

Trabajo Fin de Grado

Reforma de un vehículo, modificación del sistema
de suspensión.

Reform of a vehicle, suspension system modification

Autor/es

Ana Isabel Vallespín Ajenjo

Director/es

Santiago Baselga Ariño

Grado en Ingeniería Mecánica

ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

2021

Índice

Resumen del proyecto	1
Introducción	2
2. Memoria	4
2.1. Objeto del proyecto	4
2.2. Antecedentes	4
2.3. Identificación del vehículo	5
2.4. Descripción de la reforma	7
2.5. Vehículo antes de la reforma.....	7
2.6. Vehículo después de la reforma	8
2.7. Normativa a aplicar	8
2.7.1. Dispositivos de protección trasera.....	10
2.7.2. Emplazamiento de la placa de la matrícula posterior.....	10
2.7.3. Dispositivos de visión indirecta	10
2.7.4. Frenado.....	11
2.7.5. Parásitos radioeléctricos (compatibilidad electromagnética)	11
2.7.6. Instalación de los dispositivos de alumbrado y señalización luminosa.....	11
2.7.7. Guardabarros	12
2.7.8. Masas y dimensiones (automóviles).....	12
2.7.9. Dispositivos de acoplamiento.....	12
2.7.10. Protección de los peatones	13
2.7.11. Sistemas de protección delantera	13
3. Cálculos justificativos	14
3.1. Reparto de pesos	15
3.2. Cálculo estático	17
3.2.1. Cálculo del mecanismo completo simplificado.....	17
3.2.2 Cálculo del muelle.....	21
3.3. Cálculo a fatiga del muelle.....	25
3.4. Variación de la frecuencia vertical del vehículo	31
3.5. Análisis mediante Solidworks.....	34

4. Pliego de condiciones.....	39
4.1. Calidad de los materiales utilizados	39
4.2. Normas de ejecución	40
4.3. Certificados y autorizaciones	40
5. Conclusión.....	41
6. Bibliografía	42
Anexos.....	43
Anexo I. Tipos de suspensión. Componentes de la suspensión.	43
Anexo II. Instrucciones montaje según fabricante.	48
Anexo III. Certificados necesarios después de la reforma.	50

Resumen del proyecto

El presente trabajo fin de grado se basa en el estudio y cálculos analizados en la modificación del sistema de suspensión de un vehículo de categoría M1, con el propósito de obtener la legalización de la reforma realizada.

Inicialmente, se incluyen las especificaciones de la ficha técnica del vehículo en el cual se va a realizar la reforma, la cual consiste exclusivamente en la sustitución de amortiguadores y muelles, siendo ambos componentes del sistema de suspensión.

Continuará el proyecto haciendo mención a las normas necesarias a seguir para la legalización de la modificación realizada, así como la comprobación de que la reforma se ajusta al Manual de Reformas y, en concreto, a los Códigos de Reformas que nos afectan según el tipo de reforma realizado.

En la parte de cálculos, se ha analizado el comportamiento del conjunto muelle-amortiguador y su influencia en la geometría de dirección.

Posteriormente, realizamos diferentes cálculos comparativos comprobando la respuesta que tendría la nueva suspensión, tanto de esfuerzos que soporta el sistema así como la variación de la frecuencia vertical del vehículo.

En las conclusiones, aparte de dar valoración técnica al proceso que se ha de seguir para la legalización de la reforma, se analizará si con el nuevo sistema de suspensión incorporado en el vehículo se ha conseguido mejorar la respuesta dinámica y estructural del vehículo.

Introducción

El mundo del automovilismo ha evolucionado en muchos aspectos tales como los sistemas de reducción de emisiones, el cambio de marchas de manual a automático, nuevos combustibles así como la electrificación, pero esos cambios son algunos de los cuales incluyen las marcas en los coches que salen de fábrica.

Lo que ha permitido dicha evolución ha sido el gran avance en la tecnología.

Pero en este avance han tenido un gran impacto las mejoras realizadas en los sistemas de los automóviles que participan en competiciones automovilísticas que llevó a realización de modificaciones en algunos componentes del vehículo con el fin de conseguir mejoras similares a las que se conseguían en este tipo de vehículos.

Tal y como refleja el Manual de Reformas, las modificaciones que se pueden realizar en el automóvil afectan a: identificación, unidad motriz, transmisión, ejes y ruedas, suspensión, dirección, frenos, carrocería, alumbrado y unión entre vehículos.

En el presente proyecto estudiamos la modificación de la suspensión en un vehículo.

Para ello inicialmente es necesario saber las funciones de la suspensión de un vehículo, que son: ofrecer comodidad a los ocupantes del vehículo, absorber las irregularidades del terreno y mantener la estabilidad del vehículo en cualquier situación.

A raíz de que se comenzara a realizar modificaciones en los vehículos que circulan por la calle, fue necesario legalizar dichos cambios asegurando que eran óptimos en el vehículo y, para ello, sería necesario incluir dichas reformas en la ficha de ITV y verificar de alguna forma la viabilidad de dicha reforma en el vehículo en el que fuera realizada, así pues, es necesaria la realización de la homologación de las modificaciones regladas que se realizan en los vehículos.

En el presente proyecto respecto a lo dicho anteriormente, se centra en explicar la documentación necesaria para la homologación de la reforma realizada, incluyendo la legislación vigente que ha de cumplir. Por otro lado se incluyen los cálculos justificativos de los cambios realizados.

