



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Politécnica Superior de Alcoy

Modificación del sistema de suspensión e instalación de barras rígidas en un Seat Ibiza Cupra

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Mecánica

AUTOR/A: Oriola Sanjuan, Javier

Tutor/a: Esquerdo Lloret, Tomás Vicente

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

RESUMEN

El presente trabajo de fin de grado se basa en el estudio y cálculos para un nuevo sistema de suspensión instalado en un Seat Ibiza cupra del año 2016, perteneciente a la categoría de vehículos M1 (vehículo para transporte de pasajeros que no contenga más de 8 asientos además del asiento del conductor). De la misma forma, se estudia la instalación de una barra de torretas trasera y cómo esta afecta al rendimiento dinámico del vehículo.

Inicialmente, se identifica el vehículo y se describe la reforma. Se hará mención a las normas necesarias para la legalización de la modificación, asegurando que la reforma se ajusta al Manual de Reformas y a los códigos de reforma afectados.

En el apartado de cálculos de suspensiones, se realizan todos aquellos pertinentes para justificar la legalización de la reforma, como son el cálculo del muelle a fatiga y a rigidez, para comprobar que cumplen con el coeficiente de seguridad adecuado. En cuanto a la barra de torretas, se analiza la influencia de esta pieza en cuanto a deformación del chasis se refiere.

Por último, se analizan los trámites y la documentación necesaria para la legalización de la reforma propuesta en territorio nacional. Se incluye presupuesto, planos de las piezas fabricadas, pliego de condiciones, estudio de salud y seguridad, informe de conformidad, certificado de fin de obra y certificado de taller correspondientes. Al finalizar el trabajo, se presentarán las conclusiones, proporcionando una valoración técnica sobre el procedimiento necesario para la legalización de la reforma y evaluando si el nuevo sistema de suspensión ha mejorado la respuesta dinámica y estructural del vehículo, así como su impacto en la conducción.

PALABRAS CLAVE

Sistema de suspensión; barra de torretas; reforma; rigidez

RESUM

Aquest treball de fi de grau es basa en l'estudi i els c3lculs per a un nou sistema de suspensi3n instal·lat en un Seat Ibiza Cupra de l'any 2016, pertanyent a la categoria de vehicles M1 (vehicle per a transport de passatgers que no continga m3s de 8 seients a m3s del seient del conductor). De la mateixa manera, s'estudia la instal·laci3n d'una barra de torretes situada a la part trasera del vehicle i com afecta el rendiment din3mic d'aquest.

Inicialment, s'hi identifica el vehicle i se'n descriu la reforma. Es far3 menció de les normes necess3ries per a la legalitzaci3n de la modificaci3n, assegurant que la reforma s'ajusta al Manual de Reformes i als codis de reforma afectats.

A l'apartat de c3lculs de suspensions, es realitzen tots aquells pertinents per justificar la legalitzaci3n de la reforma, com s3n el c3lcul del moll a fatiga i rigidesa, per comprovar que compleixen el coeficient de seguretat adequat. Pel que fa a la barra de torretes, s'analitza la influ3ncia d'aquesta peça quant a deformaci3n del xassís.

Finalment, s'analitzaran els tr3mits i la documentaci3n necess3ria per a la legalitzaci3n de la reforma proposada al territori nacional. En finalitzar el treball, es presentaran les conclusions, proporcionant una valoraci3n t3cnica sobre el procediment necessari per a la legalitzaci3n de la reforma i avaluant si el nou sistema de suspensi3n ha millorat la resposta din3mica i estructural del vehicle, així com el seu impacte a la conducci3n.

PARAULES CLAU

sistema de suspensi3n; barra de torretes; reforma; rigidesa

ABSTRACT

This final degree project is based on the study and calculations for a new suspension system installed in a Seat Ibiza Cupra from 2016, belonging to the M1 vehicle category (vehicle for transporting passengers that does not contain more than 8 seats. in addition to the driver's seat). In the same way, the installation of a rear turret bar is studied and how it affects the dynamic performance of the vehicle.

Initially, the vehicle is identified and the renovation is described. Mention will be made of the necessary standards for the legalization of the modification, ensuring that the reform complies with the Reform Manual and the affected reform codes.

In the suspension calculations section, all those pertinent to justify the legalization of the reform are carried out, such as the calculation of the fatigue spring and stiffness, to verify that they comply with the appropriate safety coefficient. As for the turret bar, the influence of this piece in terms of chassis deformation is analyzed.

Finally, the procedures and documentation necessary for the legalization of the proposed reform in national territory will be analyzed. The project includes an economic study, drawings of the manufactured parts, specifications, health and safety study, conformity report, completion certificate and corresponding workshop certificate. At the end of the work, the conclusions will be presented, providing a technical assessment on the procedure necessary for the legalization of the reform and evaluating whether the new suspension system has improved the dynamic and structural response of the vehicle, as well as its impact on driving.

KEYWORDS

Suspension system; turret bar; reform; rigidity

ÍNDICE

1.	Introducción	1
2.	Objetivo del proyecto.....	3
3.	Antecedentes	4
4.	Temporización de las tareas.....	5
5.	Identificación del vehículo	7
6.	Descripción de la reforma	10
6.1.	Relación de las piezas modificadas	10
6.2.	Material de los componentes instalados	11
6.3.	Condiciones generales de instalación	12
6.4.	Condiciones generales de sustituciones	12
6.5.	Condiciones generales de pasos de ruedas y guardabarros	14
6.6.	Condiciones generales de la suspensión.....	14
7.	Normativa a aplicar	15
7.1.	Dispositivos de protección trasera.....	17
7.2.	Emplazamiento de la placa de matrícula trasera.....	17
7.3.	Dispositivos de acoplamiento	18
7.4.	Dispositivos de visión indirecta.....	18
7.5.	Instalación de los dispositivos de alumbrado y señalización luminosa	19
7.6.	Frenado	19
7.7.	Protección de los peatones.....	20
7.8.	Sistemas de protección delantera.....	20
7.9.	Guardabarros	20
7.10.	Masas y dimensiones de los automóviles	21
7.11.	Parásitos radioeléctricos	21
7.12.	Normativa a aplicar para la barra de torretas trasera	21
8.	Fundamentos teóricos	22
8.1.	El sistema de suspensión.....	22
8.2.	Sistema de suspensión original	23
8.3.	Kit de suspensión instalado.....	26
8.3.1.	Movimientos de la suspensión.....	30

8.3.1.1.	Compresión	30
8.3.1.2.	Extensión	33
8.3.1.3.	Cabeceo	33
8.3.1.4.	Aplastamiento	34
8.3.1.5.	Retorcimiento.....	34
8.3.1.6.	Balanceo	35
8.4.	Barra de torretas trasera.....	36
9.	Modificación del sistema de suspensión.....	46
9.1.	Vehículo antes de la reforma	46
9.2.	Vehículo después de la reforma.....	46
10.	Cálculos justificativos del sistema de suspensión	47
10.1.	Transferencia de masas del vehículo	47
10.1.1.	Centro de gravedad del vehículo	48
10.1.2.	Centro de gravedad de las masas no suspendidas.....	52
10.1.3.	Centro de gravedad de las masas suspendidas.....	55
10.2.	Cálculo del mecanismo simplificado	60
10.3.	Cálculo del muelle	77
10.3.1.	Cálculo estático a rigidez.....	79
10.3.2.	Cálculo del muelle a fatiga	85
10.4.	Confort en marcha	90
10.5.	Simulación virtual de las suspensiones	94
10.5.1.	Simulación en compresión	94
10.5.2.	Simulación en extensión	96
11.	Diseño y cálculos de la barra de torretas trasera.....	97
11.1.	Elección del material	97
11.2.	Diseño de la pieza en programa CAD (SolidWorks)	100
11.3.	Proceso de fabricación de la pieza	105
11.4.	Cálculos justificativos de la barra de torretas trasera.....	115
11.4.1.	Prueba con hilos y botella	116
11.4.2.	Prueba con sensor de fuerzas	117
12.	Estudio de salud y seguridad.....	128
13.	ODS.....	130
14.	Pliego de condiciones.....	132
14.1.	Calidad de los materiales utilizados	132
14.2.	Normas de ejecución.....	133
14.3.	Certificados y autorizaciones	133

15.	Presupuesto	134
15.1.	Presupuesto total	134
15.2.	Presupuesto de las suspensiones.....	134
15.3.	Presupuesto de la barra de torretas trasera	136
16.	Conclusiones.....	137
17.	Bibliografía	138
ANEXOS		140
ANEXO I – Componentes de la suspensión		141
I.	Elementos del sistema de suspensión	142
a)	Amortiguadores.....	142
b)	Elementos estructurales.....	148
c)	Elementos elásticos.....	153
ANEXO II – Planos.....		162
I.	Croquis acotado del vehículo antes de la reforma	163
II.	Croquis acotado del vehículo después de la reforma	163
III.	Planos de las piezas diseñadas.....	164
ANEXO III – Fotografías del proyecto técnico realizado.....		167
I.	Fotografías de los elementos instalados.....	168
	169
II.	Fotografías de la realización de comprobaciones.....	170
ANEXO IV – Documentación necesaria para la homologación de la reforma.....		173
I.	Certificado de taller.....	174
II.	Informe de Conformidad.....	175
	176
III.	Certificado de Fin de Obra	177
ANEXO V – Ficha técnica y permiso de circulación		178
I.	Ficha técnica antes de la reforma	179
II.	Ficha técnica del vehículo después de la reforma	180
III.	Permiso de circulación	180

LISTADO DE FIGURAS

Imagen 1- Proceso de montaje de la suspensión delantera	13
Imagen 2- Proceso de montaje de la suspensión trasera.....	13
Imagen 3- Alturas a comprobar para la legalización de la reforma.....	17
Imagen 4- Dispositivo de acoplamiento.	18
Imagen 5- Suspensión tipo McPherson. Glosario McPherson. (s. f.)	23
Imagen 6- Suspensión longitudinal.....	24
Imagen 7- Rosca de la suspensión. [Fuente propia]	26
Imagen 8- Índice de corrección de Wahl.....	29
Imagen 9- Blistein B16 PSS10. (Nuevas suspensiones instaladas en el vehículo).....	29
Imagen 10- Péndulo con libre oscilación.	30
Imagen 11- Curva de amortiguación crítica.....	32
Imagen 12- Cabeceo durante la frenada (Izquierda) y sobre un obstáculo (Derecha).	34
Imagen 13- Eje de balanceo y centro de gravedad de un vehículo.	35
Imagen 14- Plano vertical y eje de balanceo de un vehículo.	36
Imagen 15- Tipos de aceros utilizados en el chasis de un vehículo	37
Imagen 16- Puerta descuadrada. [Fuente propia]	37
Imagen 17- Barra de torretas delanteras.	38
Imagen 18- Disposición de la barra de torretas delantera.....	38
Imagen 19- Demostración de la imposibilidad de instalar una barra de torretas delantera ..	39
Imagen 20- Hyundai i30. (Modelo base).....	40
Imagen 21- Versión del Hyundai i30 sin barra de torretas trasera.....	40
Imagen 22- Hyundai i30n Performance (Versión deportiva)	41
Imagen 23- Versión del Hyundai i30n Performance con barra de torretas trasera.....	41
Imagen 24- Chasis MQB.....	42
Imagen 25- Vehículo con las suspensiones originales. [Fuente propia].....	46
Imagen 26- Vehículo con las nuevas suspensiones Blistein. [Fuente propia].....	46
Imagen 27- Sistema de coordenadas. [Fuente propia]	47
Imagen 28- Alineación y pesaje del vehículo por rueda. [Fuente propia].....	48
Imagen 29- Esquema de la suspensión. [Fuente propia]	52
Imagen 30- Masas no suspendidas.	53
Imagen 31- Toma de medidas de las masas no suspendidas. [Fuente propia].....	54
Imagen 32- Comparación centro de gravedades (1). [Fuente propia]	59

Imagen 33- Comparación centro de gravedades (2). [Fuente propia]	59
Imagen 34- Sistema de suspensión simplificado.....	60
Imagen 35- Ángulo de caída (camber).....	61
Imagen 36- Modelo equivalente sistema de suspensión. [Fuente propia].....	61
Imagen 37- Gráfica tensión-tiempo de una suspensión.....	85
Imagen 38- Índice de corrección de Wahl.	86
Imagen 39- Oscilaciones de las ruedas.....	90
Imagen 40- Onda amortiguada.....	91
Imagen 41- Onda no amortiguada.....	91
Imagen 42- Modelo simplificado del sistema de suspensión.....	92
Imagen 43- Suspensión delantera en estado de reposo (Vsusp). [Fuente propia].....	94
Imagen 44- Suspensión delantera en compresión (Vsusp). [Fuente propia].....	95
Imagen 45- Suspensión delantera al pasar un bache (Vsusp). [Fuente propia].....	95
Imagen 46- Suspensión delantera en extensión (Vsusp). [Fuente propia].....	96
Imagen 47- Maletero del vehículo donde irá la pieza en cuestión. [Fuente propia].....	100
Imagen 48- Primer esbozo de la pieza (sin acotar). [Fuente propia]	101
Imagen 49- Croquis acotado de la pieza (estructura tubular). [Fuente propia]	102
Imagen 50- Croquis acotado de la pieza de amarre de la barra de torretas al chasis.	102
Imagen 51- Diseño en SolidWorks de la estructura tubular. [Fuente propia]	103
Imagen 52- Diseño en SolidWorks de la pieza que va soldada a la estructura tubular	103
Imagen 53- Ensamblaje final de la pieza en SolidWorks (2). [Fuente propia]	104
Imagen 54- Ensamblaje final de la pieza en SolidWorks (1). [Fuente propia]	104
Imagen 55- Ensamblaje final de la pieza en SolidWorks (3). [Fuente propia]	104
Imagen 56- Barras de acero de bajo carbono de 35 mm de diámetro. [Fuente propia]	105
Imagen 57- Proceso de corte de las barras que conformarán la estructura. [Fuente propia]	106
Imagen 58- Geometría final de la estructura. [Fuente propia]	106
Imagen 59- Proceso de soldadura con hilo continuo. [Fuente propia]	107
Imagen 60- Pieza soldada por profesional (con certificado de soldadura). [Fuente propia] .	108
Imagen 61- Resultado final de la pieza tras su soldadura, pulido y pintura. [Fuente propia]	109
Imagen 62- Parámetros de impresión de CoLiDo	110
Imagen 63- Previsualización de la pieza en el software CoLiDo. [Fuente propia]	110
Imagen 64- Pieza de amarre de la barra de torretas (2) [Fuente propia]	111
Imagen 65- Pieza de amarre de la barra de torretas (1) [Fuente propia]	111
Imagen 66- Resultado de la pieza final y comprobación de medidas. [Fuente propia]	112
Imagen 67- Puntos en los que se amarrará la pieza. [Fuente propia].....	112

Imagen 68- Colocación de los tornillos para amarrar la pieza al chasis. [Fuente propia]	114
Imagen 69- Pieza atornillada al chasis del vehículo. [Fuente propia]	114
Imagen 70- Resultado final de la barra de torretas trasera. [Fuente propia]	115
Imagen 71- Cámara GoPro Hero 10 [Fuente propia]	115
Imagen 72- Prueba 1 barra de torretas en una curva. [Fuente propia]	116
Imagen 73- Prueba 1 barra de torretas en una recta. [Fuente propia]	116
Imagen 74- Sensor de presión MD30-60.....	117
Imagen 75- Sensor colocado en la parte inferior de la barra de torretas. [Fuente propia] ...	117
Imagen 76- Sensor colocado en la parte superior de la barra de torretas. [Fuente propia] ..	117
Imagen 77- Trayecto recorrido durante la prueba. [Fuente: Google Maps]	118
Imagen 78- Curva vista en 3D. [Fuente: Google Maps].....	118
Imagen 79- Curva más crítica del recorrido (25m de radio). [Fuente: Google Maps]	118
Imagen 80- Datos tomados en la curva mencionada por la app Gauges. [Fuente propia]	119
Imagen 81- Fuerza aplicada en la parte superior de la barra de torretas.	119
Imagen 82- Fuerza aplicada en la parte inferior de la barra de torretas.....	120
Imagen 83- Deformación total de la pieza. [Fuente propia]. Ansys Workbech.....	120
Imagen 84- Tensión equivalente de Von Mises. [Fuente propia]. Ansys Workbech.	120
Imagen 85- Doble de fuerza aplicada en el extremo superior de la barra de torretas	121
Imagen 86- Doble de fuerza aplicada en el extremo inferior de la barra de torretas	121
Imagen 87- Deformación total de la pieza aplicando el doble de fuerza.	122
Imagen 88- Tensión equivalente de Von Mises al aplicar el doble de fuerza.....	122
Imagen 89- Chasis deformado al aplicar una fuerza de 21.152 N sin barra de torretas.....	124
Imagen 90- Chasis deformado al aplicar una fuerza de 21.152 N con barra de torretas.....	125
Imagen 91- Amortiguador hidráulico.....	143
Imagen 92- Amortiguador hidráulico con válvulas.	144
Imagen 93- Amortiguador de doble tubo no presurizado.	145
Imagen 94- Amortiguador de doble tubo presurizado.....	145
Imagen 95- Amortiguador de doble tubo.	146
Imagen 96- Amortiguador monotubo.....	147
Imagen 97- Amortiguador monotubo.....	147
Imagen 98- Diferencias entre amortiguador monotubo y bitubo.	148
Imagen 99- Brazo de suspensión.....	148
Imagen 100- Trapecio de suspensión.....	149
Imagen 101- Tirantes de suspensión.	150
Imagen 102- Mangueta de dirección. [Fuente: Masrefacciones.Mx. (2022, 28 febrero)].....	151

Imagen 103- Silentblock. [Fuente: (2023, 13 noviembre).....	152
Imagen 104- Rótula. [Fuente: Alanbritos. (2021, 2 diciembre). Rótulas de coche]	152
Imagen 105- Resorte de ballestas.....	153
Imagen 106- Hoja maestra.....	154
Imagen 107- Barra de torsión de un coche.....	155
Imagen 108- Barra estabilizadora.....	156
Imagen 109- Diferencia entre un vehículo sin barra estabilizadora y otro con ella.....	156
Imagen 110- Simulación del vehículo sin barra estabilizadora.....	157
Imagen 111- Simulación del vehículo con barra estabilizadora.....	157
Imagen 112- Resortes helicoidales de un turismo.....	158
Imagen 113- Elementos de la suspensión de un vehículo.....	159
Imagen 114- Balonas neumáticas o fuelles de suspensión.....	160
Imagen 115- Croquis acotado Seat Ibiza antes de la reforma.....	163
Imagen 116- Croquis acotado Seat Ibiza después de la reforma.....	163
Imagen 117- Kit de suspensiones Blistein B16. [Fuente propia]	168
Imagen 118- Amortiguador y muelle trasero izquierdo. [Fuente propia].....	168
Imagen 119- Amortiguador y muelle delantero izquierdo. [Fuente propia]	168
Imagen 120- Barra de torretas trasera [Fuente propia]	169
Imagen 121- Amortiguador y muelle delantero derecho. [Fuente propia]	169
Imagen 122- Amortiguador y muelle trasero derecho. [Fuente propia].....	169
Imagen 123- Altura mínima de la luz antiniebla delantera. [Fuente propia]	170
Imagen 124- Altura total del vehículo. [Fuente propia]	170
Imagen 125- Medición de la altura del intermitente lateral al suelo. [Fuente propia].....	171
Imagen 126- Medición de la altura del suelo al faro delantero. [Fuente propia].....	171
Imagen 127- Medición altura suelo-pilotos traseros (785 mm). [Fuente propia]	171
Imagen 128- Medición altura suelo-catadióptricos traseros (292 mm). [Fuente propia]	171
Imagen 129- Altura del suelo a la matrícula trasera (380 mm). [Fuente propia]	172
Imagen 130- Certificado del taller que realiza la reforma.....	174
Imagen 131- Informe de Conformidad. (Pag.1).....	175
Imagen 132- Informe de Conformidad. (Pag.2).....	176
Imagen 133- Certificado de Fin de Obra.....	177
Imagen 134- Ficha técnica antes de la reforma.....	179
Imagen 135- Nueva ficha técnica con la homologación en regla.....	180
Imagen 136- Permiso de circulación del vehículo.....	180

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1- Secuenciación de actividades realizadas	6
Tabla 2- Identificación del vehículo	7
Tabla 3- Prestaciones y consumos del vehículo	7
Tabla 4- Dimensiones y capacidades del vehículo	8
Tabla 5- Datos del motor del vehículo	8
Tabla 6- Transmisión del vehículo.....	9
Tabla 7- Datos del chasis del vehículo	9
Tabla 8- Actos reglamentarios de los sistemas a los que la reforma afecta	15
Tabla 9- Porcentajes de amortiguamiento en los diferentes tipos de vehículos	32
Tabla 10- Datos relevantes a las masas no suspendidas del vehículo.....	53
Tabla 11- Tabla resumen del centro de gravedad del vehículo.	57
Tabla 12- Movimientos del resorte.....	74
Tabla 13- Datos de los nuevos muelles instalados	77
Tabla 14- Tipos de acero para los muelles.....	78
Tabla 15- Tabla de los valores obtenidos en el cálculo a rigidez.	89
Tabla 16- Tabla de los valores obtenidos en el cálculo a fatiga.....	89
Tabla 17- Tabla de propiedades del material elegido	98
Tabla 18- Material necesario para la instalación de la barra de torretas.....	113
Tabla 19-Tabla resumen de las mediciones realizadas	172

1. Introducción

En el constante afán de los amantes del automovilismo por personalizar y mejorar el rendimiento de sus vehículos, la modificación de las suspensiones ha surgido como una práctica común con el fin de alcanzar unos niveles superiores de maniobrabilidad, confort y respuesta de manejo en la conducción.

En este trabajo de fin de grado, se explora en gran detalle el mundo de la modificación y mejora de las suspensiones en vehículos, centrándose no solo en el desarrollo de soluciones innovadoras que buscan elevar el desempeño del automóvil, sino también en los procedimientos y requisitos necesarios para su posterior homologación.

Según la normativa de aplicación vigente (“Manual de Reformas”), las diferentes modificaciones que se pueden realizar en un vehículo afectan a: identificación, transmisión, suspensión, dirección, frenos, alumbrado, carrocería y unidad motriz, por lo tanto, esta reforma deberá cumplir las especificaciones del Real Decreto 866/2010, del 2 de julio, por el que se regula la tramitación de las reformas de vehículos, así como el Real Decreto 750/2010, del 4 de julio, por el que se regulan los procedimientos de homologación de vehículos de motor.

Concretamente, se pretende realizar una reforma a un vehículo de la marca SEAT, modelo IBIZA, con matrícula 9223 ***, cumpliendo todas las normativas vigentes que se expondrán a continuación.

Partiendo de la base de que este proyecto consta de la modificación en el sistema de suspensión, es necesario conocer las funciones de este sistema, que se resumen en: absorber las irregularidades de la vía para garantizar una condición cómoda y segura, así como mantener la estabilidad del vehículo en todo momento frente a cualquier situación.

En este trabajo final de grado, también se menciona la documentación necesaria para la legalización de la reforma: Proyecto Técnico, Certificado de Taller y el Certificado Final de Obra.

Junto con todo lo mencionado anteriormente, se incluyen los cálculos justificativos de los cambios realizados en el vehículo, tanto de las suspensiones como de la barra de torretas.

Cabe mencionar que la barra de torretas no se identifica como reforma en un vehículo, por lo tanto, no se han de ceñir a ninguna normativa ni se requiere de ningún tipo de documentación para su instalación.

En este proyecto, también se incluyen los apartados de Presupuesto, Pliego de Condiciones y Estudio de Seguridad, así como diferentes fotografías y planos que sean de interés en esta reforma.

Al abordar este tema desde una perspectiva técnica y legal, se espera contribuir al entendimiento y la aplicación responsable de las modificaciones de las suspensiones en el contexto automovilístico actual.

2. Objetivo del proyecto

El principal objetivo de este proyecto se basa en justificar la reforma del vehículo “Seat Ibiza Cupra 1.8T” para la legalización de la misma, basándose en el Manual de Reformas de Vehículos.

El presente proyecto se basa en mejorar las prestaciones de un vehículo turismo “básico”, mediante una reforma en la que se ven involucradas las suspensiones y las barras rígidas, así como su posterior homologación, con el objetivo de conseguir una mejor experiencia de conducción, ya que la dinámica del vehículo se ve enormemente mejorada.

También se desea evaluar la seguridad del mismo frente a cualquier situación, con el objetivo de corroborar que estas modificaciones son aptas en cuanto a seguridad vial se refiere.

En resumen, el estudio se realiza para verificar y certificar que el vehículo cumple con los estándares y regulaciones establecidos por las autoridades competentes en materia de seguridad y aspectos técnicos.

3. Antecedentes

La idea de realizar este proyecto surge de la afición del autor de este informe por el mundo del automovilismo y el entorno que lo engloba.

Al adquirir el vehículo en el año 2021, surgió la necesidad de mejorarlo respecto a su base, ya sea mejorando la dinámica, estética y aerodinámica del mismo después de la realización de la reforma planteada anteriormente.

Todas las modificaciones contempladas en el presente proyecto están definidas y sujetas a las normativas establecidas en el Real Decreto 866/2010, fechado el 2 de julio, el cual regula el proceso de tramitación de las reformas de vehículos.

La reforma se define en el Decreto mencionado como:

- Sección 1: Vehículos de tipo M.
- Grupo 5: Suspensión.
- 5.1: Modificación de las características del sistema de suspensión.

4. Temporización de las tareas

Se ha elaborado una secuenciación de las tareas contabilizadas por semanas, en el cual se ilustra el calendario y las actividades seguidas para la realización de este proyecto. Esta herramienta resulta muy útil para planificar, coordinar y hacer un seguimiento específico de las tareas que se tienen que realizar. El diagrama obtenido es el siguiente:

Modificación del sistema de suspensión e instalación de barras rígidas en un Seat Ibiza Cupra

Tabla 1- Secuenciación de actividades realizadas

Actividades	Meses	Diciembre				Enero				Febrero				Marzo				Abril				Mayo				Junio			
	Semanas	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Definición del problema		■																											
Definición de objetivos			■																										
Redacción de los antecedentes				■																									
Búsqueda de información				■	■																								
Búsqueda de alternativas para el nuevo sistema de suspensión					■																								
Compra del sistema de suspensión						■																							
Revisión de la normativa a cumplir							■																						
Redacción de los fundamentos teóricos								■	■	■	■	■	■	■															
Redacción del Anexo I- Componentes de la suspensión														■	■														
Fabricación de la barra de torretas trasera															■	■	■												
Montaje de la barra de torretas trasera																■													
Realización de los cálculos (suspensiones)																		■	■	■	■								
Redacción del estudio de seguridad																					■								
Redacción del pliego de condiciones																						■	■	■					
Realización de los cálculos (Barra de torretas)																							■	■	■				
Simulación de la barra de torretas en Ansys																								■	■				
Redacción del presupuesto																									■				
Obtención de los documentos necesarios para la homologación																									■				
Revisión de los documentos en la ITV																									■				
Obtención de las conclusiones																									■				
Revisión final del proyecto																									■				
Corrección del proyecto																										■			

5. Identificación del vehículo

Las modificaciones mencionadas anteriormente se aplican en un Seat Ibiza Cupra del año 2016 con las siguientes características técnicas:

Tabla 2- Identificación del vehículo

DATOS TÉCNICOS	
MARCA Y MODELO, IDENTIFICACIÓN DEL VEHÍCULO	
Tipo	6J
Variante	SCDAJA
Fecha de matriculación	30/05/2016
Número de bastidor	VSSZZZ6JZGR*****
Matrícula	9223***

Tabla 3- Prestaciones y consumos del vehículo


PRESTACIONES Y CONSUMOS HOMOLOGADOS	
Velocidad máxima	235 km/h
Aceleración 0-100 km/h	6,7 s
Consumo medio	6,2 l/100 km
Emisiones de CO ₂ NEDC	145 gr/km
Normativa de emisiones	Euro 6
Distintivo ambiental DGT	

Tabla 4- Dimensiones y capacidades del vehículo

DIMENSIONES, PESO Y CAPACIDADES	
Tipo de carrocería	Turismo
Número de puertas	3
Longitud (mm)	4055 mm
Anchura (mm)	1693 mm
Altura (mm)	1420 mm
Distancia entre ejes (mm)	2469 mm
Peso (kg)	1260 kg
Capacidad del depósito (l)	45 l
Volumen del maletero (l)	292 l

Tabla 5- Datos del motor del vehículo

DATOS TÉCNICOS DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN	
Combustible	Gasolina
Potencia máxima	192 CV / 141 kW
Revoluciones potencia máxima	4200-6200 rpm
Par máximo	320 Nm
Revoluciones par máximo	1400-4200 rpm
Posición del motor	Delantero transversal
Número de cilindros	4
Cilindrada	1798 cm ³
Alimentación	Inyección mixta directa/indirecta. Turbo. Intercooler
Relación de compresión	9,6 a 1

Tabla 6- Transmisión del vehículo

TRANSMISIÓN	
Tracción	Delantera (FWD)
Caja de cambios	Manual
Número de velocidades	6

Tabla 7- Datos del chasis del vehículo

CHASIS	
Suspensión delantera	Tipo McPherson
Muelle de suspensión delantera	Resorte helicoidal
Suspensión trasera	Rueda tirada con elemento torsional
Muelle de suspensión trasera	Resorte helicoidal
Barra estabilizadora delantera	Si
Barra estabilizadora trasera	No
Tipo de frenos delanteros	Disco ventilado
Diámetro de frenos delanteros	310 mm
Tipo de frenos traseros	Disco
Diámetro de frenos traseros	230 mm
Dirección	Cremallera
Neumáticos delanteros	215/40 R17
Neumáticos traseros	215/40 R17

6. Descripción de la reforma

El proyecto de reforma del vehículo consiste en la sustitución de las suspensiones originales por otras cuyo detalle y referencias se ven reflejadas en el siguiente punto. Adicionalmente, se procede a la instalación de una barra de torretas trasera. Esta está situada en la parte posterior de los asientos traseros, siguiendo una estructura específica que se comenta posteriormente, las cuales dotan al coche de una mayor rigidez y estabilidad, sin ocupar apenas espacio, a diferencia de una jaula antivuelco. Esta modificación no está regulada por ninguna normativa europea, por lo tanto, no se considera una “reforma” y no constará en la ficha técnica del vehículo.

Como se ha mencionado en los antecedentes, esta se encuentra definida y sujeta a las normativas establecidas en el Real Decreto 866/2010, del 2 de julio, por el que se regula la tramitación de las reformas de vehículos.

Se precisará de la siguiente documentación:

- Certificado de Taller.
- Informe de Conformidad.
- Certificado de Final de Obra.
- Proyecto Técnico.

6.1. Relación de las piezas modificadas

El vehículo estudiado ha sido reformado mediante cambios en las características del sistema de suspensión y sus componentes elásticos:

- Cambio de los muelles de suspensión de origen por unos de la marca BLISTEIN, los delanteros ref. E4-FD1-Y133B00 y los traseros ref. E4-FD1-Y373A00 (con soporte roscado marca BLISTEIN para aplicar precarga a los muelles traseros). El cambio de los amortiguadores de suspensión originales por unos de la marca BLISTEIN, los delanteros de cuerpo roscado ref. F4-VM3-G823-H3, y los traseros ref. F4-BM5-G824-H0.

En el apartado *Anexo II - Fotografías de la realización de comprobaciones*, se presenta una tabla (**Tabla 19**) con las medidas relevantes que han sido tomadas en el vehículo con el objetivo de homologar la reforma: dispositivos de alumbrado y señal luminosa, debido a la reducción de altura sufrida en el vehículo por la sustitución de los elementos de suspensión originales por los referenciados anteriormente. También se aportan fotografías para preservar la veracidad de los datos aportados.

6.2. Material de los componentes instalados

La instalación de las suspensiones ha sido realizada por un taller autorizado y la han llevado a cabo técnicos especializados que poseen los conocimientos necesarios en este tipo de reformas. Se utilizan generalmente los tornillos M10, M8, M6, etc. de calidad 8.8, arandelas planas, arandelas grower, tuercas autoblocantes, entre otros, dependiendo de la pieza a instalar. En este caso particular, los sistemas de fijación y tornillería son los originales provistos por el fabricante, sin modificaciones ni sustituciones. Los puntos de anclaje son los mismos que los de las piezas originales o sustituidas, siendo adecuados para su montaje y colocación, sin comprometer las condiciones de seguridad del vehículo.

Los elementos instalados son productos comerciales de la marca BLISTEIN. Los muelles se producen conforme a las normas UNE-EN 10210/2:2002 o DIN 17223/2 "alambre de acero para muelles" y son de calidad FD, utilizando materiales de aleación como el cromo (Cr) y el silicio (Si).

6.3. Condiciones generales de instalación

A continuación, se enumeran una serie de prescripciones y condiciones que el taller ha considerado durante la ejecución de la reforma. Se han cumplido todas las normativas vigentes de Seguridad y Salud en el Trabajo, como se detalla en el apartado **12**.

Estudio de salud y seguridad. Después de completar el montaje, se han verificado y comprobado las cotas de dirección (convergencia, divergencia, avance, caídas, etc.). Tras la instalación, se ha asegurado que los elementos estén fijados y adheridos adecuadamente, adaptándose a la forma y cumpliendo el reglamento CEPE/ONU nº 26 sobre salientes exteriores, verificando que no se desprendan de los anclajes. En ningún caso se deben taladrar, quitar, manipular o cortar los dispositivos antiempotramiento originales del vehículo. Los elementos se fijarán sin generar esfuerzos adicionales en los tornillos ni en el propio elemento, ajustándose lo más posible a las dimensiones y formas del vehículo.

En caso de ser necesario practicar agujeros para tornillos rosca chapa o tornillos de métrica en el vehículo, estos deberán estar a un mínimo de 3 mm de cualquier borde para evitar el efecto entalla, basándose en el “Manual of Steel Construction”. Se limpiarán los restos de suciedad o elementos extraños en las áreas donde se vayan a sustituir o añadir elementos, especialmente en las zonas donde se vaya a soldar o aplicar masilla fijadora. Además, estas áreas deberán estar secas para asegurar una adecuada adherencia.

6.4. Condiciones generales de sustituciones

El desmontaje, sustitución y montaje de los elementos necesarios para la instalación o sustitución de las partes objeto de la reforma en el vehículo deben realizarse siempre siguiendo las prescripciones de montaje y desmontaje proporcionadas por el fabricante para cada vehículo en particular.

- Desmontaje: En este caso concreto, se han desmontado los elementos originales de la suspensión y se han sustituido por los elementos previamente mencionados. Se utilizarán las herramientas necesarias y adecuadas para su montaje.

- **Montaje:** No se alterarán ni modificarán ninguna de las funciones ni características técnicas que no estén indicadas en este proyecto. De la misma forma, se seguirán las instrucciones proporcionadas por el fabricante, así como las siguientes consideraciones adicionales. La instalación se llevará a cabo respetando todos los componentes cercanos, asegurando que no haya interferencia con ningún elemento del vehículo, ya sea de la carrocería o del conjunto llanta/neumático. No debe haber interferencia con el amortiguador, ni en extensión ni en compresión. Una vez completada la instalación, se verificará si se requiere alineación de la dirección y ajustes de la misma (**Imagen 28**). En caso necesario, se realizarán los ajustes para restablecer los valores originales. Se prestará atención y se seguirán las recomendaciones e instrucciones de montaje proporcionadas por el fabricante de los elementos sustituidos, así como las operaciones previas necesarias antes del montaje final.

El proceso de montaje de la suspensión delantera es el siguiente:

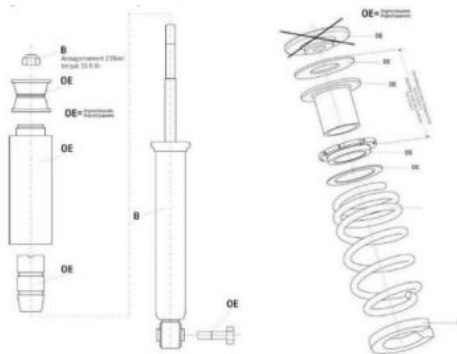


Imagen 1- Proceso de montaje de la suspensión delantera. [Instrucciones de montaje del kit]

De la misma forma, el proceso de montaje de la suspensión trasera:

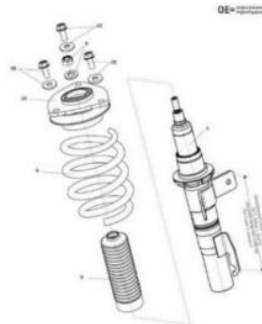


Imagen 2- Proceso de montaje de la suspensión trasera. [Instrucciones de montaje del kit]

6.5. Condiciones generales de pasos de ruedas y guardabarros

Los componentes no deben tener partes puntiagudas, afiladas ni protuberancias orientadas hacia el exterior que, debido a su forma, tamaño, orientación o dureza, puedan incrementar el riesgo o la gravedad de las lesiones corporales en caso de atropello o colisión. Los componentes deben retraerse, desprenderse o doblarse cuando se aplique una fuerza de 100 N en cualquier dirección sobre su punto más sobresaliente. Las partes laterales de los componentes deben estar orientadas hacia la superficie exterior para minimizar el riesgo de enganche. Se debe garantizar que ningún componente interfiera con el recorrido natural de la suspensión.

6.6. Condiciones generales de la suspensión

Antes de instalar los amortiguadores, si corresponde, estos deben ser preparados para asegurar el máximo rendimiento desde el primer uso. Las herramientas utilizadas durante la instalación no deben dañar en ningún momento el vástago del pistón, ya que esto podría causar pérdidas de aceite, dañar el retén y reducir la vida útil y la seguridad del amortiguador. En ningún caso se deben cortar, calentar o modificar los muelles, si se instalan, ya que esto alteraría su funcionamiento. No se modificará ni el tipo ni el sistema de suspensión, manteniendo el diseño original del sistema de suspensión delantero y trasero con el conjunto de muelle y amortiguador. Solo se reemplazan los componentes de la suspensión mencionados anteriormente. No se alterarán ni ajustarán las válvulas distribuidoras ni las válvulas sensibles a la carga. El vehículo cuenta con un sistema ABS y el cambio de altura en marcha no afecta ni modifica el sistema de frenos, ya que son sistemas independientes.

