

`%grafica trayectoria`

```
figure
subplot(3,2,5:6)
plot(X,Y,'b'), hold on
legend('simul')
xlabel('X [m]')
ylabel('Y [m]')
title('trayectoria simulacion[m]'), hold off
```

`%grafica GPS`

```
figure
plot(X_GPS,Y_GPS,'r')
title('trayectoria GPS')
legend('real')
xlabel('X [m]')
ylabel('Y [m]')
end
function delta = steering(t)
steer_gain = 20; % gain:1
```

```
% Steering wheel angle
steer_wheel = 90;           % degrees
steer_angle = steer_wheel*pi/180/steer_gain;
if (t<5) ,delta = 0; end;
if (t>=5 && t<7), delta = steer_angle*(t-5)*0.5; end;
if (t>=7 && t<11), delta = steer_angle-ster_angle*(t-7)*0.5; end;
if (t>=11 && t<13), delta = -steer_angle+ster_angle*(t-11)*0.5; end;
if (t>=13 && t<15), delta = -steer_angle*(t-13)*0.5; end;
if (t>=15 && t<19), delta = -steer_angle+ster_angle*(t-15)*0.5; end;
if (t>=19 && t<21), delta = +steer_angle-ster_angle*(t-19)*0.5; end;
if (t>=21) ,delta = 0; end;
end
```

ANEXO B. DATA SHEET ENCODER CODIFICADOR DRS 60

Incremental Encoder DRS 60/DRS 61, face mount flange

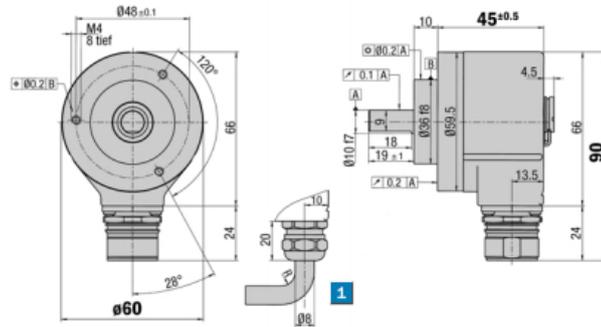
**Number of lines
1 up to 8,192**
Incremental Encoder

- Connector or cable outlet
- Protection class up to IP 66
- Electrical interfaces
TTL and HTL
- Zero-Pulse-Teach via
pressing a button
- DRS 61: number of lines and
zero pulse width can be freely
programmed by the customer



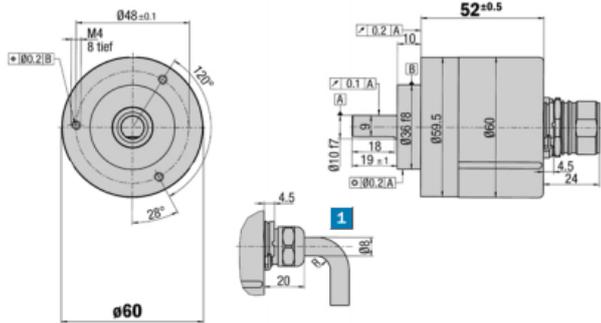
Accessories
Connection systems
Mounting systems
Programming Tool

Dimensional drawing face mount flange radial



1 R = bending radius min. 40 mm General tolerances according to DIN ISO 2768-mk

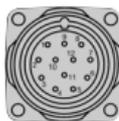
Dimensional drawing face mount flange axial



1 R = bending radius min. 40 mm General tolerances according to DIN ISO 2768-mk

PIN and wire allocation/cable 11 core

| PIN | Signal | Wire colour (Cable outlet) | Explanation |
|-----|-----------|-------------------------------|------------------------------------|
| 1 | \bar{B} | black | Signal line |
| 2 | Sense + | grey | Connected internally to U_s |
| 3 | Z | black | Signal line |
| 4 | \bar{Z} | yellow | Signal line |
| 5 | A | white | Signal line |
| 6 | \bar{A} | brown | Signal line |
| 7 | N. C. | orange | Not connected |
| 8 | B | pink | Signal line |
| 9 | Screen | | Housing potential |
| 10 | GND | blue | Zero volt connected to the encoder |
| 11 | Sense - | green | Connected internally to GND |
| 12 | U_s | red | Supply voltage ³ |



View of the connector M23 fitted to the encoder body

³ Potential free to housing
N. C. =
Not connected

| Technical Data acc. to DIN 32878 | | DRS 60/DRS 61 face mount flange | Flange type |
|--|--|---------------------------------|-------------|
| | | | face m. |
| Solid shaft | 10 mm | | |
| Number of lines per revolution | 00001 up to 08192, see order info | | |
| Electrical interface | TTL/RS 422, 6-channel | | |
| | HTL/push-pull, 6-channel | | |
| Mass ¹⁾ | Approx. 0.3 kg | | |
| Moment of inertia of the rotor | 54 gcm ² | | |
| Measuring step | 90°/number of lines | | |
| Reference signal | | | |
| Number | 1 | | |
| Position ²⁾ | 90° or 180° | | |
| Error limits | | | |
| binary number of lines | 0,035° | | |
| non-binary number of lines | 0,046° | | |
| Measuring step deviation | | | |
| binary number of lines | 0,005° | | |
| non-binary number of lines | 0,016° | | |
| Max. output frequency | | | |
| TTL | 820 kHz | | |
| HTL | 200 kHz | | |
| Operating torque max. | | | |
| with shaft seal | 6,000 min ⁻¹ | | |
| without shaft seal ³⁾ | 10,000 min ⁻¹ | | |
| Max. angular acceleration | 5 x 10 ⁹ rad/s ² | | |
| Operating torque | Typ. 0.3 Ncm | | |
| Start up torque | Typ. 0.4 Ncm | | |
| Permissible shaft loading | | | |
| radial | 20 N | | |
| axial | 10 N | | |
| Bearing lifetime | 3.6 x 10 ⁹ revolutions | | |
| Working temperature range | - 20 ... + 85 °C | | |
| Storage temperature range | - 40 ... + 100 °C | | |
| Permissible relative humidity ⁴⁾ | 90 % | | |
| EMC ⁵⁾ | | | |
| Resistance | | | |
| to shocks ⁶⁾ | 50/11 g/ms | | |
| to vibration ⁷⁾ | 20/10 ... 2000 g/Hz | | |
| Protection class IEC 60529 | | | |
| Connector outlet ⁸⁾ | IP 65 | | |
| Cable outlet | IP 66 | | |
| Operating voltage range | | | |
| Load current TTL/RS 422, 4.5 ... 5.5 V Max. 20 mA | | | |
| TTL/RS 422, 10 ... 32 V Max. 20 mA | | | |
| HTL/push-pull, 10 ... 32 V Max. 60 mA | | | |
| No-load operating current | | | |
| at 10 ... 32 V | Typ. 100 mA | | |
| at 5 V | Typ. 120 mA | | |
| Operation of zero-set ⁹⁾ | ≥ 100 ms | | |
| Initialisation time after power on | 40 ms | | |

¹⁾ Concerning encoder with connector

²⁾ Electrical, logically linked to A and B

³⁾ In case, that shaft seal has been removed by customer

⁴⁾ Condensation of the optical scanning not permitted

⁵⁾ To DIN EN 61000-6-2 and DIN EN 61000-6-3

⁶⁾ To DIN EN 60068-2-27

⁷⁾ To DIN EN 60068-2-6

⁸⁾ With mating connector fitted

⁹⁾ Only with shaft stationary

Order information see page 5

Incremental Encoder DRS 60/DRS 61, face mount flange

Number of lines
1 up to 8,192

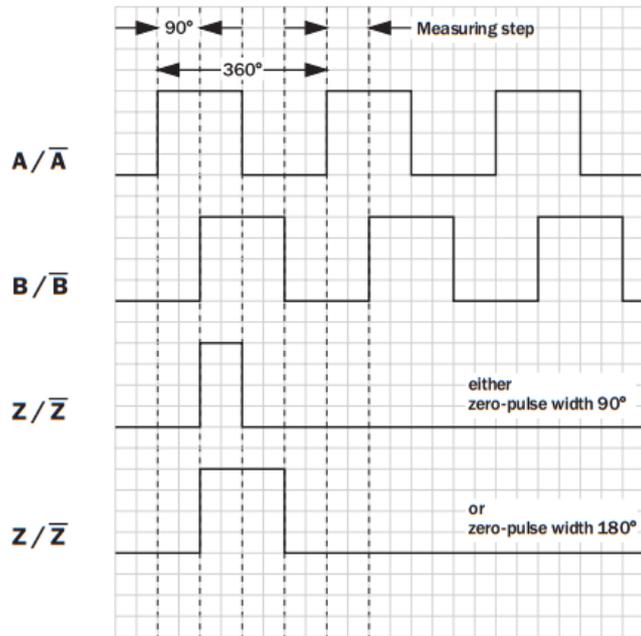
Incremental Encoder

- Connector or cable outlet
- Protection class up to IP 66
- Electrical interfaces
TTL and HTL
- Zero-Pulse-Teach via
pressing a button
- DRS 61: number of lines and
zero pulse width can be freely
programmed by the customer



| Accessories |
|--------------------|
| Connection systems |
| Mounting systems |
| Programming Tool |