Todos los vehículos que circulan en nuestro país deben estar homologados siguiendo las especificaciones del Real Decreto 750/2010, del 4 de junio, por el que se regulan los procedimientos de homologación de vehículos de motor y sus remolques, máquinas autopropulsadas o remolcadas y vehículos agrícolas, pero también de sistemas, partes y piezas de dichos vehículos.

Pero, para el proyecto que nos concierne, tratándose de una reforma, por lo que 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. Además, cualquier reforma a realizar deberá cumplir el Manual de Reformas en el cual están incluidas todas las reformas posibles que se pueden realizar, así como los actos reglamentarios que deben cumplir cada una de las reformas.

2. Memoria

2.1. Objeto del proyecto

El presente proyecto tiene por objeto la justificación de la reforma del vehículo IBIZA 6K 1.9 TDI para la legalización de la misma, basándose en el Manual de Reformas de Vehículos del Ministerio de Industria, Energía y Turismo.

El estudio se realiza con el fin de comprobar que una vez realizada la reforma en cuestión, que el vehículo está en condiciones de circular por la vía pública según lo establecido tanto en el marco normativo nacional como en el marco normativo europeo.

2.2. Antecedentes

Se realiza el presente proyecto técnico de acuerdo al Manual de Reformas publicado por el Ministerio, como documento que desarrolla el contenido del Real Decreto 866/2010, de 2 de julio, por el cual se regula la tramitación de las reformas de vehículos y según se especifica en el Manual de Reformas, la reforma a realizar se encuentra tipificada como:

- Sección I: Vehículos de categoría M, N y O.
- Grupo 5: Suspensión.
- 5.1. Modificación de las características del sistema de suspensión o de algunos de sus componentes elásticos.

2.3. Identificación del vehículo

La reforma se va a realizar en un Seat Ibiza con las siguientes características técnicas:

DATOS	
Marca	SEAT
Tipo	6K
Variante	SCAFNX01-FM5
Denominación comercial	IBIZA 1.9 TDI 3P
Categoría del vehículo	M1
MASAS Y DIMENSIONES	
Tara (kg)	1060
MTMA/MMA (kg)	1520
MTMA/MMA 1º E (kg)	870
MTMA/MMA 2º E (kg)	750
MMR S/F, C/F (kg)	500/1000
Altura total (mm)	1408
Anchura total (mm)	1640
Vía anterior/posterior (mm)	1429/1394
Longitud total (mm)	3846
Voladizo posterior (mm)	568
Distancia eje 1º/2º (mm)	2444
MOTOR	
Marca	VOLKSWAGEN
Tipo	(D)AFN
Nº cilindros/cilindrada (cm³)	4/1896
Potencia fiscal/real (C.V.F/kW)	12,89/81
Relación de compresión	19,5
Potencia máxima	110 CV (81 kW) a 4150 rpm
Par máximo	23,9mkg (235 Nm) a 1900 rpm
Alimentación	Bomba rotativa de inyección directa con turbocompresor de geometría variable e intercambiador de calor.
Combustible	Gasóleo

2.4. Descripción de la reforma

Se realiza el presente proyecto de reforma sobre el vehículo IBIZA 6K 1.9 TDI contraseña de homologación E9*93/81*0001, fecha de primera matriculación 19/06/1998 y con número de bastidor VSSZZZ6KZZXR033372, a fin de obtener los permisos necesarios para proceder a la legalización definitiva del vehículo con la siguiente reforma:

→ Sustitución de la suspensión original por amortiguadores de la marca Bilstein y muelles H&R con referencia de fabricante 29931 VA.

La reforma a realizar se identifica mediante los Códigos de Reforma indicados en el Manual de Reformas de Vehículos en la Sección I: Vehículos de categorías M, N y O puesto que el vehículo es un M1, en el grupo 5: Suspensión.

5.1. Modificación de las características del sistema de suspensión o de algunos de sus componentes elásticos.

2.5. Vehículo antes de la reforma

El vehículo antes de la reforma tendrá las características indicadas en la ficha técnica incluidas en el apartado 1.3. del presente proyecto.

Se incluye una fotografía del vehículo antes de la reforma.



2.6. Vehículo después de la reforma

La modificación principal en la sustitución de los amortiguadores y muelles del vehículo será la altura total que pasará de 1420 mm a 1400 mm

Se incluye una fotografía del vehículo después de la reforma donde se aprecia dicho cambio de altura.



2.7. Normativa a aplicar

Para la realización de la reforma en el proyecto es necesario cumplir la reglamentación vigente referente al tipo de reforma con el fin de hacerla legal.