7. Normativa a aplicar

Es indispensable obedecer las normas actuales asociadas al tipo de reforma que se quiere llevar a cabo en el proyecto, con el objetivo de asegurar su legalidad. Es por esto, que se ha creado una tabla, mostrando todos los actos reglamentarios que intervienen en la modificación del vehículo, justificando su cumplimiento en cada una de ellas [11] y [12]:

Tabla 8- Actos reglamentarios de los sistemas a los que la reforma afecta

Actos Reglamentarios (AR)	Referencia	Aplicable a la categoría de vehículos M1
Dispositivos de protección trasera	70/221/CEE	(2)
Cerraduras y bisagras de las puertas	70/387/CEE	(-)
Emplazamiento de la placa de matrícula trasera	70/222/CEE	(2)
Dispositivos de acoplamiento	94/20/CE	(2)
Dispositivos de visión indirecta	2003/97/CE	(2)
Instalación de los dispositivos de alumbrado y señalización luminosa	76/75/6/CEE	(2)
Frenado	71/320/CEE	(1)
Protección de los peatones	2003/102/CE	(2)
Sistemas de protección delantera	2005/66/CE	(2)
Campo de visión delantera	77/649/CEE	(-)
Limpiaparabrisas	78/318/CEE	(-)

Guardabarros	78/549/CEE	(1)
Masas y dimensiones de los automóviles	92/21/CEE	(1)
Masas y dimensiones del resto de vehículos	97/27/CE	(-)
Cristales de seguridad	92/22/CEE	(-)
Protección lateral	89/297/CEE	(-)
Sistemas antiproyección	91/226/CEE	-
Parásitos radioeléctricos	72/245/CEE	(2)

- (1)** El AR se aplica en su última actualización en vigor, a fecha de tramitación de la reforma.
- (2)** El AR se aplica en la actualización en vigor en la fecha de la primera matriculación del vehículo, si la homologación del mismo exige el AR incluido en la tabla. En caso que el AR no fuera exigido para la homologación del vehículo en la fecha de su primera matriculación, se deberá aplicar al menos el AR en la primera versión incluida en el Real Decreto 2028/1986, de 6 de junio, como obligatoria (A).
- (-)** El AR no es aplicable.
- (X)** No se puede realizar la reforma para este tipo de vehículos.

7.1. Dispositivos de protección trasera

Siguiendo las pautas de la normativa 70/221/CEE, el automóvil, tras la modificación, cumple con los estándares establecidos en dicha normativa, ya que no se han efectuado modificaciones directas en estos componentes. No obstante, es esencial garantizar que la distancia entre el eje trasero y la parte superior del vehículo no exceda un metro, y que la altura desde la parte trasera hasta el suelo no supere los 70 cm.

7.2. Emplazamiento de la placa de matrícula trasera

Según lo establecido en la directiva 70/222/CEE, es necesario verificar unas medidas específicas. Las características y dimensiones del lugar donde se ubican las placas traseras de matrícula cumplen con la normativa, ya que no han sufrido modificaciones durante la reforma, y la disposición e instalación de las placas se mantiene inalterada.

La única variación apreciable es la altura de la placa con respecto al suelo, la cual no debe ser inferior a 300 mm desde el borde inferior de la placa al suelo. En este caso, la medida es de 380 mm, cumpliendo así con la normativa.

Además, la altura del borde superior de la placa con respecto al suelo no debe exceder 1,2 m, y en este caso específico, la medida es de 470 mm, manteniéndose en conformidad con la normativa correspondiente.

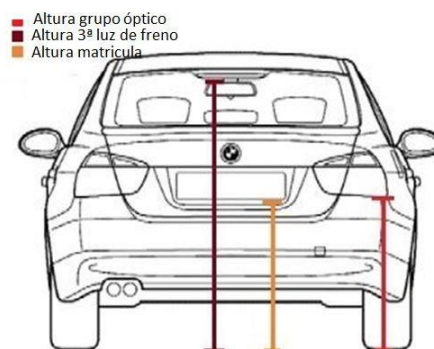


Imagen 3- Alturas a comprobar para la legalización de la reforma.

[Fuente: <https://www.homologatuauto.com/medidas-para-la-homologacion-de-reformas/>]

7.3. Dispositivos de acoplamiento

En este proyecto, no se incorpora ningún dispositivo de acoplamiento al vehículo. Por lo tanto, la directiva que aborda estos dispositivos no impone ningún requisito para la alteración realizada en dicho vehículo.



Imagen 4- Dispositivo de acoplamiento.

[Fuente: <https://www.aeca-itv.com/blog/que-debo-hacer-si-quiero-instalar-en-mi-vehiculo-un-enganche-de-remolque/>]

7.4. Dispositivos de visión indirecta

Son los dispositivos destinados a monitorear las áreas alrededor del vehículo que no son visibles directamente. Es decir, espejos retrovisores, cámaras con monitores y otros aparatos que proporcionan información sobre el campo de visión indirecto del conductor.

De acuerdo con la directiva 2003/97/CE, la modificación actual no tiene impacto en las especificaciones que los dispositivos de visión indirecta deben cumplir. Esto se debe a que, según los requisitos detallados en la directiva, no se ha efectuado ninguna sustitución de los dispositivos de visión indirecta. La única alteración realizada ha sido en la altura total del vehículo, lo que implica que los ensayos que comúnmente se llevan a cabo al modificar estos dispositivos no serían requeridos en este caso en específico.

7.5. Instalación de los dispositivos de alumbrado y señalización luminosa

A lo largo de este proyecto, no se realiza ninguna modificación directa en estos dispositivos, por lo tanto, se cumple con todos los requisitos mostrados en la directiva 76/75/6/CEE. Sin embargo, dado que la altura del vehículo disminuye, es necesario un nuevo ajuste del alumbrado.

También se deberán cumplir las especificaciones que se recogen en la directiva 2009/67/CE, por lo que a estos dispositivos respecta:

- Excepto en casos específicos establecidos, no se permite que ninguna luz sea intermitente, exceptuando las luces señalizadoras de dirección y las luces de emergencia.
- No se permitirá la visibilidad de ninguna luz roja en la parte frontal del vehículo. En cuanto a la luz blanca, únicamente estará permitida la luz de marca atrás en la parte posterior del vehículo, siempre que este la lleve instalada.

7.6. Frenado

Aunque en este proyecto no se llevan a cabo reemplazos en los componentes de frenado, la alteración en la altura del centro de gravedad del vehículo podría ocasionar cambios en su comportamiento al frenar. Por lo tanto, sería necesario llevar a cabo pruebas de frenado específicas para garantizar que el vehículo mantenga la misma eficacia de frenado que antes de la modificación. En este caso, no se han requerido estas pruebas, ya que el técnico encargado del proyecto técnico de la reforma no las ha considerado por la buena eficiencia de frenado del propio vehículo.

7.7. Protección de los peatones

Conforme a lo establecido en la directiva 2003/102/CE, cuando se realiza una modificación en la altura del vehículo, será necesario llevar a cabo los ensayos indicados por dicha normativa. Estos ensayos comprenden: colisión pierna-parachoques (colisión en la parte superior de la pierna con el parachoques y colisión en la parte inferior de la pierna con el parachoques), colisión cabeza de niño o cabeza de adulto de pequeño tamaño en la parte superior del capó, colisión en la parte superior de la pierna con el borde delantero del capó, y colisión cabeza de adulto con el parabrisas.

7.8. Sistemas de protección delantera

El vehículo que se toma de base en este proyecto carece de sistemas de protección frontal, por lo tanto, está en conformidad con los estándares establecidos en la directiva 2005/66/CE, y no sería necesario considerar su instalación.

7.9. Guardabarros

De acuerdo con las disposiciones de la directiva 78/549/CEE, el vehículo satisfará todos los criterios estipulados en dicha normativa, ya que no se han realizado modificaciones en los guardabarros. Sin embargo, será necesario verificar la medida de la parte posterior de los guardabarros, asegurándose de que no exceda un plano horizontal ubicado a 150 milímetros por encima del eje de rotación de las ruedas.

7.10. Masas y dimensiones de los automóviles

Conforme a las pautas establecidas en la directiva 92/21/CEE, se establece que las dimensiones máximas permitidas para un vehículo son: longitud de 12 m, anchura de 2'5 m y altura de 4 m. Tras la realización de la modificación de la suspensión, el vehículo continúa cumpliendo con estos límites dimensionales.

Además, la directiva especifica que la masa máxima autorizada de un vehículo no debe exceder la masa máxima con carga técnicamente admisible, según la definición proporcionada por el fabricante. En el vehículo modificado, no se efectúa ninguna alteración en la masa, por lo tanto, se ajusta a la normativa vigente.

7.11. Parásitos radioeléctricos

Se cumple la normativa 72/245/CEE, ya que la modificación realizada no generará cambios en la compatibilidad electromagnética. Esto se debe a que los dispositivos susceptibles de producir interferencias electromagnéticas seguirán siendo los mismos que antes de la reforma, es decir, los dispositivos instalados originalmente de fábrica.

7.12. Normativa a aplicar para la barra de torretas trasera

Según la nueva normativa vigente, las barras de torretas no se tienen que ceñir a ninguna normativa puesto que estas no se consideran una reforma. No modifica ningún acto reglamentario, pero puede modificar el comportamiento del vehículo en las curvas, haciendo el chasis más rígido y mejorando sus prestaciones.

Es por esto, que, en este proyecto, a pesar de añadir la barra de torretas, sólo se tendrá en cuenta para la homologación el sistema de suspensión.

8. Fundamentos teóricos

8.1. El sistema de suspensión

Este sistema es esencial debido a varias razones que afectan el comportamiento dinámico del vehículo, como, por ejemplo [1]:

- **Comodidad de los ocupantes**: El sistema de suspensión absorbe todas las irregularidades de la vía, aportando así comodidad a todos los ocupantes del vehículo.
- **Estabilidad y manejo**: Contribuye a la estabilidad y manejo, ya que mantiene las cuatro ruedas en contacto con la carretera en todo momento, lo cual es crucial para tener un control total sobre el vehículo, especialmente en zonas de curvas o carreteras reviradas.
- **Tracción y frenada**: Gracias a las suspensiones, se garantiza una tracción y frenada efectivas, con el fin de evitar riesgos en todo tipo de circunstancias.
- **Durabilidad de los demás componentes**: Un sistema de suspensión adecuado contribuye a reducir la carga de impacto sobre los demás componentes del vehículo, por lo que mejora la durabilidad de ellos, así como proteger la carga que soporten.
- **Seguridad**: Unas suspensiones en buenas condiciones reducen el riesgo de vuelco, contribuye en la estabilidad direccional y mejora la capacidad del conductor para mantener el control en situaciones de peligro.

En resumen, el sistema de suspensión desempeña un papel fundamental en cuanto a la seguridad, maniobrabilidad, conducción y rendimiento global del propio vehículo.

8.2. Sistema de suspensión original

Como se ha mencionado anteriormente, la suspensión de un vehículo es la que se encarga de absorber las irregularidades del asfalto y de que los neumáticos estén en continuo contacto con el suelo, con el objetivo de garantizar confortabilidad y seguridad para los ocupantes del mismo.

Cada modelo de coche lleva una suspensión determinada por el fabricante. En el caso del vehículo estudiado (Seat Ibiza Cupra), se utiliza una estructura de suspensión delantera de tipo McPherson. La principal función de esta estructura es estabilizar la dirección actuando como eje en la rueda. En la **Imagen 5**, se puede observar visualmente este tipo de suspensiones:

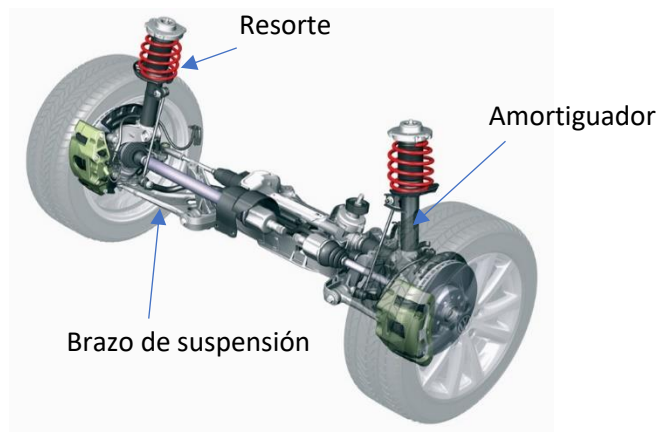


Imagen 5- Suspensión tipo McPherson. Glosario | McPherson. (s. f.)

[Fuente: <https://www.km77.com/glosario/mcpherson>]

En la fotografía anterior, la suspensión McPherson emplea triángulos como componentes inferiores para sostener el buje, y la barra estabilizadora está fijada al amortiguador mediante dos brazos de suspensión.

Las principales ventajas de la suspensión McPherson son su bajo costo de fabricación y el espacio libre que proporciona sobre el eje, lo cual la hace ideal para la instalación de motores transversales.

Una de sus desventajas es que, al comprimirse la suspensión, el ángulo de caída no cambia de manera ideal, lo que impide compensar la ganancia de caída positiva provocada por el balanceo de la carrocería, explicado en el apartado **8.3.1. Movimientos de la suspensión**. Además, dado que el amortiguador actúa como un elemento estructural, está sometido a esfuerzos de flexión, lo que genera más fricción entre el émbolo y el cilindro en comparación con otras suspensiones. Esto resulta en una mayor transferencia de vibraciones de la rueda a la carrocería, reduciendo el confort.

En el caso de la suspensión trasera de origen, el vehículo lleva instalada una estructura de suspensión de “rueda tirada con elemento torsional”.

La suspensión longitudinal o de rueda tirada es aquella en la que el elemento principal de la suspensión está por delante del eje de la rueda.

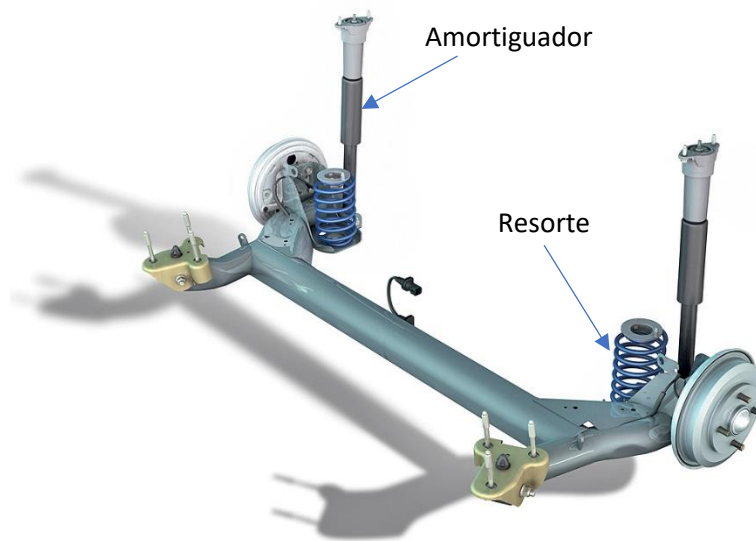


Imagen 6- Suspensión longitudinal.

[Fuente: <https://www.km77.com/tecnica/bastidor/clasificacionsuspension/gra/34.asp>]

Lo que distingue a esta suspensión es que los dos brazos de unión (uno para cada rueda) están conectados por un elemento elástico que cede ante la torsión, pero no ante la compresión. Por lo tanto, este tipo de eje se diferencia de una suspensión de rueda tirada normal en que todos los elementos de unión forman una sola pieza. El movimiento de uno de los brazos genera necesariamente una fuerza en el otro brazo, y esta fuerza es mayor cuanto menor sea la flexibilidad del eje torsional.

Un inconveniente que debe superarse en estos dos tipos de suspensión longitudinal con un solo brazo es que, debido a la distancia entre la articulación del brazo y el punto de apoyo de la rueda, se genera un par de fuerzas que tiende a deformar tanto el brazo como la articulación. Si la suspensión no es adecuada para soportar los esfuerzos que se le imponen, la rueda puede adquirir divergencia en el apoyo¹, lo que provoca que el coche se vuelva inestable.

Para solucionar estos inconvenientes y mejorar las prestaciones del vehículo en cuestión, se ha optado por montar unas suspensiones de la marca BLISTEIN, de tipo roscadas, las cuales ofrecen muchas mejoras respecto a las originales.

¹ Cuando la dirección comienza a girar, la carrocería experimenta un cierto balanceo. Este movimiento de balanceo se detiene cuando el radio de la curva que sigue el coche y su velocidad se estabilizan, junto con la eventual compresión de la suspensión. En ese momento se dice que el coche está "apoyado" o que ha llegado al "apoyo"; el punto de "apoyo" son las ruedas exteriores a la curva.

8.3. Kit de suspensión instalado

El nuevo kit de suspensión instalado en el vehículo se compone de una suspensión roscada. Las suspensiones roscadas son un sistema de amortiguación que incluye muelles y un componente hidráulico (el amortiguador propiamente dicho). Su característica distintiva en comparación con los modelos de fábrica es que su altura se puede ajustar mediante una rosca.



Imagen 7- Rosca de la suspensión. [Fuente propia]

La suspensión roscada puede regular la altura, pero también la dureza y el rebote. Esto se logra modificando la resistencia al flujo del fluido hidráulico dentro del amortiguador mediante válvulas ajustables. Regular la dureza es fundamental para controlar cómo el vehículo responde a las irregularidades del camino, impactando directamente en la comodidad de conducción, el manejo y la estabilidad. Este tipo de ajuste es crucial en vehículos de alto rendimiento o de competición, donde se necesita una afinación precisa de la suspensión para optimizar el comportamiento y el rendimiento del vehículo en diversas condiciones de conducción y tipos de circuitos.

El cambio de suspensión, tiene como consecuencia un centro de gravedad más bajo, por lo tanto, variarán aspectos como los tiempos de frenada, la estabilidad en las curvas, el balanceo, etc.

Para demostrar que el nuevo centro de gravedad proporciona una mejor estabilidad, se deben realizar unos cálculos (**10. Cálculos justificativos del sistema de suspensión**), los cuales se apoyan en las siguientes ecuaciones:

Primeramente, se obtiene la fórmula para el cálculo del centro de gravedad del vehículo (Cg), partiendo como datos iniciales con la masa de la parte delantera del vehículo (m_d), la masa total (m_{total}) y la distancia entre ejes (B).

Para determinar la posición del centro de gravedad, se considera el equilibrio de momentos alrededor del eje estudiado, en este caso el eje delantero.

La masa del eje delantero, crea un momento en sentido horario alrededor de este:

$$M(x) = m_d * B$$

La masa total del vehículo, crea un momento en sentido antihorario respecto a este eje. La distancia de este eje al centro de gravedad es: ($B - Cg$). Por lo tanto, el momento generado es el siguiente:

$$M'(x) = m_{total} * (B - Cg)$$

Para que esté en equilibrio, estos dos momentos tienen que ser opuestos y igualarse:

$$m_d * B = m_{total} * (B - Cg)$$

Aislando Cg :

$$Cg = B - \frac{m_d * B}{m_{total}}$$

$$Cg = B \left(1 - \frac{m_d}{m_{total}} \right)$$

$$Cg = \frac{m_d * B}{m_{total}}$$

El fabricante de la suspensión roscada especifica en su manual de usuario los límites mínimo y máximo de ajuste en altura que se deben respetar para asegurar el funcionamiento óptimo del amortiguador y evitar daños tanto a este como a otros componentes del coche. Para variar la altura, se necesita una llave provista por el fabricante de las propias suspensiones que permite girar la rosca (*Imagen 7*) y en función de las vueltas que dé la rosca, disminuirá esta altura. Además, es importante considerar la dureza, que está determinada por el diseño del muelle.

Estas características se pueden comprobar realizando los cálculos pertinentes a la constante elástica del muelle y a los esfuerzos que soportan los mismos resortes.

Según la teoría de la Elasticidad y Resistencia de los Materiales [5], la constante de rigidez de un muelle helicoidal viene determinada por la siguiente ecuación:

$$K = \frac{G * d^4}{8 * (D)^3 * N_e}$$

La ecuación establece que la constante de rigidez del muelle es proporcional a la cuarta potencia del diámetro de la espira (d) y al módulo de cizalladura del alambre (G), mientras que es inversamente proporcional a ocho veces la tercera potencia del diámetro medio del muelle (D) y al número de espiras activas (N_e).

También se debe calcular el valor de la tensión máxima en el alambre del muelle helicoidal, considerando la tensión de torsión y la de carga axial. La fórmula de la tensión máxima es la siguiente:

$$\sigma_{max} = K_w * \left[\frac{8 * F * D}{\pi * d^3} \right]$$

Donde (F) es la fuerza axial aplicada en el muelle, (D) es el diámetro medio del muelle, (d) es el diámetro del alambre y (K) es el factor de corrección de Wahl.

El factor de Wahl considera los efectos de la curvatura del alambre y las tensiones adicionales que se generan en el alambre del muelle debido a su forma helicoidal.

Viene dado por la siguiente ecuación:

$$K_{w1} = \left(\frac{(4 * C) - 1}{(4 * C) - 4} \right) + \left(\frac{0,615}{C} \right)$$

Donde:

$$C = \text{Índice del muelle} = \frac{D}{d}$$

En la siguiente imagen se puede apreciar la gráfica donde se expresa el índice de corrección de Wahl:

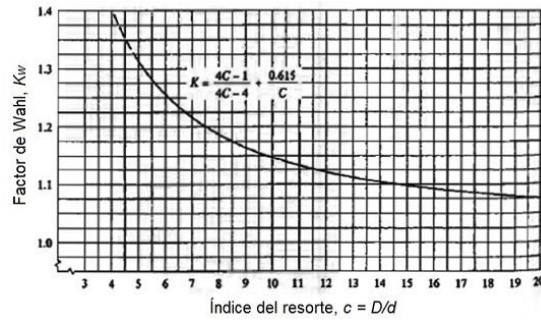


Imagen 8- Índice de corrección de Wahl.

[Fuente: EcuRed. (s. f.). Amplitud de onda - EcuRed.
https://www.ecured.cu/Amplitud_de_onda]

De este modo, la expresión con la que se obtendría el valor de la tensión máxima sería la siguiente:

$$\sigma_{max1} = \left[\left(\frac{(4 * C) - 1}{(4 * C) - 4} \right) + \left(\frac{0,615}{C} \right) \right] * \left[\frac{8 * F * D}{\pi * d^3} \right]$$

La elección de la marca de las suspensiones es crucial para lograr no solo la altura deseada, sino también la comodidad para el conductor y los pasajeros. En este caso, se ha decidido instalar el kit de suspensiones Blistein B16, ya que sus características y desempeño hacen que el coche estudiado en este proyecto tenga un gran margen de mejora de rendimiento.



Imagen 9- Blistein B16 PSS10. (Nuevas suspensiones instaladas en el vehículo)

8.3.1. Movimientos de la suspensión

8.3.1.1. Compresión

La suspensión se eleva cuando el resorte se comprime al pasar sobre un obstáculo. Debido a su naturaleza independiente, una rueda puede elevarse sin afectar a las demás. Para aprovechar esta compresión en el recorrido de la suspensión, es necesario contar con un margen desde la posición de reposo, asegurando así un espacio de compresión hasta alcanzar el límite del amortiguador.

Tomando como ejemplo que el vehículo se encuentra en el aire, al bajarlo, por su propio peso hace que los muelles se compriman, por lo que la suspensión sufre una “deflexión” llamada deflexión estática².

Se puede hacer analogía entre un péndulo que oscila libremente y la suspensión de un vehículo [6].

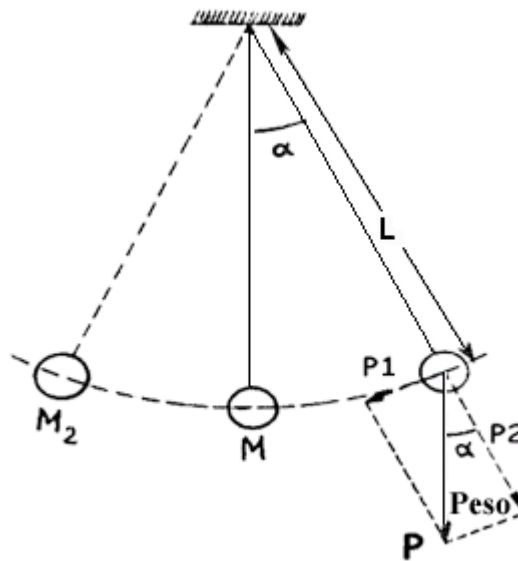


Imagen 10- Péndulo con libre oscilación.

[Fuente: <https://www.km77.com/tecnica/bastidor/pendulo/texto.asp>]

² Desplazamiento vertical que experimenta un sistema de suspensión bajo una carga estática

El péndulo (con longitud L en la **Imagen 10**), representa la deflexión estática del vehículo bajo carga, causada por la acción gravitacional del peso de la carrocería sobre sus suspensiones. Podemos concluir que la suspensión es como un péndulo que necesita amortiguación.

Para un péndulo simple amortiguado, la ecuación del movimiento es:

$$m * \frac{d^2\theta}{dt^2} + b \frac{d\theta}{dt} + k\theta = 0$$

Donde (m) es la masa del péndulo, (b) es el coeficiente de amortiguación, (k) es la constante de rigidez y (θ) es el ángulo de desplazamiento.

Para la suspensión de un vehículo, la ecuación de desplazamiento es similar:

$$m * \frac{d^2x}{dt^2} + c \frac{dx}{dt} + kx = 0$$

Donde (m) es la masa suspendida del vehículo, (c) es el coeficiente de amortiguación del amortiguador, (k) es la constante de rigidez del muelle y (x) es el desplazamiento vertical de la suspensión.

Es por esto que la suspensión del coche funciona de manera similar a un péndulo amortiguado, ya que ambos sistemas utilizan componentes elásticos y amortiguadores para disipar la energía de las oscilaciones.

Si, ante una compresión de la suspensión, la amortiguación impide una nueva oscilación, significará que esta se encuentra en el punto justo de "amortiguación crítica". En otras palabras, la amortiguación crítica es aquella en la cual, al comprimir la suspensión hasta el final de su recorrido y luego soltarla, no se produce la más mínima oscilación, ya que la fuerza de amortiguación supera la energía potencial acumulada por el resorte durante la compresión.

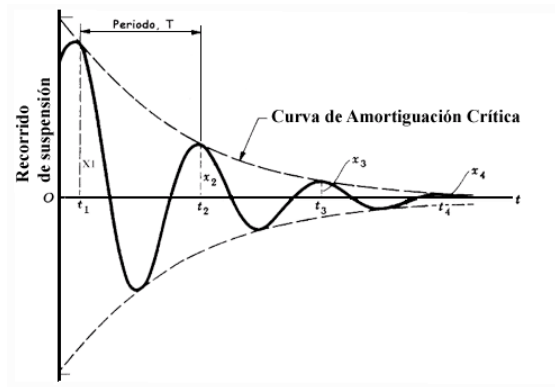


Imagen 11- Curva de amortiguación crítica.

[Fuente: <https://www.km77.com/tecnica/bastidor/pendulo/texto.asp>]

En la **Imagen 11**, la curva de líneas continua representa la oscilación de un sistema con una masa determinada, sometida a la oscilación de un muelle con una rigidez determinada [6]. La curva discontinua corresponde a la amortiguación crítica (AC).

Se puede evaluar el confort experimentado por los pasajeros en función de la amortiguación en relación con la AC, por lo que se ha creado la siguiente tabla:

Tabla 9- Porcentajes de amortiguamiento en los diferentes tipos de vehículos

	% de compresión/extensión	% Amortiguación Crítica
Coche cómodo	25 - 30 / 75 - 70	15 - 25
Semi deportivo	30 - 35 / 70 - 65	25 - 30
Deportivo	40 - 45 / 60 - 65	30 - 35
Competición	50 - 60 / 50 - 40	35 - 40

8.3.1.2. Extensión

En este caso, pasa exactamente lo contrario que en la compresión, ya que la suspensión desciende, es decir, el resorte se extiende debido a la presencia de un bache o agujero en la carretera. La rueda se sumerge en el hueco y luego se eleva sin afectar a las otras ruedas, ya que cada una actúa de manera independiente. Por esta razón, es necesario contar con un prehundimiento cuando el vehículo está en reposo, ya que en ese estado el resorte está comprimido.

Este prehundimiento también resulta crucial al tomar curvas, para evitar que el amortiguador alcance su límite de extensión y provoque que la rueda interior se levante del suelo. Por lo tanto, es esencial disponer de un cierto margen de extensión en la suspensión [7].

8.3.1.3. Cabeceo

Este movimiento de la suspensión deriva del ámbito náutico. En el contexto automovilístico se refiere a los movimientos u oscilaciones de un vehículo a lo largo de su eje longitudinal³.

El ángulo de cabeceo se define como la medida del ángulo formado por la unión del eje longitudinal del vehículo con el plano horizontal durante sus movimientos, y este se manifiesta en las fases de aceleración y frenado. El cabeceo suele provocar la elevación de la parte delantera y el hundimiento de la trasera o viceversa (como por ejemplo al pasar por un badén en línea recta).

³ El eje longitudinal es una línea imaginaria que pasa a través del centro de masa del vehículo, extendiéndose desde el extremo frontal (parte delantera) hasta el extremo trasero (parte posterior), dividiéndolo simétricamente en dos partes.

Para evitar este fenómeno, es recomendable reducir la frecuencia natural de las suspensiones delanteras (ajustarlas para que sean más blandas) y endurecer las traseras, con el objetivo de reducir el cabeceo [7].

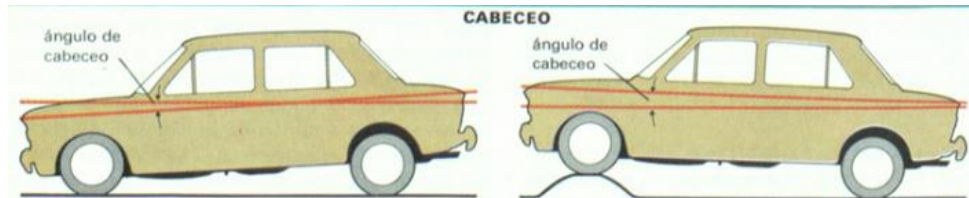


Imagen 12- Cabeceo durante la frenada (Izquierda) y sobre un obstáculo (Derecha).

[Fuente: <https://diccionario.motorgiga.com/diccionario/cabeceo-definicion-significado/gmx-niv15-con193305.htm>]

8.3.1.4. Aplastamiento

En vehículos que tienen una elevada carga aerodinámica⁴, generalmente se produce este efecto en las suspensiones, lo que hace que los cuatro amortiguadores se compriman a la vez. Este fenómeno se denomina “aplastamiento”.

8.3.1.5. Retorcimiento

Las suspensiones de las esquinas opuestas experimentan compresión, lo que significa que la suspensión delantera derecha y la trasera izquierda se comprimen, mientras que las otras se extienden. Este fenómeno es menos común y suele ocurrir cuando el chasis carece de rigidez. (No es este caso).

⁴ La carga aerodinámica de un vehículo es la fuerza generada por la interacción del flujo de aire con la superficie del vehículo mientras se desplaza a través del aire. Esta fuerza se divide en dos componentes principales: la sustentación aerodinámica y la resistencia aerodinámica.

8.3.1.6. Balanceo

Se puede apreciar este efecto cuando un vehículo está tomando una curva.

Cuando la carrocería balancea, lo hace alrededor de un eje específico conocido como “eje de balanceo”. Este eje se determina mediante la conexión de dos puntos llamados centros de balanceo, uno en cada eje del vehículo. En la siguiente figura se presenta una ubicación aproximada de estos elementos en un vehículo:

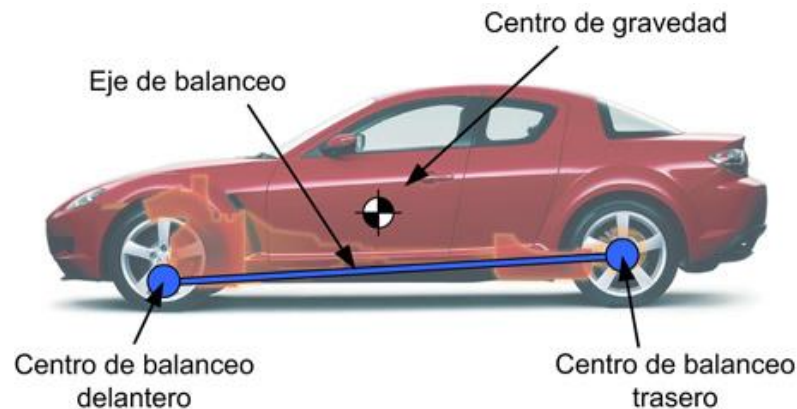


Imagen 13- Eje de balanceo y centro de gravedad de un vehículo.

[Fuente: <https://www.km77.com/tecnica/bastidor/balanceo/t01.asp>]

Los centros de balanceo son establecidos por el sistema de suspensión y se sitúan en el plano vertical que atraviesa el centro de las ruedas de cada eje. En otras palabras, el eje de balanceo exhibe una leve inclinación descendente hacia la parte frontal del vehículo, situándose por encima del suelo y por debajo del centro de gravedad, cuya altura generalmente oscila entre 45 y 65 centímetros.

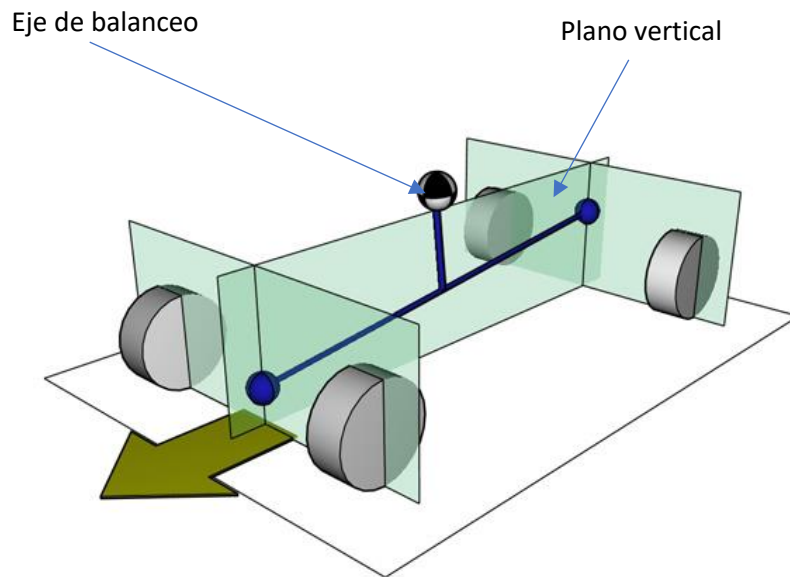


Imagen 14- Plano vertical y eje de balanceo de un vehículo.

[Fuente: <https://www.km77.com/tecnica/bastidor/balanceo/t01.asp>]

Se puede concluir con que el centro de gravedad está sólidamente conectado al eje de balanceo. Cualquier fuerza lateral aplicada en este centro buscará inducir un movimiento rotativo de toda la carrocería alrededor de dicho eje.

8.4. Barra de torretas trasera

Los vehículos de hoy en día están pensados para que tengan la mayor rigidez y estabilidad posible, con el objetivo de dar confianza al conductor y garantizar una conducción segura.

La rigidez es la propiedad de una estructura de no doblarse y flexionarse cuando actúa una fuerza, es decir, que sea capaz de soportar una o varias fuerzas sin deformarse, en este caso, un automóvil [2].

La estructura de cualquier vehículo está constantemente siendo sometida a fuerzas, ya que durante la conducción existen reducciones de velocidad bruscas, aceleraciones, curvas, etc. Por lo tanto, el propósito de aumentar la rigidez estructural de un vehículo es que este sea capaz de distribuir las fuerzas que actúan sobre él, distribuyéndolas a través de todas sus piezas compuestas de diversos materiales. En la **Imagen 15**, se pueden apreciar varios colores. El color gris representa el acero estampado, el color amarillo acero de alta resistencia, el morado acero de alta resistencia y, por último, el color rojo representa acero de muy alta resistencia.



Imagen 15- Tipos de aceros utilizados en el chasis de un vehículo representados por colores.

Otro objetivo que tiene la rigidez estructural es minimizar los ruidos durante la conducción. La rigidez representa la antítesis de la flexibilidad. En el caso de que todas las uniones de los componentes fueran flexibles y se desplazaran al pasar por una irregularidad en la vía, estas provocarían ruidos molestos que no son deseados. Además, al deformarse su estructura provocaría que las puertas, capó y maletero se descuadraran con facilidad, como se puede observar en la **Imagen 16**:

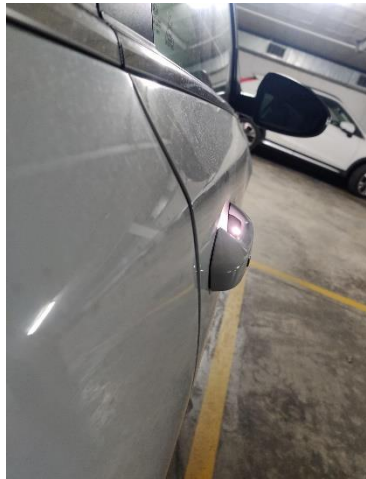


Imagen 16- Puerta descuadrada. [Fuente propia]

Con el fin de mejorar la rigidez estructural del vehículo, los fabricantes apuestan por usar las llamadas “barras de torretas”, elemento el cual se encarga de unir entre sí las torretas de los amortiguadores, tanto delanteros como traseros.



Imagen 17- Barra de torretas delanteras.

No se deben confundir con las barras estabilizadoras, ya que estas son las encargadas de minimizar el balanceo o inclinación lateral del vehículo al tomar una curva, y están conectadas a las suspensiones. En cambio, la barra de torretas, mejora la rigidez estructural del chasis, ya que conecta las torretas de los amortiguadores, con el objetivo de reducir la flexión del chasis durante la conducción.

En la **Imagen 18** se puede visualizar la disposición de las barras de torretas delanteras en el vehículo:

Torretas de los amortiguadores

Barra de torretas delantera



Imagen 18- Disposición de la barra de torretas delantera.

Inicialmente, en este proyecto, se había previsto instalar también la barra de torretas delantera. Sin embargo, debido a restricciones geométricas del diseño del motor, esta modificación resulta inviable.



*Imagen 19- Demostración de la imposibilidad de instalar una barra de torretas delantera.
[Fuente propia]*

Como se puede observar en la imagen, en el lugar donde van ubicadas las torretas de las suspensiones (círculo blanco), existe una pieza de goma que las cubre. Esta pieza es la que sostiene los conductos por donde entra el aire del aire acondicionado y la que se encarga de que no entre suciedad al motor. En conclusión, eliminar esta pieza para instalar una barra de torretas influiría de manera negativa en la comodidad y bienestar de los ocupantes, por lo que se ha decidido en mantener la pieza original.

Por otro lado, las barras de torretas traseras no se utilizan tanto como las delanteras, ya que estas están orientadas a un uso más radical (deportivo), y sólo una pequeña parte de los vehículos que salen de fábrica las llevan instaladas originalmente, por los costes que suponen y porque hay barras que requieren de varios ajustes (cortar plásticos y modificar copelas de suspensión).

Se toma como ejemplo el vehículo de la marca Hyundai, modelo i30.