Incremental pulse diagram

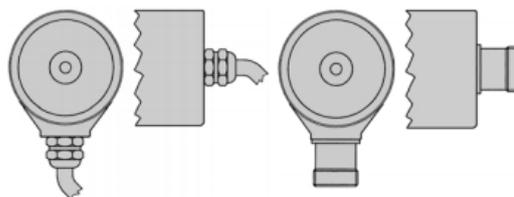


Electrical interface

| | | | |
|--------------------|---------------|--------------|-----------------|
| Supply voltage | 4.5 ... 5.5 V | 10 ... 32 V | 10 ... 32 V |
| Interfaces/drivers | TTL (RS 422) | TTL (RS 422) | HTL (push-pull) |

Connection type

| | | | |
|---------------------------------------|--------------------------------------|---|--|
| <input type="checkbox"/> Cable radial | <input type="checkbox"/> Cable axial | <input type="checkbox"/> Connector radial | <input type="checkbox"/> Connector axial |
|---------------------------------------|--------------------------------------|---|--|



Order information

Incremental Encoder DRS 60, face mount flange, solid shaft

| Point 1 | Point 2 | Point 3 | Point 4 | Point 5 | Point 6 | Point 7 | Point 8 | Point 9 | Point 10 | Point 11 | Point 12 | Point 13 | Point 14 |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|
| D | R | S | 6 | 0 | - | | 4 | | | | | | |

| Electrical interface | |
|----------------------------|---------------------------|
| 4.5 ... 5.5 V, TTL/RS 422 | Zero-pulse width 90° = A |
| 4.5 ... 5.5 V, TTL/RS 422 | Zero-pulse width 180° = B |
| 10 ... 32 V, TTL/RS 422 | Zero-pulse width 90° = C |
| 10 ... 32 V, TTL/RS 422 | Zero-pulse width 180° = D |
| 10 ... 32 V, HTL/push-pull | Zero-pulse width 90° = E |
| 10 ... 32 V, HTL/push-pull | Zero-pulse width 180° = F |

| Mechanical interface | |
|----------------------|-----------------------|
| Face mount flange, | solid shaft 10 mm = 4 |

| Connection type | |
|-------------------------------|-----|
| Connector M23, 12 pin, radial | = A |
| Connector M23, 12 pin, axial | = B |
| Cable 11 core, radial 1.5 m | = K |
| Cable 11 core, radial 3 m | = L |
| Cable 11 core, radial 5 m | = M |
| Cable 11 core, radial 10 m | = N |
| Cable 11 core, axial 1.5 m | = R |
| Cable 11 core, axial 3 m | = S |
| Cable 11 core, axial 5 m | = T |
| Cable 11 core, axial 10 m | = U |

| Number of lines | |
|------------------------------------|-----------------------|
| Each number of lines from 00001 | up to 08192 possible. |
| Always 5 characters in clear text. | |

Order example Incremental Encoder DRS 60

4.5 ... 5.5 V, TTL/RS 422 zero-pulse width 90°; face mount flange; connector M23, 12 pin, radial; number of lines: 360

| Point 1 | Point 2 | Point 3 | Point 4 | Point 5 | Point 6 | Point 7 | Point 8 | Point 9 | Point 10 | Point 11 | Point 12 | Point 13 | Point 14 |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|
| D | R | S | 6 | 0 | - | A | 4 | A | 0 | 0 | 3 | 6 | 0 |



Incremental-Encoder DRS 61 face mount flange, solid shaft (number of lines and zero pulse width can be freely programmed by the customer)

| Point 1 | Point 2 | Point 3 | Point 4 | Point 5 | Point 6 | Point 7 | Point 8 | Point 9 | Point 10 | Point 11 | Point 12 | Point 13 | Point 14 |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|
| D | R | S | 6 | 1 | - | | 4 | | 0 | 8 | 1 | 9 | 2 |

| Electrical interface | |
|----------------------------|-----|
| 4.5 ... 5.5 V, TTL/RS 422 | = A |
| 10 ... 32 V, TTL/RS 422 | = C |
| 10 ... 32 V, HTL/push-pull | = E |

| Mechanical interface | |
|----------------------|-----------------------|
| Face mount flange, | solid shaft 10 mm = 4 |

| Connection type | |
|-------------------------------|-----|
| Connector M23, 12 pin, radial | = A |
| Connector M23, 12 pin, axial | = B |
| Cable 11 core, radial 1.5 m | = K |
| Cable 11 core, axial 1.5 m | = R |

| Number of lines | |
|------------------------------|--|
| Factory-programmed to 8,192. | |

Order example Incremental Encoder DRS 61

4.5 ... 5.5 Volt, TTL/RS 422; face mount flange; connector M23, 12 pin, radial; number of lines: 8,192 (factory-programmed)

| Point 1 | Point 2 | Point 3 | Point 4 | Point 5 | Point 6 | Point 7 | Point 8 | Point 9 | Point 10 | Point 11 | Point 12 | Point 13 | Point 14 |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|
| D | R | S | 6 | 1 | - | A | 4 | A | 0 | 8 | 1 | 9 | 2 |

ANEXO C. DATA SHEET TARJETA NI-USB-6210



Ventas
España
91 640 0085
ni.spain@ni.com

NI USB-6210

DAQ Multifunción de la Serie M de 16 bits, 250 kS/s, Energizado por Bus

- 16 entradas analógicas (16 bits, 250 kS/s)
- 4 entradas digitales; 4 salidas digitales; dos contadores de 32 bits
- Energizado por bus USB para una mayor movilidad, conectividad de señal integrada
- NI Signal Streaming para transferencia de datos sostenida a alta velocidad a través de USB
- Compatibilidad con LabVIEW, LabWindows™/CVI y Measurement Studio para Visual Studio .NET
- El software de NI-DAQmx y software interactivo LabVIEW SignalExpress LE para registro de datos



Información General

El NI USB-6210 es un módulo de adquisición de datos (DAQ) multifunción de la Serie M energizado por bus que está optimizado para una precisión superior a velocidades de muestreo más altas. Ofrece 16 entradas analógicas, una velocidad de muestreo de un solo canal de 250 kS/s, cuatro líneas de entrada digital, cuatro líneas de salida digital, cuatro rangos de entrada programable (± 0.2 V a ± 10 V) por canal, disparo digital y dos contadores/temporizadores.

El USB-6210 está diseñado específicamente para aplicaciones móviles o con restricciones de espacio. La instalación plug-and-play minimiza el tiempo de configuración y montaje mientras que la conectividad directa con terminal de tornillo mantiene los precios bajos y simplifica las conexiones de señal. Este producto no requiere potencia externa.

Este módulo también cuenta con la nueva tecnología NI Signal Streaming, la cual permite transferencia de datos bidireccional a alta velocidad parecida a DMA a través del bus USB. Para mayor información sobre NI Signal Streaming, consulte la sección de Recursos.

Los dispositivos de la Serie M energizados por bus para USB están disponibles en versiones OEM. Consulte la sección de Recursos o use el menú de la izquierda para obtener información técnica y precios.

Software Controlador

El controlador NI-DAQmx y el software de servicios de medida ofrecen interfaces de programación y configuración fáciles de usar con características como el DAQ Assistant para ayudar a reducir el tiempo de desarrollo. Busque la información en la sección de Recursos para aprender más sobre el software controlador o para descargar un controlador. Los dispositivos de la Serie M no son compatibles con el software controlador Traditional NI-DAQ (Legado).

Software de Aplicación

Cada dispositivo de adquisición de datos de la Serie M incluye una copia de NI LabVIEW SignalExpress para que usted pueda adquirir, analizar y presentar los datos rápidamente sin programar. Además de LabVIEW SignalExpress, los dispositivos DAQ de la Serie M son compatibles con las siguientes versiones (o posteriores) de aplicación de software de NI: LabVIEW 7.1, LabWindows/CVI 7.x y Measurement Studio 7.x. Los dispositivos DAQ de la Serie M también son compatibles con Visual Studio .NET, C/C++ y Visual Basic 6.0.

La marca LabWindows se usa bajo una licencia de Microsoft Corporation. Windows es una marca registrada de Microsoft Corporation en Estados Unidos y otros países.