La reglamentación aplicada será la siguiente:

- Real Decreto 866/2010, de 2 de julio, por el que se regula la tramitación de las reformas de vehículos.
- Manual de reformas de vehículos (6ª revisión-Mayo 2020)

Los Actos Reglamentarios que pueden verse afectados por la reforma de acuerdo con el Real Decreto 866/2010, de 2 de junio, son:

Sistema afectado	Referencia	Aplicable a M1
Dispositivos de protección trasera	70/221/CEE	(2)
Emplazamiento de la placa de la matrícula posterior	70/222/CEE	(2)
Dispositivos de visión indirecta	2003/97/CE	(2)
Frenado	71/320/CEE	(1)
Parásitos radioeléctricos (compatibilidad electromagnética)	72/245/CEE	(2)
Instalación de los dispositivos de alumbrado y señalización luminosa	76/75/6/CEE	(2)
Guardabarros	78/549/CEE	(1)
Protección lateral	89/297/CEE	-
Sistemas antiproyección	91/226/CEE	-
Masas y dimensiones (automóviles)	92/21/CEE	(1)
Masas y dimensiones (resto vehículos)	97/27/CE	-
Dispositivos de acoplamiento	94/20/CE	(2)
Protección delantera contra el empotramiento	94/20/CE	-
Protección de los peatones	2003/102/CE	(2)
Sistemas de protección delantera	2005/66/CE	(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) Indica que no se puede realizar la reforma para esta categoría de vehículo.

2.7.1. Dispositivos de protección trasera

Atendiendo a la directiva 70/221/CEE, el vehículo después de la reforma cumple los requisitos establecidos en dicha norma puesto que no se han realizado cambios directos en estos elementos pero será necesario asegurar que la distancia entre el eje trasero y el extremo superior del vehículo no supera un metro y que la altura de la parte trasera al suelo no supera los 70 cm.

2.7.2. Emplazamiento de la placa de la matrícula posterior

Según la directiva 70/222/CEE, hay que comprobar las siguientes medidas.

La forma y dimensiones del emplazamiento de las placas traseras de matrícula cumplen dicha normativa puesto que no se ha modificado durante la reforma, así como la situación del emplazamiento e instalación de las placas sigue siendo la misma.

La variación que se observa es la altura de la placa con respecto al suelo no debiendo ser la altura del borde inferior de la placa respecto al suelo, inferior a 300 mm y en este caso es 325 mm, por lo tanto, cumple normativa.

Asimismo, la altura del borde superior de la placa con respecto al suelo no debe superar 1,2 m y en este caso es 435 mm.

2.7.3. Dispositivos de visión indirecta

Según la directiva 2003/97/CE, la presente reforma no afecta en las especificaciones que deben cumplir los dispositivos de visión indirecta puesto que según los requisitos a cumplir descritos en la directiva, los dispositivos de visión indirecta no han sido sustituidos.

Únicamente ha cambiado la altura de todo el conjunto del vehículo por lo que los ensayos que se realizan cuando se modifican estos dispositivos, en nuestro caso no serían necesarios.

2.7.4. Frenado

Los elementos de frenado no serán sustituidos pero al cambiar la altura del centro de gravedad del vehículo, el comportamiento del vehículo al frenar variará y sería necesario realizar las pruebas de frenado correspondientes para asegurar que el vehículo posee la misma efectividad en frenada que antes de la reforma.

2.7.5. Parásitos radioeléctricos (compatibilidad electromagnética)

Cumple normativa, puesto que con la modificación realizada no sufrirá alteraciones en cuanto a compatibilidad electromagnética porque los dispositivos que puedan generar perturbación electromagnética serán los mismos que antes de la reforma, es decir, los dispositivos que tuviese de fábrica.

2.7.6. Instalación de los dispositivos de alumbrado y señalización luminosa

Los requisitos de la directiva 76/75/6/CEE se cumplen puesto que no ha habido modificación directa en dichos dispositivos, será necesario el ajuste del alumbrado al disminuir la altura del vehículo.

Además estos dispositivos deberán cumplir de igual forma las siguientes especificaciones de la directiva 2009/67/CE:

→ Salvo disposiciones particulares, ninguna luz podrá ser intermitente a excepción de las luces indicadoras de dirección y de las de emergencia.

→ Ninguna luz roja será visible por delante y ninguna blanca, excepto la luz de marcha atrás cuando el vehículo esté equipado con ella, por detrás.

Para la visibilidad de la luz roja por delante: no habrá visibilidad directa de la luz roja para un observador que se desplace en la zona 1 de un plano transversal situado a 25 metros por delante de la longitud máxima.

Para la visibilidad de una luz blanca por detrás: no habrá visibilidad directa de la luz blanca para un observador que se desplace en la zona 2 de un plano transversal situado 25 metros por detrás de la longitud máxima.

En sus planos respectivos, las zonas 1 y 2 exploradas por el ojo del observador estarán delimitadas: en altura, por dos planos horizontales situados respectivamente a 1 y 2,2 metros por encima del suelo, en anchura, por dos planos verticales que formen respectivamente hacia delante y hacia atrás un ángulo de 15° hacia el exterior respecto al plano longitudinal medio del vehículo. Estos planos contendrán respectivamente las líneas verticales de intersección de los planos verticales paralelos al plano longitudinal medio del vehículo que delimitan la anchura máxima, y las de los planos transversales que delimitan la longitud máxima del vehículo.

2.7.7. Guardabarros

Según la directiva 78/549/CEE, el vehículo cumplirá todos los requisitos que se incluyen en ella puesto que los guardabarros no se han modificado pero habrá que revisar la medida de la parte posterior de los guardabarros que no debe sobrepasar un plano horizontal situado a 150 milímetros por encima del eje de rotación de las ruedas.

2.7.8. Masas y dimensiones (automóviles)

Según la directiva 92/21/CEE sabemos que las dimensiones máximas autorizadas de un vehículo son longitud: 12 m, anchura: 2.5 m y altura 4m, a pesar de la modificación realizada estos límites de dimensiones los seguirá cumpliendo el vehículo.