- Versión más económica (Motorización 1.5 DPI Essence, 110CV)



Imagen 20- Hyundai i30. (Modelo base)



Imagen 21- Versión del Hyundai i30 sin barra de torretas trasera

En cambio, si se compara con la versión del i30N (Motorización 2.0 TGD I 280CV):



Imagen 22- Hyundai i30n Performance (Versión deportiva)

Esta versión más potente del Hyundai i30 sí que dispone de barra de torretas



Imagen 23- Versión del Hyundai i30n Performance con barra de torretas trasera.

Cabe destacar que existen dos tipos de barras de torretas:

Fijas o rígidas: con tuercas fijas.

Regulables: disponen de tuercas regulables. Con ellas, se aumenta la rigidez de acuerdo al manejo y la suspensión del vehículo.

Se ha comentado anteriormente que el coche que se toma como base es un Seat Ibiza Cupra 1.8 TSI, que utiliza la última tecnología de Volkswagen en cuanto a chasis, la plataforma “MQB” (Modular Quer Baukasten). Esta plataforma lleva una carrocería bastante rígida soldada mediante láser. El problema que tiene esta plataforma, es que en la parte delantera el chasis es muy rígido, pero en la parte trasera existe mucha más flexión en él, lo que afecta negativamente al manejo del vehículo, cuando se realiza una conducción más deportiva, especialmente con una suspensión rígida.

Lo que se ha hecho para solucionar este problema, es la fabricación de una barra de torretas trasera, bloqueando así los puntos duros cruciales.

Para su diseño, se ha mantenido una estructura triangulada, de tal forma que se maximiza la rigidez. En el apartado **11. Diseño y cálculos de la barra de torretas trasera**, se explica el proceso de fabricación de este componente.

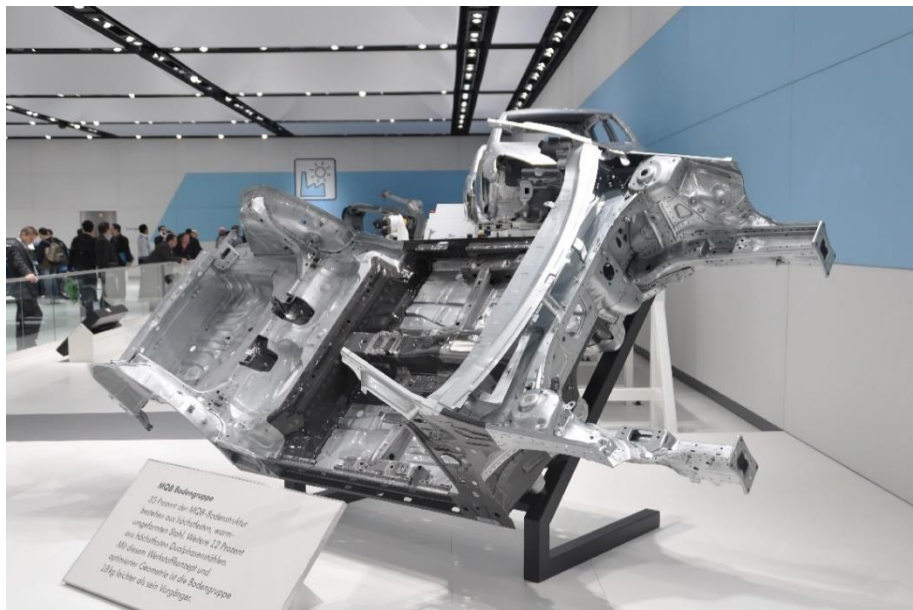


Imagen 24- Chasis MQB.

[Fuente: Fernández, A. (2017, 20 junio).Plataforma MQB de Volkswagen]

Para los cálculos de esta barra de torretas, se utiliza la expresión de la deflexión de una viga en voladizo que soporta una carga puntual, proveniente de la ecuación de Euler-Bernoulli. Esta teoría relaciona la carga aplicada en la barra, la geometría de la misma y la deflexión resultante. La ecuación es la siguiente:

$$\delta = \frac{FL^3}{3EI}$$

Siendo:

δ = Deflexión en el extremo de la torreta (mm)

F = Fuerza aplicada en el extremo de la barra (N)

L = Longitud de la torreta (m)

E = Módulo de Young del material (GPa)

I = Momento de inercia de la sección transversal (m^4)

La derivación de esta fórmula implica resolver la ecuación diferencial de Euler-Bernoulli:

$$\frac{d^2}{dx^2} \left(EI * \frac{(d^2y)}{dx^2} \right) = q(x)$$

Para una carga puntual F aplicada en el extremo de una barra de longitud L , $q(x) = 0$.

Integrando dos veces, se obtiene la ecuación de la deflexión mencionada:

Como se ha explicado, $q(x) = 0$, por lo tanto:

$$\frac{d^2}{dx^2} \left(EI * \frac{(d^2y)}{dx^2} \right) = 0$$

El momento flector en la barra será el siguiente:

$$M(x) = -F(L - x)$$

La relación entre el momento flector y la curvatura de la barra es:

$$M(x) = EI * \left(\frac{d^2y}{dx^2} \right)$$

Sustituyendo el momento flector queda de la siguiente manera:

$$-F(L - x) = EI * \left(\frac{d^2y}{dx^2} \right)$$

Se procede a realizar la primera integración:

$$\frac{d^2y}{dx^2} = -\frac{F(L-x)}{EI}$$

Integrando respecto a x :

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{F}{EI} \int (L-x) dx = -\frac{F}{EI} \left(Lx - \frac{x^2}{2} \right) + C_1$$

Segunda integración:

$$y(x) = -\frac{F}{EI} \int \left(Lx - \frac{x^2}{2} \right) dx + C_1x + C_2$$

$$y(x) = -\frac{F}{EI} \left[\left(\frac{Lx^2}{2} \right) - \left(\frac{x^3}{6} \right) \right] + C_1x + C_2$$

Las condiciones de frontera son:

- En $x = 0$, la deflexión $y = 0$
- En $x = 0$, la pendiente $\frac{dy}{dx} = 0$

Aplicando la primera condición:

$$0 = -\frac{F}{EI} \left[\left(\frac{L * (0)^2}{2} \right) - \left(\frac{0^3}{6} \right) \right] + C_1(0) + C_2$$

$$C_2 = 0$$

Aplicando la segunda condición:

$$0 = -\frac{F}{EI} \int \left(L(0) - \frac{0^2}{2} \right) dx + C_1(0) + C_2$$

$$C_1 = 0$$

Dado que C_1 y C_2 son iguales a cero, la expresión se simplifica de la siguiente forma:

$$y(x) = -\frac{F}{EI} \left[\frac{Lx^2}{2} - \frac{x^3}{6} \right]$$

En el extremo libre de la barra, $x = L$, de tal forma que:

$$y(L) = -\frac{F}{EI} \left[\frac{L(L)^2}{2} - \frac{(L)^3}{6} \right]$$

$$y(L) = -\frac{F}{EI} \left[\frac{L^3}{2} - \frac{(L)^3}{6} \right]$$

$$y(L) = -\frac{F}{EI} \left[\frac{3L^3}{3} - \frac{(L)^3}{3} \right]$$

$$y(L) = -\frac{F}{EI} \left[\frac{2L^3}{6} \right]$$

Finalmente, la expresión queda de la siguiente manera:

$$y(L) = -\frac{FL^3}{3EI}$$

Se toma el valor absoluto para la obtención de la deformación total, de forma que la expresión final que se ha utilizado en los cálculos del apartado **11.4. Cálculos justificativos de la barra de torretas trasera**

Para el cálculo de la barra de torretas se han realizado varias pruebas experimentales con tal de comprobar el beneficio que esta pieza aporta al vehículo estudiado. En la primera prueba, se ha empleado un hilo (representado en color rojo en la **Imagen 71**), cinta adhesiva para mejorar la visualización del vídeo, una botella al 50% de agua y una cámara GoPro Hero 10 para grabar la secuencia.

$$\delta = \frac{FL^3}{3EI}$$

9. Modificación del sistema de suspensión

9.1. Vehículo antes de la reforma



Imagen 25- Vehículo con las suspensiones originales. [Fuente propia]

9.2. Vehículo después de la reforma



Imagen 26- Vehículo con las nuevas suspensiones Blistein. [Fuente propia]

Como se puede observar, la altura entre la rueda y el paso de rueda ha disminuído considerablemente, debido a la reducción de la altura total del vehículo en 46 mm.

10. Cálculos justificativos del sistema de suspensión

10.1. Transferencia de masas del vehículo

La transferencia de masas de un vehículo se refiere al movimiento que adquiere la propia masa del vehículo, debido a fuerzas exteriores como es la aceleración (la masa tiende a ir hacia atrás), la desaceleración (la masa va hacia delante) y al tomar una curva (la masa se dirige hacia el exterior de una curva debido a la fuerza centrífuga).

Esta transferencia de masa puede afectar significativamente el manejo de un vehículo y la estabilidad del mismo. Gracias a la sustitución del sistema de suspensión por uno de carácter más rígido, se han minimizado estos efectos.

En el siguiente apartado se ha estudiado el comportamiento de estas masas con la suspensión original y posteriormente con la suspensión modificada, comparando ambos centros de gravedad.

Durante todos los cálculos realizados en este proyecto, se ha trabajado teniendo en cuenta el siguiente sistema de coordenadas:

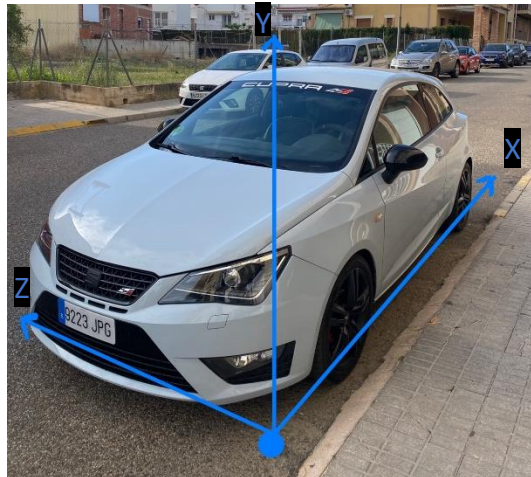


Imagen 27- Sistema de coordenadas. [Fuente propia]

10.1.1. Centro de gravedad del vehículo

Para obtener el centro de gravedad del vehículo estudiado se ha de conocer en primer lugar el peso en cada rueda de forma individual. Para ello, existe un dispositivo que mide la carga en cada rueda, cuando el vehículo está situado sobre él, con una precisión máxima de 1 kg según el fabricante.

Como se ha comentado anteriormente, el objetivo de este proyecto es mejorar la dinámica del vehículo en marcha. Es por eso, que el pesaje del coche se ha realizado siguiendo las siglas MOM: “Masa de Orden en Marcha”. Se trata del peso del vehículo con el equipamiento estándar, es decir, con el depósito lleno, todos los líquidos del vehículo y el peso del conductor.

En la **Imagen 28**, se puede apreciar el pesaje del vehículo siguiendo este sistema:



Imagen 28- Alineación y pesaje del vehículo por rueda. [Fuente propia

Una vez realizado el pesaje, se obtienen los siguientes resultados:

Rueda	Pesaje (kg)	Ejes (kg)	Total (kg)
Delantera derecha	460	793	1322
Delantera izquierda	333		
Trasera derecha	274	529	
Trasera izquierda	255		

Analizando esta tabla de resultados, se observa que el coche no es perfectamente simétrico en cuanto a los ejes se refiere, sino que diversos componentes del mismo hacen que recaiga más peso en la parte delantera que en la trasera. Esto es debido a la posición del motor, la caja de cambios, el peso del conductor, etc.

Analíticamente, el peso de la parte delantera resulta en un 59'98 % del peso total del vehículo, mientras que la parte trasera será el 40'02 % del peso total. Esta es una característica propia de los vehículos con motor situado en la parte delantera.

Conociendo estos valores, la posición del centro de gravedad en el eje longitudinal se calculará de la siguiente forma:

Datos conocidos:

- m_d = masa en la parte delantera = 793 kg
- m_t = masa en la parte trasera = 529 kg
- B = Batalla (Distancia entre ejes) = 2490 mm
- m_{total} = masa total del vehículo = 1322 kg

$$C_{g1} = \frac{m_d * B}{m_{total}} = \frac{793 \text{ kg} * 2490 \text{ mm}}{1322 \text{ kg}} = 1493'62 \text{ mm}$$

$$C_{g2} = \frac{m_t * B}{m_{total}} = \frac{529 \text{ kg} * 2490 \text{ mm}}{1322 \text{ kg}} = 996'37 \text{ mm}$$

Este es el resultado de la posición del centro de gravedad en el eje longitudinal.

Seguidamente, se ha calculado la altura del centro de masas, y es por eso que se ha realizado una segunda prueba, esta vez con un plano inclinado, pero con las mismas condiciones iniciales:

Rueda	Pesaje (kg)	Ejes (kg)	Total (kg)
Delantera derecha	457	793	1322
Delantera izquierda	336		
Trasera derecha	269	529	
Trasera izquierda	260		

Una vez obtenidos estos datos, se procede al cálculo de la altura del centro de gravedad, conociendo los siguientes datos:

- m_{total} = masa total del vehículo = 1322 kg
- R_c = altura del punto central de la rueda = 303 mm
- α = ángulo de avance = $4'12^\circ = 0'0719$ rad
- m_d = masa en la parte delantera = 793 kg
- B = batalla (Distancia entre ejes) = 2490 mm
- C_{g1} = centro de gravedad en el eje longitudinal (eje delantero) = 1493'62 mm

$$h_{cg} = \frac{m_t * (R_c * tg(\alpha) + C_{g1}) - (m_d * B)}{m_t * tg(\alpha)}$$

$$h_{cg} = \frac{1322 * (303 * \operatorname{tg}(4'12^\circ) + 1493'62) - (793 * 2490)}{1322 * \operatorname{tg}(4'12^\circ)}$$

$$h_{cg} = \mathbf{302'95 \text{ mm}}$$

En conclusión, la altura del centro de gravedad del vehículo respecto al suelo se encuentra a una altura de 302'95 mm, con respecto del suelo.

Para conocer las coordenadas del centro de gravedad tanto en el plano vertical como en el horizontal, se recurre a la siguiente ecuación:

➤ **Plano horizontal**

$$Cg_h = \frac{\sum x * m}{\sum m} = \frac{(x_{cg_{conductor}} * m_c) + (x_{cg_{vehiculo}} * m_v)}{m_c + m_v}$$

$$Cg_h = \frac{(1650 \text{ mm} * 72 \text{ kg}) + (996'37 \text{ mm} * 1260 \text{ kg})}{72 \text{ kg} + 1260 \text{ kg}} = \mathbf{1031'7 \text{ mm}}$$

➤ **Plano vertical**

$$Cg_v = \frac{\sum y * m}{\sum m} = \frac{(y_{cg_{conductor}} * m_c) + (y_{cg_{vehiculo}} * m_v)}{m_c + m_v}$$

$$Cg_h = \frac{(875 \text{ mm} * 72 \text{ kg}) + (302'95 \text{ mm} * 1260 \text{ kg})}{72 \text{ kg} + 1260 \text{ kg}} = \mathbf{333'87 \text{ mm}}$$

Donde:

- $X_{cg_conductor}$ = posición del centro de gravedad del conductor (eje X) = 1650 mm
- $X_{cg_vehículo}$ = posición del centro de gravedad del vehículo (eje X) = 996'37 mm
- $Y_{cg_conductor}$ = posición del centro de gravedad del conductor en el eje Y (posición del volante aproximadamente) = 875 mm
- $Y_{cg_vehículo}$ = posición del centro de gravedad del vehículo en el eje Y = 302'9 mm
- m_c = masa del conductor = 72 kg
- m_v = masa del vehículo en vacío = 1260 kg

10.1.2. Centro de gravedad de las masas no suspendidas

Se entiende como masas no suspendidas el conjunto de elementos de un vehículo que se encuentran en contacto directo con el terreno, y deben seguir el perfil del mismo en todo momento, como por ejemplo las ruedas, ejes, semiejes, frenos etc.

De manera esquemática, las masas no suspendidas se representan con la letra "R" en la **Imagen 29**, así como en la **Imagen 30**, que se ven representadas en color amarillo.

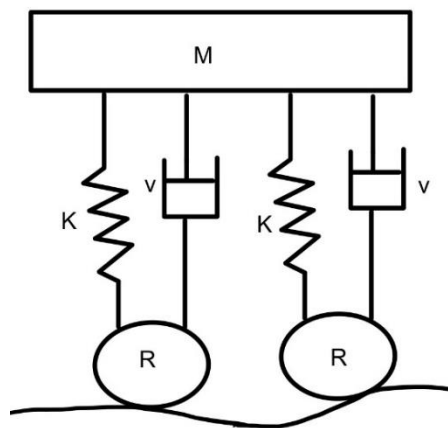


Imagen 29- Esquema de la suspensión. [Fuente propia]

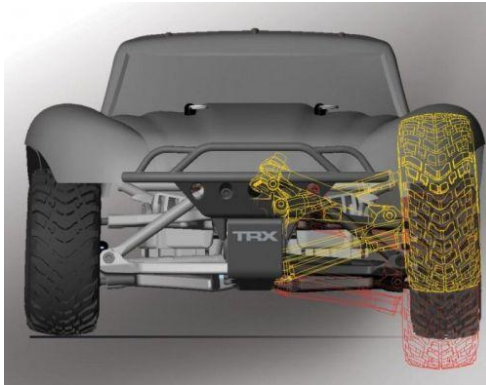


Imagen 30- Masas no suspendidas.

[Fuente: Jose Luis García. (2021, 16 marzo). Que es la masa no suspendida

Para el cálculo del centro de gravedad de las masas no suspendidas en el plano medio longitudinal del vehículo, se ha medido de manera directa el peso y la posición de cada elemento (únicamente en el eje Y), que vienen recogidos en la siguiente tabla:

Tabla 10- Datos relevantes a las masas no suspendidas del vehículo

Elemento	Abreviatura	Posición en Y (mm)	Masa (kg)
Parte delantera/trasera			
Rueda (con llanta)	R ₁	470 / 470	12'30 / 12'30
Frenos (sistema completo)	F ₁	470 / 470	11'70 / 8'80
Eje	E ₁	370 / 406	36'80 / 1'90
Semieje	S ₁	218 / 270	3'13 / 3'21
Amortiguador	A ₁	391 / 497	3'90 / 4'10
Brazo	B ₁	300 / 295	1'76 / 1'88

Ejemplo de la metodología seguida para la obtención de los valores de la **Tabla 10**:



Imagen 31- Toma de medidas de las masas no suspendidas. [Fuente propia]

Una vez recogidos estos datos, se procede al cálculo del centro de masas equivalente en cada eje mediante la fórmula del cálculo de centroides:

➤ Eje delantero

$$Cg_{mns1,y} = \frac{\sum y_1 * m_1}{\sum m_1}$$

$$Cg_{mns1,y} = \frac{(R_1 * m_{R_1}) + (F_1 * m_{F_1}) + (E_1 * m_{E_1}) + (S_1 * m_{S_1}) + (A_1 * m_{A_1}) + (B_1 * m_{B_1})}{m_{R_1} + m_{F_1} + m_{E_1} + m_{S_1} + m_{A_1} + m_{B_1}} =$$

$$= \frac{470 * 12'30 + 470 * 11'70 + 370 * 36'80 + 218 * 3'13 + 391 * 3'90 + 300 * 1'76}{12'30 + 11'70 + 36'80 + 3'13 + 3'90 + 1'76}$$

$$Cg_{mns1,y} = 400'57 \text{ mm}$$

➤ Eje trasero

$$Cg_{mns2y} = \frac{\sum y_2 * m_2}{\sum m_2}$$

$$Cg_{mns2y} = \frac{(R_2 * m_{R_2}) + (F_2 * m_{F_2}) + (E_2 * m_{E_2}) + (S_2 * m_{S_2}) + (A_2 * m_{A_2}) + (B_2 * m_{B_2})}{m_{R_2} + m_2 + m_2 + m_{S_2} + m_{A_2} + m_{B_2}} =$$

$$= \frac{470 * 12'30 + 470 * 8'80 + 406 * 1'90 + 270 * 3'21 + 497 * 4'10 + 295 * 1'88}{12'30 + 8'80 + 1'90 + 3'21 + 4'10 + 1'88}$$

$$Cg_{mns2y} = 439'5 \text{ mm}$$

10.1.3. Centro de gravedad de las masas suspendidas

Las masas suspendidas se entienden como el conjunto de órganos del vehículo que no están en contacto directo con la superficie del terreno por la que circula dicho vehículo. Estos elementos podrían ser el chasis, los pasajeros y la carga, que se representan como "M" en la **Imagen 29**, vista anteriormente.

Para obtener el centro de gravedad de las masas suspendidas, primeramente, se ha de obtener el valor del centro de masas en el plano longitudinal del vehículo:

➤ Eje Y

$$Cg_{msy} = \frac{\sum y * m}{\sum m} =$$

$$= \frac{(Cg_h * m_{total}) - (Cg_{mns1y} * m_{ns1}) - (Cg_{mns2y} * m_{ns2})}{m_{total} - m_{ns1} - m_{ns2}} =$$

$$= \frac{(333,87 * 1322) - (400'57 * 69'6) - (439'5 * 32'19)}{1322 - 69'6 - 32'19}$$

$$Cg_{ms_y} = 327'27 \text{ mm}$$

Donde:

- Cg_v = centro de gravedad del vehículo en el plano vertical = 333'87 mm
- m_{total} = masa total del vehículo = 1322 kg
- Cg_{mns1_y} = centro de gravedad de las masas no suspendidas que se encuentran en el eje delantero = 400'57 mm
- Cg_{mns2_y} = centro de gravedad de las masas no suspendidas que se encuentran en el eje trasero = 439'5 mm
- m_{ns1} = masa no suspendida del eje delantero = 69'6 kg
- m_{ns2} = masa no suspendida del eje trasero = 32'19 kg

Para obtener los valores en el eje X se procede de la siguiente forma:

➤ Eje X

$$Cg_{ms_x} = \frac{\sum x * m}{\sum m} = \frac{(Cg_h * m_{total}) - (B * m_{ns2})}{m_{total} - m_{ns1} - m_{ns2}} =$$

$$= \frac{(1031'7 * 1322) - (2490 * 32'19)}{1322 - 69'6 - 32'19}$$

$$Cg_{ms_x} = 1078'45 \text{ mm}$$

Siendo:

- C_{g_h} = centro de gravedad del vehículo en el plano horizontal = 1031'7 mm
- B = batalla (Distancia entre ejes) = 2490 mm
- m_{total} = masa total del vehículo = 1322 kg
- m_{ns2} = masa no suspendida del eje trasero = 32'19 kg

A continuación, se han resumido todos los centros de gravedad y centros de masas calculados en la siguiente tabla:

Tabla 11- Tabla resumen del centro de gravedad del vehículo.

Descripción	Símbolo	Posición en X (mm)	Posición en Y (mm)	Posición en Z (mm)	Masa (kg)
Cg del vehículo	C_g	1031'7	333'87	800	1332
Cg de las masas no suspendidas del eje delantero	C_{gmns1_y}	0	400'57	800	69'6
Cg de las masas no suspendidas del eje trasero	C_{gmns2_y}	2421'1	439'5	800	32'19
Cg de las masas suspendidas	C_{gmns}	1078'45	327'27	800	1220'21

El vehículo, originalmente, mide 1428 mm de alto. Al realizar esta modificación, esta altura se ve rebajada en 46 mm. Es decir, la nueva altura del vehículo es de 1382 mm, por lo que se traduce en un centro de gravedad más bajo y más estable. A continuación, se realiza una comparación entre los dos casos, para ver cómo afecta el centro de gravedad a este.

Anteriormente se ha obtenido que el centro de gravedad en el plano vertical era de 333'87 mm. Si se vuelve a resolver la ecuación, variando la altura del vehículo (sistema de suspensión original), se obtiene el siguiente valor:

➤ Plano vertical

$$Cg_v = \frac{\sum y * m}{\sum m} = \frac{(y_{cg_{conductor}} * m_c) + (y_{cg_{vehiculo}} * m_v)}{m_c + m_v}$$

$$Cg_h = \frac{(915 * 72) + (520 * 1260)}{72 + 1260} = \mathbf{541'35 \text{ mm}}$$

Donde:

- $Y_{cg_conductor}$ = posición del centro de gravedad del conductor en el eje Y = 915 mm (40 mm más alta que con la suspensión modificada)
- $Y_{cg_vehículo}$ = posición del centro de gravedad del vehículo en el eje Y, con la suspensión original del vehículo = 520 mm]
- m_c = masa del conductor = 72 kg
- m_v = masa del vehículo en vacío = 1260 kg

De este cálculo se obtiene que una suspensión de menor recorrido (más baja), altera el centro de gravedad del propio vehículo, bajándolo de manera considerable. En este caso, se ha pasado de 541'35 mm de altura del centro de gravedad a 333'87 mm, lo que se traduce en una mayor estabilidad y menor riesgo de vuelco.

- Coordenadas del centro de gravedad original en mm (Color verde): (1031'7, 541'35, 800).
- Coordenadas del centro de gravedad después de la modificación en mm (Color rojo): (1031'7, 333'87, 800).

Visualmente se expresa de la siguiente forma:



Imagen 32- Comparación centro de gravedades (1). [Fuente propia]



Imagen 33- Comparación centro de gravedades (2). [Fuente propia]

10.2. Cálculo del mecanismo simplificado

En este apartado de cálculos, se van a obtener las tensiones resultantes del nuevo sistema de suspensión que se ha incorporado en el vehículo. Estas se han realizado a partir del modelo simplificado del mecanismo:

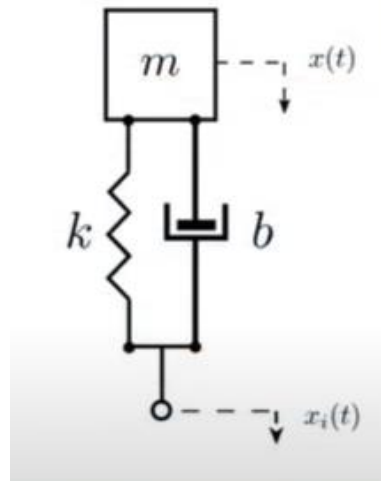


Imagen 34- Sistema de suspensión simplificado.

[Fuente: Modelado de sistemas mecánicos]

Siendo:

m = masa suspendida del vehículo

k = conjunto de elementos elásticos

b = conjunto de elementos viscosos

Este esquema, representa un sistema de suspensión que forma un ángulo totalmente perpendicular al asfalto, lo que se traduce en una caída de 0° . En el caso real del vehículo estudiado, este dato no es totalmente cierto, por lo que en los siguientes cálculos se ha considerado un ángulo de caída negativo de $1,5^\circ$, ya que este es un valor que garantiza un buen equilibrio, agarre de los neumáticos en las curvas, agarre en frenado y desgaste de los neumáticos.

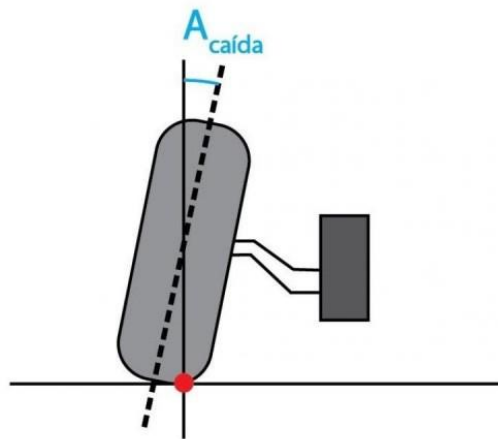


Imagen 35- Ángulo de caída (camber).

[Fuente: Ángulos Dirección Coche Alineado Angulo Caída Camber 750x, s. f.]

Para empezar el análisis, se ha de tener en cuenta que tanto la rueda como la mangueta pueden considerarse dos barras sólidas, asumiendo que en el punto donde ambos elementos se unen hay un empotramiento. En conclusión, el modelo equivalente se compone de diversas barras organizadas, que incluyen uniones rígidas y articulaciones, quedando de la siguiente manera:

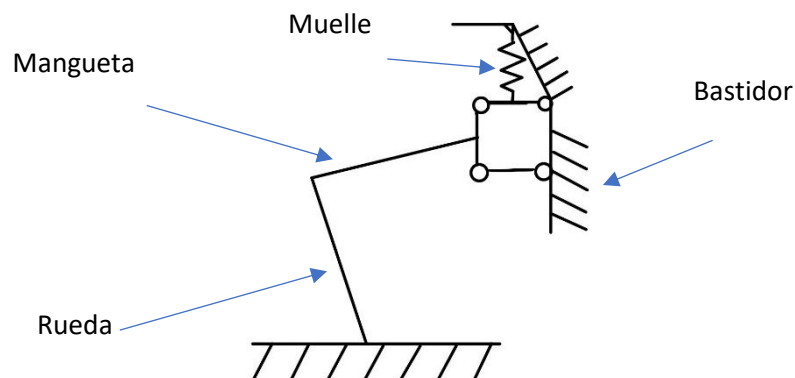
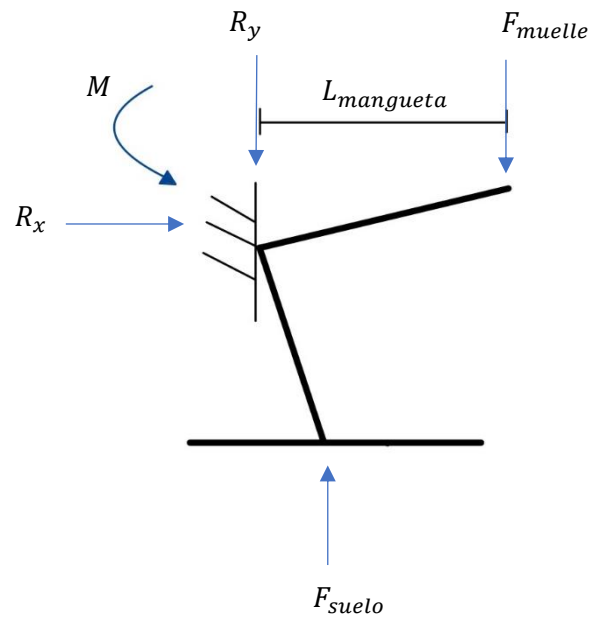
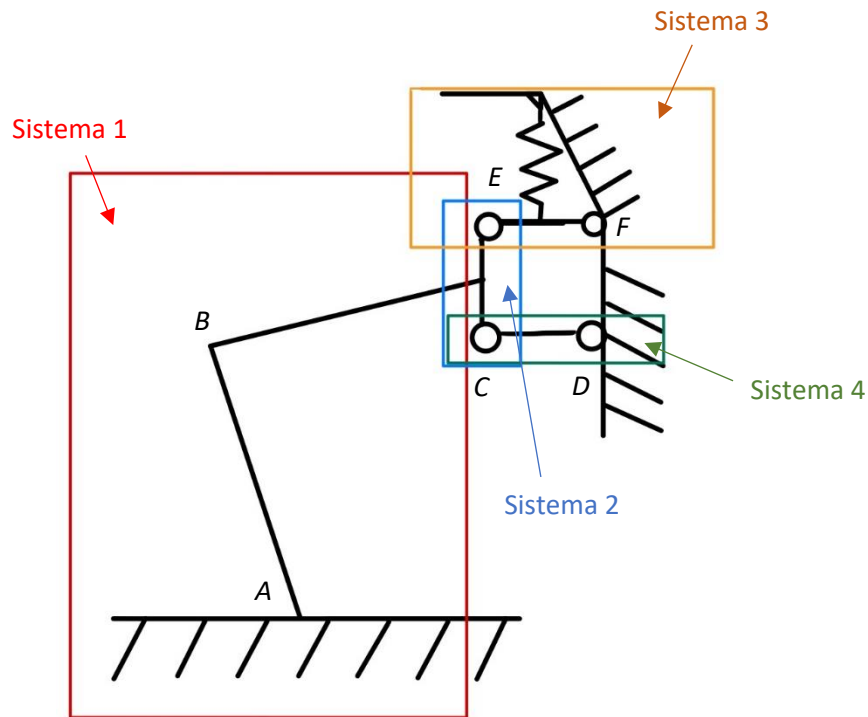


Imagen 36- Modelo equivalente sistema de suspensión. [Fuente propia]

En este sistema, se observa que la rueda está en contacto directo con el suelo, de tal forma que transmite los movimientos a la mangueta, que por medio del cuadrilátero articulado se transmitirá al muelle, quedando de esta forma:



Se va a dividir el sistema equivalente mencionado en cuatro sistemas diferentes, los cuales contienen subsistemas diferentes en cada uno de ellos. Para la realización de estos cálculos, se ha utilizado la ley de equilibrio (esfuerzos cortantes y momentos flectores). Una vez calculados estos se aplicarán al modelo equivalente del vehículo en cuestión "Seat Ibiza Cupra"; estableciéndose así una serie de conclusiones finales para este modelo. Los cuatro sistemas principales son los siguientes:

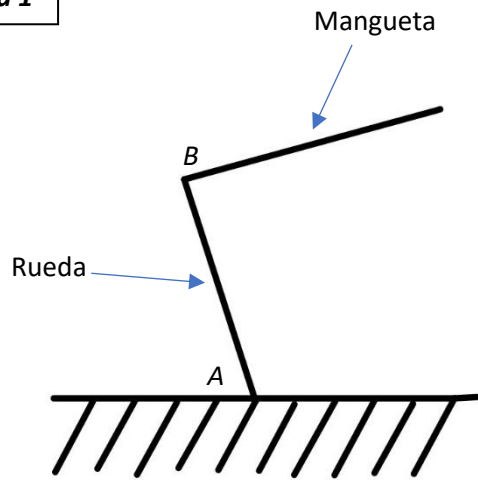


Como se ha comentado anteriormente, dentro de estos cuatro sistemas se encuentran varios subsistemas. Cada uno de ellos contienen fuerzas y momentos⁵ los cuales sirven para conocer los valores de las fuerzas que actúan sobre cada uno de ellos.

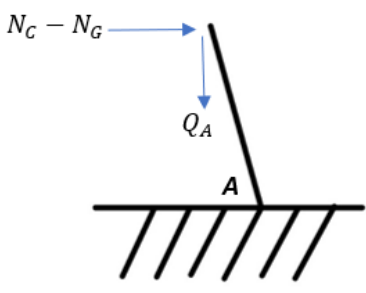
Como metodología, se ha seguido la ley de equilibrio de estructuras, es decir, para que una estructura esté en equilibrio, la suma de todas las fuerzas que actúan sobre ella debe ser cero y esto significa que las fuerzas en todas las direcciones deben balancearse.

⁵ Un momento se obtiene al multiplicar una fuerza aplicada por la distancia perpendicular entre el punto de aplicación de dicha fuerza y el eje o punto de rotación.

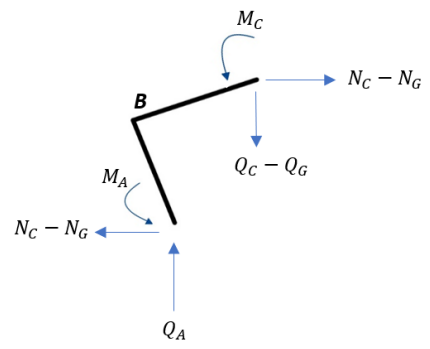
Sistema 1



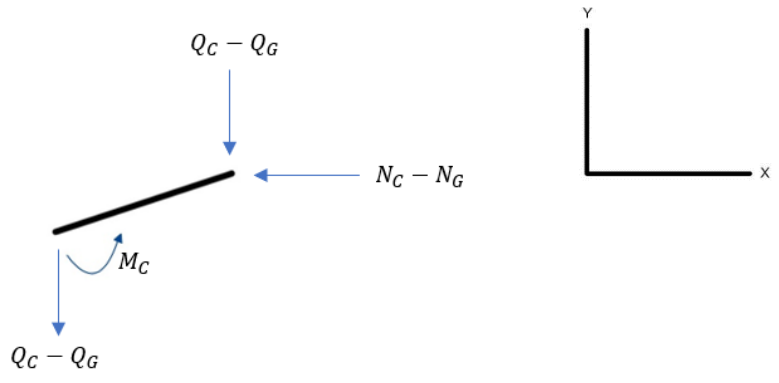
Se descompone en tres subsistemas diferentes:



Subsistema 1.1



Subsistema 1.2



Subsistema 1.3

Como se ha comentado anteriormente, el ángulo de caída de la rueda en contacto con el asfalto es de $1,5^\circ$, por lo que el cálculo de equilibrios sería el siguiente:

$$\triangleright \sum F_x = 0$$

$$N_C - N_G = R_{Y_A} * \text{sen}(1'5^\circ) \quad \text{[Ecuación 1]}$$

$$\triangleright \sum F_y = 0$$

$$Q_A = R_{Y_A} * \text{cos}(1'5^\circ) \quad \text{[Ecuación 2]}$$

$$\triangleright \sum M_A = 0$$

$$M_A = (N_C - N_G) * Y$$

Sustituyendo en la ecuación 1:

$$M_G = R_{Y_G} * \text{sen}(1'5^\circ) * Y$$

Donde "Y" es la mitad del diámetro de la rueda del vehículo, por lo tanto, el sumatorio de momentos quedaría expresado de la siguiente forma:

$$M_A = R_{Y_A} * \text{sen}(1'5^\circ) * \left(\frac{D}{2}\right) \quad \text{[Ecuación 3]}$$

Analizando las tres ecuaciones de equilibrio, se puede decir que:

1. ECUACIÓN 1: $N_C - N_G = R_{Y_A} * \text{sen}(1'5^\circ)$

- Si $N_G = N_C$ No hay desplazamiento horizontal.
- Si $N_G > N_C$ Disminuye el ángulo de caída.
- Si $N_G < N_C$ Aumenta el ángulo de caída.
- Como $N_G \neq N_C$, existe un desplazamiento horizontal que origina un momento M_G .

2. ECUACIÓN 2: $Q_A = R_{Y_A} * \text{cos}(1'5^\circ)$

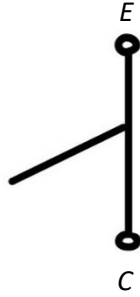
- Si $Q_G = Q_C$ No hay desplazamiento vertical.
- Si $Q_G > Q_C$ El muelle (resorte) experimenta expansión.
- Si $Q_G < Q_C$ El muelle (resorte) experimenta compresión.
- Como $Q_G \neq Q_C$, existe un desplazamiento vertical y se produce un momento M_D .

3. ECUACIÓN 3: $M_A = R_{Y_A} * \text{sen}(1'5^\circ) * \left(\frac{D}{2}\right)$

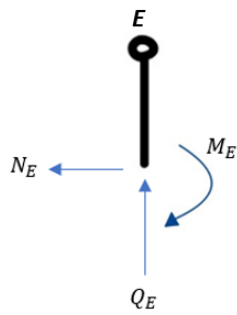
- De la ecuación 2 y la ecuación 3 se puede obtener que tanto M_G como M_C no producen ningún momento, y que, por lo tanto, son igual a cero.