Especificaciones

Documentos con Especificaciones

- Especificaciones (2)

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN Y DIRECCIÓN DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO

| General | |
|--|--------------------------|
| Producto | USB-6210 |
| Familia de Productos | DAQ Multifunción |
| Formato Físico | USB |
| Número de Parte | 780103-01 , 779675-01 |
| Sistema Operativo/Objetivo | Linux , Mac OS , Windows |
| Familia de Productos DAQ | Serie M |
| Tipos de Medida | Voltaje |
| Tipo de Aislamiento | None |
| Compatibilidad con RoHS | Si |
| Potencia USB | Energizado por Bus |
| Entrada Analógica | |
| Canales | 16 , 8 |
| Canales de una sola terminal | 16 |
| Canales Diferenciales | 8 |
| Resolución | 16 bits |
| Velocidad de Muestreo | 250 kS/s |
| Máx. Voltaje de Entrada Analógica | 10 V |
| Rango de Voltaje Máximo | -10 V , 10 V |
| Precisión Máxima del Rango de Voltaje | 2.69 mV |
| Sensibilidad Máxima del Rango de Voltaje | 91.6 μ V |
| Rango de Voltaje Mínimo | -200 mV , 200 mV |
| Minima Precisión del Rango de Voltaje | 0.088 mV |
| Minima Sensibilidad del Rango de Voltaje | 4.8 μ V |
| Número de Rangos | 4 |
| Muestreo Simultáneo | No |
| Memoria Interna | 4095 muestras |

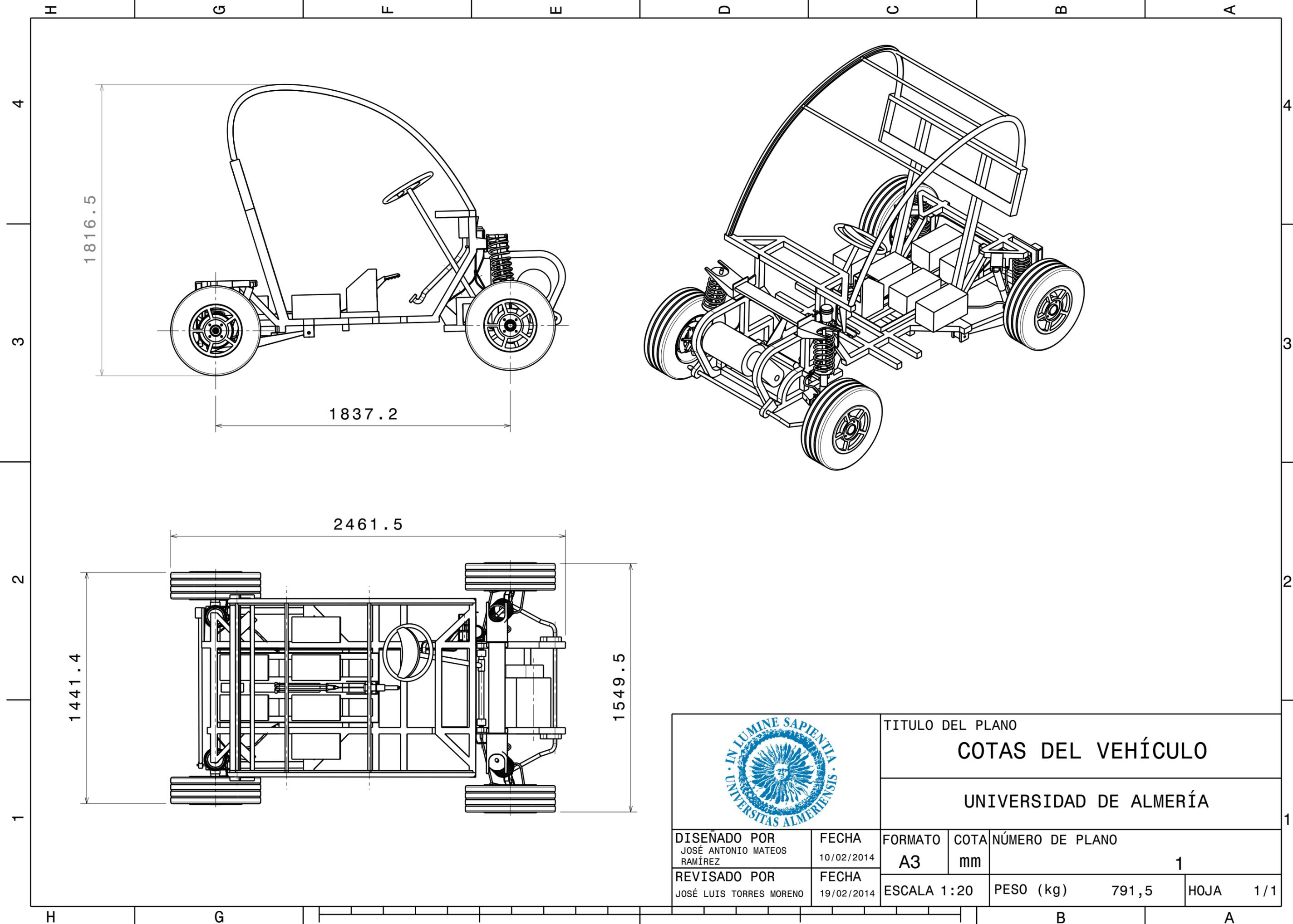
ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN Y DIRECCIÓN DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO

| Salida Analógica | |
|--|--------------------|
| Canales | 0 |
| E/S Digital | |
| Canales Bidireccionales | 0 |
| Canales de Entrada Únicamente | 4 |
| Canales de Salida Únicamente | 4 |
| Temporización | Software |
| Niveles Lógicos | TTL |
| Entrada de Flujo de Corriente | Sinking , Sourcing |
| Salida de Flujo de Corriente | Sourcing , Sinking |
| Filtros de Entrada Programables | No |
| ¿Soporta Estados de Encendido Programables? | Si |
| Capacidad de Corriente Simple | 16 mA |
| Capacidad de Corriente Total | 50 mA |
| Temporizador Watchdog | No |
| ¿Soporta Protocolo de Sincronización para E/S? | No |
| ¿Soporta E/S de Patrones? | No |
| Máximo Rango de Entrada | 0 V , 5.25 V |
| Máximo Rango de Salida | 0 V , 3.8 V |
| Contadores/Temporizadores | |
| Número de Contadores/Temporizadores | 2 |
| Operaciones a Búfer | Si |
| Eliminación de Rebotes | Si |
| Sincronización GPS | No |
| Rango Máximo | 0 V , 5.25 V |
| Frecuencia Máxima de la Fuente | 80 MHz |
| Generación de Pulso | Si |

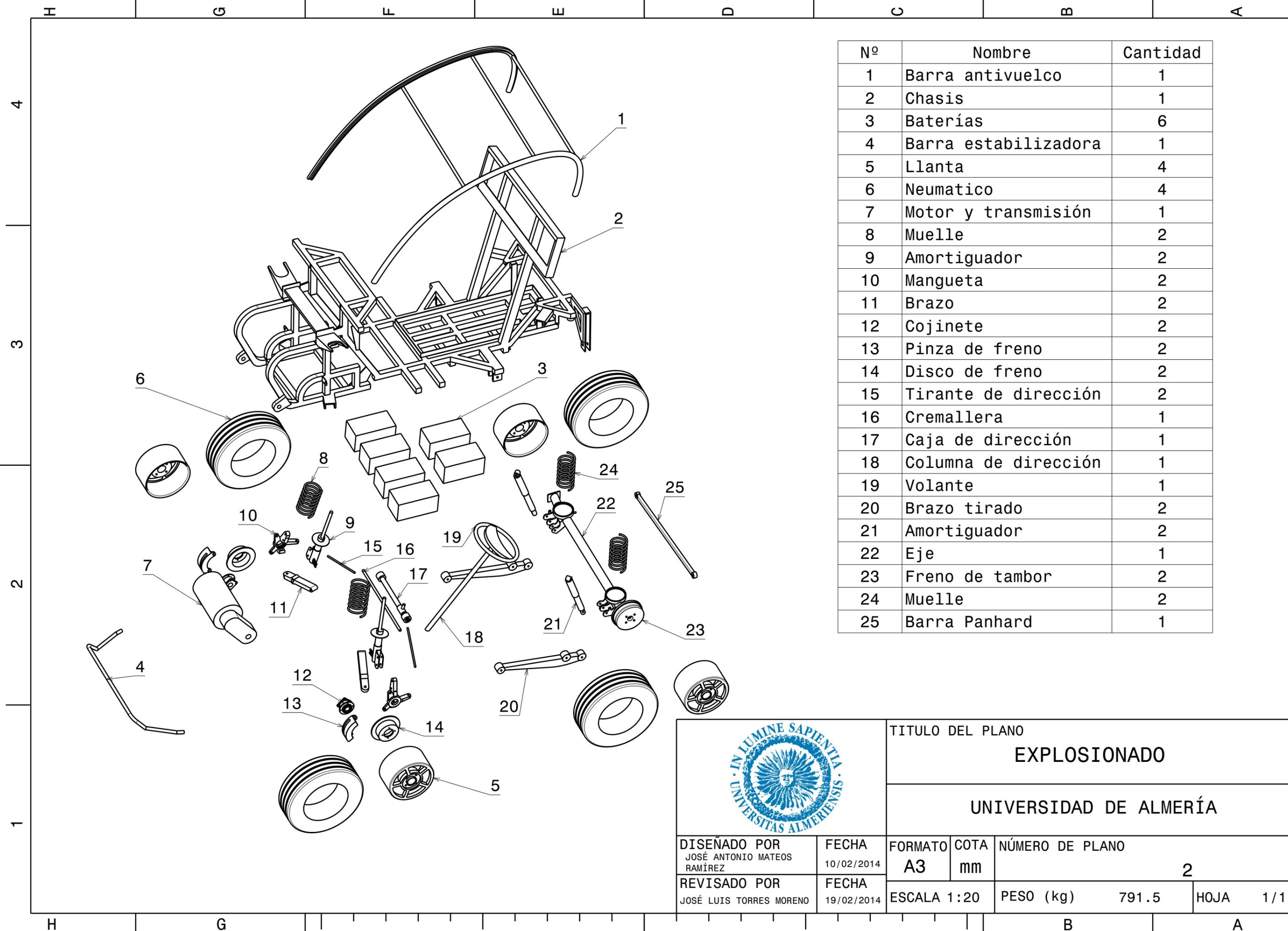
ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN Y DIRECCIÓN DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO

| Niveles Lógicos | TTL |
|--------------------------------------|------------------------|
| Especificaciones Físicas | |
| Longitud | 16.9 cm |
| Ancho | 9.4 cm |
| Altura | 3.1 cm |
| Conector de E/S | Terminales de tornillo |
| Temporización/Disparo/Sincronización | |
| Disparo | Digital |

9.- PLANOS

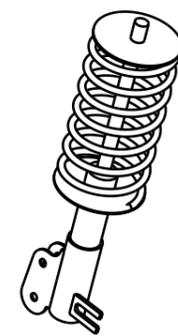
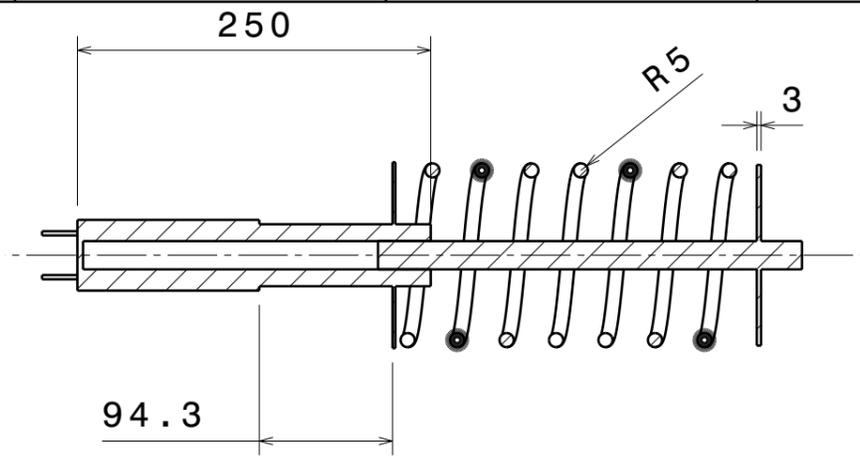


| | | | | | |
|--|---------------------|---------------------------|------------|-----------------------------|----------|
| | | TITULO DEL PLANO | | | |
| | | COTAS DEL VEHÍCULO | | | |
| | | UNIVERSIDAD DE ALMERÍA | | | |
| DISEÑADO POR JOSÉ ANTONIO MATEOS RAMÍREZ | FECHA 10/02/2014 | FORMATO A3 | COTA mm | NÚMERO DE PLANO 1 | |
| REVISADO POR JOSÉ LUIS TORRES MORENO | FECHA 19/02/2014 | ESCALA 1:20 | PESO (kg) | 791,5 | HOJA 1/1 |

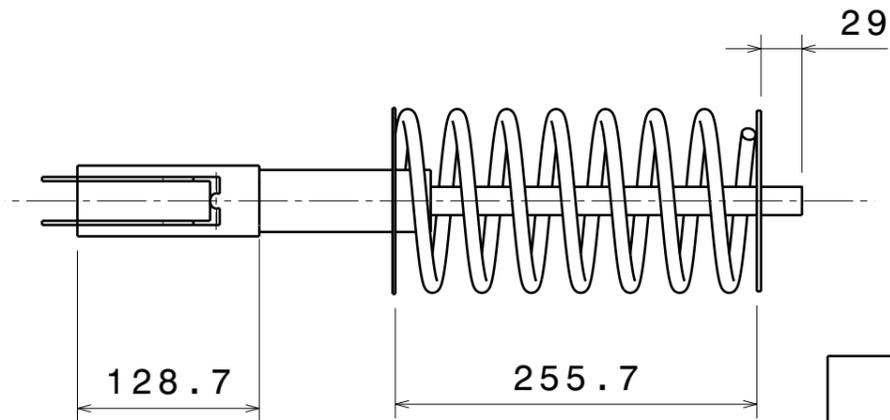
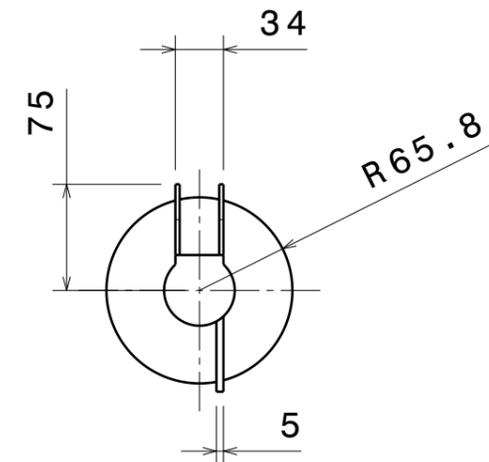
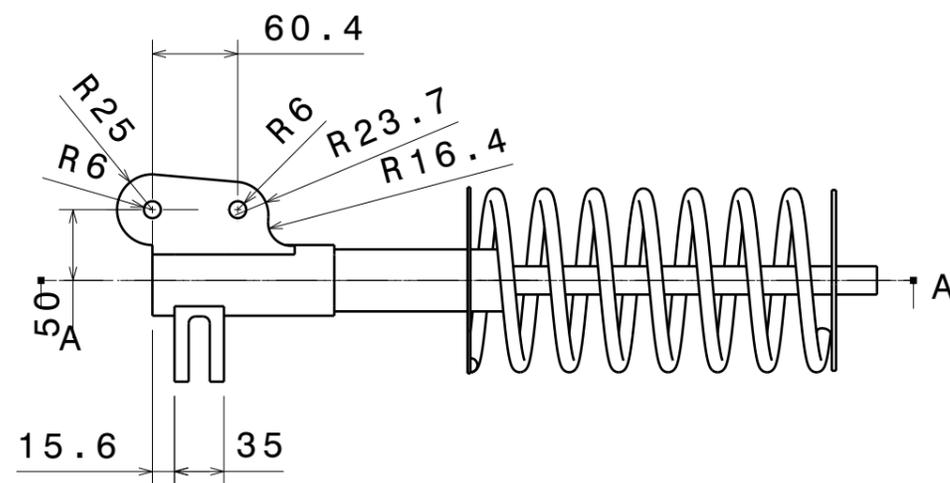
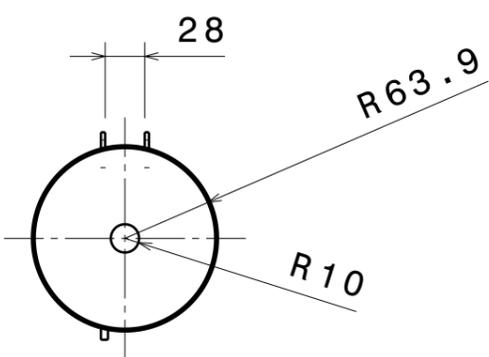


| Nº | Nombre | Cantidad |
|----|----------------------|----------|
| 1 | Barra antivuelco | 1 |
| 2 | Chasis | 1 |
| 3 | Baterías | 6 |
| 4 | Barra estabilizadora | 1 |
| 5 | Llanta | 4 |
| 6 | Neumatico | 4 |
| 7 | Motor y transmisión | 1 |
| 8 | Muelle | 2 |
| 9 | Amortiguador | 2 |
| 10 | Mangueta | 2 |
| 11 | Brazo | 2 |
| 12 | Cojinete | 2 |
| 13 | Pinza de freno | 2 |
| 14 | Disco de freno | 2 |
| 15 | Tirante de dirección | 2 |
| 16 | Cremallera | 1 |
| 17 | Caja de dirección | 1 |
| 18 | Columna de dirección | 1 |
| 19 | Volante | 1 |
| 20 | Brazo tirado | 2 |
| 21 | Amortiguador | 2 |
| 22 | Eje | 1 |
| 23 | Freno de tambor | 2 |
| 24 | Muelle | 2 |
| 25 | Barra Panhard | 1 |

| | | | | |
|--|---------------------|----------------------|-----------------|-----------------------------|
| | TITULO DEL PLANO | | | |
| | EXPLOSIONADO | | | |
| UNIVERSIDAD DE ALMERÍA | | | | |
| DISEÑADO POR JOSÉ ANTONIO MATEOS RAMÍREZ | FECHA 10/02/2014 | FORMATO A3 | COTA mm | NÚMERO DE PLANO 2 |
| REVISADO POR JOSÉ LUIS TORRES MORENO | FECHA 19/02/2014 | ESCALA 1:20 | PESO (kg) 791.5 | HOJA 1/1 |