Por otro lado, dicha directiva indica que la masa máxima autorizada de un vehículo no debe superar la masa máxima con carga técnicamente admisible, tal como la define el fabricante. En el vehículo reformado no se modifica la masa por lo tanto cumple normativa.

2.7.9. Dispositivos de acoplamiento

En la reforma realizada no se instala ningún tipo de dispositivo de acoplamiento al vehículo por lo que la directiva referente a estos dispositivos no incluye ningún requisito a cumplir en la modificación del vehículo en cuestión.

2.7.10. Protección de los peatones

Según la directiva 2003/102/CE, al modificarse la altura del paragolpes al suelo será necesaria la realización de los ensayos que indica la directiva.

Los ensayos serán: colisión pierna-parachoques (colisión parte superior pierna-parachoques, colisión parte inferior pierna-parachoques), colisión cabeza de niño o cabeza de adulto de pequeño tamaño-parte superior del capó, colisión parte superior de la pierna-borde delantero del capó y colisión cabeza de adulto-parabrisas.

2.7.11. Sistemas de protección delantera

El vehículo analizado no posee sistemas de protección delantera por lo que cumple los requisitos de la directiva 2005/66/CE no sería necesario tenerlos en cuenta.

3. Cálculos justificativos

Según el Manual de Reformas en el apartado de cálculos justificativos es necesario justificar el reparto de masas por eje con la reforma efectuada, la cual realizamos a continuación.

También deberá justificarse el cálculo del sistema de fijación de cualquier elemento añadido y en el caso de sustituciones sólo cuando no se utilicen los sistemas de fijación originales. Análisis de esfuerzos sobre el bastidor (cortantes, flectores, etc.) y resistencia del mismo, en el caso de elementos fijados a él.

En este caso en nuestra reforma se utilizan los sistemas de fijaciones originales por lo que no es necesario el cálculo de dicho sistema de fijación.

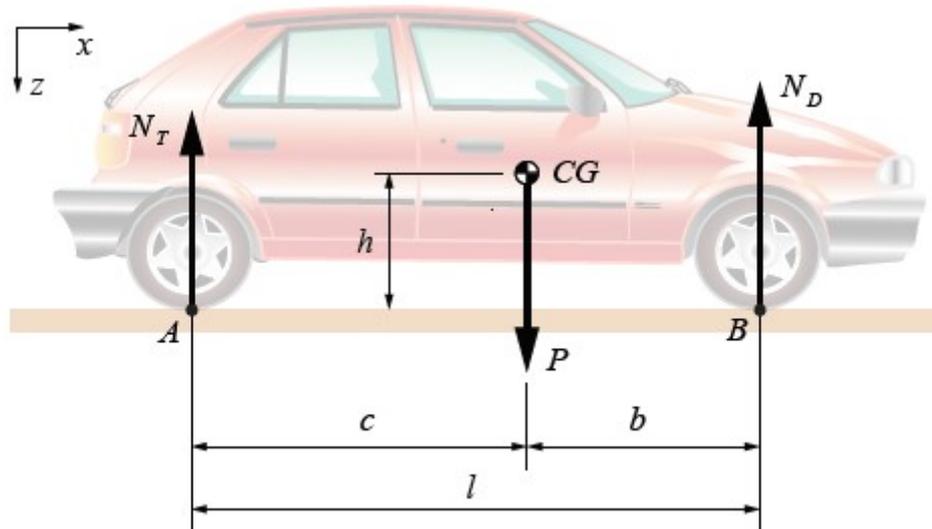
Además en el Manual de Reformas especifica que cuando el elemento sustituido, añadido o modificado tenga una función específica sobre la seguridad activa o pasiva o el comportamiento sobre la protección al medio ambiente, deberá analizarse de manera integral el resultado de la misma en el vehículo reformado, y deberá comprobarse que se mantienen las condiciones exigibles de dicha función con el nuevo elemento.

El sistema de suspensión forma parte de la seguridad activa del vehículo, en el caso que nos concierne se mantendrán las condiciones de la función que ejerce el sistema puesto que su función de seguridad es la de absorber los efectos que recibe el vehículo a través del terreno, el nuevo sistema continuará realizando dicha función, únicamente cambia en que será una suspensión más rígida.

3.1. Reparto de pesos

Realizamos el reparto de pesos puesto que es solicitado por el Manual de Reformas aunque sabemos que será igual antes y después de la reforma porque los elementos modificados no afectan considerablemente en este aspecto.

Los elementos sustituidos poseerán masas similares a las originales y la altura que disminuye el vehículo será igual tanto en el eje delantero como en el eje trasero.



Datos:

$$P=1520 \text{ kg} \quad N_D=870 \text{ kg} \quad N_T=750 \text{ kg} \quad l=2444 \text{ mm}$$

Siguiendo lo dispuesto en el Reglamento UE 1230/2012 la distribución de masas debe cumplir los siguientes requisitos, sabiendo que los cumplirá nuestro vehículo puesto que no se ha modificado ningún elemento que afecte considerablemente en este aspecto.

- La suma de las masas máximas técnicamente admisibles sobre los ejes no deberá ser inferior a la masa máxima en carga técnicamente admisible del vehículo.

- La masa máxima en carga técnicamente admisible del vehículo no deberá ser inferior a la masa del vehículo en orden de marcha más la masa de los pasajeros más la masa del equipamiento opcional más la masa del acoplamiento, si no se incluye en la masa en orden de marcha.