Sistema 2

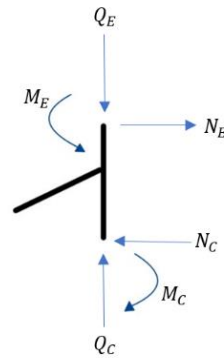
Esquemáticamente, el sistema 2 se representa de la siguiente manera:



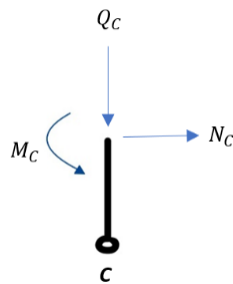
Se descompone en los siguientes tres subsistemas:



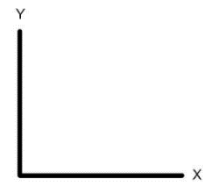
Subsistema 2.1



Subsistema 2.2



Subsistema 2.3



Las ecuaciones de equilibrio resultantes de los tres subsistemas son las siguientes:

$$\triangleright \sum F_x = 0$$

$$N_E = N_C \quad \text{[Ecuación 4]}$$

$$\triangleright \sum F_y = 0$$

$$Q_E = Q_C \quad \text{[Ecuación 5]}$$

$$\triangleright \sum M_x = 0$$

$$M_E = M_C = 0 \quad \text{[Ecuación 6]}$$

Analizando las tres ecuaciones, se obtienen las siguientes conclusiones:

4. ECUACIÓN 4: $N_E = N_C$

- Si $N_E = N_C$ El sistema se encuentra en equilibrio.
- Si $N_E > N_C$ Disminuye el ángulo de caída.
- Si $N_E < N_C$ Aumenta el ángulo de caída.
- Si $N_E \neq N_C$ Existe desplazamiento horizontal.

5. ECUACIÓN 5: $Q_E = Q_C$

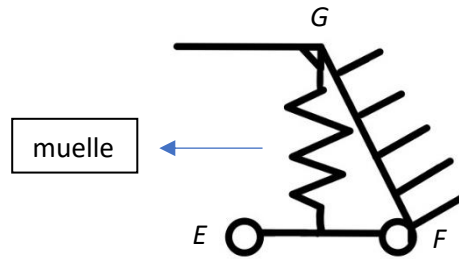
- Si $Q_E = Q_C$ No hay desplazamiento vertical (prehundimiento del muelle).
- Si $Q_E > Q_C$ El muelle (resorte) experimenta compresión.
- Si $Q_E < Q_C$ El muelle (resorte) experimenta expansión.
- Si $Q_E \neq Q_C$ Existe un desplazamiento vertical.

6. ECUACIÓN 6: $M_E = M_C = 0$

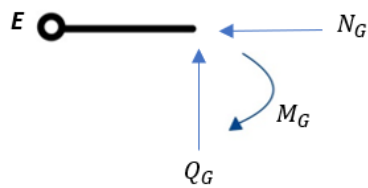
- Se trata de una articulación, ya que tanto el momento M_E como el momento M_C son igual a cero.

Sistema 3

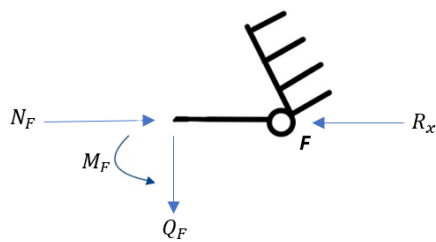
El siguiente sistema une el cuadrilátero articulado con el muelle, y esquemáticamente se representa de la siguiente forma:



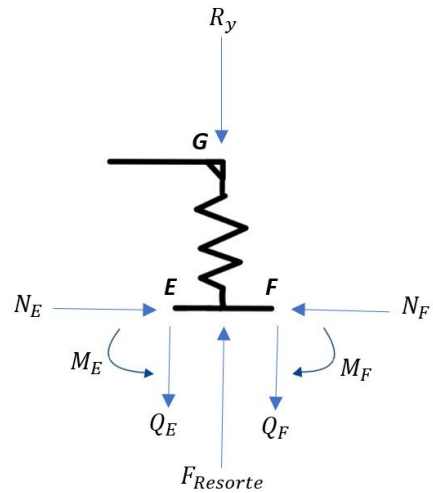
Se puede descomponer en los siguientes subsistemas:



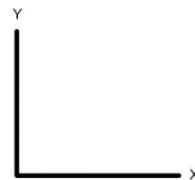
Subsistema 3.1



Subsistema 3.3



Subsistema 3.2



Una vez dividido este sistema en tres subsistemas diferentes, se obtienen las ecuaciones de equilibrio:

➤ $\sum F_x = 0$

$$N_F = N_G \quad \text{[Ecuación 7]}$$

$$R_x = N_F \quad \text{[Ecuación 8]}$$

➤ $\sum F_y = 0$

$$Q_G = Q_F \quad \text{[Ecuación 9]}$$

$$R_y = F_{Resorte} \quad \text{[Ecuación 10]}$$

➤ $\sum M = 0$

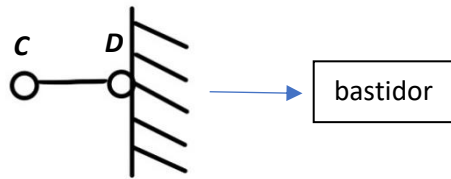
$$M_E = M_F = 0 \quad \text{[Ecuación 11]}$$

De estas ecuaciones se puede obtener que:

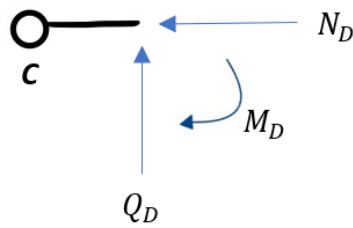
- $N_F = N_G \neq 0$ —————> ya que existe desplazamiento horizontal.
- La reacción en el eje "x" será igual a la fuerza horizontal aplicada en el punto "F" ($R_x = N_F$).
- $Q_G = Q_F = 0$ —————> De no ser igual a cero, obligatoriamente tendría que existir otro momento que equilibrara estas reacciones, pero este no es el caso.
- $R_y = F_{Resorte}$ —————> La reacción en el eje "y" dentro de este sistema, será igual a la fuerza aplicada por el muelle, que se ve calculada en los siguientes apartados.
- $M_E = M_F = 0$ —————> En cuanto a los momentos, en este caso se trata de una articulación, ya que ambos son igual a cero.

Sistema 4

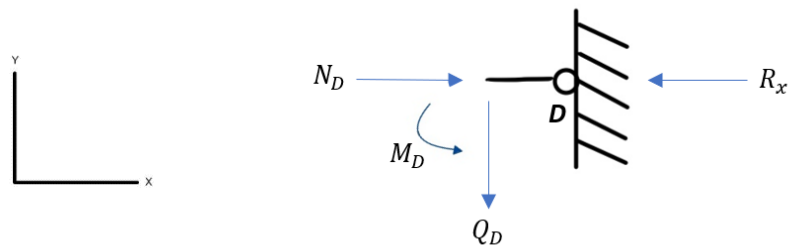
El siguiente esquema pertenece al sistema 4, donde se une el cuadrilátero articulado con el bastidor.



Si se realiza una descomposición de este sistema, se diferencian dos subsistemas:



Subsistema 4.1



Subsistema 4.2

Las ecuaciones de equilibrio resultantes son las siguientes:

$$\triangleright \sum F_x = 0$$

$$N_D = R_x \quad \text{[Ecuación 12]}$$

$$\triangleright \sum F_y = 0$$

$$Q_D = 0 \quad \text{[Ecuación 13]}$$

$$\triangleright \sum M = 0$$

$$M_D = 0 \quad \text{[Ecuación 14]}$$

De estas ecuaciones se obtienen las siguientes conclusiones:

- La reacción resultante en el eje "x" será igual a la fuerza horizontal aplicada en el punto "D" ($N_D = R_x$), por lo tanto, no hay desplazamiento horizontalmente. Esto quiere decir que el sistema se encuentra en equilibrio.
- Si $N_D > R_x$ Aumenta el ángulo de caída.
- Si $N_D < R_x$ Disminuye el ángulo de caída.
- $Q_D = 0$ Se trata de una barra articulada.
- $M_D = 0$ Se trata de una articulación.

Gracias a las ecuaciones de equilibrio de los diferentes sistemas, se ha redactado una tabla que recoge los movimientos del resorte (muelle), en función de las reacciones obtenidas en los sistemas 1 y 2:

Tabla 12- Movimientos del resorte

	¿Cuándo aumenta el ángulo de caída?	¿Cuándo disminuye el ángulo de caída?	Extensión del muelle	Compresión del muelle
Sistema 1	$N_G < N_C$	$N_G > N_C$	$Q_G > Q_C$	$Q_G < Q_C$
Sistema 2	$N_E < N_C$	$N_G > N_C$	$Q_E < Q_C$	$Q_E > Q_C$

La variación de la posición del muelle y del ángulo de caída dependerán del sistema 1 y 2, ya que el primero, es el que está constantemente en contacto con el suelo (percibe todas las irregularidades del asfalto), y el segundo, une la mangueta con el cuadrilátero articulado, donde se transmite el movimiento tanto al muelle como al bastidor.

A continuación, se deberán aplicar estas ecuaciones para el caso del vehículo estudiado "Seat Ibiza Cupra".

Para la realización de estos cálculos, se ha de conocer la Masa Máxima Autorizada (M.M.A) del vehículo en cuestión, que en este caso es de 1700 kg. (Dato consultado en la Ficha de Inspección Técnica del Vehículo).

Para calcular la fuerza ejercida sobre la rueda, se utiliza la siguiente fórmula:

$$F_{rueda} = 1,5 * M.M.A = 1'5 * 1700 \text{ kg} = 2550 \text{ kg}$$

$$2550 \text{ kg} * \frac{9,8 \text{ N}}{1 \text{ kg}} = \mathbf{24.990 \text{ N}}$$

Una vez obtenida la fuerza en la rueda, se podrá calcular la fuerza del muelle (resorte), teniendo en cuenta el ángulo que forma la mangueta con la rueda (65°)

$$F_{resorte} = F_{rueda} * \text{sen}(65^\circ) = 24.990 \text{ N} * \text{sen}(65^\circ) = \mathbf{22.648'63 \text{ N}}$$

Si se aplican estas fuerzas en las ecuaciones de equilibrio planteadas anteriormente, se obtienen las reacciones y los momentos resultantes del mecanismo simplificado:

➤ $\sum F_x = 0$

Ecuación 1 del sistema 1 $N_C - N_G = R_{Y_A} * \text{sen}(1'5^\circ)$

$$N_C - N_G = 24.990 \text{ N} * \text{sen}(1'5^\circ)$$

$$N_C - N_G = 654'16 \text{ N}$$

➤ $\sum F_y = 0$

Ecuación 10 del sistema 3 $R_y = F_{\text{resorte}}$

$$R_y = 22.648'63 \text{ N}$$

➤ $\sum M = 0$

$$M = F_{\text{rueda}} * \cos(1'5^\circ) * \left(\frac{b}{2}\right)$$

$$M = 24.990 \text{ N} * \cos(1'5^\circ) * \left(\frac{470}{2}\right)$$

$$M = 5.870.637'6 \text{ (N} \cdot \text{mm)}$$

Donde:

- b = diámetro de la rueda = 470 mm
- M = momento más desfavorable = 5.870.637'6 (N·mm)

Una vez obtenido el momento más desfavorable, se ha calculado el esfuerzo normal del momento flector, con el objetivo de comprobar si verdaderamente cumple con el límite de rotura de material con el que está fabricado este componente (acero S275) con un límite elástico de 275 MPa.

- Cálculo del esfuerzo normal:

$$\sigma = \left(\frac{M_{desfavorable}}{W_x} \right) = \frac{M_{desfavorable}}{\left(\frac{1}{6} \right) * h^2 * l} = \frac{5.870.637'6 \text{ N} \cdot \text{mm}}{\left(\frac{1}{6} \right) * (23'5)^2 \text{mm} * 145 \text{mm}}$$
$$\sigma = 439'87 \text{ bar}$$

Donde:

- h = longitud de la mangueta-rueda = 23'5 mm
- l = longitud de la mangueta = 145 mm

Una vez obtenido el valor del esfuerzo normal, este se compara con el límite de rotura del acero S275:

$$\sigma = 439,87 \text{ bar} * \frac{1 \text{ Mpa}}{10 \text{ bar}} = 43'9 \text{ MPa}$$

$$\delta < \delta_{\text{límite}}$$

$$43'9 \text{ MPa} < 275 \text{ MPa}$$

En conclusión, el punto más desfavorable se encuentra lejos del límite de rotura del material, y se cumple que $\delta_{\text{calculado}} < \delta_{\text{límite}}$.

10.3. Cálculo del muelle

Los muelles son componentes mecánicos capaces de deformarse cuando están sometidos a una fuerza y luego volver a su estado original, una vez cesa la fuerza aplicada sobre ellos.

En este apartado, se ha realizado el cálculo estático (rigidez y resistencia) de los muelles instalados en el vehículo.

Como datos utilizados aportados por el fabricante de los mismos, se encuentran los siguientes:

Tabla 13- Datos de los nuevos muelles instalados

Parámetros	Símbolo	Muelles delanteros (1)	Muelles traseros (2)
Número de espiras	N_e	7	8
Diámetro de la espira	d	13 mm	10 mm
Diámetro medio del muelle	D	124 mm	100 mm
Recorrido útil del muelle	X	265 mm	285 mm
Constante elástica del muelle (calculada)	k	21'4 N·mm	12'5 N·mm
Módulo de Young	E	210 GPa	210 GPa
Módulo de cizalladura del alambre del muelle	G	80 GPa	80 GPa
Coefficiente de Poisson	μ	0'32	0'32

Otro dato importante a tener en cuenta, es el material con el que están fabricados los muelles instalados. En esta tabla, se recogen los materiales más empleados para la fabricación de estos componentes y sus propiedades:

Tabla 1. Tipos de Aceros para Muelles											
Designación		Norma Vigente	Normas Nacionales				Campo de Aplicación	Propiedades Mecánicas			
Simbólica	Númerica		UNE	AFNOR	DIN	AISI/SAE		Dureza	R _e (N/mm ²)	R _m (N/mm ²)	Tenacidad (J)
38Si7	1.5023	EN 10089	F 1451	41 S 7	38Si7	-	Arandela de muelles, tensores para el sector de la construcción	máx. 217 HB	≥ 1030	1180 - 1370	-
61SiCr7	1.7108	EN 10089	F 1442	61 SC 7	60SiCr7	9262	Muelles para el sector marítimo, la construcción y la maquinaria	máx. 248 HB	≥ 1150	1350 - 1600	≥ 5
55Cr3	1.7176	EN 10089	F 1431	55 C 3	55Cr3	5155 / 5160	Muelles aptos para piezas de mayores dimensiones	máx. 248 HB	≥ 1200	1400 - 1650	≥ 9
51CrV4	1.8159	EN 10089	F 1430 / F 143	51 CV 4	50CrV4	6145 / 6150	Acero estándar de muelles, para cargas elevadas (1370 - 1720 N/mm ²)	máx. 248 HB	≥ 1200	1400 - 1700	≥ 9
52CrMoV4	1.7701	EN 10089	-	51 CDV 4	51CrMoV4	-	Acero para muelles para cargas elevadas y de mayores secciones	máx. 248 HB	≥ 1200	1400 - 1700	≥ 6

Tabla 14- Tipos de acero para los muelles

El fabricante (Blistein), elige el acero 51CrV4 porque ofrece una combinación óptima de resistencia a la fatiga, elasticidad, tenacidad y dureza, ideales para muelles de alta calidad y rendimiento.

Una vez recogidos todos los datos necesarios, se calculan dichos muelles a rigidez y resistencia:

10.3.1. Cálculo estático a rigidez

Para empezar con los cálculos, es necesaria la obtención de la constante elástica del muelle, que de manera directa se calcula de la siguiente forma:

Eje delantero

Conocido el módulo de cizalladura del alambre del muelle (G), la expresión que permite calcular la constante elástica del muelle es la siguiente:

$$K_1 = \frac{G * d_1^4}{8 * (D_1)^3 * N_{e1}} = \frac{80.000 \left[\frac{N}{mm^2} \right] * 13^4 mm}{8 * 124^3 mm * 7}$$

$$K_1 = 21'4 (N \cdot mm)$$

Donde:

- G = módulo de cizalladura del alambre del muelle = $80 \text{ GPa} * \frac{1000 \left[\frac{N}{mm^2} \right]}{1 \text{ Gpa}} = 80.000 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$
- d_1 = diámetro de la espira del muelle delantero = 13 mm
- D_1 = diámetro medio del muelle delantero = 124 mm
- N_{e1} = número de espiras del muelle delantero = 7

Para el cálculo del esfuerzo cortante (τ_{max1}), se debe conocer la fuerza ejercida en la dirección del eje de la espira:

$$F_1 = F_{rueda} * \text{sen}(1,5^\circ) = 24.990 \text{ N} * \text{sen}(1'5^\circ) = 654'16 \text{ N}$$

Una vez calculada esta fuerza, se obtiene el valor del esfuerzo cortante mediante la siguiente fórmula:

$$\tau_{max1} = \left(\frac{F_1}{\pi * d_1^2} \right) * \left(4 + \frac{8 * D_1}{d_1} \right)$$

$$\tau_{max1} = \left(\frac{654,16 N}{\pi * 13^2 mm} \right) * \left(4 + \frac{8 * 124 mm}{13 mm} \right) = \mathbf{98'94 MPa}$$

De la misma forma, se han calculado las tensiones debidas al momento torsor con la siguiente fórmula:

$$\tau_{t1} = \frac{8 * F_1 * D_1}{\pi * d_1^3} = \frac{8 * 654'16 N * 124 mm}{\pi * 13^3 mm} = \mathbf{94'04 MPa}$$

La tensión tangencial resultante será la suma de ambas tensiones:

$$\tau_{R1} = \tau_{max1} + \tau_{t1} = 98'94 MPa + 94'04 MPa = \mathbf{192'98 MPa}$$

En el cálculo estático a rigidez del eje delantero, se debe comprobar que la flecha máxima en los muelles delanteros del mismo eje (f_{max1}) no sea superior al recorrido útil del muelle (" X " en la **Tabla 13**).

La flecha máxima se define como la mitad de la Masa Máxima Autorizada (M.M.A) del mismo eje, dividida entre la constante elástica del muelle (" k " en la tabla **Tabla 13**).

La Masa Máxima Autorizada en cada eje se recoge en la Ficha de Inspección Técnica del Vehículo. Los valores son los siguientes:

$$M.M.A_1 \text{ (eje delantero)} = 1000 \text{ kg}$$

$$M.M.A_2 \text{ (eje trasero)} = 700 \text{ kg}$$

A partir de estos datos, se puede calcular la flecha máxima del eje delantero:

$$K_1 = 21'4 \text{ mm} * \frac{1 \text{ kg} \cdot \text{mm}}{9'8 \text{ N} \cdot \text{mm}} = 2'18 \text{ kg} \cdot \text{mm}$$

$$f_{max1} = \frac{\left(\frac{M.M.A_1}{2}\right)}{K_1} = \frac{\left(\frac{1000 \text{ kg}}{2}\right)}{2'18 \text{ kg} \cdot \text{mm}} = \mathbf{229'35 \text{ mm}}$$

Se comprueba que efectivamente la flecha máxima no supera el recorrido útil del muelle:

$$f_{max1} < X_1$$

$$229'35 \text{ mm} < 265 \text{ mm}$$

Una vez realizada la comprobación y viendo que, si se cumple, se puede obtener el coeficiente de seguridad de los muelles para cada eje, realizando la división del valor del recorrido útil del muelle (X_1) entre el valor obtenido de la flecha máxima (f_{max1}):

$$C_{seguridad1} = \frac{X_1}{f_{max1}} = \frac{265 \text{ mm}}{229'35 \text{ mm}} = \mathbf{1'15}$$

Eje trasero

Para el cálculo estático a rigidez de los muelles traseros se sigue exactamente el mismo procedimiento que con los muelles delanteros. Únicamente varían los datos que diferencian los resortes delanteros de los traseros, que se ven reflejados en la **Tabla 13**.

Primeramente, se ha obtenido la constante elástica del muelle trasero mediante la expresión:

$$K_2 = \frac{G * d_2^4}{8 * (D_2)^3 * N_{e2}} = \frac{80.000 \left[\frac{N}{mm^2} \right] * 10^4 mm}{8 * 100^3 mm * 8}$$

$$K_2 = 12'5 (N \cdot mm)$$

Donde:

- G = módulo de cizalladura del alambre del muelle = $80 \text{ GPa} * \frac{1000 \left[\frac{N}{mm^2} \right]}{1 \text{ GPa}} = 80.000 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$
- d_2 = diámetro de la espira del muelle trasero = 10 mm
- D_2 = diámetro medio del muelle trasero = 100 mm
- N_{e2} = número de espiras del muelle trasero = 8

Seguidamente, se obtiene la tensión tangencial resultante (τ_{R2}), resultado de la suma de la tensión del esfuerzo cortante (τ_{max2}) y la del momento torsor (τ_{t2}):

$$F_2 = F_{rueda} * \text{sen}(1'5^\circ) = 24.990 \text{ N} * \text{sen}(1'5^\circ) = 654'16 \text{ N}$$

De tal forma que el esfuerzo cortante en el eje trasero será:

$$\tau_{max2} = \left(\frac{F_2}{\pi * d_2^2} \right) * \left(4 + \frac{8 * D_2}{d_2} \right)$$

$$\tau_{max2} = \left(\frac{654'16 N}{\pi * 10^2 mm} \right) * \left(4 + \frac{8 * 100 mm}{10 mm} \right) = \mathbf{174'9 MPa}$$

Y el momento torsor será de:

$$\tau_{t2} = \frac{8 * F_2 * D_2}{\pi * d_2^3} = \frac{8 * 654'16 N * 100 mm}{\pi * 10^3 mm} = \mathbf{166'58 MPa}$$

La suma de ambas tensiones da un total de:

$$\tau_{R2} = \tau_{max2} + \tau_{t2} = 174'9 MPa + 166'58 MPa = \mathbf{341'48 MPa}$$

A continuación, se ha comprobado que la flecha máxima propia de los muelles del eje trasero, no supera el recorrido útil de los mismos, siguiendo el proceso realizado anteriormente:

$$M.M.A_1 \text{ (eje delantero)} = 1000 \text{ kg}$$

$$M.M.A_2 \text{ (eje trasero)} = 700 \text{ kg}$$

A partir de estos datos, se puede calcular la flecha máxima del eje delantero:

$$K_2 = 12'5 \text{ mm} * \frac{1 \text{ kg} \cdot \text{mm}}{9'8 \text{ N} \cdot \text{mm}} = 1'27 \text{ kg} \cdot \text{mm}$$

$$f_{max2} = \frac{\left(\frac{M.M.A_2}{2} \right)}{K_2} = \frac{\left(\frac{700 \text{ kg}}{2} \right)}{1'27 \text{ kg} \cdot \text{mm}} = \mathbf{255'6 \text{ mm}}$$

Obtenido el valor de K_2 , se observa que se cumple que el valor máximo de la flecha es inferior al recorrido útil del muelle trasero (X_2):

$$f_{max2} < X_2$$

$$255'6 \text{ mm} < 285 \text{ mm}$$

Por lo tanto, el coeficiente de seguridad será de:

$$C_{seguridad2} = \frac{X_2}{f_{max2}} = \frac{285 \text{ mm}}{255'6 \text{ mm}} = \mathbf{1'12}$$

10.3.2. Cálculo del muelle a fatiga

Puesto que los muelles experimentan esfuerzos críticos durante la conducción, estos se ven sometidos a fatiga, debido a una carga alternada de amplitud "F".

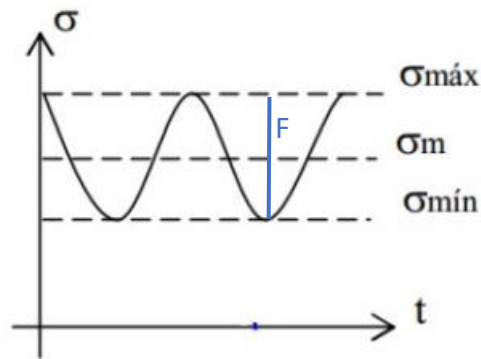


Imagen 37- Gráfica tensión-tiempo de una suspensión.

Eje delantero

Para el cálculo de la tensión máxima ($\sigma_{máx}$), se necesita conocer el factor de corrección de Wahl (K_w), que viene dado por la siguiente ecuación:

$$K_{w1} = \left(\frac{(4 * C_1) - 1}{(4 * C_1) - 4} \right) + \left(\frac{0'615}{C_1} \right)$$

$$K_{w1} = \left(\frac{(4 * 9'53) - 1}{(4 * 9'53) - 4} \right) + \left(\frac{0'615}{9'53} \right) = 1'15$$

Donde:

- $C_1 = \text{Índice del muelle} = \frac{D_1}{d_1} = \frac{124 \text{ mm}}{13 \text{ mm}} = 9'53$

En la siguiente imagen se puede apreciar la gráfica donde se expresa el índice de corrección de Wahl:

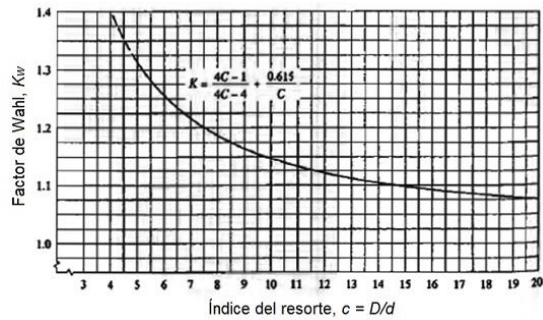


Imagen 38- Índice de corrección de Wahl.

[Fuente: EcuRed. (s. f.). Amplitud de onda - EcuRed.
https://www.ecured.cu/Amplitud_de_onda]

De este modo, la expresión con la que se obtendría el valor de la tensión máxima sería la siguiente:

$$\sigma_{max1} = \left[\left(\frac{(4 * C_1) - 1}{(4 * C_1) - 4} \right) + \left(\frac{0'615}{C_1} \right) \right] * \left[\frac{8 * F_1 * D_1}{\pi * d_1^3} \right]$$

$$\sigma_{max1} = K_{w1} * \left[\frac{8 * F_1 * D_1}{\pi * d_1^3} \right] = 1'15 * \left[\frac{8 * 654'16 \text{ N} * 124 \text{ mm}}{\pi * 13^3 \text{ mm}} \right]$$

$$\sigma_{max1} = 108'12 \text{ MPa}$$

Una vez calculada la tensión máxima, es necesario corroborar que esta no exceda el límite de fatiga, cumpliéndose que:

$$\sigma_{max1} \leq \sigma_{adm1} = \alpha * \sigma_u$$

Donde la (σ_{adm}) varía dependiendo del tipo de uso al que van a estar sometidos los muelles. Para un uso leve ($N < 10^4$ ciclos), se toma el valor de " α " (coeficiente de seguridad) de 0'695. La (σ_u) es la carga de rotura a tracción del material (275 MPa en este caso).

$$\sigma_{adm1} = \alpha * \sigma_u$$

$$\sigma_{adm1} = 0'695 * 275 \text{ MPa} = 191'1 \text{ MPa}$$

En resumen:

$$\sigma_{max1} = 108'12 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{adm1} = 191'1 \text{ MPa}$$

Se cumple que ($\sigma_{max1} \leq \sigma_{adm1}$), y el coeficiente de seguridad será de:

$$C_{seguridadfatiga1} = \left(\frac{\sigma_{adm1}}{\sigma_{max1}} \right) = \frac{191'1 \text{ MPa}}{108'12 \text{ MPa}} = \mathbf{1'77}$$

Eje trasero

Para el cálculo a fatiga de los muelles del eje trasero, se ha repetido el mismo procedimiento que en el eje delantero. El resultado es el siguiente:

$$K_{w2} = \left(\frac{(4 * C_2) - 1}{(4 * C_2) - 4} \right) + \left(\frac{0'615}{C_2} \right)$$

$$K_{w2} = \left(\frac{(4 * 10) - 1}{(4 * 10) - 4} \right) + \left(\frac{0'615}{10} \right) = \mathbf{1'14}$$

Donde:

- $C_2 = \text{Índice del muelle} = \frac{D_2}{d_2} = \frac{100 \text{ mm}}{10 \text{ mm}} = \mathbf{10}$

Conociendo el valor de K_{w2} , la tensión máxima en el eje trasero (σ_{max2}) será de:

$$\sigma_{max2} = \left[\left(\frac{(4 * C_2) - 1}{(4 * C_2) - 4} \right) + \left(\frac{0'615}{C_2} \right) \right] * \left[\frac{8 * F_2 * D_2}{\pi * d_2^3} \right]$$

$$\sigma_{max2} = K_{w2} * \left[\frac{8 * F_2 * D_2}{\pi * d_2^3} \right] = 1'14 * \left[\frac{8 * 654'16 \text{ N} * 100 \text{ mm}}{\pi * 10^3 \text{ mm}} \right]$$

$$\sigma_{max2} = 159'9 \text{ MPa}$$

La tensión máxima admisible en el eje trasero (σ_{adm2}) resulta la misma que en el eje delantero, ya que se usa el mismo coeficiente de seguridad (α) y el mismo material, de tal forma que:

$$\sigma_{adm2} = \alpha * \sigma_u$$

$$\sigma_{adm2} = 0'695 * 275 \text{ MPa} = 191'1 \text{ MPa}$$

En resumen:

$$\sigma_{max2} = 159'9 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{adm2} = 191'1 \text{ MPa}$$

Se cumple que ($\sigma_{max2} \leq \sigma_{adm2}$), y el coeficiente de seguridad será de:

$$C_{seguridad_{fatiga2}} = \left(\frac{\sigma_{adm2}}{\sigma_{max2}} \right) = \frac{191'1 \text{ MPa}}{159'9 \text{ MPa}} = 1'19$$

A modo de resumen, se muestran los resultados obtenidos en este apartado reflejados en la siguiente tabla:

Tabla 15- Tabla de los valores obtenidos en el cálculo a rigidez.

Cálculo a rigidez		
Eje delantero / trasero		
Descripción	Símbolo	Valor
Constante elástica del muelle	K_1 / K_2	21'4 N·mm / 12'5 N·mm
Fuerza ejercida en la dirección del eje de la espira	F_1 / F_2	654'16 MPa / 654'16 MPa
Tensión esfuerzo cortante	$\tau_{max1} / \tau_{max2}$	98'94 MPa / 174'9 MPa
Tensión del momento torsor	τ_{t1} / τ_{t2}	94'04 MPa / 166'58 MPa
Tensión tangencial resultante	τ_{R1} / τ_{R2}	192'98 MPa / 341'48 MPa
Flecha máxima	f_{max1} / f_{max2}	229'35 mm / 255'6 mm
Coeficiente de seguridad del muelle	$C_{seguridad_{rigidez1}} / C_{seguridad_{rigidez2}}$	1'15 / 1'12

Tabla 16- Tabla de los valores obtenidos en el cálculo a fatiga.

Cálculo a fatiga		
Eje delantero / trasero		
Descripción	Símbolo	Valor
Factor de corrección de Wahl	K_{w1} / K_{w2}	1'15 / 1'14
Índice del muelle	C_1 / C_2	9'53 / 10
Tensión máxima	$\sigma_{max1} / \sigma_{max2}$	108'12 MPa / 159'9 MPa
Tensión admisible	$\sigma_{adm1} / \sigma_{adm2}$	191'1 MPa / 191'1 MPa
Coeficiente de seguridad	$C_{seguridad_{fatiga1}} / C_{seguridad_{fatiga2}}$	1'77 / 1'19

10.4. Confort en marcha

Este apartado pretenda analizar cómo afecta esta modificación al confort de los pasajeros durante la conducción. Al realizar el cambio de suspensiones, variará el comportamiento del vehículo, debido a que la frecuencia natural de la suspensión se ve afectada.

Cuando aparece una irregularidad en la carretera, esta es absorbida por el sistema elástico de la suspensión, generando oscilaciones en la rueda, como se puede observar en la **Imagen 39**:

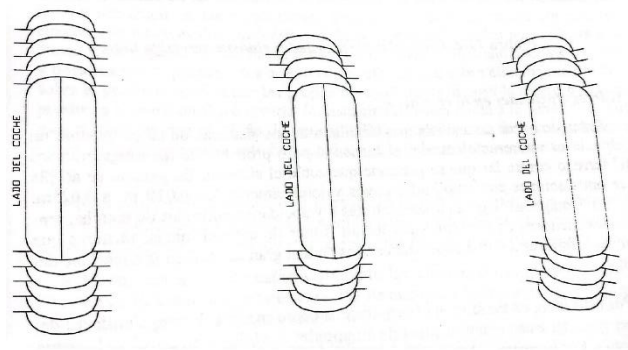


Imagen 39- Oscilaciones de las ruedas.

[Fuente: Mezquita, J. F., & Dols, J. F. (1997). *Tratado sobre automóviles. Libro Docente*]

Estas oscilaciones de las masas no suspendidas deben ser amortiguadas rápidamente para asegurar el contacto de la rueda con el asfalto. En la siguiente imagen se puede apreciar la oscilación que experimentan las ruedas con y sin los amortiguadores:

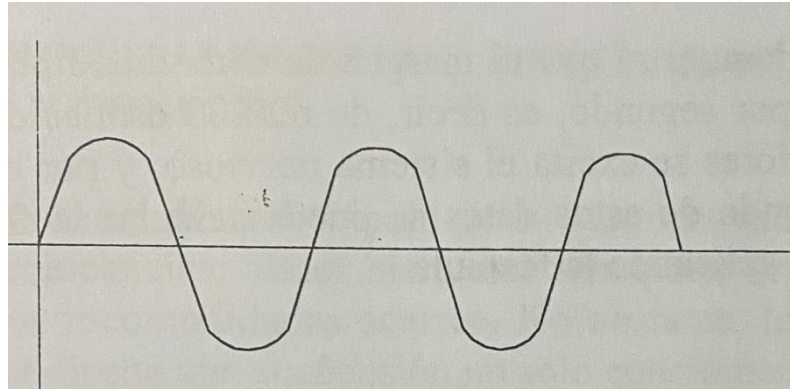


Imagen 41- Onda no amortiguada.

[Fuente: Mezquita, J. F., & Dols, J. F. (1997). *Tratado sobre automóviles. Libro Docente*]

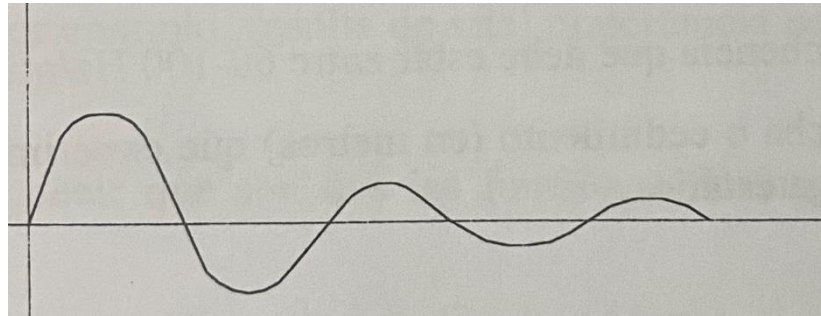


Imagen 40- Onda amortiguada.

[Fuente: Mezquita, J. F., & Dols, J. F. (1997). *Tratado sobre automóviles. Libro Docente*]

Según estudios médicos [8], el margen de comodidad para una persona es de una a dos oscilaciones por segundo, es decir, de 60 a 100 oscilaciones por minuto. Por encima de estos valores, se excita el sistema nervioso y por debajo puede producir mareo. La siguiente expresión permite conocer la flexión adecuada para el vehículo estudiado [7]:

$$F = \frac{1}{2 * \sqrt{x_0}} = \frac{1}{2 * \sqrt{2'89}} = 93 \text{ Hz}$$

Siendo:

- F = Frecuencia que debe estar entre 60 Hz y 100 Hz.
- x_0 = Flecha que experimenta el sistema bajo carga estática = 2'89 m

$$60 \text{ Hz} < 93 \text{ Hz} < 100 \text{ Hz}$$

La frecuencia calculada cumple con los valores en donde debe estar la frecuencia para no resultar molesta a los pasajeros.

El tarado de los muelles también influye en la amplitud y frecuencia de estas oscilaciones. En este caso, los muelles originales se han sustituido por unos de mayor dureza, por lo tanto, las oscilaciones tendrán una mayor frecuencia y un menor recorrido.

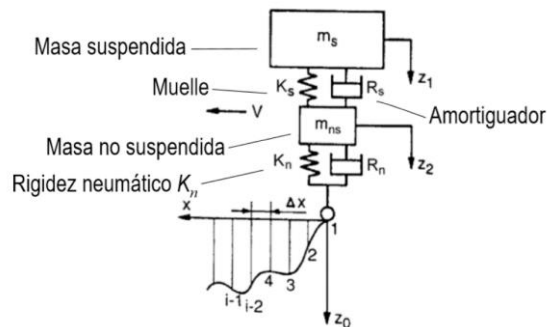


Imagen 42- Modelo simplificado del sistema de suspensión.

Asumiendo que la constante del muelle (K_s) es la misma que la del amortiguador (R_s), se puede analizar la variación de la frecuencia vertical del vehículo, en función de la frecuencia y amplitud de las oscilaciones.

El amortiguamiento crítico del sistema viene expresado de la siguiente forma:

$$Ac = 2 * m \pm \left(\sqrt{\frac{k}{m}} \right)$$

Antes de la reforma:

Se ha supuesto un valor de $K_1 = K_2 = 1$ y $m_1 = m_2 = 1$

- El valor de la frecuencia varía entre $\pm 0'612$ y $\pm 1'612$

Después de la reforma:

Una vez realizada la reforma, el valor de K y el valor de m aumentarán, ya que los muelles y amortiguadores por los que se han reemplazado tienen una mayor rigidez, de tal forma que:

Se ha supuesto un valor de $K_1 = K_2 = 2$ y $m_1 = m_2 = 2$

- El valor de la frecuencia varía entre $\pm 1'612$ y $\pm 2'612$

En conclusión, se puede observar como con el cambio del sistema de suspensión varía la frecuencia natural del vehículo, haciendo que esta frecuencia llegue a régimen permanente en menor tiempo, produciendo una reducción de las oscilaciones, que se traduce en un menor recorrido de la suspensión y en una mayor dureza.

Por lo tanto, se concluye que, tras realizar la reforma, el vehículo será más efectivo y más rígido, pero menos cómodo.