Vista isométrica
Escala: 1:10



| | | | | | |
|-----------------------------|------------|--------------------------------|-----------|-----------------|-----|
| | | TITULO DEL PLANO | | | |
| | | AMORTIGUADOR Y MUELLE DELANTRO | | | |
| | | UNIVERSIDAD DE ALMERÍA | | | |
| DISEÑADO POR | FECHA | FORMATO | COTA | NÚMERO DE PLANO | |
| JOSÉ ANTONIO MATEOS RAMÍREZ | 10/02/2014 | A3 | mm | 3 | |
| REVISADO POR | FECHA | ESCALA | PESO (kg) | HOJA | 1/1 |
| JOSÉ LUIS TORRES MORENO | 19/02/2014 | 1:5 | 12.56 | | |

D

C

B

A

4

4

3

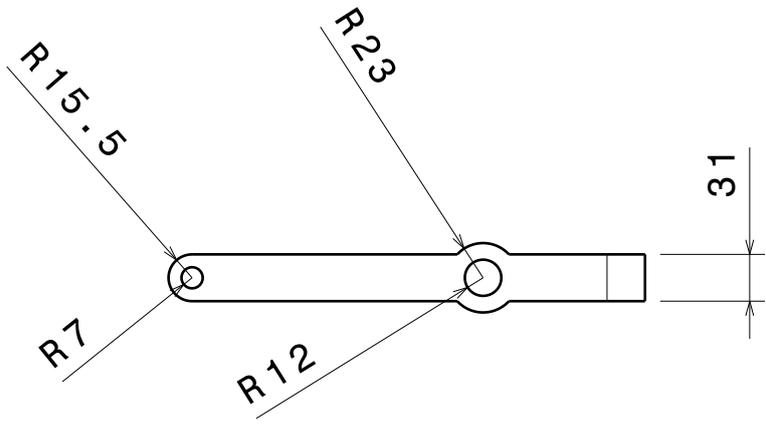
3

2

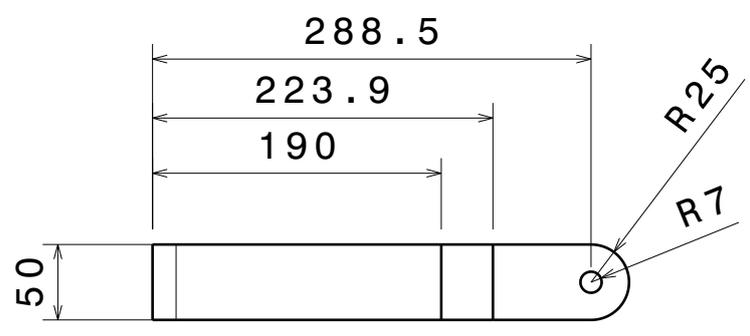
2

1

1



Vista isométrica
Escala: 1:10



TÍTULO DE PLANO

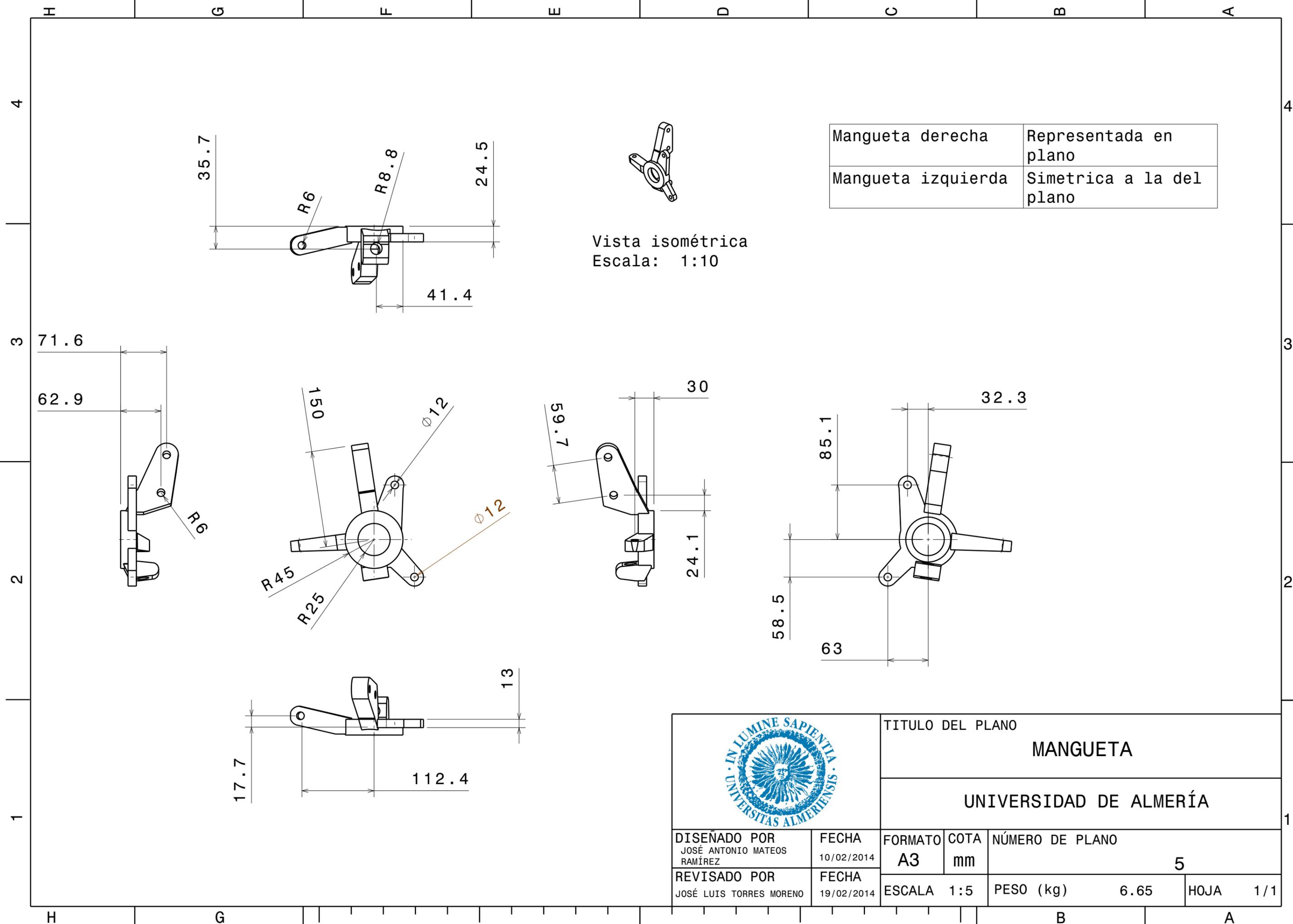
BRAZO SUSPENSION DELANTERO

UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

| | | | | | |
|---|---------------------|----------------------|------------|-----------------------------|----------|
| DISEÑADO POR JOSÉ ANTONIO MATEOS RAMÍREZ | FECHA 10/02/2014 | FORMATO A4 | COTA mm | NÚMERO DE PLANO 4 | |
| REVISADO POR JOSÉ LUIS TORRES MORENO | FECHA 19/02/2014 | ESCALA 1:5 | | PESO (kg) 3,69 | HOJA 1/1 |