- Si el vehículo está cargado hasta alcanzar la masa máxima en carga técnicamente admisible, la masa sobre cada eje no deberá exceder de la masa máxima técnicamente admisible sobre el eje en cuestión.

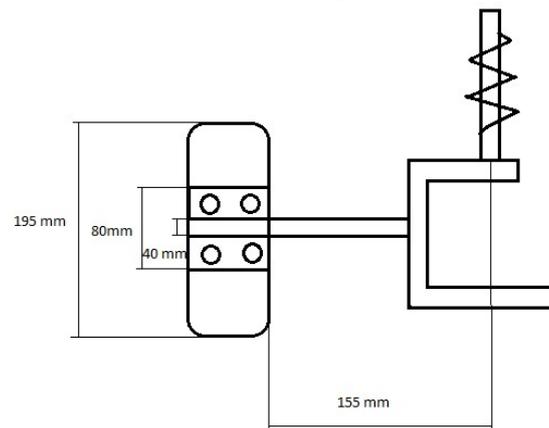
- Si el vehículo está cargado hasta alcanzar la masa máxima en carga técnicamente admisible, la masa sobre el eje delantero no deberá en ningún caso ser inferior al 30 % de la masa máxima en carga técnicamente admisible del vehículo.
 - Si el vehículo está cargado hasta alcanzar la masa máxima en carga técnicamente admisible más la masa máxima técnicamente admisible en el punto de acoplamiento, la masa sobre el eje delantero no deberá en ningún caso ser inferior al 20 % de la masa máxima en carga técnicamente admisible del vehículo.

- En caso de que un vehículo tenga asientos desmontables, el procedimiento de verificación se aplicará únicamente a la situación con el máximo número de plazas de asiento.

3.2. Cálculo estático

3.2.1. Cálculo del mecanismo completo simplificado.

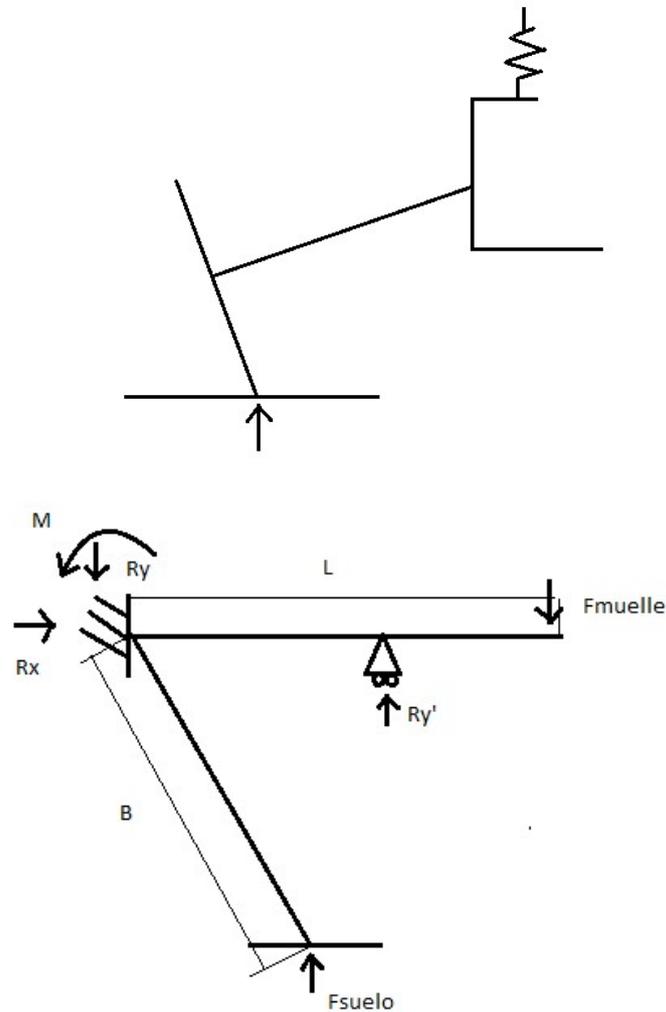
Para el cálculo de tensiones del sistema de suspensión indicado en la siguiente figura, primero se simplifica el mecanismo.



Sabiendo que la rueda no está completamente vertical a la superficie en la que apoya, tendremos en cuenta el ángulo de caída del neumático el cual se aplica en dicha rueda al realizar la alineación de la dirección, tomaremos el valor orientativo de 2° que es el ángulo que poseen los vehículos para un uso estándar del mismo.

No tendremos en cuenta ni el avance ni la convergencia, así como tampoco analizaremos la influencia de este sistema sobre el resto de componentes del vehículo puesto que afecta a muchos otros elementos del vehículo como por ejemplo la dirección, así pues limitamos el cálculo al sistema de suspensión.

Para el análisis primero aplicamos la simplificación sabiendo que la rueda y la mangueta se pueden asemejar a dos barras macizas, suponiendo que en el punto de unión entre los dos elementos existe un empotramiento, quedando de la siguiente forma:



Conocidas las fuerzas F_{suelo} y F_{muelle} , $F_{\text{suelo}} = 1.5 \times \text{MMA} = 1.5 \times 1520 \text{ kg} = 2280 \text{ kg} = 22344 \text{ N}$ y sabiendo que $L = 155 \text{ mm}$ y $B = 195/2 \text{ mm}$ (la mitad del diámetro de la rueda).