10.5. Simulación virtual de las suspensiones

Una vez obtenidos todos los cálculos de manera analítica, se pasa a observar el comportamiento de la suspensión en un simulador de suspensiones de dos dimensiones (Vsusp), considerando condiciones ideales. Esta es la versión actualizada del año 2020 y es online. Vsusp es un programa gratuito con grandes prestaciones, apto para hacer un planteamiento general de un sistema de suspensiones [15].

Primeramente, se colocan todos los datos necesarios para simular las nuevas suspensiones: altura libre al suelo, punto de anclaje de la suspensión (trapezio superior y trapezio inferior), longitud de los brazos de suspensión, altura de las manguetas y medidas de los neumáticos.

En este análisis cualitativo de la suspensión se pretende observar cómo esta actúa frente a los movimientos de compresión y extensión.

10.5.1. Simulación en compresión

La compresión sucede cuando la suspensión se comprime profundamente en el recorrido como resultado de que la rueda golpee un bache.

En la siguiente imagen se puede apreciar la suspensión delantera en estado de reposo:

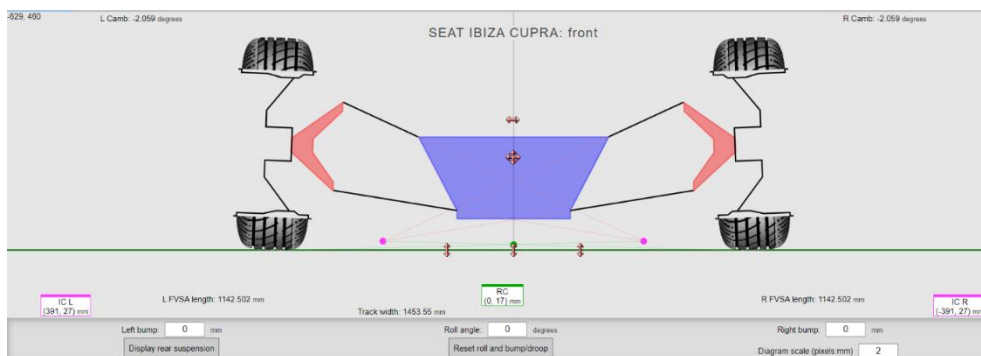


Imagen 43- Suspensión delantera en estado de reposo (Vsusp). [Fuente propia]

Caída izquierda: -2'059°

Caída derecha: -2'059°

A continuación, se ha simulado que el vehículo atraviesa un badén de unos 50 mm de altura. El movimiento es el siguiente:

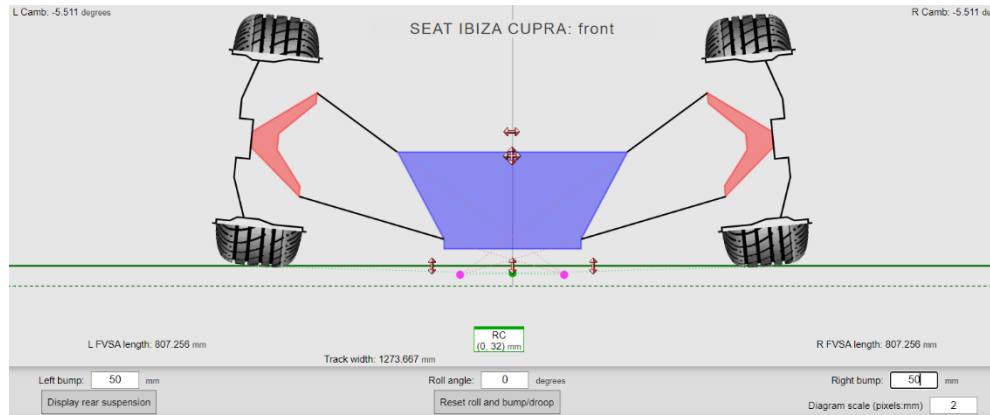


Imagen 44- Suspensión delantera en compresión (Vsusp). [Fuente propia]

Caída izquierda: $-3'242^\circ$

Caída derecha: $-3'242^\circ$

El vehículo está experimentando un movimiento de compresión, de tal forma que hace que la caída de la rueda sea más pronunciada. En cuanto al centro de balanceo (punto verde en la imagen), se aprecia que en la **Imagen 43**, se encuentra en el centro del eje del vehículo, y a una altura de 17 mm, mientras que en el movimiento de compresión (**Imagen 44**), esta aumenta hasta 32 mm, ya que la suspensión está comprimiendo.

En el caso de que sólo una rueda golpee un bache, se aprecia que el centro de balanceo se desplaza hacia la derecha 343 mm y 26 mm hacia arriba, a causa del desnivel entre la rueda izquierda y la derecha. En la siguiente imagen se puede apreciar la variación del centro de balanceo (punto verde).

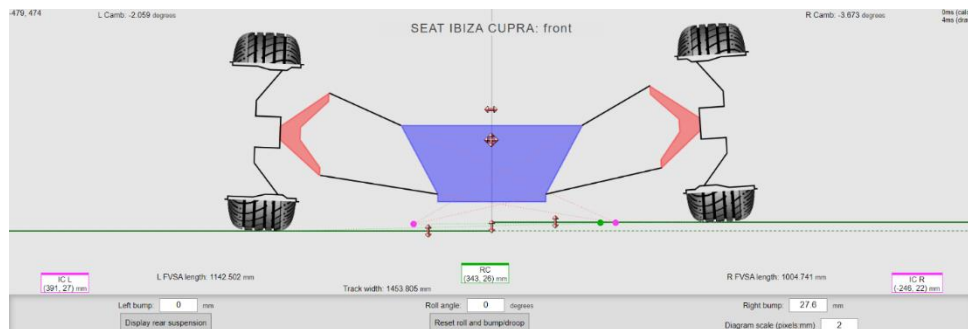


Imagen 45- Suspensión delantera al pasar un bache (Vsusp). [Fuente propia]

Caída izquierda: $-2^{\circ}059^{\circ}$

Caída derecha: $-3^{\circ}673^{\circ}$

10.5.2. Simulación en extensión

En cuanto a la extensión, esta es la velocidad a la que un amortiguador vuelve a su estado original tras comprimirse, es decir, totalmente lo contrario que la compresión. Como se ha explicado en el apartado **8.3.1. Movimientos de la suspensión**, el resorte se alarga cuando hay un bache o un agujero en la carretera. La rueda cae en el hueco y luego se eleva sin afectar a las otras ruedas, ya que cada una funciona de manera independiente. Por esta razón, es necesario tener un prehundimiento cuando el vehículo está parado, porque en ese momento el resorte está comprimido.

Al encontrarse en extensión, las ruedas se encuentran en un estado más perpendicular al suelo, de tal forma que esto se ve afectado en el ángulo de caída, que se aproximará a 0° .

En la siguiente imagen se puede apreciar el movimiento en el simulador de suspensiones:

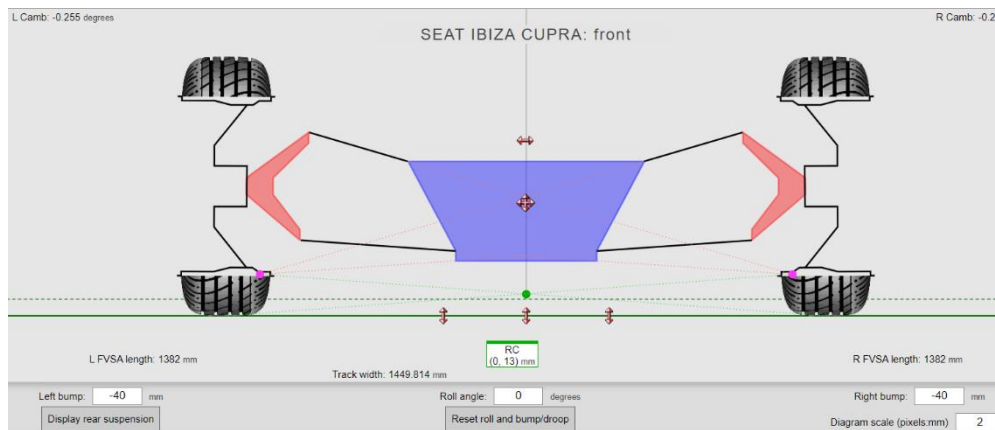


Imagen 46- Suspensión delantera en extensión (Vsusp). [Fuente propia]

Caída izquierda: $-0^{\circ}255^{\circ}$

Caída derecha: $-0^{\circ}255^{\circ}$

11. Diseño y cálculos de la barra de torretas trasera

El presente proyecto tiene como objetivo mejorar la dinámica y prestaciones del vehículo, por lo que se decidió modificar la suspensión y diseñar una pieza que ofreciera una rigidez estructural adicional en la parte trasera del chasis, ya que, tras varias pruebas de conducción, se observó que el tren trasero era el más susceptible de deslizar al tomar una curva. Tras analizar las diferentes opciones, finalmente se decidió fabricar una barra de torretas trasera que estuviera amarrada al chasis, ya que esta pieza ofrecía muchas ventajas al propio vehículo.

A lo largo de este proyecto, se ha estudiado el material con el que se fabricará la pieza, su diseño, proceso de fabricación y cálculos que justifiquen su colocación en el vehículo.

11.1. Elección del material

La gran mayoría de avances tecnológicos se han apoyado en el descubrimiento y desarrollo de materiales de ingeniería y procesos de fabricación usados en su obtención.

Una adecuada selección de materiales garantiza el correcto funcionamiento de la pieza a diseñar.

Existen tres métodos para la selección de materiales:

- a) **Método tradicional:** se basa en la experiencia de partes que tienen un funcionamiento igual o similar, y que dan buenos resultados. Este método es conocido como “materiales de ingeniería de partes similares”.
- b) **Método gráfico:** este método se apoya en gráficas (conocidas como mapas de materiales), en las que se relacionan por pares ciertas propiedades de los materiales. Estos mapas son de gran ayuda, ya que gracias a ellos se puede hacer una aproximación del material más adecuado, con base en la relación de las propiedades más importantes que debe poseer la pieza a fabricar.

- c) **Método con ayuda de base de datos:** existe una amplia gama de bases de datos sobre materiales, las cuales han sido elaboradas con el propósito de su comercialización libre o son distribuidas por vendedores de materiales. Estas bases de datos son el resultado de las investigaciones que se han llevado a cabo en ensayos de materiales.

En este caso, se ha decidido apoyarse en el primer método, (método tradicional), ya que, tras analizar el mercado de este tipo de piezas, se ha concluido que todas las empresas distribuidoras utilizan el mismo material (**acero de bajo carbono**), tanto en la barra de torretas delantera como en la trasera, ya que los resultados que se obtienen de la utilización de este material son excelentes.

Otra razón por la que se cree que este material es el ideal, es que la estructura de la pieza es tubular, y el acero de bajo carbono se vende en tubos perforados, por lo que facilita el trabajo de fabricación. También este material es apto para procesos de soldadura.

Debido a las cargas a las que se verá sometida la pieza, se ha creado una tabla en la que se explicarán las diferentes propiedades mecánicas que posee el material elegido.

Tabla 17- Tabla de propiedades del material elegido

Propiedad	Descripción
Elasticidad	El acero de bajo carbono exhibe una buena elasticidad, lo que significa que puede deformarse bajo carga y recuperar su forma original cuando se retira la carga.
Plasticidad	Posee una notable plasticidad, lo que implica que puede experimentar deformaciones permanentes sin fracturarse bajo cargas considerables.

Tenacidad	Presenta una buena tenacidad, siendo capaz de absorber energía antes de fracturarse, lo que mejora su capacidad para resistir impactos y tensiones extremas.
Fragilidad	El acero de bajo carbono es menos propenso a la fragilidad en comparación con aceros de mayor contenido de carbono, mostrando una mayor capacidad para soportar tensiones sin fracturarse fácilmente.
Dureza	El acero de bajo carbono exhibe una dureza adecuada para muchas aplicaciones, lo que facilita su mecanizado y procesamiento. (Pero no es el más duro)
Fatiga	Tiene una resistencia a la fatiga moderada, lo que significa que puede soportar cargas cíclicas repetidas sin experimentar daño significativo.
Maleabilidad	Posee una buena maleabilidad, permitiendo que se deforme sin romperse al ser sometido a procesos de conformado o laminación, facilitando su manejo en la fabricación.
Ductilidad	Excelente ductilidad, lo que se traduce en la capacidad del material para estirarse y deformarse considerablemente antes de alcanzar el punto de fractura.
Resistencia al impacto	Tiene una resistencia al impacto satisfactoria, lo que significa que puede absorber y resistir impactos repentinos sin fracturarse fácilmente.

Una vez analizadas todas las propiedades mecánicas de este material, se observa que este es el idóneo para la fabricación de la pieza en cuestión, y se concluye con que el método tradicional es un buen método para la selección de materiales, siempre que haya buena información y una gran cantidad de piezas similares para su comparación.

- Material seleccionado para la barra de torretas trasera: **Acero de bajo carbono.**

11.2. Diseño de la pieza en programa CAD (SolidWorks)

En el presente proyecto, además del proceso de diseño completo, se realiza el estudio y dibujo mediante programas CAD, en este caso, SolidWorks, calculando de tal forma las tensiones y deformaciones sufridas por la pieza, en base a las fuerzas que pueda recibir dicha pieza.

En primer lugar, se ha llevado a cabo un esbozo teniendo en cuenta las dimensiones del vehículo. Para esto, se han obtenido las medidas y se ha elaborado un inventario de los materiales requeridos para la construcción de la estructura mediante la realización de croquis del vehículo.

Teniendo en cuenta que la pieza se situaría en la parte trasera del vehículo, se ha decidido que se montaría por detrás de los asientos traseros, es decir, justamente por encima de las suspensiones traseras.



Imagen 47- Maletero del vehículo donde irá la pieza en cuestión. [Fuente propia]

El primer croquis que se ha elaborado ha sido sobre la **Imagen 47**, y su geometría es la siguiente:



Imagen 48- Primer esbozo de la pieza (sin acotar). [Fuente propia]

Se ha utilizado esta geometría ya que gracias a estas barras tubulares en forma de “K”, se crea una triangulación que proporciona a la estructura una gran resistencia. Esta forma geométrica es muy difícil de deformar. Otra ventaja que supone este diseño, es la facilidad de montaje, ya que únicamente con cuatro perforaciones y cuatro tornillos se puede amarrar al chasis de una forma segura. Para saber estos cuatro puntos de sujeción, se ha realizado un estudio de los elementos de anclaje en el vehículo, ya que la barra de torretas es una estructura con 0 grados de libertad.

Una vez realizados estos pasos, se procede a tomar medidas del lugar donde va a estar colocada la pieza, con el objetivo de diseñar un croquis a mano alzada, para su posterior dibujo en formato digital. El croquis acotado de la pieza sería el siguiente:

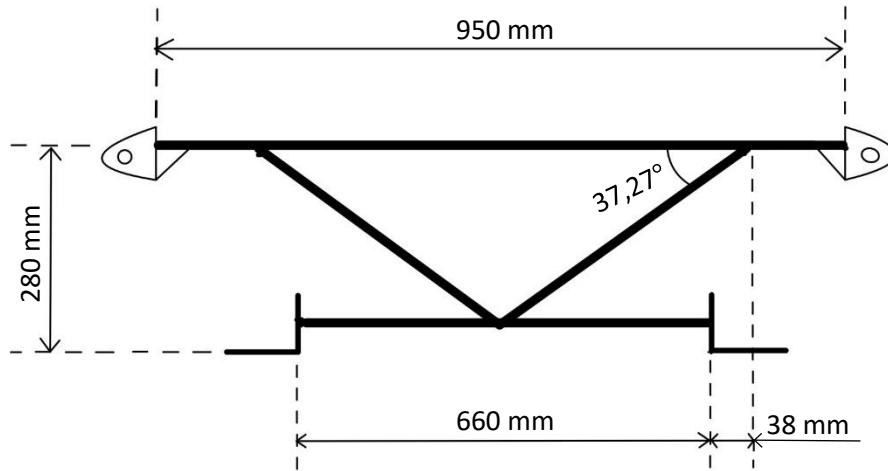


Imagen 49- Croquis acotado de la pieza (estructura tubular). [Fuente propia]

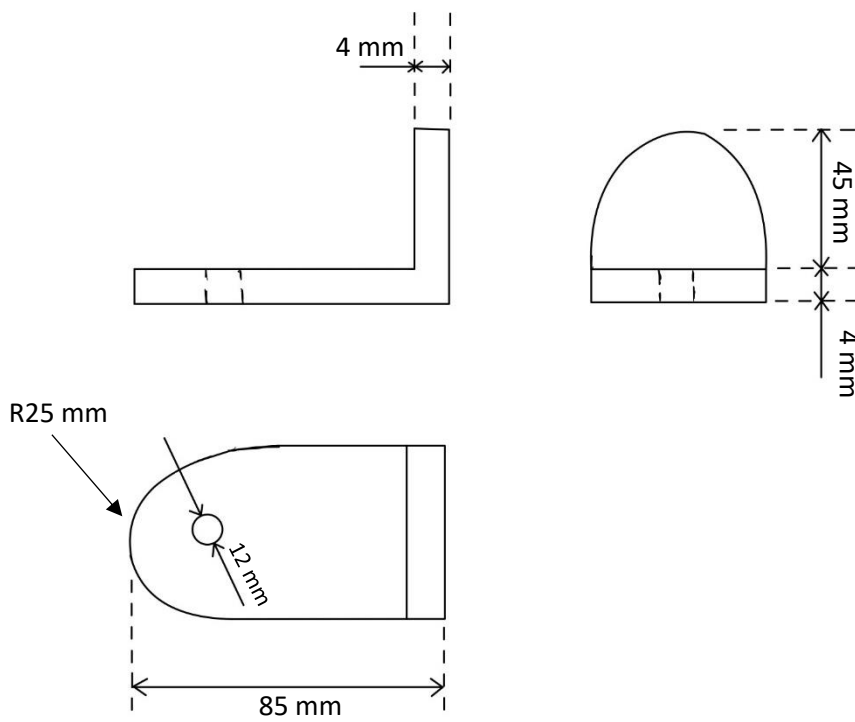


Imagen 50- Croquis acotado de la pieza de amarre de la barra de torretas al chasis.

[Fuente propia]

Una vez se conoce la geometría que queremos seguir y las medidas necesarias, se dibuja la pieza deseada en formato digital (SolidWorks), con el objetivo de realizar las simulaciones pertinentes.

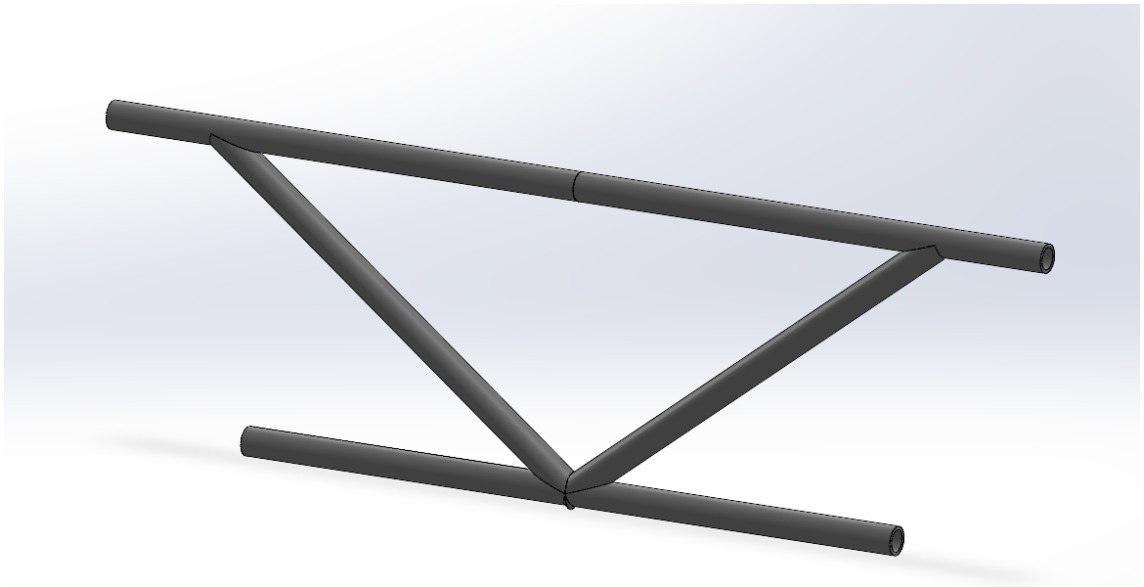


Imagen 51- Diseño en SolidWorks de la estructura tubular. [Fuente propia]

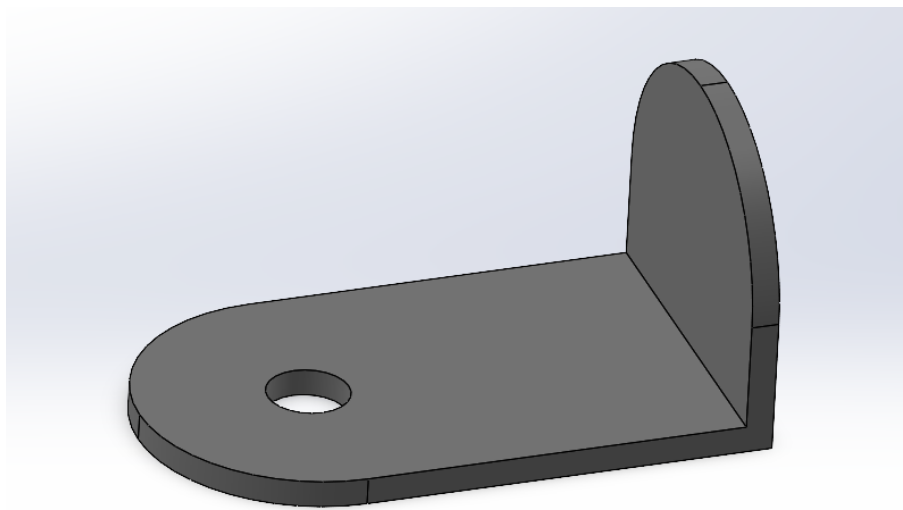


Imagen 52- Diseño en SolidWorks de la pieza que va soldada a la estructura tubular para amarrar la barra de torretas al chasis.

[Fuente propia]

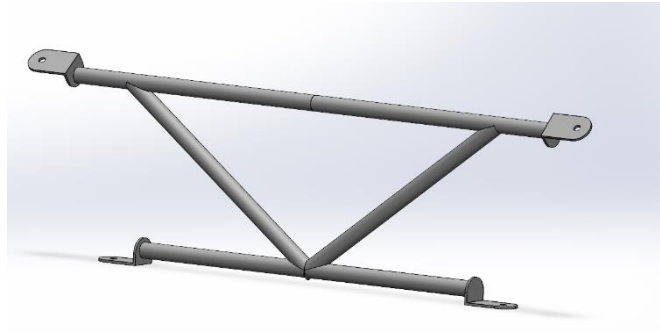


Imagen 54- Ensamblaje final de la pieza en SolidWorks (1). [Fuente propia]

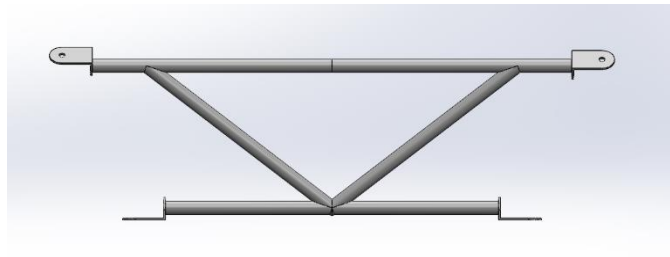


Imagen 53- Ensamblaje final de la pieza en SolidWorks (2). [Fuente propia]

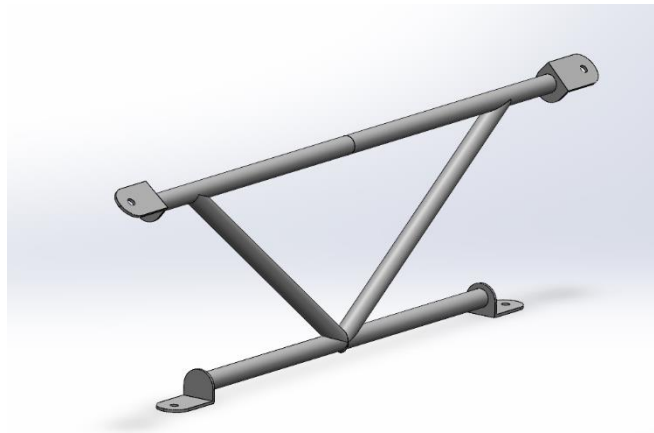


Imagen 55- Ensamblaje final de la pieza en SolidWorks (3). [Fuente propia]

Cabe destacar que las barras tienen un diámetro interior de 32 mm y un diámetro exterior de 35 mm.

Otra razón por la que se ha optado seguir este diseño, es porque esta geometría garantiza que la usabilidad del vehículo no cambie, es decir, existe el mismo volumen de capacidad en el maletero que sin la barra de torretas.

11.3. Proceso de fabricación de la pieza

Una vez se conoce la geometría de la pieza y el material que se va a aplicar para su fabricación, se procede a adquirir dicho material. Al tener relación directa con el vendedor, este se ha conseguido al mismo precio de coste.



Imagen 56- Barras de acero de bajo carbono de 35 mm de diámetro. [Fuente propia]

Se han adquirido cuatro barras de acero de bajo carbono, de 980 mm cada una de ellas, para después recortarlas a la medida deseada.



Imagen 57- Proceso de corte de las barras que conformarán la estructura. [Fuente propia]

Una vez se tienen todas las barras con las medidas necesarias, se comprueba la geometría final de la pieza, antes de empezar con la soldadura.



Imagen 58- Geometría final de la estructura. [Fuente propia]

A continuación, la estructura es soldada por un profesional (con certificado de soldadura). La función principal como ingeniero, consiste en establecer las directrices operativas, supervisar la adecuada instalación de la estructura de acuerdo con los requisitos legales y realizar un análisis técnico del montaje. De esta manera, se puede afirmar que se ha llevado a cabo una vigilancia detallada en el lugar durante la fabricación de la pieza.

Se proponen tres opciones distintas de soldadura para unir los tubos: soldadura de electrodo, soldadura de hilo y soldadura TIG. Debido a consideraciones de infraestructura, costos y eficiencia, se opta por emplear los dos primeros métodos.

La soldadura de electrodo se utiliza para preposicionar la conexión de los tubos mediante un proceso de "punteado", asegurando que los tubos que se deben unir permanezcan en su lugar. Se elige este método debido a que los puntos de soldadura son fácilmente desmontables en caso de error o necesidad de ajuste.

Finalmente, para lograr una rigidez y una unión perfecta en la estructura durante la soldadura final, se recurre al método de soldadura con hilo continuo (soldadura MIG-MAG), ya que con este método se consigue una soldadura homogénea gracias a un gas protector que evita el contacto del oxígeno con el nitrógeno.



Imagen 59- Proceso de soldadura con hilo continuo. [Fuente propia]

El resultado de la pieza tras la soldadura final es el siguiente:

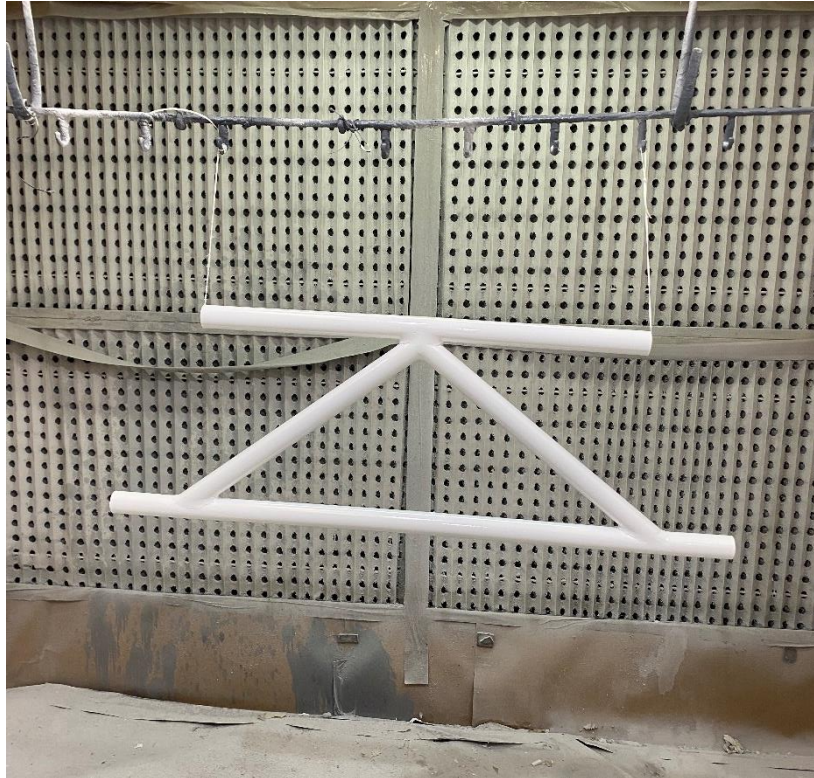


Imagen 60- Pieza soldada por profesional (con certificado de soldadura). [Fuente propia]

Una vez se dispone de la pieza soldada, se deja enfriar una hora, ya que el siguiente proceso que se va a llevar a cabo es el pulimento de la misma. Tras la soldadura de los tubos, han quedado pequeñas burbujas, marcas y rayaduras, por lo que será necesario pulir esta soldadura con el objetivo de afinar la superficie metálica de la pieza.

Tras el proceso de pulido, se procede a pintar la estructura del color deseado. Este proceso no tiene repercusiones en sus propiedades mecánicas, sino que es meramente estético y proporciona un mejor acabado visual. La pintura utilizada contiene partículas de metal llamadas "Oxiron" de color blanco metalizado, y el proceso se realiza en una cabina diseñada específicamente para ello, evitando así partículas de polvo y viento que dificulten la tarea.

Finalmente, la pieza se deja secar en dicha cabina durante 24 horas a temperatura ambiente, y el resultado final es el siguiente:



*Imagen 61- Resultado final de la pieza tras su soldadura, pulido y pintura.
[Fuente propia]*

Una vez fabricada la estructura tubular, se necesitará una pieza que vaya soldada a dicha estructura y que la amarre al chasis (**Imagen 52**). Es por esto, que se ha probado un primer diseño en una impresora 3D, para su verificación y posterior fabricación en acero de bajo carbono.

Los parámetros de impresión son los siguientes:

- **Tiempo estimado de impresión:** 2 h 16 min.
- **Cantidad de capas:** 224 capas
- **Líneas totales:** 38738 líneas
- **Filamento requerido:** 8622 mm



Imagen 62- Parámetros de impresión de CoLiDo (Software para previsualizar y cargar códigos de impresión). [Fuente propia]

La previsualización final de la pieza mediante este software sería la siguiente:

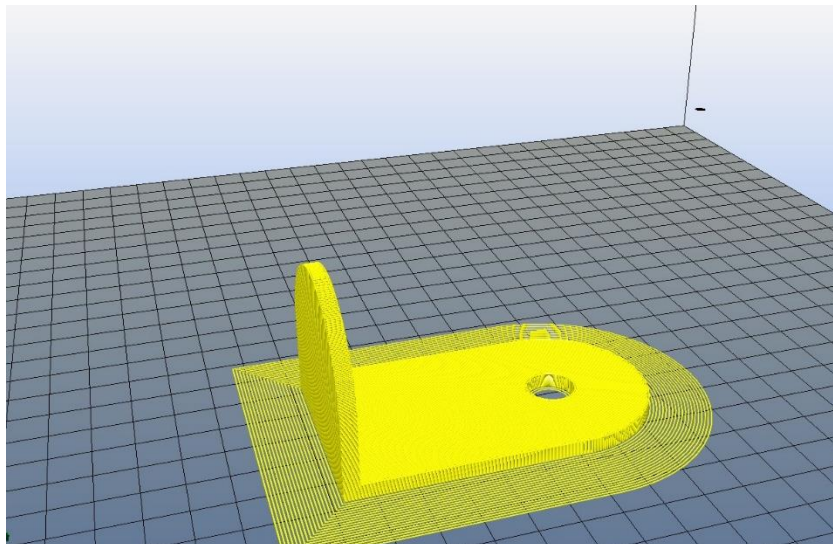


Imagen 63- Previsualización de la pieza en el software CoLiDo. [Fuente propia]

Una vez obtenida la previsualización de la pieza, se carga el código obtenido en el “CoLiDo” en un pen drive, que va insertado en la impresora.

Cuando esta se pone en marcha, esta tiene que calentar tanto la base de impresión como el extrusor. En este caso, la mesa se encuentra a 110°C y la boquilla del extrusor a 235°C (se utiliza ABS de color blanco para su impresión).

La pieza obtenida es la siguiente:



Imagen 65- Pieza de amarre de la barra de torretas (1) [Fuente propia]

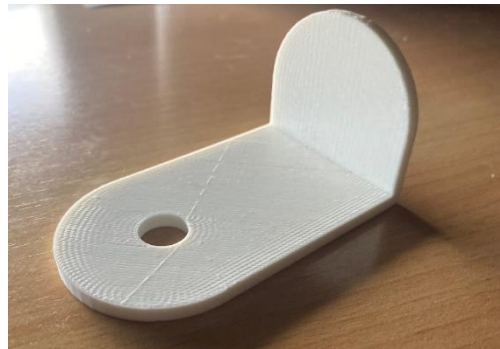


Imagen 64- Pieza de amarre de la barra de torretas (2) [Fuente propia]

Concluido este paso, sólo queda fabricar esta pieza en acero de bajo carbono, y soldarla a la estructura tubular ya fabricada. Para esto, se necesitan cuatro piezas, ya que la estructura va sujeta al chasis por cuatro puntos diferentes. El resultado final de la pieza es el siguiente:



Imagen 66- Resultado de la pieza final y comprobación de medidas. [Fuente propia]

Con la pieza finalizada y las medidas comprobadas, se procede al montaje de la pieza. Este constará de amarrarla al chasis mediante tornillos, por los cuatro puntos de la estructura tubular, es decir:



Imagen 67- Puntos en los que se amarrará la pieza. [Fuente propia]

Para conocer el material que se necesita para su instalación, se ha creado la siguiente tabla:

Tabla 18- Material necesario para la instalación de la barra de torretas

Material y herramientas	Unidades
Perno de cabeza hexagonal M10 x 20	4
Tuerca remachadora de aluminio M10 x 19	4
Herramienta para tuercas remachadoras	1
Taladro	1
Brocas HSS de 5 mm a 13 mm	1 de cada medida
Llave o vasos de 17 mm y 19 mm	1 de cada medida
Martillo	1
Punzón	1
Cinta métrica	1
Rotulador para marcar	1

Estas herramientas sirven para ayudar a colocar la pieza de una manera correcta. Primeramente, se marca con el rotulador las perforaciones pertinentes para los tornillos. Una vez marcados estos cuatro puntos, se realizan una serie de perforaciones con la ayuda del taladro. Dichas perforaciones son el lugar donde irán las tuercas remachadoras, y una vez colocadas las tuercas, se situará la pieza en el lugar correspondiente y se procederá a atornillarla con los cuatro tornillos de cabeza hexagonal de métrica M10 x 20mm. El resultado será el que se observa en la siguiente **Imagen 68**:



Imagen 68- Colocación de los tornillos para amarrar la pieza al chasis. [Fuente propia]

Una vez colocados los cuatro pernos, la pieza estará correctamente sujeta en su lugar correspondiente y debidamente estudiado. El resultado final es el que se muestra en la siguiente imagen:



Imagen 69- Pieza atornillada al chasis del vehículo. [Fuente propia]



Imagen 70- Resultado final de la barra de torretas trasera. [Fuente propia]

11.4. Cálculos justificativos de la barra de torretas trasera

Para el cálculo de la barra de torretas se han realizado varias pruebas experimentales con tal de comprobar el beneficio que esta pieza aporta al vehículo estudiado. En la primera prueba, se ha empleado un hilo (representado en color rojo en la *Imagen 71*), cinta adhesiva para mejorar la visualización del vídeo, una botella al 50% de agua y una cámara GoPro Hero 10 para grabar la secuencia.



Imagen 71- Cámara GoPro Hero 10 [Fuente propia]

11.4.1. Prueba con hilos y botella

Primeramente, se ha colocado un hilo que va desde la parte superior de la pieza hasta la parte inferior, con un pequeño trozo de cinta, para mejorar su visualización cuando este se encuentra en movimiento trazando una curva, con tal de verificar que la barra de torretas está siendo sometida a unas fuerzas. En las siguientes imágenes se puede mostrar la prueba en sí:

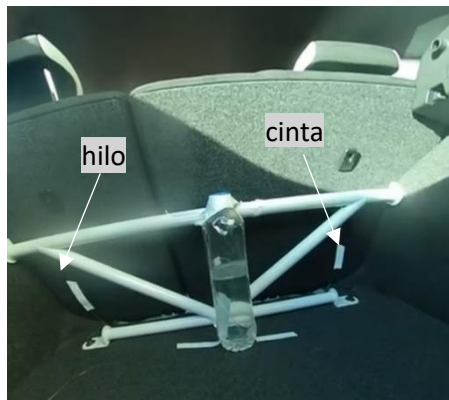


Imagen 73- Prueba 1 barra de torretas en una recta. [Fuente propia]



Imagen 72- Prueba 1 barra de torretas en una curva. [Fuente propia]

Como se puede observar en las imágenes sacadas de una cámara GoPro Hero 10, en la recta, el vehículo no es sometido a ninguna aceleración centrípeta, ya que esta actúa cuando un objeto recorre una trayectoria circular. En cambio, en la imagen donde el vehículo está trazando una curva, se observa cómo el líquido de la botella instalada en el centro del mismo cambia su posición y se inclina, debido a la aceleración normal que está sufriendo.

Estas imágenes corroboran que hay una fuerza centrípeta que es perpendicular a la velocidad del vehículo y apunta hacia el centro de la curva. Por lo contrario, esta prueba no permite saber a qué cantidad de fuerza es sometida la barra de torretas para su posterior simulación en el programa Ansys, por lo que se ha realizado una segunda prueba donde se pueda extraer este dato.

11.4.2. Prueba con sensor de fuerzas

En esta segunda prueba, se ha adquirido un sensor de presión de película delgada MD30-60 de alta precisión, que puede medir hasta 30 kg de fuerza. El funcionamiento es el siguiente: la resistencia del sensor cambiará cuando el sensor detecte presión exterior, por lo tanto, la resistencia de fuerza se puede utilizar para la detección de una fuerza aplicada. Mediante una aplicación instalada en el teléfono móvil (Gauges), se transmiten los datos en tiempo real, de tal forma que se puede ver en cada curva del trazado cuál ha sido la fuerza aplicada en este sensor.