D

A



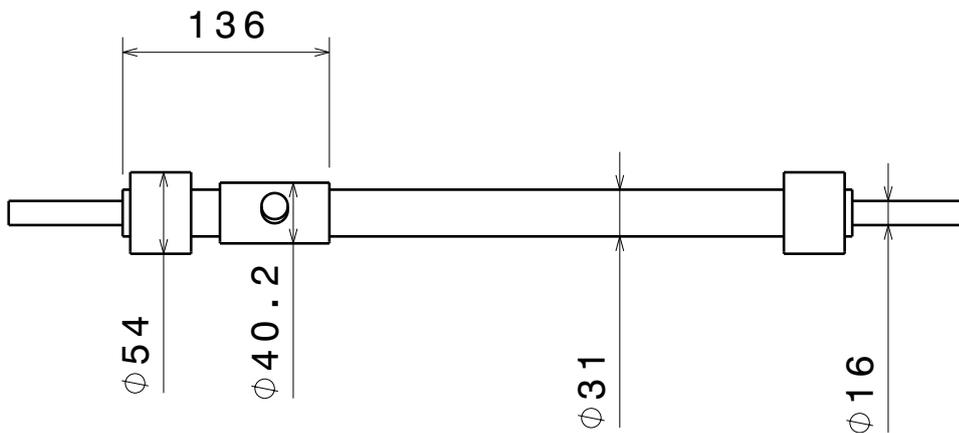
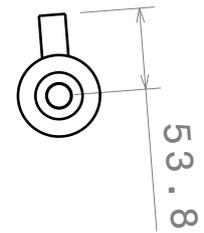
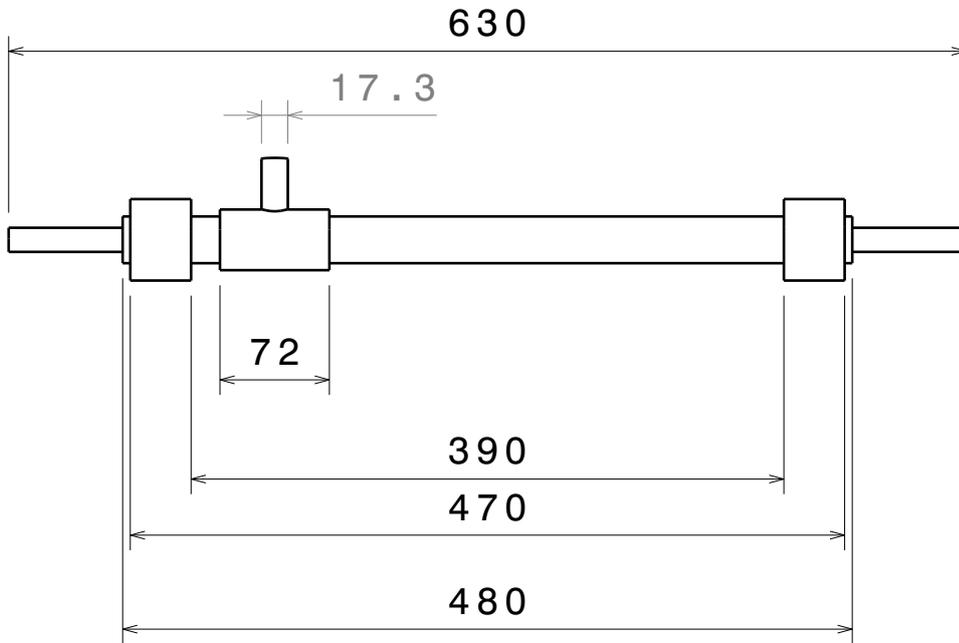
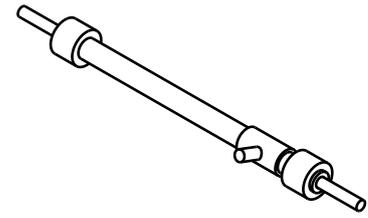
| | |
|--------------------|--------------------------|
| Mangueta derecha | Representada en plano |
| Mangueta izquierda | Simetrica a la del plano |

Vista isométrica
Escala: 1:10



| | | | | |
|--|---------------------|----------------------|-------------------|-----------------------------|
| TITULO DEL PLANO | | | | |
| MANGUETA | | | | |
| UNIVERSIDAD DE ALMERÍA | | | | |
| DISEÑADO POR JOSÉ ANTONIO MATEOS RAMÍREZ | FECHA 10/02/2014 | FORMATO A3 | COTA mm | NÚMERO DE PLANO 5 |
| REVISADO POR JOSÉ LUIS TORRES MORENO | FECHA 19/02/2014 | ESCALA 1:5 | PESO (kg) 6.65 | HOJA 1/1 |

Vista isométrica
Escala: 1:10



TÍTULO DE PLANO

CREMALLERA

UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

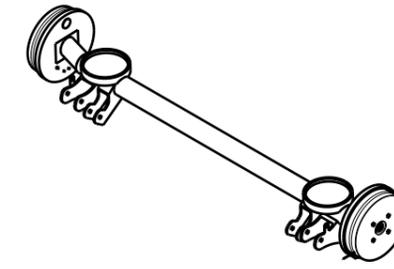
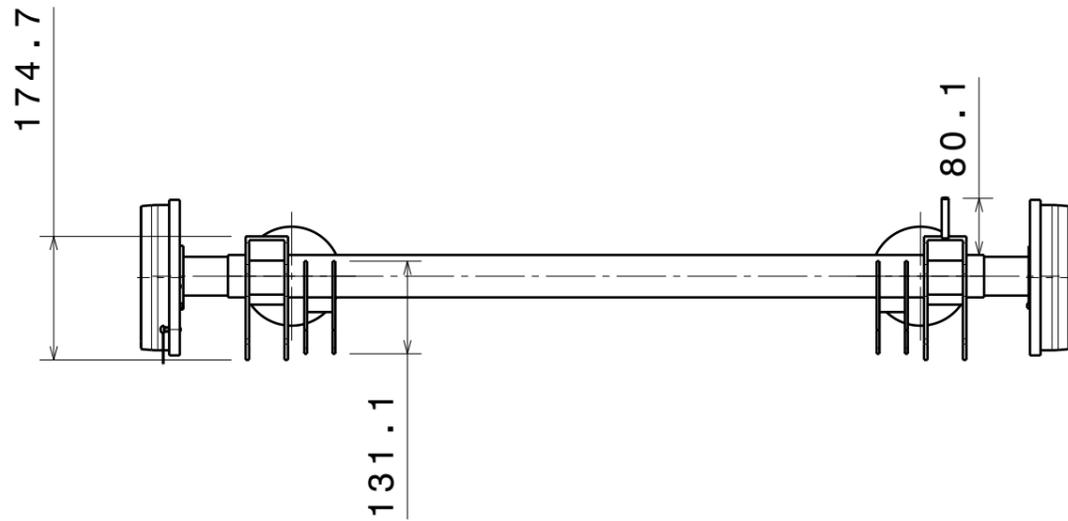
| | | | | | |
|--|---------------------|----------------------|------------|-----------------------------|----------|
| DISEÑADO POR JOSÉ ANTONIO MATEOS RAMÍREZ | FECHA 10/02/2014 | FORMATO A4 | COTA mm | NÚMERO DE PLANO 6 | |
| REVISADO POR JOSÉ LUIS TORRES MORENO | FECHA 19/02/2014 | ESCALA 1:5 | | PESO (kg) 3.57 | HOJA 1/1 |

D

A

H G F E D C B A

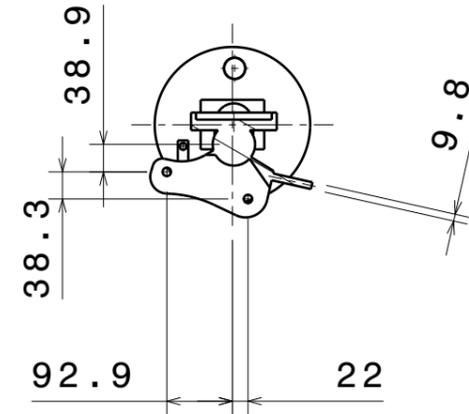
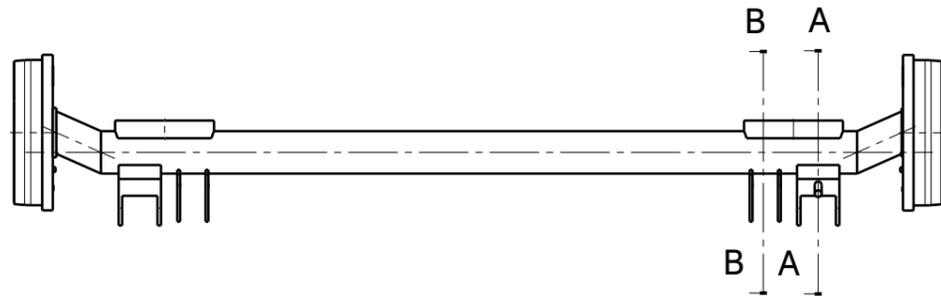
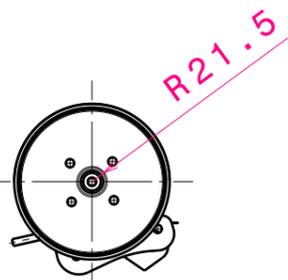
4