Aplicando las ecuaciones de equilibrio de las 2 barras por separado, obtenemos:

→ Rueda:

$$M = F_{\text{suelo}} \cdot \cos(2^\circ) \cdot B = 22330.38 \cdot \cos(2^\circ) \cdot 195/2 = 2177212.05 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

→ Mangueta:

$$\begin{aligned} \sum F_y &= 0; F_{\text{muelle}} + R_y' - R_y = 0; F_{\text{muelle}} = 26482.73 \text{ N} \\ \sum M_m &= -M + R_y' \cdot \frac{L}{2} + R_y \cdot L = 0; R_y' = -4148.73 \text{ N} \end{aligned}$$

El signo negativo significa que la reacción irá en sentido contrario al señalado en el dibujo.

Por los datos hallados sabemos que el punto más desfavorable va a ser el punto O perteneciente a la mangueta donde se encuentra el empotramiento puesto que va a ser el punto más solicitado al tener el momento flector mayor así como la fuerza cortante más grande.

Así, hallamos el siguiente esfuerzo normal:

$$\sigma = \frac{M}{W_x} = \frac{M}{\frac{1}{6} \cdot b^2 \cdot h} = \frac{2177212.05}{\frac{1}{6} \cdot 20^2 \cdot 155} = 70.25 \text{ MPa} < 275 \text{ MPa}$$

Como se observa en el cálculo del esfuerzo normal que genera el momento flector y suponiendo que el material de los componentes es Acero S275, el límite de rotura es 275 MPa, concluyendo así que al estar el punto más desfavorable muy lejos del rango de rotura, sabemos que todo el sistema soportará el esfuerzo a rotura.

Una vez hallados los esfuerzos, calcularemos el rodamiento que va incluido en el buje para ello suponiendo que la vida del rodamiento será de 25000 horas trabajando en un régimen de vueltas de 2500 revoluciones por minuto.

Es preciso determinar una carga equivalente (P) que produzca el mismo efecto que esas cargas combinadas en cualquier dirección.

$P = X.F_r + Y.F_a$, al solo estar expuesto a una fuerza radial $X=1$ e $Y=0$, por lo que $P = F_r = F_{suelo} \cdot \sin(2^\circ) = 779.79 \text{ N}$

Así pues, para poder saber el rodamiento que debemos incluir en este sistema, debemos calcular los millones de vueltas que posee.

$$L_h = \frac{L \cdot 10^6}{n \cdot 60} \rightarrow L = \frac{L_h \cdot n \cdot 60}{10^6} = \frac{25000 \cdot 2500 \cdot 60}{10^6} = 3750 \text{ millones de vueltas}$$

Con este dato ya podemos calcular la relación entre capacidad de carga dinámica y duración que será:

$$L = \left(\frac{C}{P} \right)^a \rightarrow 3750^{\frac{1}{3}} \cdot P = C \rightarrow C = 12.1 \text{ kN} \text{ (el factor } a=3 \text{ para rodamientos axiales y radiales de bolas)}$$

Con la carga dinámica calculada y sabiendo que el diámetro del elemento es 40 mm, buscando en los catálogos de rodamientos elegiríamos el siguiente:

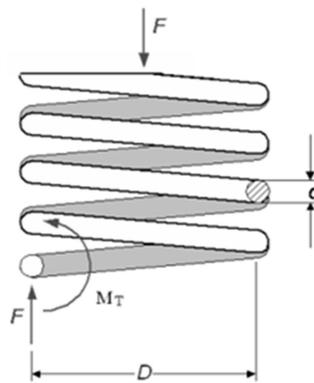
d (mm)	D (mm)	C (kN)	Co	Vlimite (min-1)	Denominación
40	80	29	18	20000	6028

Elegimos este rodamiento rígido de bolas puesto que la carga dinámica soportable está muy por encima de la necesaria para el sistema.

3.2.2 Cálculo del muelle

Realizamos el cálculo estático de los muelles que se van a montar en el vehículo, con los datos adquiridos de los mismos y sabiendo que el material del que están fabricados es 51CrV4.

La aplicación de una fuerza de compresión sobre el resorte que la hemos calculado anteriormente, dará lugar a un esfuerzo cortante y un esfuerzo de torsión. Estos esfuerzos originarán en la sección del alambre unas tensiones tangenciales, una debido al cortante (τ_{\max}) y otra debida al torsor (τ_T).



d	Diámetro del hilo.
D	Diámetro medio de la espira.
N	Número de espiras útiles.
F	Fuerza actuante en la dirección del eje de la espira.
E	Módulo de Young.
G	Módulo de elasticidad transversal.
μ	Coefficiente de Poisson.

Si definimos la rigidez del sistema de resorte helicoidal (K_r) como la relación entre la fuerza ejercida y el desplazamiento sufrido, se obtiene finalmente que:

$$K_r = \frac{F}{f_r} = \frac{d^4 \cdot G}{8 \cdot D^3 \cdot N}$$

El estado tensional debido al esfuerzo cortante de este elemento será:

$$\tau_{\max} = \frac{F}{\pi \cdot d^2} \left(4 + \frac{8 \cdot D}{d} \right)$$

Y el estado tensional debido al esfuerzo torsor será:

$$\tau_T = \frac{8 \cdot F \cdot D}{\pi \cdot d^3}$$

Y la tensión resultante será la suma de las dos, es decir, $\tau_R = \tau_T + \tau_{\max}$.