Imagen 74- Sensor de presión MD30-60

En el vehículo, el sensor ha sido colocado en un extremo de la barra de torretas, inicialmente en la parte superior y después en la parte inferior de la misma. Este ha sido sujetado por cinta adhesiva, y conectado a una placa de adquisición de datos que los envía a la aplicación anteriormente mencionada.



Imagen 76- Sensor colocado en la parte superior de la barra de torretas. [Fuente propia]



Imagen 75- Sensor colocado en la parte inferior de la barra de torretas. [Fuente propia]

El trazado seguido para esta prueba ha sido un puerto de montaña situado entre la población de Beniarrés i Salem (el trazado tiene 10 km de distancia y se ha recorrido dos veces en cada prueba para comparar los resultados obtenidos):

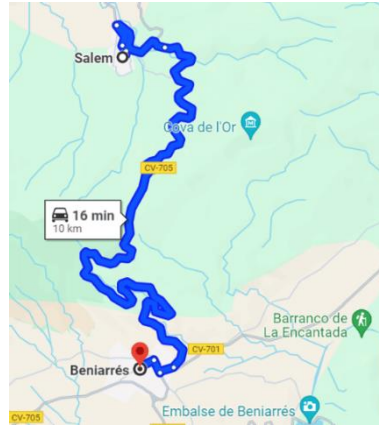


Imagen 77- Trayecto recorrido durante la prueba. [Fuente: Google Maps]

Para este cálculo, se tendrá en cuenta la curva donde se han registrado los mayores valores, ya que son los más críticos para el análisis de esta pieza.



Imagen 79- Curva más crítica del recorrido (25m de radio). [Fuente: Google Maps.]



Imagen 78- Curva vista en 3D. [Fuente: Google Maps]

Los valores registrados en esta curva a derechas han sido los siguientes:



Imagen 80- Datos tomados en la curva mencionada por la app Gauges. [Fuente propia]

De esta prueba se ha podido obtener que, en una curva a derechas con un radio de 25 m y tomada a 72'3 km/h, existe una fuerza aplicada sobre el extremo de la barra de torretas de 20 kg (196'2 N) en la parte superior y 11 kg (108 N) en la parte inferior. Para comprobar que esta barra de torretas es segura ante estos esfuerzos, se ha realizado una simulación en el software Ansys Workbench (versión student) [13]. Esta es una plataforma integrada de Ansys que permite realizar simulaciones y análisis estructurales.

En la primera simulación, se ha aplicado una fuerza exterior de 196'2 N en la parte superior de la pieza y 108 N en la inferior:

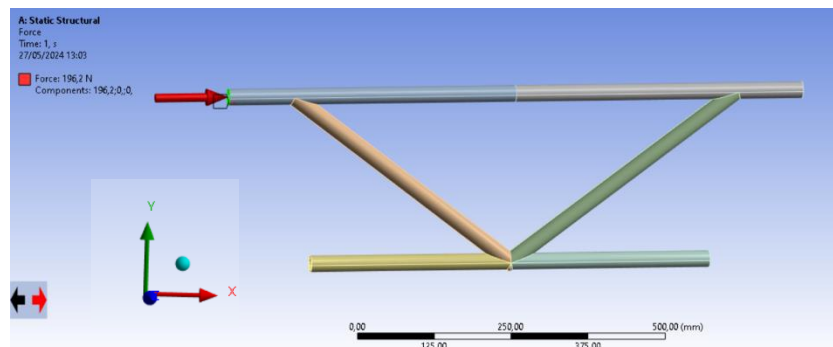


Imagen 81- Fuerza aplicada en la parte superior de la barra de torretas. [Fuente propia]. Ansys Workbench.

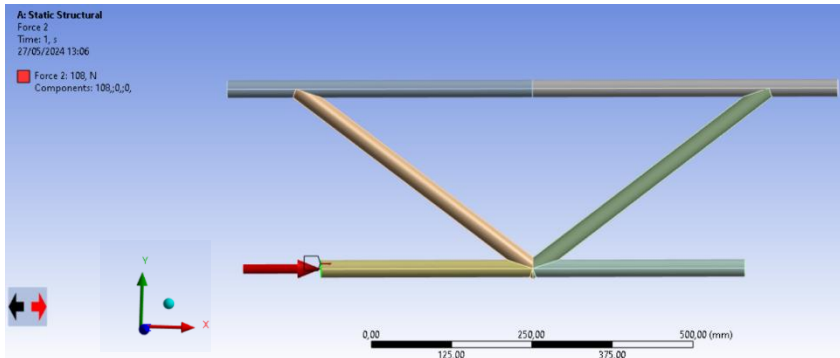


Imagen 82- Fuerza aplicada en la parte inferior de la barra de torretas. [Fuente propia]. Ansys Workbench.

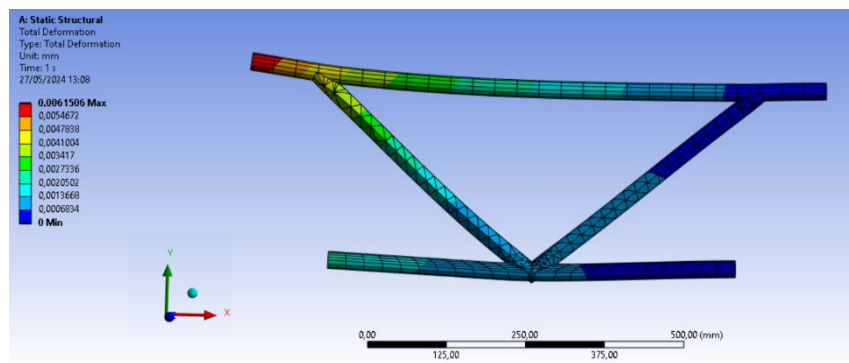


Imagen 83- Deformación total de la pieza. [Fuente propia]. Ansys Workbench

En la simulación de la pieza a deformación total, se observa que el valor máximo alcanzado es de 0'00615 mm, es decir, una deformación inalcanzable a la vista y que apenas deforma la estructura. Por lo tanto, se considera que la pieza cumple en cuanto a deformación estructural se refiere y se podrían aplicar más Newtons de fuerza sin que se deformara la misma.

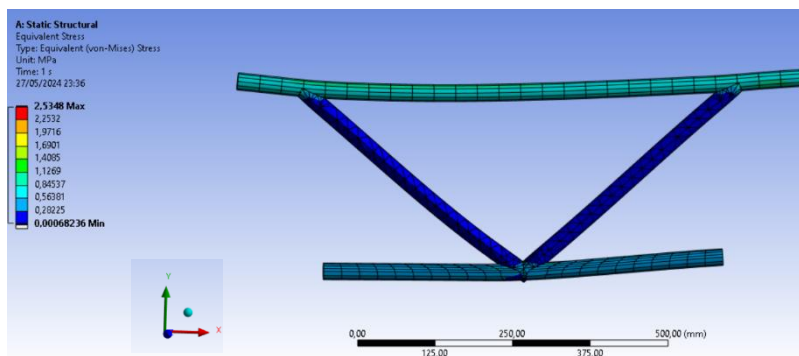


Imagen 84- Tensión equivalente de Von Mises. [Fuente propia]. Ansys Workbench.

El material con el que está fabricado esta pieza tiene un límite elástico de 250 MPa, por lo tanto, la relación de carga será la siguiente:

$$\text{Relación de carga} = \frac{\text{Carga Aplicada}}{\text{Límite Elástico}} = \frac{2'53 \text{ MPa}}{250 \text{ MPa}} = 0'010$$

Esta relación indica que la carga aplicada representa solo el 1% del límite de tensión del material.

En conclusión, el análisis realizado demuestra que la carga aplicada de 2'53 MPa no afecta de manera significativa a la estructura de la barra de torretas fabricada con acero al bajo carbono. La carga representa solo una fracción mínima del límite de tensión del material, lo que garantiza que tanto el material como la estructura cumplen perfectamente con los requisitos de seguridad y rendimiento.

Se realiza una segunda prueba considerando el doble de carga en ambos extremos de la barra de torretas, es decir, 392'4 N en la parte superior y 216 N en la parte inferior, para corroborar que la pieza puede soportar más cargas que las recogidas por el sensor:

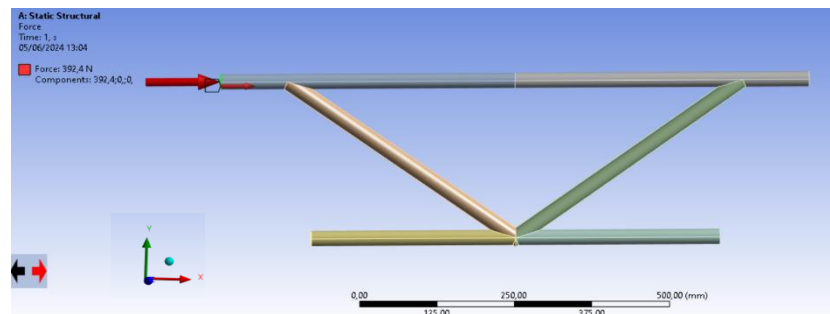


Imagen 85- Doble de fuerza aplicada en el extremo superior de la barra de torretas (392'4 N). [Fuente propia]. Ansys Workbench.

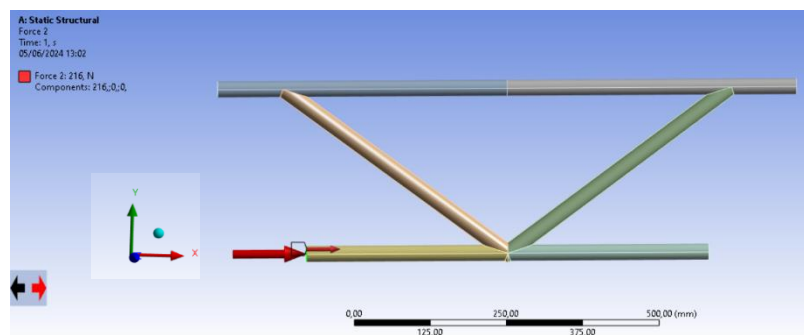


Imagen 86- Doble de fuerza aplicada en el extremo inferior de la barra de torretas (216 N). [Fuente propia]. Ansys Workbench.

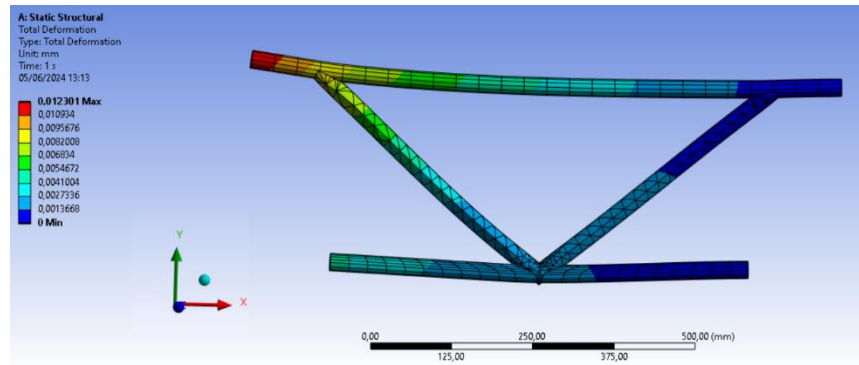


Imagen 87- Deformación total de la pieza aplicando el doble de fuerza. [Fuente propia]. Ansys Workbench

La deformación total máxima que se puede observar es de 0'012 mm, es decir, 0'00585 mm más que la simulación anterior. Esto significa que con unas fuerzas muy superiores (límites del vehículo), la barra de torretas respondería correctamente, ya que aplicando esta fuerza apenas se podría apreciar a la vista la deformación de la misma. Por lo tanto, se concluye que la pieza cumple a deformación estructural.

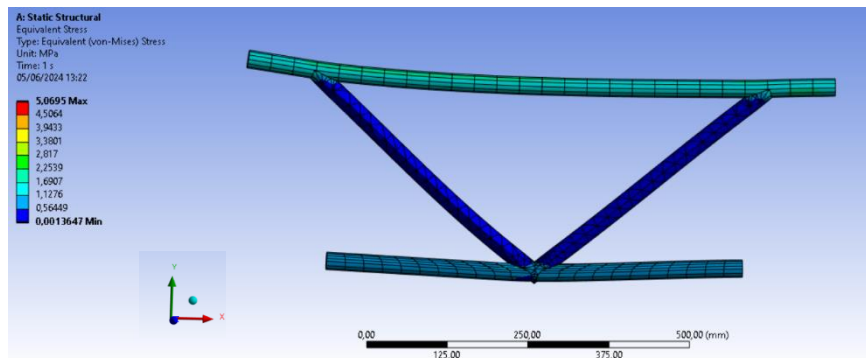


Imagen 88- Tensión equivalente de Von Mises al aplicar el doble de fuerza. [Fuente propia]. Ansys Workbench.

Anteriormente, la estructura se veía sometida a una tensión equivalente de 2'53 MPa. Después de realizar la simulación de la **Imagen 88**, se observa que esta pasa a ser de 5'07 MPa, es decir, el doble. De igual manera, el límite del material es de 250 MPa, de tal forma que la relación de carga pasaría a ser la siguiente:

$$Relación\ de\ carga = \frac{Carga\ Apliaca}{Límite\ Elástico} = \frac{5'07\ MPa}{250\ MPa} = 0'020$$

Esta relación indica que la carga aplicada representa solo el 2% del límite de tensión del material.

En conclusión, el análisis realizado demuestra que la carga aplicada de 5'07 MPa tampoco afecta a la estructura de la barra de torretas, ya que un 2% representa una fracción mínima del límite de tensión del material utilizado.

La barra de torretas también interviene en el chasis, ya que es la encargada de unir ambas torretas de suspensión, reduciendo la flexión del chasis de manera significativa, lo que se traduce en una mejor estabilidad.

Utilizando los datos extraídos en la curva previamente mencionada, se calcula la fuerza que actúa sobre el vehículo en la misma, ya que para el análisis en Ansys es un dato relevante que afectará en la simulación del chasis.

Para obtener la fuerza centrípeta, se recurre a la siguiente fórmula:

$$F = m * a_n$$

Esta fórmula describe la fuerza centrípeta necesaria para mantener un objeto en movimiento durante una trayectoria circular.

La masa del vehículo (m) es un dato ya obtenido anteriormente (1322 kg). En cambio, la aceleración normal (a_n) es un dato desconocido. Se puede obtener de la siguiente forma:

$$a_n = \frac{v^2}{R}$$

Donde:

v = velocidad del coche en la curva = 72'3 km/h = 20 m/s

R = radio de la curva = 25 m

La aceleración normal resultante es:

$$a_n = \frac{20^2}{25} = \frac{400}{25} = 16 \text{ m/s}^2$$

Una vez obtenida la aceleración normal, se calcula la fuerza centrípeta que se está buscando:

$$F = 1322 \text{ kg} * 16 \text{ m/s}^2 = 21.152 \text{ N}$$

Esta es la fuerza que actúa sobre el chasis. En las siguientes simulaciones, se va a considerar que esta actúa sobre las torretas de la suspensión trasera, de tal forma que se ha realizado una comparación entre el chasis sin barra de torretas trasera y con barra de torretas.

Se ha descargado de GrabCad (plataforma para descargar archivos CAD, <https://grabcad.com/>) [14], un archivo de chasis semejante al del Seat Ibiza Cupra, ya que comparten la estructura de MQB, explicada en el apartado **8.4. Barra de torretas trasera**, de tal forma que sirve para las simulaciones pertinentes.

Inicialmente, se ha estudiado la deformación del chasis sin la barra de torretas trasera. En este caso, las cargas no se reparten equitativamente entre las dos torretas de suspensión. En una curva a derechas, la torreta izquierda tendrá una mayor carga que la derecha, ya que es la que está soportando mayor apoyo. En la simulación se puede visualizar de la siguiente forma:

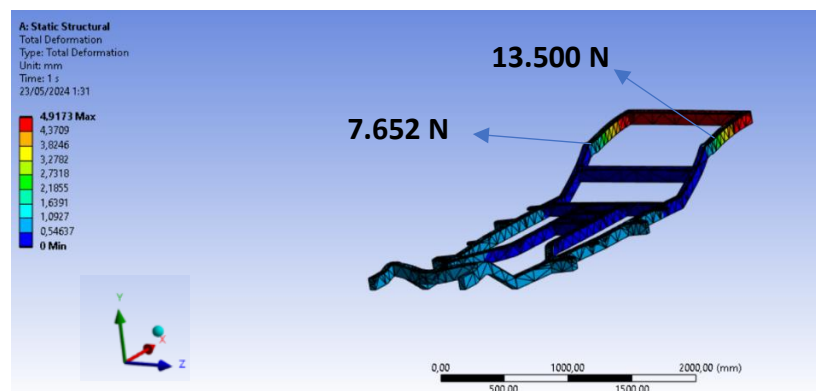


Imagen 89- Chasis deformado al aplicar una fuerza de 21.152 N sin barra de torretas. [Fuente propia]. Ansys Workbench.

Como se puede observar en la **Imagen 89**, se aplica una carga de 21.152 N al tomar una curva a derechas, que afecta de manera significativa al chasis. En esta primera simulación, no se incorpora la barra de torretas trasera, y es por eso que las cargas no se reparten entre las dos torretas de la suspensión. Es por eso que el chasis sufre una deformación máxima de 4'91 mm.

Realizando la misma simulación, pero teniendo en cuenta la barra de torretas, esta distribuye de manera equitativa las fuerzas entre los dos extremos del chasis, de forma que la deformación resultante es la siguiente:

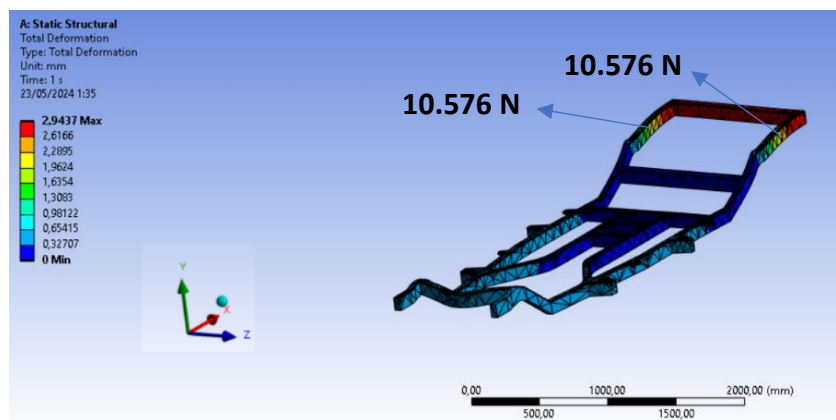


Imagen 90- Chasis deformado al aplicar una fuerza de 21.152 N con barra de torretas. [Fuente propia]. Ansys Workbench.

En esta segunda prueba, se concluye que la deformación del chasis con la nueva pieza instalada es menor. En concreto, esta es de 2'94 mm (unos 2 mm menos que en la primera simulación). Por lo tanto, la barra de torretas trasera cumple su función.

Matemáticamente, se demuestra de la siguiente manera:

Rigidez del chasis

La rigidez del chasis (K) se define como la fuerza aplicada calculada anteriormente (F) dividido por la deflexión sufrida (δ), de tal forma que el resultado es el siguiente:

- Sin barra de torretas
$$K = \frac{F}{\delta} = \frac{21.152 \text{ N}}{4,91 \text{ mm}} = 4.307'94 \text{ N/mm}$$
- Con barra de torretas
$$K' = \frac{F}{\delta'} = \frac{21.152 \text{ N}}{2,94 \text{ mm}} = 7194'55 \text{ N/mm}$$

Incremento en la rigidez: $K - K' = 320 \frac{N}{mm} - 200 \frac{N}{mm} = 2.886'61 N/mm$

Este resultado muestra que la rigidez del chasis ha mejorado considerablemente, y que esta ha incrementado en 2886'61 N/mm.

Distribución de cargas

Sin la barra de torretas, las torretas de suspensión soportan fuerzas desiguales debido a la flexión del chasis. Como se ha podido observar en las simulaciones realizadas (*Imagen 89* e *Imagen 90*), las cargas han sido las siguientes:

- Sin barra de torretas:

Fuerza aplicada en la torreta izquierda: $F_1 = 13.500 N$

Fuerza aplicada en la torreta derecha: $F_2 = 7.652 N$

$$Diferencia de fuerzas = F_1 - F_2 = 5.848 N$$

- Con barra de torretas:

Fuerza aplicada en la torreta izquierda: $F'_1 = 10.576 N$

Fuerza aplicada en la torreta derecha: $F'_2 = 10.576 N$

$$Diferencia de fuerzas = F'_1 - F'_2 = 0 N$$

Este cálculo demuestra que la barra de torretas ayuda a distribuir las cargas a lo largo del chasis, para que ambas torretas de las suspensiones soporten la misma carga (o muy similar).

Reducción de la flexión de la suspensión

Para realizar este cálculo se utiliza la ecuación de Euler-Bernoulli, que describe la relación entre una carga aplicada y la deflexión resultante. La ecuación de la deflexión para una barra bajo una carga puntual es:

$$\delta = \frac{FL^3}{3EI}$$

- Sin la barra de torretas

Datos:

δ = Deflexión en el extremo de la torreta

F = Fuerza aplicada en el extremo de la barra = 21.152 N

L = Longitud de la torreta (se supone 0,5 m)

E = Módulo de Young del material = 210 GPa = $210 * 10^9 \frac{N}{mm^2}$

I = Momento de inercia de la sección transversal = $1 * 10^{-6} m^4$

$$\delta = \frac{21.152 N * 0,5^3 m}{3 * 210 * 10^9 \frac{N}{mm^2} * 1 * 10^{-6} m^4} = 0'0042 m = \mathbf{4'2 mm}$$

- Con la barra de torretas

Datos: Solo cambia el momento de inercia, ya que al tener la barra de torretas instalada esta hace que aumente el momento de inercia efectivo.

I' = Momento de inercia de la sección transversal = $2 * 10^{-6} m^4$

$$\delta' = \frac{21.152 N * 0,5^3 m}{3 * 210 * 10^9 \frac{N}{mm^2} * 2 * 10^{-6} m^4} = 0'002 m = \mathbf{2 mm}$$

La reducción de la deflexión de la suspensión es bastante significativa, ya que pasa de ser de 4'2 mm a 2 mm, por lo que beneficia al comportamiento del vehículo en marcha. Proporciona una respuesta de la dirección más precisa y una mejor estabilidad en curvas, gracias a la reducción del balanceo.

En conclusión, estos cálculos muestran como la barra de torretas trasera instalada en el vehículo puede mejorar la rigidez del chasis, uniformar la distribución de cargas y reducir la flexión de la suspensión, resultando en un mejor control del vehículo y seguridad del mismo.

12. Estudio de salud y seguridad

Este estudio de seguridad y salud proporciona una base integral para llevar a cabo el cambio de suspensiones en un vehículo, priorizando en todo momento la protección de los trabajadores y la minimización de riesgos asociados a esta actividad. Es por esto que se han identificado los posibles riesgos y sus respectivas medidas para minimizarlos:

Riesgos que conlleva el cambio de suspensiones.

- **Lesiones musculoesqueléticas:** causados por la repetitiva manipulación de componentes mecánicos pesados. Puede derivar en esguinces, lesiones de espalda, etc.
- **Riesgos ergonómicos:** estar en una posición inadecuada durante la instalación de los componentes mencionados en este proyecto, puede generar molestias físicas y lesiones a largo plazo.
- **Riesgos al levantar el vehículo:** para llevar a cabo esta modificación, es necesario un elevador en el taller. En el caso de no cumplirse las medidas de seguridad adecuadas, pueden darse situaciones de caídas y aplastamientos.
- **Exposición a sustancias químicas:** manipular grasas, lubricantes y productos químicos sin el material de protección adecuado podría resultar dañino para la salud del autor de la reforma.
- **Fallos en la fijación de componentes:** la falta de apriete de los tornillos de los diferentes componentes del sistema de suspensión puede comprometer la seguridad del vehículo.
- **Incumplimiento de especificaciones del fabricante:** no seguir las normas de ejecución del fabricante puede comprometer la seguridad y el rendimiento del vehículo.

Medidas de prevención ante estos riesgos:

- **Formación del personal:** proporcionar una formación adecuada a todo el personal, abordando aspectos como el uso seguro de las herramientas y maquinaria del taller, manipulación de sustancias químicas y técnicas de trabajo seguro.
- **Utilización de Equipos de Protección Personal (EPP):** garantizar que todo el personal utilice gafas y guantes de protección, un calzado de seguridad, etc.
- **Uso de equipos de elevación adecuados:** asegurarse que estos equipos cumplen con la normativa vigente, y seguir los protocolos de seguridad con el objetivo de evitar accidentes.
- **Verificación de fijaciones y aprietes:** verificación minuciosa de todos los aprietes realizados en el cambio de suspensión del vehículo.
- **Planificación y evaluación de riesgos:** realizar una evaluación de riesgos antes de iniciar el proyecto, identificando los posibles riesgos y estableciendo las medidas preventivas correspondientes.

El propósito de estas medidas de seguridad es establecer un entorno laboral seguro y disminuir el riesgo de accidentes o lesiones durante la ejecución del proceso de cambio de suspensiones en el vehículo.

13. ODS

Entre los Objetivos de Desarrollo Sostenible que son de aplicación en este TFG, destacan los siguientes: **4-** Educación de calidad, **9-** Industria, innovación e infraestructura, **11-** Ciudades y comunidades sostenibles y **13-** Acción por el clima.



Se centra en la educación de calidad, porque la realización de este proyecto de fin de grado representa un claro ejemplo de la aplicación práctica y educativa de los conocimientos adquiridos durante la carrera. Al abordar la mejora de las suspensiones del coche y la instalación de una barra de torretas trasera, se fomenta el aprendizaje técnico y científico, permitiendo a los estudiantes aplicar teorías y técnicas en un contexto real.



Se centra en la industria, la innovación y la infraestructura, debido a la relevancia directa que tiene en el ámbito de la ingeniería automotriz. La mejora y optimización de las suspensiones del coche y la instalación de una barra de torretas trasera representan un claro ejemplo de innovación técnica y avance en infraestructura vehicular. Estas mejoras no solo contribuyen al desarrollo de vehículos más seguros y eficientes, sino que también promueven la sostenibilidad al aumentar la durabilidad y el rendimiento de los vehículos.



La optimización de las suspensiones y la instalación de una barra de torretas trasera pueden mejorar la seguridad y el confort de los vehículos, contribuyendo así a una mayor seguridad vial.



Las mejoras en la eficiencia del vehículo pueden contribuir a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Un vehículo que funciona de manera más eficiente y con una mejor suspensión puede reducir su consumo de combustible, lo que se traduce en menores emisiones de CO₂. Esto contribuye a combatir el cambio climático y sus impactos.

14. Pliego de condiciones

14.1. Calidad de los materiales utilizados

En el caso de las suspensiones, el fabricante de las mismas aporta información sobre el material en las que están fabricadas. En este caso (Blistein B16), los materiales utilizados son:

- Aleación de aluminio especial en la placa de resorte y en la contratuerca.
- Los muelles (resortes) están fabricados de un material de acero especial de cromo y silicio revenido al temple de aceite de alta dureza y aleaciones de cromo silicio vanadio en un proceso de aire frío.
- Cada amortiguador consta de un eje cromado anclado al vehículo, y dos tubos de acero. (Aleaciones de metales especiales de alta calidad que le dan una larga vida útil al amortiguador y una resistencia extrema a la fatiga).
- La tornillería necesaria para el montaje de estas suspensiones también viene dada por el fabricante, por lo que se asegura su calidad en el montaje de todos los componentes.
- El vehículo sujeto a la modificación se encuentra en un estado operativo apropiado.

En cambio, el material utilizado en la barra de torretas trasera será acero de bajo carbono. La tornillería utilizada se recoge en la **Tabla 18** y los cuatro tornillos empleados en el amarre de la barra de torretas al chasis están fabricados en acero inoxidable.

El material utilizado en ambas modificaciones tiene cumplir unas condiciones estrictas, las cuales se redactan en los siguientes puntos:

- Los tornillos y bridas se adecuarán en tamaño y dimensión de acuerdo con las indicaciones proporcionadas.
- Los materiales metálicos deberán ser de acero con la calidad especificada en todo el proyecto, sin presentar deformaciones, roturas u otros defectos.

- Los elementos que precisen de soldaduras, serán realizados por personal cualificado.
- Todos los materiales cumplirán con la calidad especificada y contarán con las dimensiones y espesores indicados en los diversos documentos del proyecto.

14.2. Normas de ejecución

El presente proyecto se ajustará a la normativa explicada en el apartado **7. Normativa a aplicar**. Además, para el correcto montaje de las suspensiones, el personal cualificado del taller seguirá estrictamente las normas de ejecución aportadas por el fabricante (Blistein).

Asimismo, el autor de la reforma deberá asegurar que ningún otro componente de la suspensión del vehículo ha experimentado cambios, a excepción de la sustitución de los muelles y amortiguadores, manteniendo la misma ubicación que el sistema de suspensión original.

También deberá afirmar que ningún otro componente del vehículo ha sido intervenido, salvo los ajustes realizados en los parámetros de dirección durante la alineación del vehículo después de la instalación del sistema de suspensión, con el objetivo de asegurar que la seguridad sea la misma a la que antes de la modificación.

14.3. Certificados y autorizaciones

Con tal de legalizar la reforma, se tienen que aportar una serie de documentos al Servicio de Industria, los cuales vienen recogidos en los siguientes puntos:

- Certificado de Fin de Obra
- Proyecto Técnico
- Informe de conformidad según el Real Decreto 866/2010.
- Certificado de Taller según el Real Decreto 866/201

15. Presupuesto

Se procede a hacer un estudio económico del coste de las piezas adquiridas para la modificación del vehículo, así como las piezas de construcción propia. En este presupuesto se incluye el precio de toda la documentación relativa a la reforma del vehículo, es decir, el Proyecto Técnico, Certificado de Fin de Obra, Informe de Conformidad e Informe de I.T.V. También se incluyen los materiales y objetos utilizados para realizar todas las pruebas de conducción relativas a la barra de torretas.

15.1. Presupuesto total

Descripción	Precio sin IVA (€)
Presupuesto barra de torretas trasera	517'37
Presupuesto suspensiones	1.819'42
Precio total sin IVA	2.336'79 €
Precio total con 21% IVA	2.827'51 €

15.2. Presupuesto de las suspensiones

1- SUSPENSIONES (MATERIAL)			
Descripción	Cantidad	Precio sin IVA (€)	Importe (€)
Kit Blistein B16 PSS9 AUDI/SEAT/VOLKSWAGEN	1	1.307,88	1.307,88

Silentblock brazo de suspensión	2	13,27	26'54
2- MANO DE OBRA			
Descripción	Cantidad	Precio sin IVA (€)	Importe (€)
	(horas)		
Sustituir kit de amortiguadores y muelles, desmontar brazos de suspensión, sustituir casquillos, ajustar y montar, regular la altura de la suspensión	7	35	245
Alinear dirección	1	40	40
3- PROYECTO TÉCNICO			
Descripción	Cantidad	Precio sin IVA (€)	Importe (€)
Proyecto Técnico de Reforma	1	80	80
4- CERTIFICADO FINAL DE OBRA			
Descripción	Cantidad	Precio sin IVA (€)	Importe (€)
Certificado final de obra	1	20	20
5- INFORME DE CONFORMIDAD			
Descripción	Cantidad	Precio sin IVA (€)	Importe (€)
Informe de conformidad proporcionado por laboratorio acreditado	1	25	25
6- INFORME I.T.V			
Descripción	Cantidad	Precio sin IVA (€)	Importe (€)
Informe I.T.V	1	75	75
IMPORTE TOTAL			1.819'42 €
suspensiones			

15.3. Presupuesto de la barra de torretas trasera

Descripción	Cantidad	Precio sin IVA (€)	Importe (€)
Tubos de acero de bajo carbono de Ø 30 mm x 980 mm	4	90	90
Mecanizado de los tubos (corte recto y soldadura)	1	75	75
Pintura de la pieza	1	0	0
Tornillería, varios	1	15	15
Sensor de presión MD30-60	1	10	10
Placa de adquisición de datos	1	42,37	42'37
Go Pro Hero 10	1	285	285
		IMPORTE	517'37 €
		TOTAL barra de torretas	

16. Conclusiones

A modo de resumen, en los siguientes puntos se recogen las conclusiones finales del proyecto:

- Los objetivos marcados inicialmente se han conseguido satisfactoriamente, sin afectar al a seguridad ni impedimentos para la regularización de este vehículo reformado. Con el fin de alcanzar dichos objetivos, se han seguido en todo momento las pautas y requisitos establecidos en las normativas vigentes correspondientes en cada caso.
- Rebajar la altura del vehículo mejora el comportamiento dinámico durante la marcha, especialmente en trayectorias curvas, así como un aumento de la eficiencia de frenado (la transferencia de peso hacia las ruedas delanteras durante la frenada es menos pronunciada) y un mejor manejo en general.
- Las tensiones de los resortes se encuentran dentro del límite de seguridad, así como el resto de elementos que forman parte de la suspensión, ya que la carga que soporta es considerablemente inferior al límite de resistencia del material a la ruptura.
- Con el aumento de la rigidez del resorte, la conducción adquiere un carácter más deportivo, con mejores prestaciones y estabilidad en marcha, sin embargo, afecta a la comodidad y confort provocando que las irregularidades se perciban de manera más pronunciada, consecuencia de que tanto la frecuencia como la amplitud aumentan, afectando directamente a la percepción de los ocupantes.
- Tras un análisis analítico de las reformas que se han implementado en el vehículo, se ha obtenido que el cambio de suspensiones junto con la barra de torretas ha mejorado la estabilidad del vehículo entre un 13% y 18%, con un coste relativamente asumible.
- Ha sido posible adquirir material básico con un bajo precio para test en carretera abierta al público para cuantificar el nivel de fuerza que absorben las torretas traseras. Las pruebas dinámicas realizadas tras la reforma en tramos de montaña han sido satisfactorias y los resultados indican una notable mejora en la dinámica del vehículo.

17. Bibliografía

- [1] Alberdi Urbietta, Juan. “Amortiguadores y suspensión – Manuales de automoción”. Tecnum. Campus tecnológico de la universidad de Navarra.
- [2] Alonso, J. M. (2008): “Técnicas del Automóvil. Chasis”. Madrid, Paraninfo.
- [3] Arias-Paz, Manuel (2006): “Manual de automóviles”. Madrid, Dossat 2000
- [4] Cebolla Bono, Bruno, “Modelado y caracterización de sistemas de suspensión en vehículos automóviles”. Director: Dols Ruiz, D. Juan Francisco. Universidad Politécnica de Valencia. 2017.
- [5] Ferdinand P. Beer, E. Russell Johnston Jr., John T. DeWolf, David F. Mazurek “Mechanics of Materials”, 7ª edición, Mc-Graw-Hill Education.
- [6] Font Mezquita, José; Dols Ruiz, Juan Fco. (2004): “Tratado sobre automóviles. Tomo II. Tecnología del automóvil”. València, SPUPV-2006.875. ETSII.
- [7] Font Mezquita, José; Dols Ruiz, Juan Fco. (2006): “Tratado sobre automóviles. Tomo IV. La Dinámica del automóvil”. València, SPUPV-2006.875. ETSII.
- [8] Neil J. Mansfield, “Human Vibration Analysis”, CRC Press, 2005.
- [9] Puértolas Gomez, Francisco Javier, “Propuesta de estudio para legalización de nueva suspensión en vehículo SEAT LEON y análisis de la influencia en el vehículo”. Director: Baselga Ariño, Santiago. Universidad de Zaragoza. 2021.
- [10] Pulido Laparra, D. Carlos “Diseño del sistema de suspensión para un vehículo de fórmula student”. Director: García-Pozuelo Ramos, Dr. Daniel. Universidad Carlos III de Madrid. 2014.
- [11] BOE-A-1986-18896 Real Decreto 1457/1986, de 10 de enero, por el que se regulan la actividad industrial y la prestación de servicios en los talleres de reparación de vehículos automóviles de sus equipos y componentes. (s. f.). <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1986-18896>.
- [12] BOE-A-2010-11154 Real Decreto 866/2010, de 2 de julio, por el que se regula la tramitación de las reformas de vehículos. (s. f.). <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2010-1115>.

- [13] Ansys Workbench [Software]
- [14] GrabCad [web] (<https://grabcad.com/>)
- [15] Vsusp [web] (<https://vsusp.com/>)

ANEXOS

ANEXO I – Componentes de la suspensión

I. Elementos del sistema de suspensión

El sistema de suspensión de un automóvil es un grupo complicado de partes que buscan aumentar el agarre entre las ruedas y el pavimento, proporcionando estabilidad, comodidad y manejo preciso al conducir. Los componentes clave del sistema de suspensión son los amortiguadores, que absorben vibraciones e impactos; los muelles, que sostienen el peso del vehículo y ofrecen flexibilidad; las barras estabilizadoras, que disminuyen la inclinación en las curvas; y los brazos de control, que unen las ruedas al chasis y permiten el movimiento vertical. Las torretas y bujes son significativos para absorber fuerzas, mantener la alineación y garantizar el correcto funcionamiento del sistema. Estos elementos funcionan juntos para brindar una sensación de manejo segura y cómoda, ajustándose a diferentes situaciones en la carretera.

a) Amortiguadores

Los amortiguadores son unos elementos primordiales en el sistema de suspensión y en la seguridad activa del vehículo. Las irregularidades presentes en las vías de circulación, crean oscilaciones en el vehículo, y estos componentes, son los encargados de controlar estos movimientos para convertir la energía cinética en térmica.

Estos movimientos oscilantes, de no ser eliminados, provocarían en el vehículo movimientos desestabilizadores no deseados, los cuales afectarían gravemente en la seguridad del mismo.

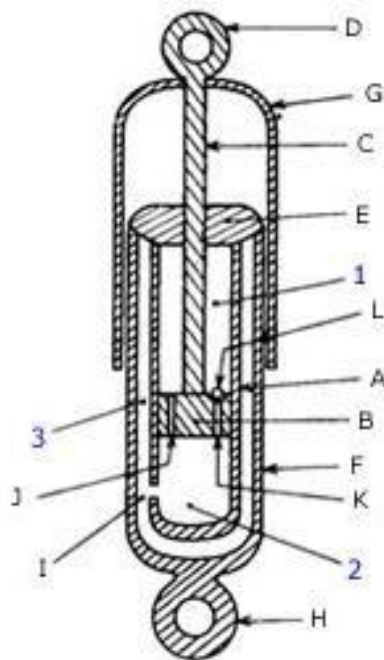
En cuanto a su funcionamiento, es necesario calibrarlos de manera correcta, dependiendo de las condiciones de trabajo a las que se vaya a someter, ya que un amortiguador muy duro (que absorbe demasiado las oscilaciones) se traduciría en una conducción poco confortable. En cambio, una configuración de amortiguación demasiado pequeña, podría convertirse en un peligro, ya que afectaría negativamente a la estabilidad y frenada del vehículo.