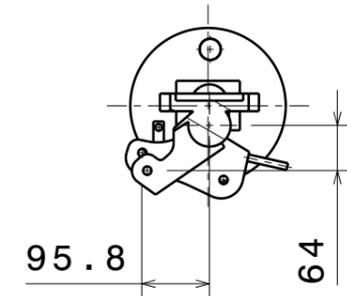
Vista isométrica
Escala: 1:20

4

3



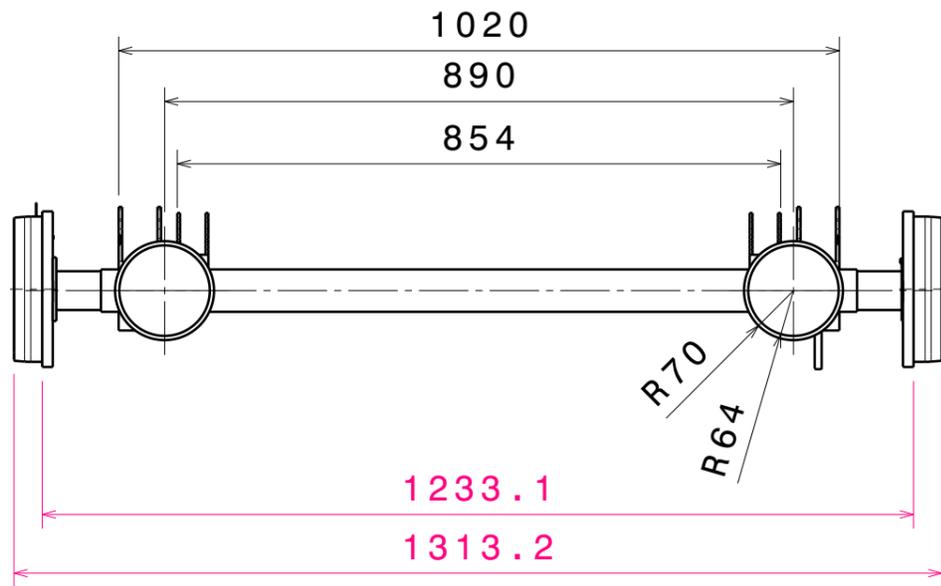
Sección A-A



Sección B-B

3

2



2

1



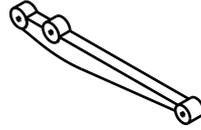
TITULO DEL PLANO
EJE RÍGIDO TRASERO

UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

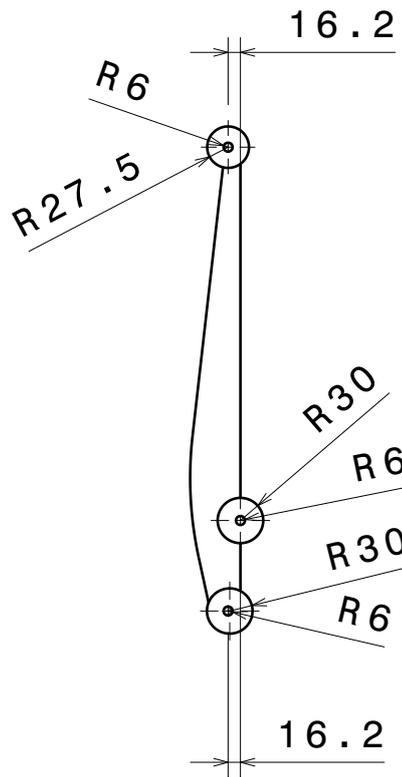
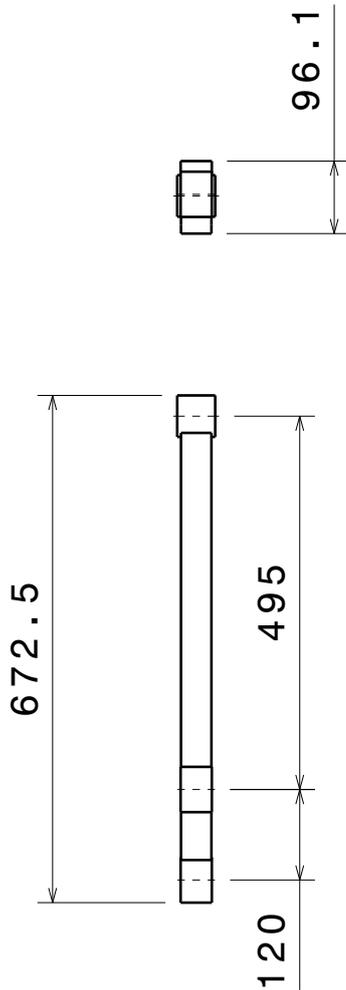
| | | | | | |
|--|---------------------|----------------------|------------|-----------------------------|----------|
| DISEÑADO POR JOSÉ ANTONIO MATEOS RAMÍREZ | FECHA 10/02/2014 | FORMATO A3 | COTA mm | NÚMERO DE PLANO 7 | |
| REVISADO POR JOSÉ LUIS TORRES MORENO | FECHA 19/02/2014 | ESCALA 1:10 | PESO (kg) | 57.16 | HOJA 1/1 |

1

H G F E D C B A



Vista isométrica
Escala: 1:20



TÍTULO DE PLANO

BRAZO TIRADO TRASERO

UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

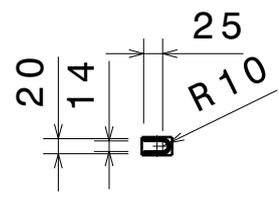
| | | | | | |
|--|---------------------|----------------------|------------|-----------------------------|----------|
| DISEÑADO POR JOSÉ ANTONIO MATEOS RAMÍREZ | FECHA 10/02/2014 | FORMATO A4 | COTA mm | NÚMERO DE PLANO 8 | |
| REVISADO POR JOSÉ LUIS TORRES MORENO | FECHA 19/02/2014 | ESCALA 1:10 | | PESO (kg) 10.91 | HOJA 1/1 |

D

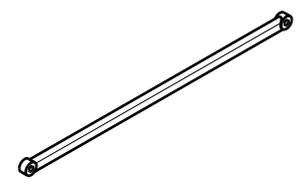
A

D C B A

4



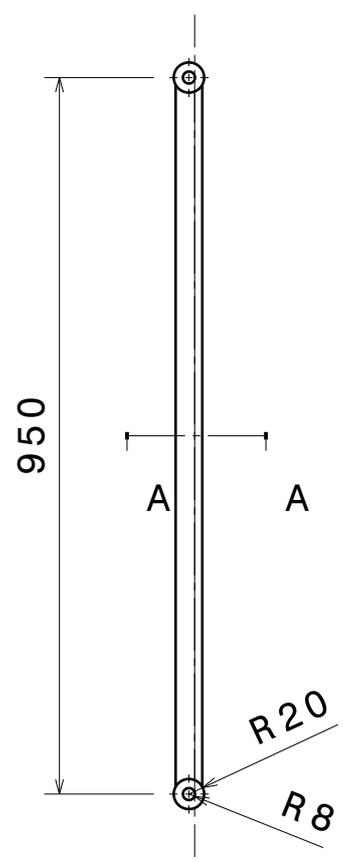
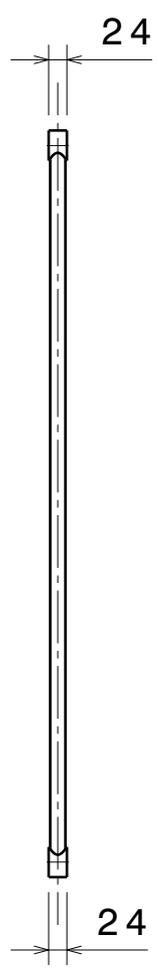
Sección A-A



Vista isométrica
Escala: 1:20

4

3



3

2

2



TÍTULO DE PLANO

BARRA ESTABILIZADORA PANHARD

UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

| | | | | | |
|---|---------------------|----------------------|------------|-----------------------------|-------------|
| DISEÑADO POR JOSÉ ANTONIO MATEOS RAMÍREZ | FECHA 10/02/2014 | FORMATO A4 | COTA mm | NÚMERO DE PLANO 9 | |
| REVISADO POR JOSÉ LUIS TORRES MORENO | FECHA 19/02/2014 | ESCALA 1:10 | | PESO (kg) 2.51 | HOJA 1/1 |