Para el cálculo del muelle definimos los parámetros necesarios para dicho cálculo y posteriormente hallamos el estado tensional del muelle.

Muelle helicoidal delantero

Datos:

$$d = 1,23\text{cm}$$

$$D = 13\text{cm}$$

$$N = 5$$

$$F = 1.5\text{MMA} \cdot \text{sen}(2^\circ) = 779.79\text{N}$$

$$E = 210\text{GPa}$$

$$G = 81\text{GPa}$$

$$\mu = 0,3$$

Con los datos necesarios del muelle delantero obtenemos los siguientes resultados tanto de rigidez del sistema (K_r) como de tensión que soporta el muelle a compresión.

$$K_r = \frac{F}{f_r} = \frac{d^4 \cdot G}{8 \cdot D^3 \cdot N} = \frac{12,23^4[\text{mm}] \cdot 81000\left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right]}{8 \cdot 130^3[\text{mm}] \cdot 5} = 20,62$$

1.

$$\tau_{\max} = \frac{F}{\pi \cdot d^2} \left(4 + \frac{8 \cdot D}{d}\right) = \frac{779.79[\text{N}]}{\pi \cdot 12,3^2} \cdot \left(4 + \frac{8 \cdot 130}{12,3}\right) = 145.28\text{MPa}$$

2.

$$\tau_T = \frac{8 \cdot F \cdot D}{\pi \cdot d^3} = \frac{8 \cdot 779,79 \cdot 130}{\pi \cdot 12,23^3} = 141,11\text{MPa}$$

$$\tau_R = \tau_T + \tau_{\max} = 145,28 + 141,11 = 286,39\text{MPa}$$

Muelle helicoidal trasero

Datos:

$$d = 1\text{cm}$$

$$D = 9,3\text{cm}$$

$$N = 7$$

$$F = 1.5\text{MMA} \cdot \text{sen}(2^\circ) = 779.79\text{N}$$

$$E = 210\text{GPa}$$

$$G = 81\text{GPa}$$

$$\mu = 0,3$$

Con los datos necesarios del muelle trasero obtenemos los siguientes resultados tanto de rigidez del sistema (K_r) como de tensión que soporta el muelle a compresión.

$$K_r = \frac{F}{f_r} = \frac{d^4 \cdot G}{8 \cdot D^3 \cdot N} = \frac{10^4[\text{mm}] \cdot 81000\left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right]}{8 \cdot 93^3[\text{mm}] \cdot 7} = 17,98$$

$$\tau_{\max} = \frac{F}{\pi \cdot d^2} \left(4 + \frac{8 \cdot D}{d} \right) = \frac{779.79[\text{N}]}{\pi \cdot 10^2} \cdot \left(4 + \frac{8 \cdot 93}{10} \right) = 194,6\text{MPa}$$

$$\tau_T = \frac{8 \cdot F \cdot D}{\pi \cdot d^3} = \frac{8 \cdot 779.79 \cdot 93}{\pi \cdot 10^3} = 184,67\text{MPa}$$

$$\tau_R = \tau_T + \tau_{\max} = 194,6 + 184,67 = 379,27\text{MPa}$$

3.3. Cálculo a fatiga del muelle

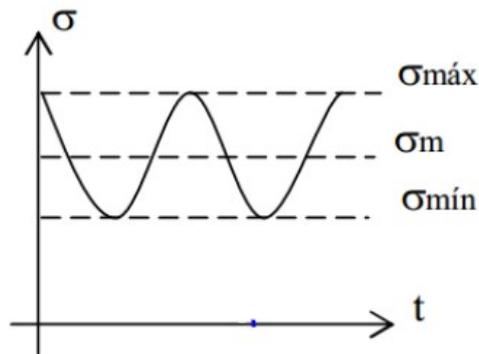
La suspensión estará sometida a fatiga puesto que son esfuerzos cíclicos a lo largo del tiempo, por lo que algunos componentes fallarán al llegar a su límite de vida a fatiga.

Para este cálculo se supone que nuestro sistema trabaja en condiciones de un terreno llano constantemente suponiendo que la fuerza que recibe el amortiguador/muelle es 1.5 por la Masa Máxima Admisible del vehículo.

En el caso del análisis que se realiza suponiendo que el rodamiento y la mangueta son los elementos más solicitados en dicho mecanismo, se calculará ese límite de vida que tienen asumiendo los esfuerzos que reciben.

En primer lugar, se sabe que los esfuerzos soportados son fluctuantes entre dos valores positivos de tensión puesto que la fuerza del muelle siempre va a ser mayor de 0 debido a la precarga que se le aplica.

Por todo lo dicho anteriormente, la gráfica de tensión frente al tiempo según el criterio de Goodman tendría la siguiente forma:



De esta gráfica σ_m sería 197.58 MPa calculado en el apartado anterior, que es el esfuerzo al que están sometidos el rodamiento y la mangueta, la $\sigma_{m\acute{a}x}$ y la $\sigma_{m\acute{i}n}$ supondremos que serían 227.58 MPa y 167.58 MPa, respectivamente.

Una vez planteado el supuesto en el que nos encontramos, se calcula la vida a fatiga mediante el método de los factores ponderados desarrollado en el Anexo II (1. Método factores correctores), trabajando con las sollicitaciones descritas anteriormente.