En términos de durabilidad, los amortiguadores de un coche están diseñados para durar entre 75.000 y 100.000 kilómetros. Una vez se sobrepase esta distancia y dependiendo

del uso, sería conveniente una revisión que verificara si se encuentran en buen estado, o sustituirlos si procede, ya que hay que tener en cuenta que estos se comprimen entre 5.000 y 7.000 veces por minuto, trabajando de manera constante [3] y [4].

Existen distintos tipos de amortiguadores:

- **Amortiguadores hidráulicos:** funcionan de manera sencilla, aumentando su eficacia frente al aumento de presión; están compuestos por un pistón con agujeros por los que se abre paso el aceite, lo que genera las fuerzas de compresión y expansión (por lo cual se calientan durante su uso), con el objetivo de controlar la suspensión del vehículo y frenar así su “rebote”.



- 1-Cámara superior
- 2-Cámara inferior
- 3-Cámara de compensación
- A-Cilindro interior
- B- Émbolo
- C- Vástago
- D- Anillo soporte
- E-Empaquetadura
- F-Cilindro exterior
- G- Cilindro de cierre
- H- Anillo soporte
- I- Orificio
- J y K- Orificios calibrados
- L- Válvula antirretorno

Imagen 91- Amortiguador hidráulico.

[Fuente:
<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn73.htm>]

- **Amortiguadores hidráulicos con válvulas:** este tipo de amortiguadores aportan mayor suavidad a la conducción y son más eficientes que los amortiguadores hidráulicos simples o convencionales.

La principal diferencia consiste en que se sustituyen los agujeros de los pistones por donde pasaba el aceite por válvulas, que son las encargadas de hacer pasar el aceite cuando se le ejerce presión, consiguiendo así una regulación más exacta según las necesidades de cada vehículo.

Esquemáticamente se representaría de la siguiente forma:

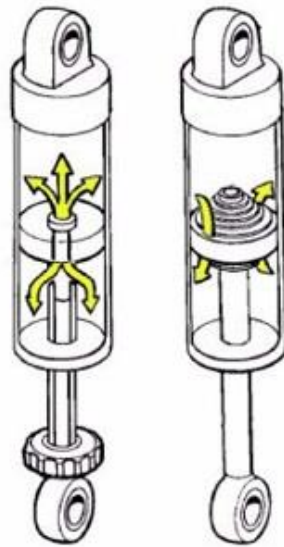


Imagen 92- Amortiguador hidráulico con válvulas.

[Fuente: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn73.htm>]

La imagen de la izquierda muestra el flujo de aceite a través de un paso permanente, mientras que, a la derecha, el flujo de aceite se muestra a través de las válvulas de apertura por presión.

Cuando la velocidad en los extremos del amortiguador es baja, las válvulas de apertura por presión se mantienen cerradas, permitiendo que el aceite fluya a través de los orificios de paso permanente (imagen de la izquierda). Llegado el momento en que la presión del aceite alcanza el ajuste de las válvulas de presión, estas comienzan a abrirse, facilitando así el paso del aceite.

En resumen, a mayor presión, mayor apertura de las válvulas, hasta que su apertura resulta completa.

- **Amortiguadores de doble tubo:** son los más comunes en la industria automovilística y los hay de dos tipos; no presurizados (aceite) y presurizados (aceite y gas).

En la **Imagen 93** se muestra el amortiguador de doble tubo no presurizado:

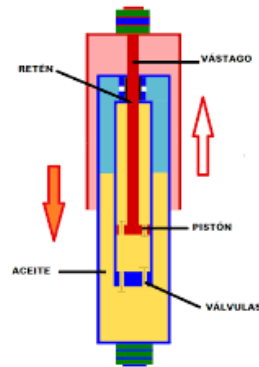


Imagen 93- Amortiguador de doble tubo no presurizado.

[Fuente: Armando. (2022, 2 julio). LOS AMORTIGUADORES]

Los amortiguadores de doble tubo presurizados presentan el siguiente esquema representado en la **Imagen 94**:

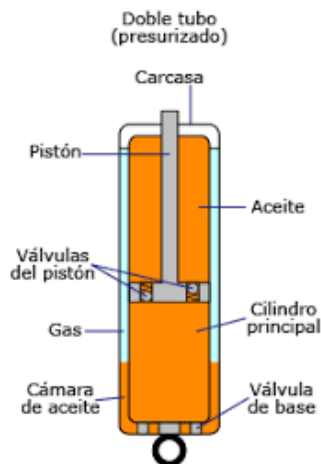


Imagen 94- Amortiguador de doble tubo presurizado.

Los amortiguadores de doble tubo (presurizados y no presurizados), constan de dos cámaras, la cámara interior y cámara de reserva, como podemos observar en la siguiente figura:

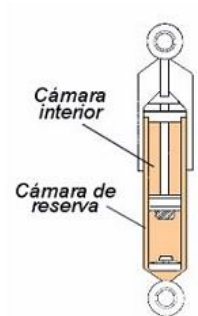


Imagen 95- Amortiguador de doble tubo.

[Fuente: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn73.htm>]

Una vez el vástago ha penetrado en el interior del cuerpo del amortiguador, el aceite presente en la cámara interna fluye libremente a través de los agujeros del pistón hacia el espacio creado en el lado opuesto.

Al mismo tiempo, una cantidad específica de aceite se desplaza debido al volumen ocupado por el vástago en la cámara interna, de forma que este aceite se ve obligado a pasar a la cámara de reserva (que está llena de gas en caso de los amortiguadores presurizados).

La fuerza que genera el amortiguador viene dada por la resistencia que la válvula de pie impone frente al flujo de aceite.

- **Amortiguadores monotubo**: aparecen más tarde que los de doble tubo. Se usan en vehículos de competición o de grandes prestaciones.

Los amortiguadores monotubo están compuestos por dos cámaras principales; una que contiene aceite y la otra que alberga gas a presión.

Estas cámaras están separadas por un pistón flotante, lo que categoriza este tipo de amortiguadores como hidráulicos presurizados, aunque con la peculiaridad de tener válvulas únicamente en el pistón (**Imagen 96**):

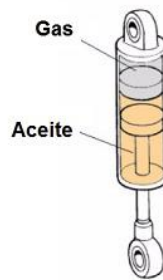


Imagen 96- Amortiguador monotubo.

[Fuente: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn73.htm>]

En estos amortiguadores, cuando el vástago penetra en el cuerpo del amortiguador, ocupa un espacio dentro de la cámara de aceite que se compensa con una cámara de volumen variable (normalmente llena de gas presurizado). Al comprimir el vástago, la presión que ejerce el aceite sobre el pistón flotante provoca la compresión de la zona de gas, de tal forma que se consigue un aumento de presión en ambos lados (gas y aceite). Simultáneamente, el aceite se ve obligado a pasar a través de las válvulas del pistón principal.

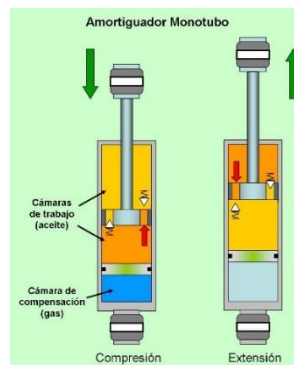


Imagen 97- Amortiguador monotubo.

[Fuente: Armando. (2022, 2 julio). LOS AMORTIGUADORES]

De manera similar a los amortiguadores de doble tubo, la fuerza de amortiguamiento se origina por la resistencia que presentan estas válvulas al flujo del aceite.

Para diferenciar los dos tipos de amortiguadores (monotubo y doble tubo) de manera esquemática, podemos observar la siguiente figura:

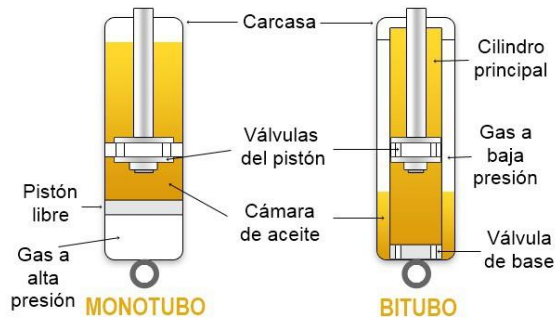


Imagen 98- Diferencias entre amortiguador monotubo y bitubo.

[Fuente: Rodiauto. (2017, 29 octubre). Amortiguadores deportivos]

b) Elementos estructurales

Estos elementos desempeñan un papel fundamental dentro del sistema de suspensión, ya que son los encargados de sostener y orientar la rueda durante su movimiento, con el objetivo de asegurar el correcto funcionamiento de la suspensión y amortiguación. Además, establece conexiones entre otros dispositivos como los de tracción y dirección [3] y [4].

Los elementos estructurales que conforman la suspensión son los siguientes:

- **Brazos de suspensión:** este elemento conecta la rueda y el conjunto de la suspensión con la estructura del chasis del automóvil. Se encuentran en la parte inferior de la suspensión (tanto delantera como trasera), y juegan un papel muy importante en cuanto a la estabilidad y capacidad de manejo del mismo.



Imagen 99- Brazo de suspensión.

[Fuente: <https://tallerbarato.com/blog/que-son-los-brazos-de-suspension/>]

Las funciones de este elemento se basan en soportar el peso del vehículo, transmitiéndolo a través de la suspensión y los amortiguadores hasta la carretera, absorber parte del impacto cuando aparecen irregularidades en la vía, mantener el ángulo correcto de las ruedas con respecto a la carretera y también desempeñan un papel importante en la alineación de las ruedas.

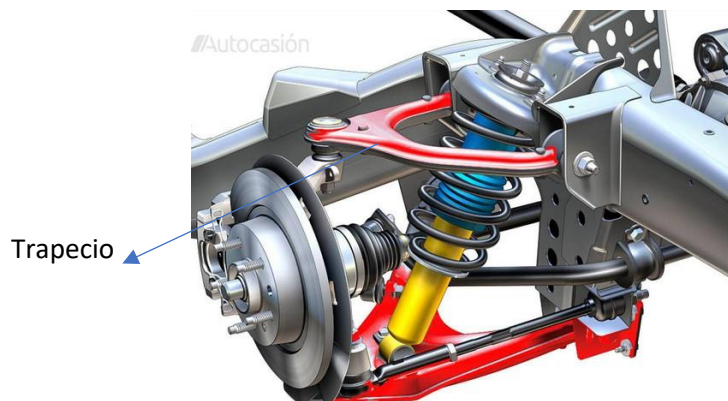
- **Trapecios de suspensión:** Cumplen una función similar a los brazos de suspensión. Cuando su anclaje al chasis y al elemento de suspensión se hace mediante un solo punto en cada extremo, hablaremos de brazos. En cambio, cuando el enlace es múltiple por uno de los dos lados hablamos de trapecios de suspensión. Ambos (brazos y tirantes), están fabricados en fundición o en chapa de acero embutida.



Imagen 100- Trapecio de suspensión.

[Fuente: Blázquez, L. (2022, 31 agosto). Trapecio: ¿Qué es?]

Se conocen por el nombre de trapecios porque su geometría hace que la posición en la que van montados componga un trapecio:



Gracias a este elemento, se evitan pérdidas de control del vehículo no deseadas. Mediante su acción, las ruedas absorben los movimientos verticales del vehículo, manteniéndolas siempre en contacto con el suelo, garantizando de esta forma seguridad en todo momento.

- **Tirantes de suspensión**: estos elementos complementan a los brazos de suspensión, ya que proporcionan una sujeción y guía efectivas para la rueda. Están diseñados para prevenir alteraciones en la geometría de la rueda y sus ángulos.

Específicamente, se instalan junto con los brazos cuando están dispuestos de manera transversal, especialmente en el eje delantero. Además, cumplen la función de complementar los sistemas multibrazo cuando se encuentran en el eje trasero y las ruedas son motrices. Por lo general tienen una estructura tubular, como se puede apreciar en la **Imagen 101**:



Imagen 101- Tirantes de suspensión. [Fuente: Tirante Suspensión MB Actros L622 x46mm].

- **Mangueta de dirección:** pieza que hace de unión entre la suspensión del automóvil y la dirección del mismo. Este elemento contiene un vástago sobre el que gira la rueda, permitiéndole que se apoye y pueda girar. Su geometría es la siguiente:



Imagen 102- Mangueta de dirección. [Fuente: Masrefacciones.Mx. (2022, 28 febrero)].

Se pueden dividir en dos grandes grupos:

- **Manguetas de cubo:** tienen un mecanismo esférico que incluye un buje, sirviendo como punto de conexión para el semieje de la transmisión.
- **Manguetas de vástago:** se atornillan a un buje independiente, siendo comunes en ruedas no motrices.

- **Rótulas y silentblocks:** son componentes esenciales en el sistema de suspensión de un vehículo, ya que permiten el movimiento de la carrocería durante la circulación y eliminan ruidos y vibraciones para conseguir una experiencia de viaje cómoda y agradable para los ocupantes del mismo.



Imagen 104- Rótula. [Fuente: Alanbritos. (2021, 2 diciembre). Rótulas de coche]



Imagen 103- Silentblock. [Fuente: (2023, 13 noviembre). ¿Qué es el silentblock de un coche?]

- **Rótulas:** sirven de articulación entre diferentes partes del sistema de suspensión, permitiendo así el movimiento vertical de las ruedas para que sigan los contornos del terreno, de tal forma que se mantiene el contacto en él en todo momento. También ayudan a mantener una alineación correcta de las ruedas y contribuyen al sistema de dirección.
- **Silentblocks:** están hechos de un material de goma elastómero, con el objetivo de aislar los ruidos y vibraciones del chasis u otros componentes de la suspensión. Así mismo, absorben impactos, contribuyendo a la amortiguación y evitando el desgaste prematuro de los demás componentes del sistema de suspensión.

c) Elementos elásticos

- **Resortes de ballesta:** son un componente mecánico utilizado en los sistemas de suspensión del vehículo. Generalmente, se utiliza en vehículos antiguos o en aquellos que se usen para aplicaciones especializadas (cargar peso), como, por ejemplo, camiones de transporte o vehículos militares [3] y [4].

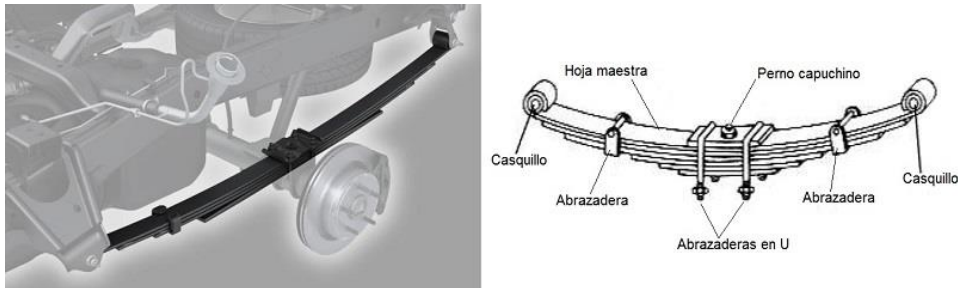


Imagen 105- Resorte de ballestas.

[Fuente: *Diseño óptimo de una Suspensión de Ballesta en un Vehículo Comercial. (s. f.)*]

Tal y como se aprecia en la **Imagen 105**, las ballestas están formadas por la unión de hojas o láminas de acero, que poseen un espesor específico y se unen entre sí gracias a unas bridas metálicas (abrazaderas), que permiten que estas hojas se desplacen cuando haya movimientos de flexión, creando así un conjunto elástico con una alta resistencia a la rotura. Así mismo, estas láminas se unen en el centro mediante un tornillo pasante con tuerca, conocido como “capuchino”. La lámina principal recibe el nombre de “hoja maestra”, y gracias a ella este componente va sujeto a la carrocería o chasis, como podemos observar en la **Imagen 106**:



Imagen 106- Hoja maestra. [Fuente: <https://www.motor.mapfre.es/consejos-practicos/consejos-de-mantenimiento/suspension-de-ballesta/>]

Hoja maestra

A esta, se le añaden más hojas de forma escalonada, con el objetivo de conseguir una rigidez variable.

Ventajas del sistema de ballestas:

- Sistema robusto y soporta grandes cargas.
- Económicas.
- Facilidad de reparación.
- Son relativamente simples y duraderas.

Desventajas de las ballestas:

- Son menos suaves en comparación con otro tipo de suspensiones.
- No ofrecen comodidad en la conducción.
- Pesadas.
- No permiten grandes recorridos de la suspensión.

- **Barras de torsión:** En este mecanismo que pertenece al sistema de suspensión, la capacidad elástica se logra mediante la torsión de una barra (generalmente de sección circular). Esta barra está sujeta en uno de sus extremos al chasis o carrocería y conectada en el otro extremo a un componente móvil, como es el brazo de suspensión. Gracias a sus propiedades elásticas, una vez que cesa la fuerza que la torsiona, la barra retorna a su posición original.

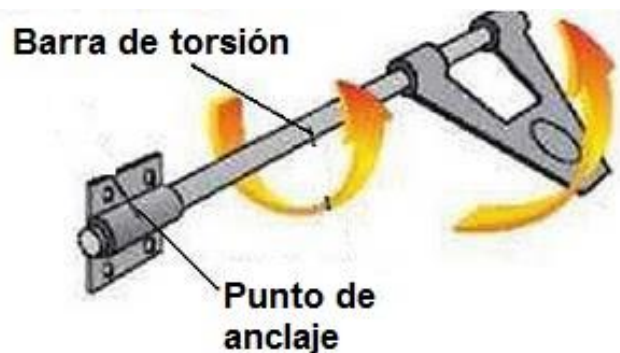


Imagen 107- Barra de torsión de un coche.

[Fuente: Sistema de Suspensión en los Vehículos. (s. f.)]

Ventajas de usar barra de torsión:

- Proporcionar mayor confort y seguridad.
- Reducción del balanceo en giros rápidos.
- Mayor suavidad en la conducción
- Fácil de reparar y bajo mantenimiento
- Ocupa poco espacio

En cuanto a las desventajas, podemos decir que el coste de producción es elevado (se usan tratamientos térmicos especiales) y que, a diferencia de otros sistemas, la barra de torsión no tiene una tasa de resorte progresivo, sino que es variable.

- **Barras estabilizadoras**: la función de las barras estabilizadoras se basa en conectar ambos extremos del sistema de suspensión, con el objetivo de reducir oposición al movimiento lateral y contrarrestar el balanceo de la carrocería.

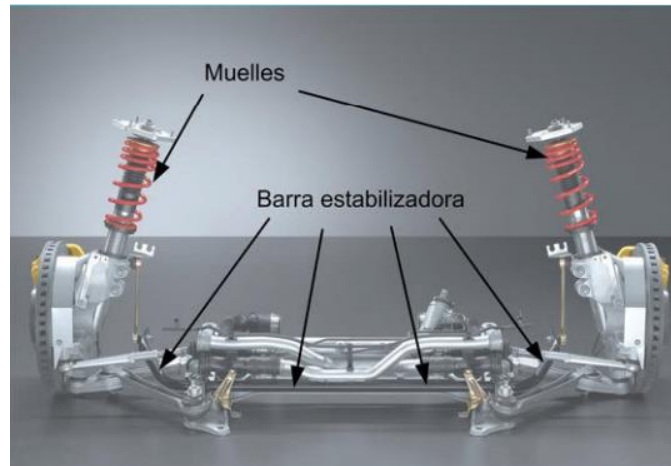


Imagen 108- Barra estabilizadora.

[Fuente: Kuchen, A. M. (2018, 20 octubre). La barra estabilizadora].

Todos los vehículos que toman una curva, se ven sometidos a una fuerza centrífuga que hace que se inclinen hacia un costado, que generan un peligro de vuelco en caso de una velocidad excesivamente alta. Esto es debido a la fuerza centrífuga que actúa sobre el vehículo, que es de dirección radial y ejerce un empuje sobre este, que lo lleva hacia el exterior de la curva. En las siguientes imágenes, se puede observar el cambio entre un vehículo con barra estabilizadora y otro sin ella, a la hora de tomar una curva:

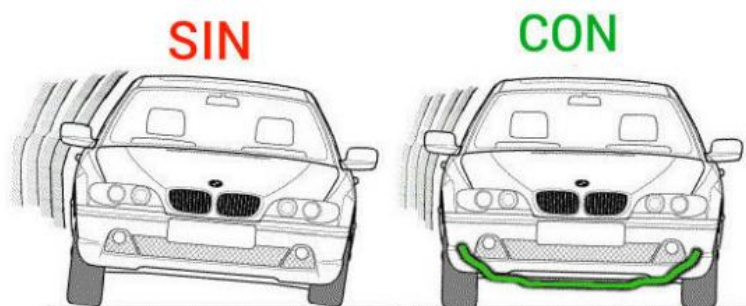


Imagen 109- Diferencia entre un vehículo sin barra estabilizadora y otro con ella.

[Fuente: Barras estabilizadoras - Rodiauto Sport. (s. f.)]

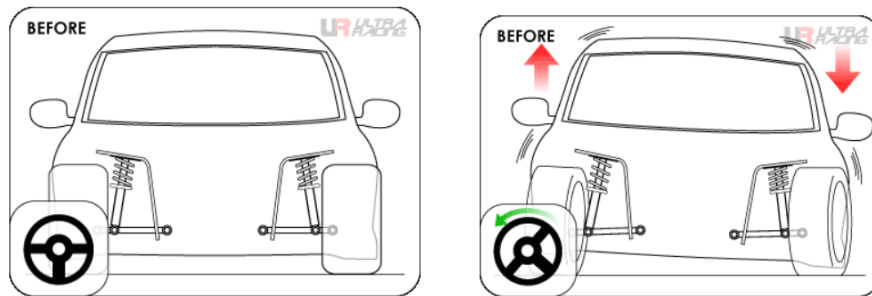


Imagen 110- Simulación del vehículo sin barra estabilizadora.

[Fuente: Prieto, A., & Prieto, A. (2013, 15 julio). Cómo funcionan las barras estabilizadoras].

Sin barra estabilizadora:

En este caso sin barra estabilizadora, la transferencia de pesos en un vehículo al trazar una curva hace que este se balancee hacia un lado, haciendo que la carrocería gire y que sea más difícil tomar esa curva, debilitando de tal forma la respuesta de la dirección.

Con barra estabilizadora:

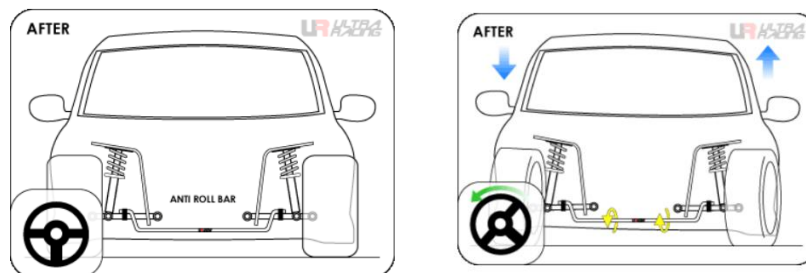


Imagen 111- Simulación del vehículo con barra estabilizadora.

[Fuente: Prieto, A., & Prieto, A. (2013, 15 julio). Cómo funcionan las barras estabilizadoras].

En este caso, con barra estabilizadora, se evita de manera más efectiva que el automóvil se balancee hacia un lado en las curvas, aportando gran estabilidad en ellas.

Por último, las barras estabilizadoras también ayudan a reducir el desgaste de los neumáticos, ya que mantienen la carga lateral en las ruedas durante la conducción, lo que reduce la fricción, y en consecuencia, el desgaste de los neumáticos.

En resumen, la instalación de este componente conlleva notables beneficios en cuanto a la estabilidad, tracción, precisión de la dirección y durabilidad de los neumáticos.

- **Resortes helicoidales:** también conocidos como muelles helicoidales, es el elemento elástico utilizado con mayor frecuencia en el sistema de suspensión. Están elaborados mediante un hilo metálico (generalmente circular o elíptico), enrollados en caliente sobre un cilindro, como se puede apreciar en la **Imagen 112:**



Imagen 112- Resortes helicoidales de un turismo.

Su propósito es absorber las irregularidades de la vía y tienen una capacidad de almacenar una considerable cantidad de energía por unidad de volumen de material. Estos, soportan el peso del vehículo y aumentan la vida del amortiguador y demás componentes del sistema de suspensión.

Su rigidez depende del número de espiras que posee, de su diámetro y del material en el que esté fabricado.

En la **Imagen 113**, se aprecia la posición de los muelles en el conjunto de la suspensión:

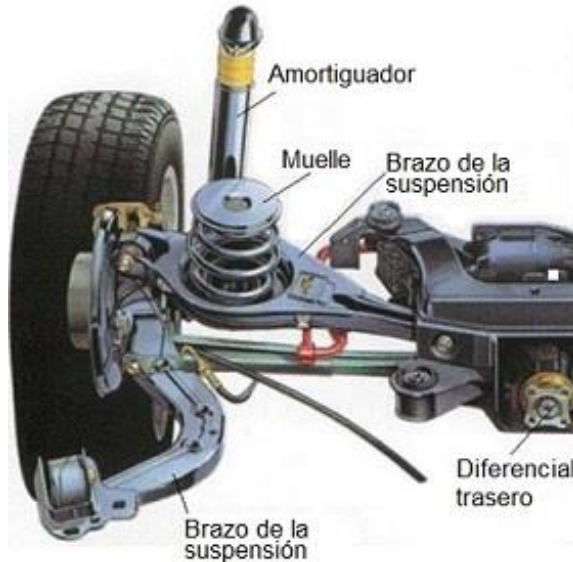


Imagen 113- Elementos de la suspensión de un vehículo.

En conclusión, estas son las aptitudes que poseen los resortes helicoidales (muelles) como elementos elásticos:

- Ubicación sencilla.
- Adecuados para su utilización en el tren delantero, ya que no afectan en la capacidad de las ruedas directrices en su orientación.
- Peso ligero y estructura muy simple (fácil fabricación).

Por el contrario, presentan una falta de rigidez vertical, lo que requiere la instalación de elementos de guiado para controlar los movimientos oscilatorios de la rueda.

- **Balonas neumáticas:** En caso de que un vehículo posea suspensión neumática, un elemento esencial en este sistema serán las balonas neumáticas, cuyo desempeño es crucial para lograr el rendimiento óptimo del sistema. Constan de un compartimento lleno de aire a presión y un pistón móvil que se conecta al eje del vehículo o está integrado en el soporte de la suspensión.

La cubierta de goma se encuentra firmemente sujeta entre los dos elementos mediante anillos de sujeción de acero de alta calidad, proporcionando una estructura hermética y resistente. Estos elementos forman conjuntamente la "zona activa" del aire a presión. La Unidad de Control Electrónico (ECU) utiliza varios comandos, como los provenientes de los sensores de altura, del régimen del motor y del sensor de aceleración, para calcular si es necesario inflar o desinflar la bolsa de aire y así alcanzar la altura de marcha predefinida



Imagen 114- Balonas neumáticas o fuelles de suspensión.

Ventajas de las balonas neumáticas:

- El sistema nivela el vehículo automáticamente, por lo que la carrera de la suspensión se mantiene idéntica.
- Al disminuir la presión de aire en las balonas neumáticas, se logra una altura de marcha menor a velocidades elevadas. Esto sitúa el vehículo más próximo al suelo, lo que resulta en una disminución del coeficiente de arrastre y, por ende, una reducción en el consumo de combustible.

Diferencias entre resortes helicoidales y balonas neumáticas:

Un resorte helicoidal convencional presenta un índice de elasticidad lineal, lo que implica que se necesita la misma fuerza de compresión para que se comprima a lo largo de toda su carrera. Sin embargo, al ajustar la distancia entre las espiras o el grosor del acero, es posible lograr un comportamiento progresivo.

En cambio, las balonas neumáticas se comportan de manera distinta. La fuerza necesaria para comprimir una bolsa de aire neumática aumenta de manera exponencial durante su recorrido. Esto implica que se requiere más fuerza para comprimir la bolsa de aire al acercarse al final de su recorrido, lo que resulta en una experiencia de conducción generalmente más cómoda.

ANEXO II – Planos

I. Croquis acotado del vehículo antes de la reforma



Imagen 115- Croquis acotado Seat Ibiza antes de la reforma.

II. Croquis acotado del vehículo después de la reforma

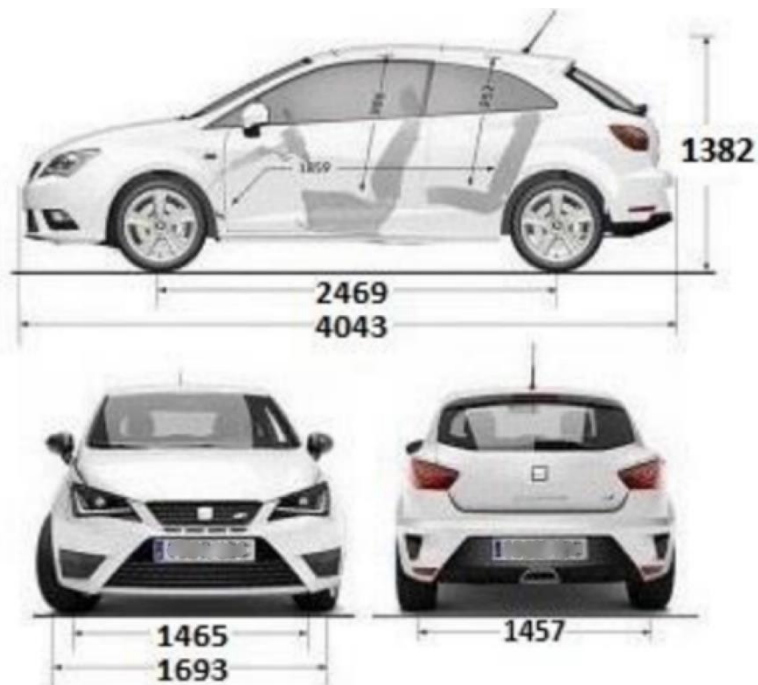
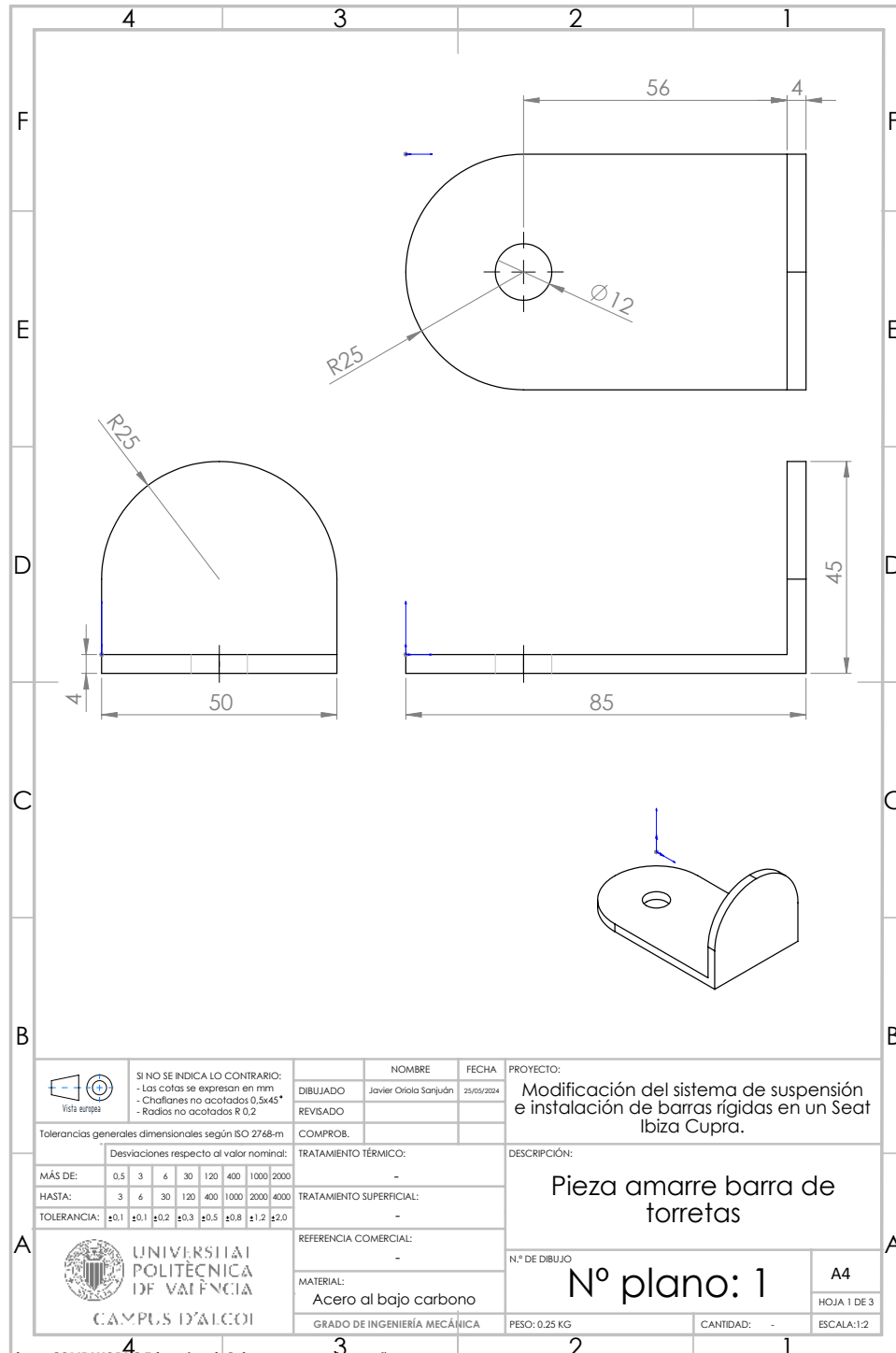
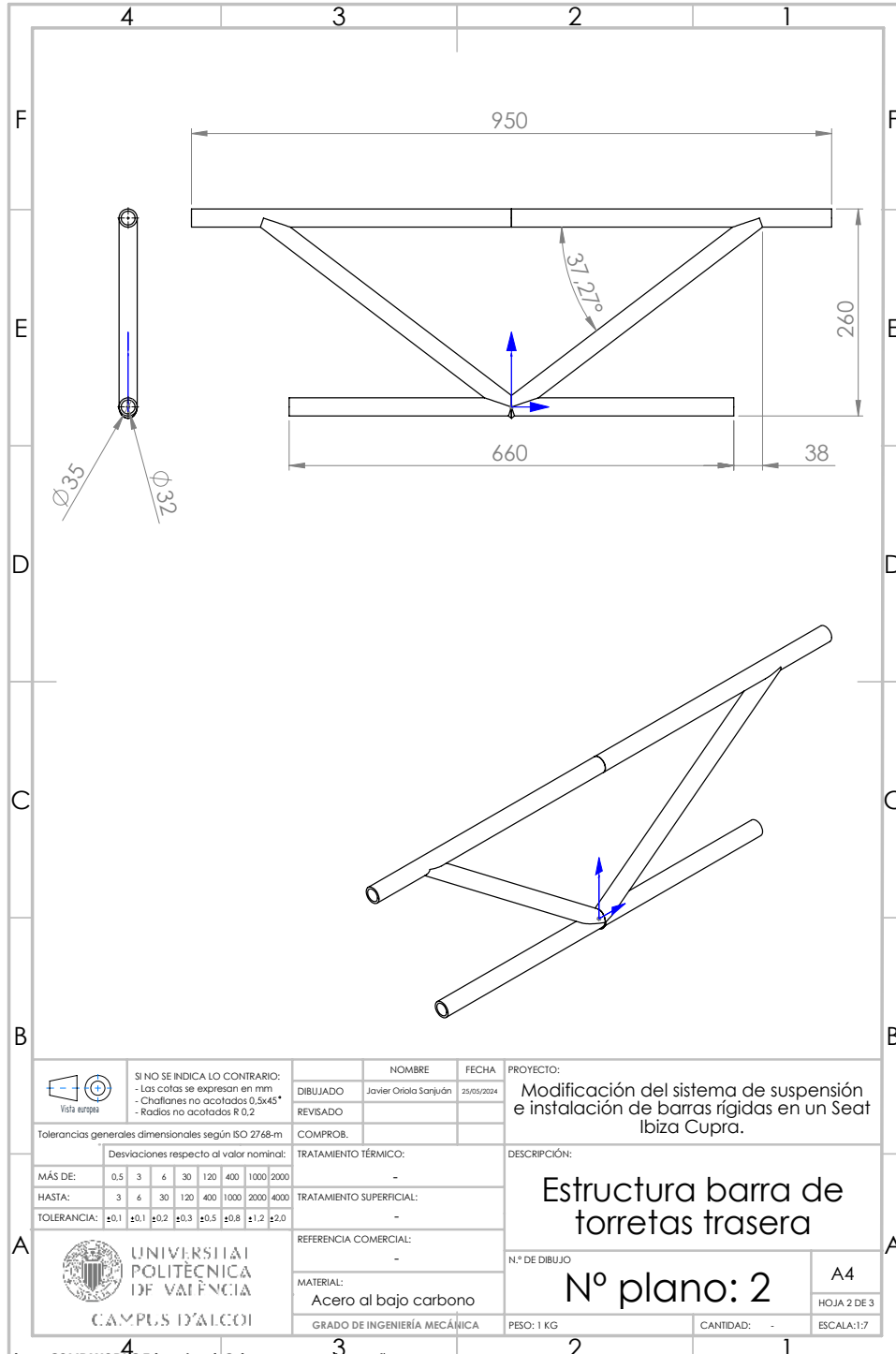


Imagen 116- Croquis acotado Seat Ibiza después de la reforma.