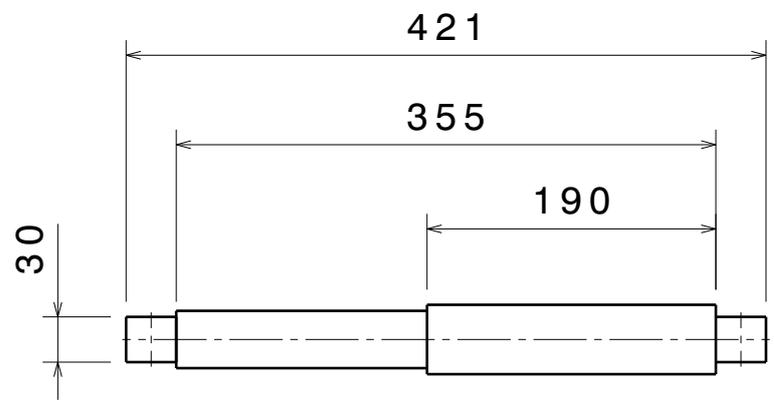
D

A

D C B A

4

4



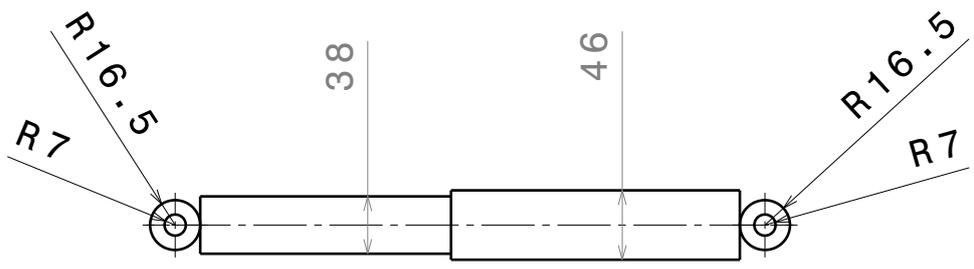
Vista trasera
Escala: 1:5



Vista isometrica
Escala: 1:10

3

3



Vista frontal
Escala: 1:5

2

2



TÍTULO DE PLANO

AMORTIGUADOR TRASERO

UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

1

1

| | | | | | |
|--|---------------------|----------------------|------------|------------------------------|----------|
| DISEÑADO POR JOSÉ ANTONIO MATEOS RAMÍREZ | FECHA 10/02/2014 | FORMATO A4 | COTA mm | NÚMERO DE PLANO 10 | |
| REVISADO POR JOSÉ LUIS TORRES MORENO | FECHA 19/02/2014 | ESCALA 1:5 | | PESO (kg) 4.29 | HOJA 1/1 |

D

A

D

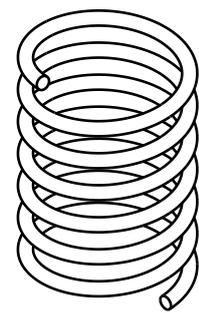
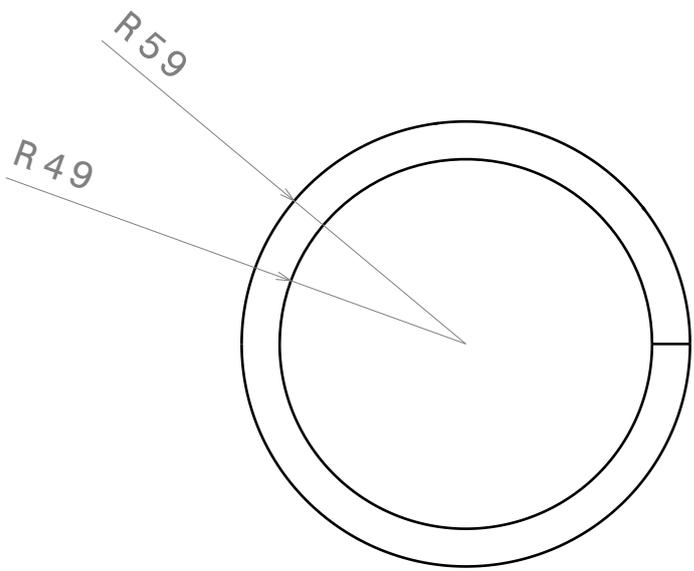
C

B

A

4

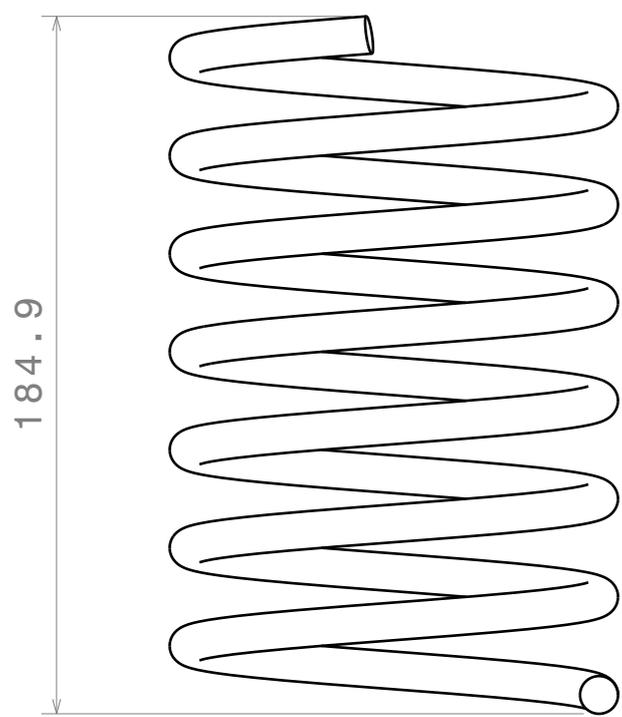
4



Vista isométrica
Escala: 1:5

3

3



2

2

1

1



TÍTULO DE PLANO

MUELLE TRASERO

UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

| | | | | | |
|---|---------------------|---------------|------------|-----------------------|----------|
| DISEÑADO POR JOSÉ ANTONIO MATEOS RAMÍREZ | FECHA 10/02/2014 | FORMATO A4 | COTA mm | NÚMERO DE PLANO 11 | |
| REVISADO POR JOSÉ LUIS TORRES MORENO | FECHA 19/02/2014 | ESCALA 1:2 | | PESO (kg) 2.35 | HOJA 1/1 |

D

A

4

3

2

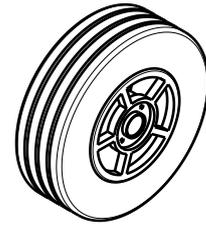
1

D

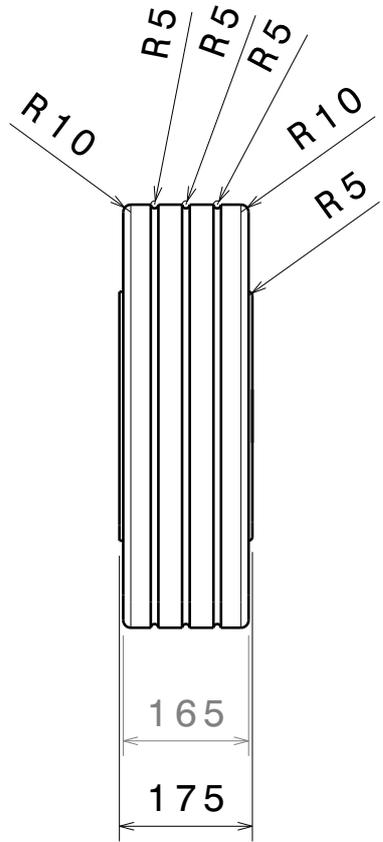
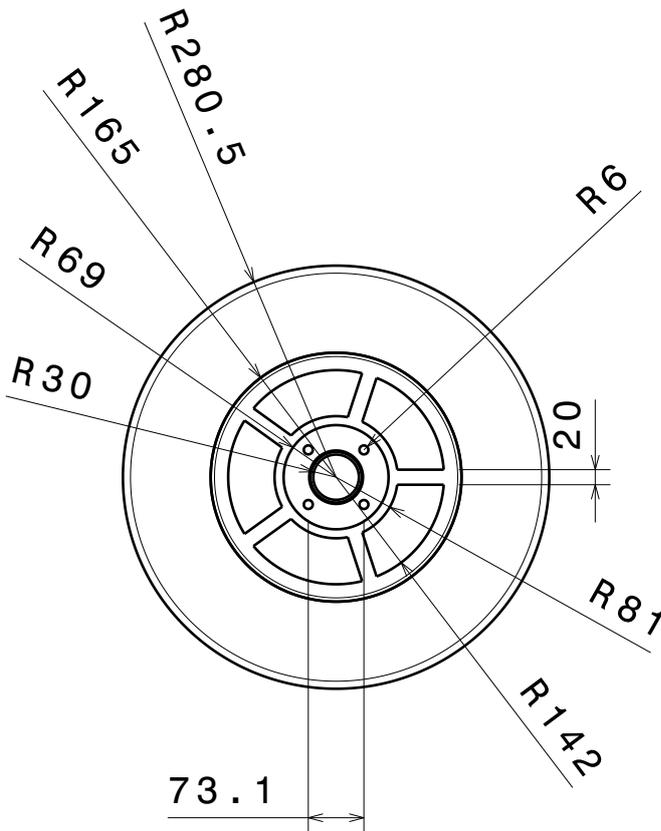
C

B

A



Vista isométrica
Escala: 1:20



TÍTULO DE PLANO

LLANTA Y NEUMÁTICO

UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

| | | | | | |
|--|---------------------|----------------------|------------|------------------------------|-------------|
| DISEÑADO POR JOSÉ ANTONIO MATEOS RAMÍREZ | FECHA 10/02/2014 | FORMATO A4 | COTA mm | NÚMERO DE PLANO 12 | |
| REVISADO POR JOSÉ LUIS TORRES MORENO | FECHA 19/02/2014 | ESCALA 1:10 | | PESO (kg) 9.75 | HOJA 1/1 |

D

A