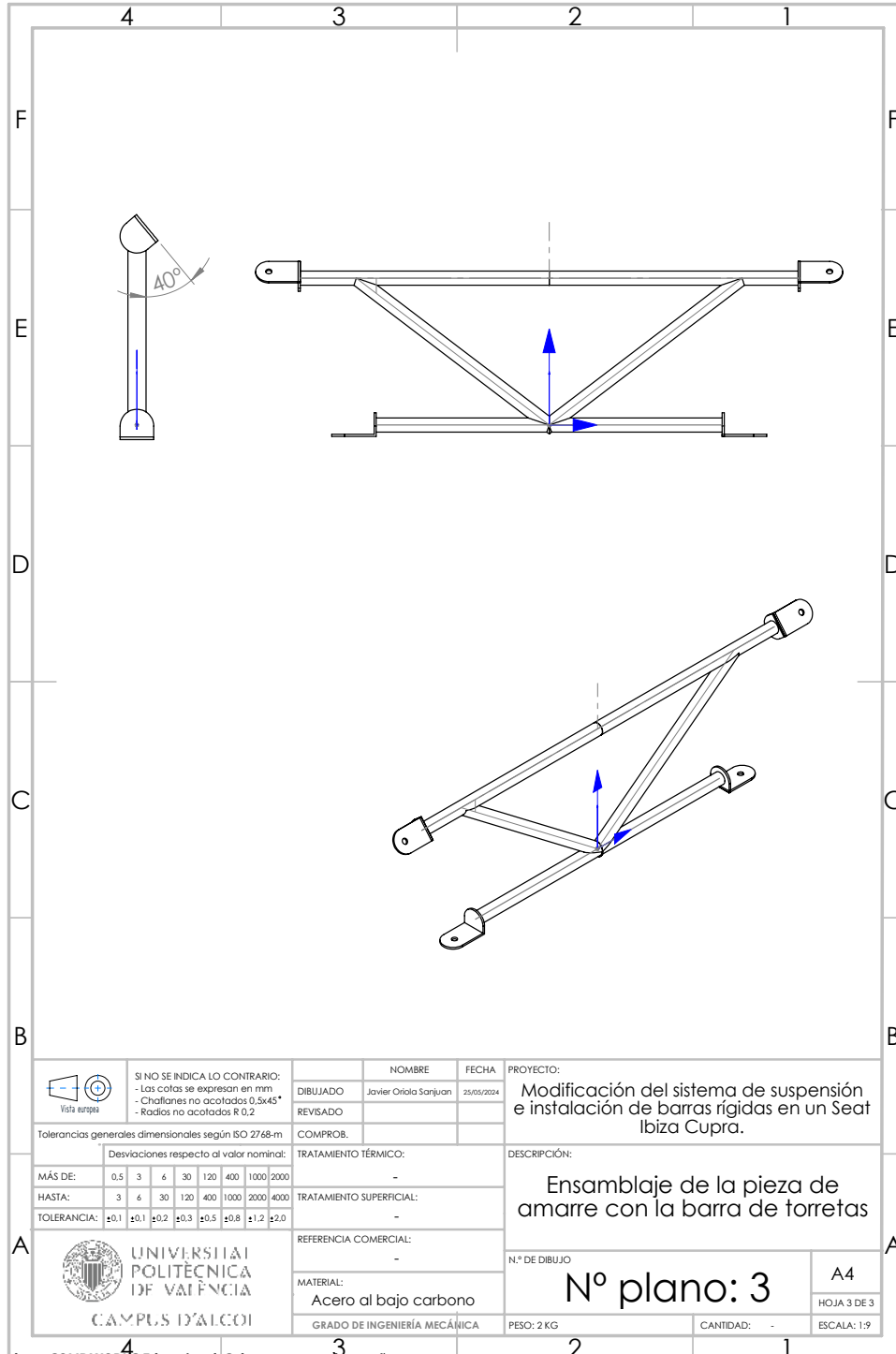
III. Planos de las piezas diseñadas



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.



ANEXO III – Fotografías del proyecto técnico realizado

I. Fotografías de los elementos instalados

En este apartado, se presentan fotografías detalladas de los elementos instalados en el sistema de suspensión del vehículo. Las imágenes incluyen vistas de los componentes clave, como los amortiguadores, los muelles y la barra de torretas, así como las mediciones realizadas para legalizar la reforma. Estas fotografías proporcionan una visión clara y precisa de las reformas realizadas, evidenciando el trabajo efectuado para mejorar la dinámica y seguridad del vehículo.



Imagen 117- Kit de suspensiones Blistein B16. [Fuente propia]



Imagen 119- Amortiguador y muelle delantero izquierdo. [Fuente propia]



Imagen 118- Amortiguador y muelle trasero izquierdo. [Fuente propia]



Imagen 122- Amortiguador y muelle trasero derecho. [Fuente propia]



Imagen 121- Amortiguador y muelle delantero derecho. [Fuente propia]



Imagen 120- Barra de torretas trasera [Fuente propia]

II. Fotografías de la realización de comprobaciones



Imagen 124- Altura total del vehículo. [Fuente propia]



Imagen 123- Altura mínima de la luz antiniebla delantera. [Fuente propia]

Antes de realizar las mediciones, se debe saber que estas se realizan desde el suelo hasta la base del dispositivo a medir, de tal forma que:

- (**Imagen 124**); Altura final del vehículo: 1380 mm
- (**Imagen 123**); Altura mínima legal para la luz antiniebla delantera: 250 mm

En este caso, el metro marca 290mm, por lo tanto, cumple con la normativa.



Imagen 126- Medición de la altura del suelo al faro delantero. [Fuente propia]



Imagen 125- Medición de la altura del intermitente lateral al suelo. [Fuente propia]

- **(Imagen 126);** Altura mínima del suelo al faro delantero: 500 mm

En este caso, la altura es de 580 mm, por lo tanto, se cumple la altura mínima establecida.

- **(Imagen 125);** Altura mínima del suelo al intermitente lateral: (no se establece altura mínima).



Imagen 127- Medición altura suelo-pilotos traseros (785 mm). [Fuente propia]



Imagen 128- Medición altura suelo-catadióptricos traseros (292 mm). [Fuente propia]



*Imagen 129- Altura del suelo a la matrícula trasera (380 mm).
[Fuente propia]*

Tabla 19-Tabla resumen de las mediciones realizadas

	ALTURA BORDE INFERIOR (mm)
Antiniebla delanteros	290
Intermitentes delanteros	Incorporados en los faros delanteros
Faros delanteros	580
Intermitentes laterales	680
Faros traseros	785
Antiniebla traseros	Incorporados en los faros traseros
Catadióptrico trasero	292
Placa matrícula trasera	380
Tercera luz de frenado trasera	1290

ANEXO IV – Documentación necesaria para la homologación de la reforma

I. Certificado de taller

CERTIFICADO DEL TALLER QUE HACE LA REFORMA

D. [REDACTED] DA, expresamente autorizado por la empresa **AUTOMOCIO QUATRECAMINS, S.L.**, domiciliada en MURO DEL ALCOY, provincia de ALICANTE, en [REDACTED], nº 5, teléfono [REDACTED], dedicada a la actividad de Taller de Reparación de Automóviles con nº Registro Industrial [REDACTED] y nº de Registro Especial [REDACTED].

CERTIFICA

Que la mencionada empresa ha realizado la reforma consistente en (1):

- Sustitución de los amortiguadores y muelles del sistema de suspensión original (delanteros y traseros), por un kit de suspensión de la marca **BILSTEIN**, referencia kit: **los muelles delanteros ref. E4-FD1-Y133B00 y los traseros ref. E4-FD1-Y373A00. Los amortiguadores los delanteros de cuerpo roscado ref. F4-VM3-G823-H3, y los traseros ref. F4-BM5-G824-H0;** reduciendo la altura total del vehículo en **45 mm.** (aprox.)

Sobre el vehículo marca **SEAT**, tipo **6J**, variante **SCDAJA**, denominación comercial **IBIZA.**, matrícula **9223.**, nº de bastidor **VSSZZL.**, de acuerdo con:

- La normativa vigente en materia de reformas de importancia en vehículos.
- Las condiciones del informe favorable.

OBSERVACIONES: Se garantiza que se cumple lo previsto en el artículo 6 del Reglamento General de vehículos y, además de lo indicado en el artículo 9 del Real Decreto 1457/1986, de 10 de enero, por el que se regula la actividad industrial en talleres de vehículos automóviles, de equipos y sus componentes, modificado por 455/2010, de 16 de abril.

Y para que así conste, a los efectos oportunos,

En Muro de Alcoy, a 16 de abril de 2024

Firma y sello
AUTOMOCIO QUATRECAMINS, S.L.
6
2
Fdo.

(1) Se describirán las operaciones básicas a realizar sobre el vehículo, así como los elementos y sistemas instalados.

Imagen 130- Certificado del taller que realiza la reforma.

II. Informe de Conformidad



INFORME DE CONFORMIDAD

Nº Informe: IC-RE-246815-00



Pág. 1 de 2

REAL DECRETO 866 / 2010 SOBRE TRAMITACIÓN DE REFORMAS DE VEHÍCULOS

El abajo firmante Sr. Pedro Andrés Llor Guerrero, expresamente autorizado por LABORATORIO TÉCNICO DE REFORMAS, S.L.

INFORMA

Que el vehículo marca **SEAT**, tipo **6J**, variante **SCDAJA**, denominación comercial **IBIZA**, contraseña de homologación **e9*2001**, matrícula **9223**, y con número de bastidor **VSSZZZ6JZGR**, es técnicamente apto para ser sometido a la reforma consistente en:

- **Modificación de los elementos del sistema de suspensión originales por un kit de la marca BILSTEIN compuesto por:** muelles con ref. E4-FD1-Y133B00 y amortiguadores de cuerpo roscado con ref. F4-VM3-G823-H3 en el eje delantero y muelles con ref. E4-FD1-Y373A00 (con taco/soporte roscado marca BILSTEIN para aplicar precarga a los muelles traseros) y amortiguadores con ref. F4-BM5-G824-H0 en el eje trasero.
- **La reforma no afecta al sistema de dirección del vehículo.**

Esta modificación implica las siguientes variaciones de los datos que aparecen en la ficha técnica:

- **Altura (mm): 1382**

Tipificada en los códigos de reformas: **5.1**

Especificaciones técnicas o reglamentarias:

Contraseña de homologación o número de informe que avale el cumplimiento de la reglamentación aplicable afectada por las transformaciones realizadas en el vehículo.

Reglamentación aplicable		Afectación	Contraseña de homologación o informe que avala su cumplimiento
Sistemas de protección delantera	2005/66/CE	NO AFECTA	Informe Inspección Servicio Técnico Nº II-RE-246815-00
Parásitos radioeléctricos (compatibilidad electromagnética)	72/245/CEE	NO AFECTA	Informe Inspección Servicio Técnico Nº II-RE-246815-00
Instalación de los dispositivos de alumbrado y señalización luminosa.	76/756/CEE	CUMPLE	Informe Inspección Servicio Técnico Nº II-RE-246815-00
Guardabarros.	78/549/CEE	NO AFECTA	Informe Inspección Servicio Técnico Nº II-RE-246815-00
Dispositivos de protección trasera	70/221/CEE Protec. trasera.	NO AFECTA	Informe Inspección Servicio Técnico Nº II-RE-246815-00
Protección lateral.	89/297/CEE	NO APLICA	--
Sistemas antiproyección.	91/226/CEE	NO APLICA	--
Masas y dimensiones (automóviles)	92/21/CEE	CUMPLE	Informe Inspección Servicio Técnico Nº II-RE-246815-00

* Los resultados presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

* Queda prohibida la reproducción parcial de este informe sin permiso expreso de LTR. Cualquier impresión del mismo será considerada copia.

* Este informe no prejuzga ni establece valoración vinculante alguna sobre la ejecución física de la reforma del vehículo.

Ctra. Alicante. Nº 31-Bajo 30.007
Zarandona (Murcia)

Laboratorio Técnico de Reformas, S.L. (LTR)
Tel: +34 968 40 43 09

info@ltrglobal.com
www.ltrglobal.com

Imagen 131- Informe de Conformidad. (Pag.1)



INFORME DE CONFORMIDAD

Nº Informe: IC-RE-246815-00



Pág. 2 de 2

Reglamentación aplicable		Afectación	Contraseña de homologación o informe que avala su cumplimiento
Masas y dimensiones (resto de vehículos)	97/27/CE	NO APLICA	--
Emplazamiento de la placa de matrícula posterior	70/222/CEE	CUMPLE	Informe Inspección Servicio Técnico Nº II-RE-246815-00
Dispositivos de acoplamiento	94/20/CE	NO AFECTA	Informe Inspección Servicio Técnico Nº II-RE-246815-00
Protección delantera contra el empotramiento.	2000/40/CE	NO APLICA	--
Protección de los peatones	2003/102/CE	NO AFECTA	Informe Inspección Servicio Técnico Nº II-RE-246815-00
Dispositivos de visión indirecta	2003/97/CE	NO AFECTA	Informe Inspección Servicio Técnico Nº II-RE-246815-00
Frenado.	71/320/CEE	NO AFECTA	Informe Inspección Servicio Técnico Nº II-RE-246815-00

Observaciones: Según proyecto referencia IBIZA 4516-0 realizado por técnico competente D/Dª GUILLERMO OCHANDO GARCÍA con titulación de Ingeniero Industrial con nº de colegiado 1223 perteneciente COIIRM

El vehículo reformado según Real Decreto 866/2010, cumple con los actos reglamentarios que son de aplicación a las reformas tipificadas en el anexo I y en el manual de reformas de vehículos y es conforme con las condiciones exigibles de seguridad y de protección al medio ambiente.

Y para que así conste, a los efectos oportunos, firmo el presente en

Lugar: Murcia

Fecha: 14/05/2024

Firma: Pedro Andrés Llor Guerrero Gerente Técnico de Laboratorio Técnico de Reformas



Informe con Núm. Ref. 1F6uURxslVZnhJ9mi2f2vQSaCwZyosZhePo4yogQLb0i autenticidad verificable en <http://ltrglobal.com/>

Documento firmado electrónicamente.

Validación de la firma electrónica en: <https://valide.redsara.es/valide/>, opción **Validar Firma**

Descarga de justificante en: <https://valide.redsara.es/valide/>, opción **Visualizar Firma**

* Los resultados presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

* Queda prohibida la reproducción parcial de este informe sin permiso expreso de LTR. Cualquier impresión del mismo será considerada copia.

* Este informe no prejuzga ni establece valoración vinculante alguna sobre la ejecución física de la reforma del vehículo.

III. Certificado de Fin de Obra

 GENERALITAT VALENCIANA	DECLARACIÓ RESPONSABLE DELS TÈCNICS COMPETENTS PROJECTISTA I DIRECTOR DE L'EXECUCIÓ D'OBRES DECLARACIÓN RESPONSABLE DE LOS TÉCNICOS COMPETENTES PROYECTISTA Y DIRECTOR DE LA EJECUCIÓN DE OBRAS	
	A DADES DEL TÈCNIC TITULAT COMPETENT PROJECTISTA DATOS DEL TÉCNICO TITULADO COMPETENTE PROYECTISTA	
COGNOMS I NOM O RAO SOCIAL / APELLIDOS Y NOMBRE O RAZÓN SOCIAL GUILLERMO OCHANDO GARCÍA		NIF / NIE 47090000G
DOMICILI A L'EFFECTE DE NOTIFICACIÓ (CARRER/PL., NÚMERO I PORTA) / DOMICILIO A EFECTOS DE NOTIFICACIÓN (CALLE/PL., NÚM. Y PUERTA) C/IBIZA 4516-0		TELÈFON / TELÉFONO 966000000
LOCALITAT / LOCALIDAD JUMILLA		CP 06600
TITULACIÓ / TITULACIÓN INGENIERO INDUSTRIAL		ESPECIALITAT / ESPECIALIDAD DISEÑO DE MÁQUINAS
COL·LEGI PROFESSIONAL (si procedeix) / COLEGIO PROFESIONAL (si procede) COIIRM		NÚMERO COL·LEGIAT (si procedeix) / NÚMERO COLEGIADO (si procede) 00003
B DECLARACIÓ DEL TÈCNIC TITULAT COMPETENT PROJECTISTA DECLARACIÓN DEL TÉCNICO TITULADO COMPETENTE PROYECTISTA		
Declare baix la meua responsabilitat que: / Declaro bajo mi responsabilidad que:		
<input checked="" type="checkbox"/> Posec la titulació indicada en l'apartat A / Poseo la titulación indicada en el apartado A.		
<input checked="" type="checkbox"/> D'acord amb les atribucions professionals d'esta titulació, tinc competència per la redacció i firma del projecte tècnic denominat: (1) De acuerdo con las atribuciones profesionales de esta titulación, tengo competencia para la redacción y firma del proyecto técnico denominado: (1) PROYECTO TÉCNICO RELATIVO A LA REFORMA SOBRE VEHÍCULO SEAT IBIZA (REF.: IBIZA 4516-0 y MATRÍC.: 9223 (00))		
(1) S'ha d'indicar, amb el detall adequat, el tipus i característiques de l'establiment i instal·lació projectada objecte de la present declaració. Se debe indicar, con el detalle adecuado, el tipo y características del establecimiento y/o instalación proyectada objeto de la presente declaración.		
<input checked="" type="checkbox"/> No estic inhabilitat, ni administrativament ni judicialment, per la redacció i firma del projecte citat. No estoy inhabilitado, ni administrativamente ni judicialmente, para la redacción y firma del proyecto citado.		
<input checked="" type="checkbox"/> Cumplic amb els requisits legals establits per l'exercici de la professió. / Cumplo los requisitos legales establecidos para el ejercicio de la profesión.		
C DADES DEL TÈCNIC TITULAT COMPETENT DIRECTOR DEL'EXECUCIÓ D'OBRES DATOS DEL TÉCNICO TITULADO COMPETENTE DIRECTOR DE LA EJECUCIÓN DE OBRAS		
COGNOMS I NOM O RAO SOCIAL / APELLIDOS Y NOMBRE O RAZÓN SOCIAL GUILLERMO OCHANDO GARCÍA		NIF / NIE 47090000G
DOMICILI A L'EFFECTE DE NOTIFICACIÓ (CARRER/PL., NÚMERO I PORTA) / DOMICILIO A EFECTOS DE NOTIFICACIÓN (CALLE/PL., NÚM. Y PUERTA) C/IBIZA 4516-0		TELÈFON / TELÉFONO 966000000
LOCALITAT / LOCALIDAD JUMILLA		CP 06600
TITULACIÓ / TITULACIÓN INGENIERO INDUSTRIAL		ESPECIALITAT / ESPECIALIDAD DISEÑO DE MÁQUINAS
COL·LEGI PROFESSIONAL (si procedeix) / COLEGIO PROFESIONAL (si procede) COIIRM		NÚMERO COL·LEGIAT (si procedeix) / NÚMERO COLEGIADO (si procede) 00003
D DECLARACIÓ TÈCNIC TITULAT COMPETENT DIRECTOR DE L'EXECUCIÓ D'OBRES DECLARACIÓN TÉCNICO TITULADO COMPETENTE DIRECTOR DE LA EJECUCIÓN DE OBRAS		
Declare baix la meua responsabilitat que: / Declaro bajo mi responsabilidad que:		
<input checked="" type="checkbox"/> Posec la titulació indicada en l'apartat C / Poseo la titulación indicada en el apartado C.		
<input checked="" type="checkbox"/> D'acord amb les atribucions professionals d'esta titulació, tinc competència per la direcció de les obres d'execució i la certificació relatives al projecte tècnic: (2) De acuerdo con las atribuciones profesionales de esta titulación, tengo competencia para la dirección de las obras de ejecución y la certificación relativas al proyecto técnico: (2) CERTIF. DIR. FINAL DE OBRA RELATIVO A LA REF. SOBRE VEHIC. SEAT IBIZA (REF.: IBIZA 4516-CFO y MATRÍC.: 9223 (00))		
(2) Quan el tècnic projectista i el director de l'execució d'obres no siguen la mateixa persona, podran presentar este document per separat, en este cas el director de les obres haurà d'identificar a l'autor del projecte tècnic i la denominació d'este. En cas que es subscriueuen ambdues declaracions responsables (la del projectista i la del director de l'execució de les obres) en este document, hi haurà prou amb fer referència al projecte detallat en l'apartat B. Cuando el técnico proyectista y el director de la ejecución de obras no sean la misma persona, podrán presentar este documento por separado, en este caso el director de las obras deberá identificar al autor del proyecto técnico y la denominación de éste. En caso de que se suscriben ambas declaraciones responsables (la del proyectista y la del director de la ejecución de las obras) en este documento, bastará con hacer referencia al proyecto detallado en el apartado B.		
<input checked="" type="checkbox"/> No estic inhabilitat, ni administrativament ni judicialment, per la redacció i firma del certificat de direcció de l'execució de les obres citades. No estoy inhabilitado, ni administrativamente ni judicialmente, para la redacción y firma del certificado de dirección de la ejecución de las citadas obras.		
<input checked="" type="checkbox"/> Cumplic amb els requisits legals establits per l'exercici de la professió. / Cumplo los requisitos legales establecidos para el ejercicio de la profesión.		
E FIRMES DELS TÈCNICS TITULATS COMPETENTS QUE DECLAREN FIRMAS DE LOS TÉCNICOS TITULADOS COMPETENTES QUE DECLARAN		
I perquè conste, i assortisca els efectes oportuns, s'expedix i firma la present declaració responsable de la veracitat de les dades i informació anteriors. Y para que conste, y surta los efectos oportunos, se expide y firma la presente declaración responsable de la veracidad de los datos e información anteriores.		
JUMILLA, 06 d MAYO de 24		JUMILLA, 06 d MAYO de 24
Firma del tècnic titulat competent projectista: Firma del técnico competente titulado proyectista: OCHANDO GARCIA GUILLERMO - Firmado digitalmente por OCHANDO GARCIA GUILLERMO.		Firma del tècnic titulat competent director de l'execució de les obres: Firma del técnico titulado competente director de la ejecución de las obras: OCHANDO GARCIA GUILLERMO - Firmado digitalmente por OCHANDO GARCIA GUILLERMO.
Firma: D. GUILLERMO OCHANDO GARCÍA		Firma: D. GUILLERMO OCHANDO GARCÍA
Les dades de caràcter personal que conté l'imprès podran ser incloses en un fitxer per al seu tractament per este òrgan administratiu, com a titular responsable del fitxer, fent ús de les funcions pròpies que té atribuïdes i en l'àmbit de les seues competències. Així mateix, se l'informa de la possibilitat d'exercir els drets d'accés, rectificació, cancel·lació i oposició davant esta Conselleria (C/ Democràcia, 77 46018-VALENCIA), tot això de conformitat amb el que disposa l'art. 5 de la Llei Orgànica 15/1999, de Protecció de Dades de Caràcter Personal (BOE núm. 298, de 14.12.1999). Los datos de carácter personal contenidos en el impreso podrán ser incluidos en un fichero para su tratamiento por este órgano administrativo, como titular responsable del fichero, en el uso de las funciones propias que tiene atribuidas y en el ámbito de sus competencias. Asimismo, se le informa de la posibilidad de ejercer los derechos de acceso, rectificación, cancelación y oposición ante esta Conselleria (C/ Democràcia, 77 46018-VALENCIA), todo ello de conformidad con lo dispuesto en el art. 5 de la Ley Orgànica 15/1999, de Protección de Datos de Carácter Personal (BOE nº 298, de 14.12.1999).		
CONSELLERIA D'ECONOMIA SOSTENIBLE, SECTORS PRODUCTIUS, COMERÇ I TREBALL CONSELLERIA DE ECONOMÍA SOSTENIBLE, SECTORES PRODUCTIVOS, COMERCIO Y TRABAJO		DECRETE (27/03/18)

(1/2) EXEMPLAR PER A L'ADMINISTRACIÓ / EJEMPLAR PARA LA ADMINISTRACIÓN

CESSPCT - SUSA

DIN - AA

JA - 23380 - 01 - E

Imagen 133- Certificado de Fin de Obra.

ANEXO V – Ficha técnica y permiso de circulación

I. Ficha técnica antes de la reforma

SEAT B Nº de Serie: **9223**

Matrícula	Certificado Nº	Código	Descripción	Código	Descripción
9223		G	1280	M.1	2409 /
		F.1	1700	M.4	/
		F.1.1	950 / 800 /	L	2 / 4
		F.1.5		L.0	- /
		F.2	1700	L.1	1 / Ant. /
		F.2.1	950 / 800 /	L.2	215/40 R17 87Y
CL	1000	F.3		P.5.1	Volkswagen
C.I		F.3.1		P.5	DAJ
C.V	91	O.1		P.3	M / G
A.1	SEAT.S.A.	O.1.1		P.1	1798
A.2		O.1.2		P.1.1	4 / En línea
D.1	SEAT	O.1.3		P.2	141
D.2	6J / SCDAJA /	O.1.4		P.2.1	12.5
D.3	IBIZA	F.4	1428	S.1	5
E		F.5	1693	S.2	
J	M1	F.6	4043	U.1	81
J.1	AF Multitubo	F.7	1465	U.2	3750
J.2		F.7.1	1457	V.7	145
J.3		F.8		V.9	EURO SW
R	GR				
D.6	EEE				
K					
Z					

El abajo firmante, legalmente autorizado por SEAT, S.A.

Observaciones :
(L-2) 195/50 R16 84T M+S. ---

Certifica que el vehículo cuyas características se reseñan es completamente conforme con el número de homologación.

Fecha de emisión: 18/05/2016

Firma autorizada Registro de fabricantes y firmas autorizadas

Opciones incluidas en la homologación de tipo
ACABADO CUPRA. (F.7) 1449. (F.7.1) 1441. ---

Tarjeta eTV expedida por DGT
Primera expedición: 30/05/2016 13:24:24

INSPECCIONES TÉCNICAS		
Fecha: 30/05/2016	Fecha: 30/05/2016	Fecha: 30/05/2016
Validad: 30/05/2020	Validad: 30/05/2020	Validad: 30/05/2020
Estación: 9223	Estación: 41117 Km	Estación: 41117 Km
Resultado: FAVORABLE		

A.1	Nombre del fabricante del vehículo base	F.3.1	Masa Máxima Autorizada del conjunto	G.1.4	Reserva de potencia
A.2	Descripción del fabricante del vehículo base	F.4	Altura total	G.2.1	Masa máxima remolcada
B.1	Nombre del fabricante del vehículo completo	F.5	Anchura total	G.2.2	Masa máxima remolcada Tracción trasera
B.2	Descripción del fabricante del vehículo completo	F.5.1	Anchura máxima carrozable	G.2.3	Masa máxima remolcada Tracción delantera
G.1	Código ITV	F.6	Longitud total	G.3	Masa máxima remolcada Tracción mixta
C.1	Clasificación del vehículo	F.6.1	Longitud máxima carrozable	G.3.1	Admisión con freno hidráulico o neumático
C.V	Contacto VIN	F.7	Via anterior	G.3.2	Tipo de freno de servicio
D.1	Marca	F.7.1	Via posterior	F.1	Cilindrada
D.2	Tipo/Variante/versión	F.8	Velocidad máxima	F.1.1	Número y disposición de los cilindros
D.3	Descripción contextual del vehículo	F.8.1	Velocidad máxima posterior carrozable	F.2	Potencia del motor
D.6	Presión	G	Masa en Orden de marcha (MOM)	F.2.1	Potencia fiscal
E	IP de identificación del vehículo	G.1	Masa en vacío para vehículos categoría L	F.3	Tipo de combustible o fuente de energía
EP	Estructura de protección	G.2	Masa Máxima Admisión del vehículo	F.3.1	Código de identificación del motor
EP.1	Marcas de la estructura de protección	G.2.1	Masa Máxima Admisión del vehículo	F.3.1.1	Identificación o marca del motor
EP.2	Marca de la estructura de protección	J	Completar el vehículo	Q	Protección postcrash
EP.3	IP de homologación de la estructura de protección	J.1	Completar el vehículo	R	Caja
EP.4	IP de identificación de la estructura de protección	J.2	Caja	S.1.1	Nº de placas de identificación o de serie
F.1	Masa Máxima en carga Tracción trasera Admisión (MRTA)	J.3	Volumen de combustible	S.1.2	Nº de placas de seguridad
F.1.1	Masa Máxima en carga Tracción trasera Admisión en modo eje (MTRM)	K	IP de homologación del vehículo base	S.2	Nº de placas de pie
F.1.2	Masa Máxima en carga Tracción trasera Admisión en modo eje (MTRM)	K.1	IP de homologación del vehículo base	T	Velocidad máxima
F.1.3	Masa Máxima en carga Tracción trasera Admisión en IP desde o privada de accesorio	L	IP de homologación del vehículo base	U.1	Velocidad en paralelo
F.2	Masa Máxima en carga Admisión del vehículo en circulación (MMA)	L.1	IP y posición de eje (con función de freno de mano)	U.2	Velocidad del motor a la que se indica el primer paso a vehículo parado
F.2.1	Masa Máxima autorizada en modo eje (MTRM)	L.2	Dimensiones de los neumáticos	V.1	Dimensiones de CO2
F.2.2	Masa Máxima Autorizada en IP desde o privada de accesorio	M.1	Distancia entre ejes (L1), (L2), (L3)	V.8	Emissiones de CO
F.3	Masa Máxima Tracción Admisión del conjunto (MRTAC)	M.4	Distancia entre IP desde o privada de accesorio y último eje	V.9	Nivel de emisiones
		O.1	Masa Remolcada con freno/Asa Remolcada Tracción Admisión del vehículo de motor en caso de:	Z	Año y Número de orden de la serie corta
		O.1.1	Barras de Tracción	(T)	Código NIVE
		O.1.2	Centros de gravedad		
		O.1.3	Paralelismo eje central		

Imagen 134- Ficha técnica antes de la reforma.

II. Ficha técnica del vehículo después de la reforma

Fecha: 30/05/2016 Validez: 30/05/2020 Estación: 41117 Km Resultado: FAVORABLE	Fecha: Validez: 30/05/2020 Favorable Iv: 0812	Fecha: Validez: 30/05/2022 Firma y sello	A.2 Dirección del fabricante del vehículo base B.1 Nombre del fabricante del vehículo completado B.2 Dirección del fabricante del vehículo completado C.1 Código ITV CL Clasificación del vehículo C.V Control VIN D.1 Marca D.2 Tipo/Variante/Versión D.3 Denominación comercial del vehículo D.6 Precedencia E Nº de identificación del vehículo EP Estructura de protección EP.1 Marca de la estructura de protección EP.2 Modelo de la estructura de protección EP.3 Nº de homologación de la estructura de protección EP.4 Nº de homologación de la estructura de protección F.1 Masa Máxima en carga Técnica/Admisible (MTA) F.1.1 Masa Máxima en carga Técnica/Admisible en cada eje 1/2/3/4... F.1.5 Masa Máxima en carga Técnica/Admisible en 5ª rueda o pivote de acoplamiento F.2 Masa Máxima en carga Admisible del vehículo en circulación (MMA) F.2.1 Masa Máxima autorizada en cada eje 1/2/3/4... F.2.5 Masa Máxima Autorizada en 5ª rueda o pivote de acoplamiento F.3 Masa Máxima Técnica/Admisible del conjunto (MTAC)	(mm.) F.4 Altura total F.5 Anchura total F.5.1 Anchura máxima carrozable F.6 Longitud total F.6.1 Longitud máxima carrozable F.7 Via anterior F.7.1 Via posterior F.8 Voladizo posterior F.8.1 Voladizo máximo posterior carrozable G Masa en Orden de marcha (MOM) G.1 Masa en vacío para vehículos categoría L G.2 Masa Máxima Admisible del vehículo completado J Categoría del vehículo J.1 Carrocería del vehículo J.2 Clase J.3 Volumen de botegas K Nº de homologación del vehículo de base completado K.1 Nº de homologación del vehículo de base completado K.2 Nº Certificado TITV vehículo base L Nº de ejes y ruedas L.0 Nº y posición de ejes con ruedas gemelas L.1 Ejes motrices L.2 Dimensiones de los neumáticos M.1 Distancia entre ejes 1-2º, 2-3º... M.4 Distancia entre 5ª rueda o pivote de acoplamiento y último eje O.1 Masa Remoivable con frenos/Masa Remoivable Técnica/Admisible del vehículo de motor en caso de: O.1.1 Barra de Tracción O.1.2 Semirremolque O.1.3 Remolque eje central	U.2.1 Masa máxima Admisible con remolque Técnica/Admisible con frenos de freno O.2.2 Masa máxima remoivable Técnica/Admisible con frenos de freno O.2.3 Masa máxima remoivable Técnica/Admisible con frenos hidráulicos o neumáticos O.3 Tipo de freno de servicio P.1 Cilindrada P.1.1 Número y disposición de los cilindros P.2 Potencia del motor P.2.1 Potencia fiscal P.3 Tipo de combustible o fuente de energía P.5 Código de identificación del motor P.6.1 Fabricante o marca del motor Q Relación potencia/masa R Color S.1 Nº de plazas de asiento/Nº de asientos o sillones S.1.1 Cinturones de seguridad S.2 Nº de plazas de pie T Velocidad máxima U.1 Nivel sonoro en pasado U.2 Velocidad del motor a la que se mide el nivel sonoro a vehículo parado V.7 Emisiones de CO2 V.8 Emisiones de CO V.9 Nivel de emisiones Z Año y Número de orden de la serie corta (1) Código NIVE
Fecha: Validez: Firma y sello Fecha: Validez: Firma y sello Fecha: Validez: Firma y sello Fecha: Validez: Firma y sello Fecha: Validez: Firma y sello Fecha: Validez: Firma y sello			Diligencia de venta / Reformas en el vehículo 28/05/2024 Modificación de los elementos del sistema de suspensión originales por un kit de la marca BILSTEIN: muelles con ref. E4-FD1-Y133800 y amortiguadores de cuerdo roscado ref. F4-VH3-G823-H3 en eje delantero y muelles ref. E4-FD1-Y373A00 (con facho-soporte roscado marca BILSTEIN para aplicar prescarga a los muelles traseros) y amortiguadores ref. F4-BM5-G824-H0 en eje trasero. Nueva Altura (mm): 1385. ITV Nº: 4604Fdo. Responsable Técnico: PASCUAL SOLER, FRANCISCO JOSE		

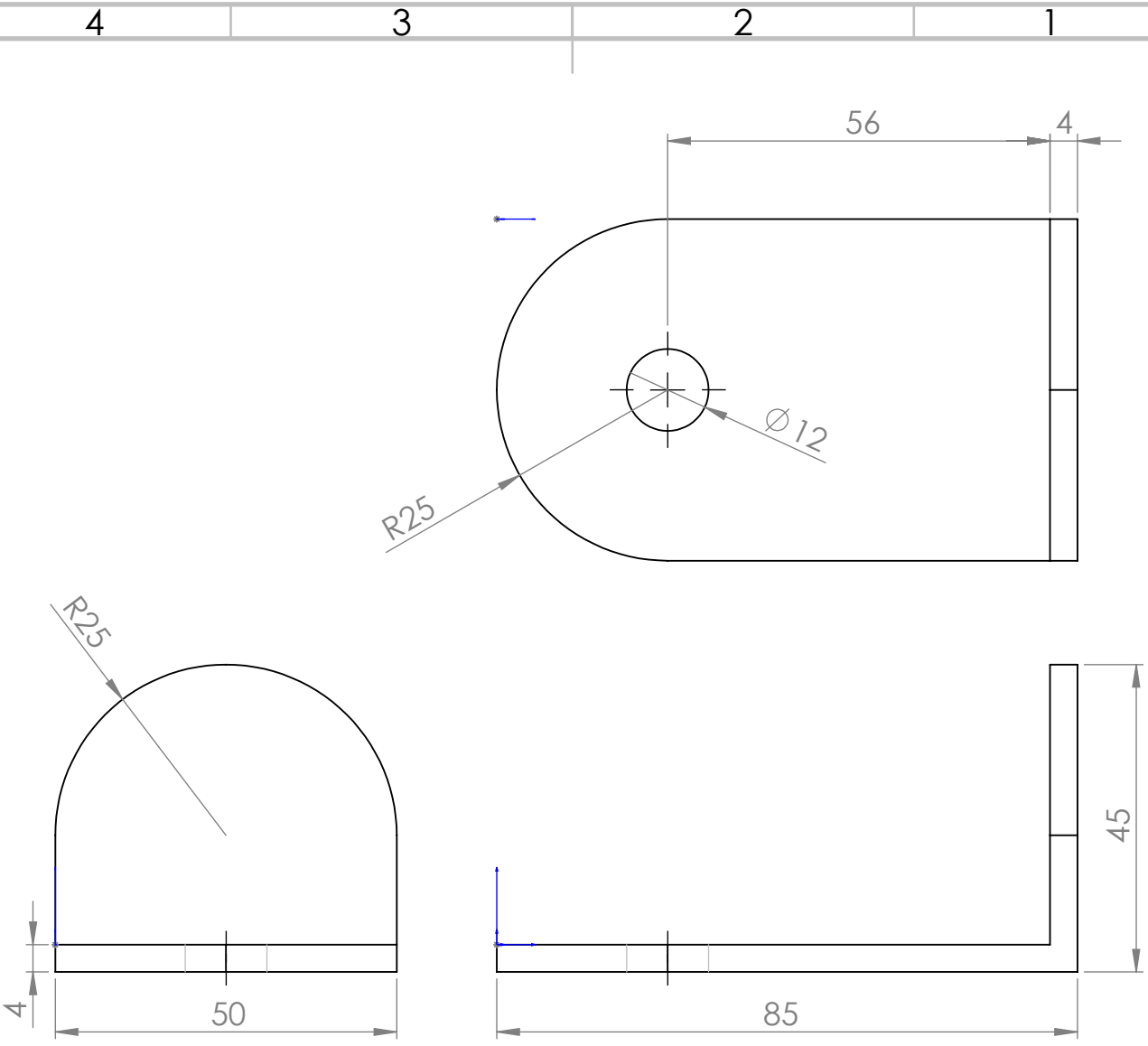
Imagen 135- Nueva ficha técnica con la homologación en regla.

III. Permiso de circulación

A	92	E	30-05-2022
B		F.1	1700
H		F.2	1700
I	30-05-2016	G	1260
(I.1)	16-08-2021	K	E4*
(I.2)	ALICANTE/ALACANT	P.1	1798
C.1.1		P.2	141.00
C.1.2		P.3	GASOLINA
C.1.3		Q	
C.4		S.1	5
D.1	SEAT	S.2	
D.2	61 / SCDAJA / F...		
D.3	IBIZA		
(D.4)	PARTICULAR - SIN ESPECIFICAR		

OBSERVACIONES:
Documento válido si acompaña ITV en vigor.
Próxima ITV: 30-05-2022
Kilometraje a fecha 20-05-2020: 0041117

Imagen 136- Permiso de circulación del vehículo.



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 - Las cotas se expresan en mm
 - Chafilanes no acotados 0,5x45°
 - Radios no acotados R 0,2

Tolerancias generales dimensionales según ISO 2768-m

	Desviaciones respecto al valor nominal:						
MÁS DE:	0,5	3	6	30	120	400	1000 2000
HASTA:	3	6	30	120	400	1000	2000 4000
TOLERANCIA:	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2 ±2,0



UNIVERSITAT
 POLITÈCNICA
 DE VALÈNCIA
 CAMPUS D'ALCOI

	NOMBRE	FECHA
DIBUJADO	Javier Oriola Sanjuán	25/05/2024
REVISADO		
COMPROB.		
TRATAMIENTO TÉRMICO:	-	
TRATAMIENTO SUPERFICIAL:	-	
REFERENCIA COMERCIAL:	-	
MATERIAL:	Acero al bajo carbono	
GRADO DE INGENIERÍA MECÁNICA		

PROYECTO:
 Modificación del sistema de suspensión e instalación de barras rígidas en un Seat Ibiza Cupra.

DESCRIPCIÓN:
 Pieza amarre barra de torretas

N.º DE DIBUJO	Nº plano: 1	A4
PESO: 0.25 KG	CANTIDAD: -	ESCALA: 1:2