Cálculo de vida del rodamiento

El cálculo de vida se realiza mediante el método de los factores correctores de límite de fatiga de alto ciclo, para ello se toman las siguientes suposiciones:

→ Factor de superficie (K_a)

Suponiendo que el acero del componente es similar al Acero S275, se sabe que tiene una resistencia a rotura de 410 MPa.

El acabado superficial del rodamiento se asume que es rectificado por lo que los índices a y b serán 1.58 y -0.085, respectivamente.

Así pues, el factor de superficie, K_a , será:

$$K_a = a.R_m^b = 1.58.410^{-0.085} = 0.9475$$

→ Factor de tamaño (K_b)

Para hallar este factor se tiene que tener en consideración que nos encontramos en un caso de elemento de sección circular sometido a flexión, por ello se calcula el diámetro equivalente.

$$d_e = 0.37.d = 0.37.72 = 26.64mm$$

$$\begin{aligned} K_b &= 1, & \text{si } d_e &\leq 8 \text{ mm (0.3in)} \\ K_b &= 1.189d_e^{-0.097}, & \text{si } 8 \text{ mm} < d_e \leq 250 \text{ mm} \\ (K_b &= 0.869d_e^{-0.097}, & \text{si } 0.3 \text{ in} < d_e \leq 10 \text{ in}) \\ K_b &= 0.6, & \text{si } d_e > 250 \text{ mm (10in),} \end{aligned}$$

Por lo tanto, el factor de tamaño será:

$$K_b = 1.189.d_e^{-0.097} = 1.189.26.64^{-0.097} = 0.864$$

→ Factor de confiabilidad (K_c)

En el caso de este factor de corrección tomamos el valor de la siguiente tabla:

Confiabilidad (%)	50	90	99	99.9	99.99	99.999
K_c	1	0.897	0.814	0.753	0.702	0.659

→ Factor de temperatura (K_d)

Debido a que nuestro elemento no va a estar sometido a una temperatura superior o igual a 450 °C, este factor de corrección se asume como 1.

→ Factor de carga (K_{car})

En este factor asumiremos el valor como 1 puesto que el rodamiento está sometido únicamente a flexión.

→ Factor de efectos varios (K_e)

En este caso también tenemos un valor de 1, debido a que asumimos que no existen efectos residuales.

→ Factor de concentradores de esfuerzos (K_f)

No hay concentrador de tensiones porque tenemos una sección uniforme, por lo tanto, el factor de corrección tiene un valor de 1.

Una vez sabidos todos los factores de corrección, hallamos la tensión de fatiga del componente S_{10^3} y el límite a fatiga del componente S_e , para la posterior obtención de la vida útil (2N).

$$S_e = K_a * K_b * K_c * K_e * K_{car} * S'_e / K_f \quad S_e = 140.2 MPa$$

$$S_{10^3} = K_a * K_b * K_c * K_e * K_{car} * S'_{10^3} / K_f \quad S_{10^3} = 308.1 MPa$$

$$A = \frac{(S_{10^3})^2}{S_e} \quad A = 676.76$$

$$B = \frac{\log\left(\frac{S_e}{S_{10^3}}\right)}{3} \quad B = -0.1139$$

Finalmente, hallamos la vida para los diferentes esfuerzos a los que se ve sometido el rodamiento:

$$\sigma_a = A * (2N)^B$$

$$\rightarrow \sigma_{m\acute{a}x} = 227.58 MPa \rightarrow 2N = 14262 \text{ ciclos}$$

$$\rightarrow \sigma_m = 197.58 MPa \rightarrow 2N = 49317 \text{ ciclos}$$

$$\rightarrow \sigma_{m\acute{i}n} = 167.58 MPa \rightarrow 2N = 209286 \text{ ciclos}$$

Cálculo de vida de la mangueta

En el caso de la mangueta hallaremos la vida de igual manera que la del rodamiento, siendo los factores correctores iguales, excepto el factor de tamaño

$$\rightarrow \text{Factor de superficie (} K_a \text{)}$$

Suponiendo que el acero del componente es similar al Acero S275, se sabe que tiene una resistencia a rotura de 410 MPa.

El acabado superficial del rodamiento se asume que es rectificado por lo que los índices a y b serán 1.58 y -0.085, respectivamente.

Así pues, el factor de superficie, K_a , será:

$$K_a = a.R_m^b = 1.58.410^{-0.085} = 0.947$$

→ Factor de tamaño (K_b)

Para hallar este factor se tiene que tener en consideración que nos encontramos en un caso de elemento de sección circular sometido a flexión, por ello se calcula el diámetro equivalente.

$$d_e = 0.37.d = 0.37.72 = 7.4mm$$

$$\begin{aligned} K_b &= 1, & \text{si } d_e \leq 8 \text{ mm (0.3in)} \\ K_b &= 1.189d_e^{-0.097}, & \text{si } 8 \text{ mm} < d_e \leq 250 \text{ mm} \\ (K_b &= 0.869d_e^{-0.097}, & \text{si } 0.3 \text{ in} < d_e \leq 10 \text{ in}) \\ K_b &= 0.6, & \text{si } d_e > 250 \text{ mm (10in),} \end{aligned}$$

Por lo tanto, el factor de tamaño será:

$$K_b = 1$$

→ Factor de confiabilidad (K_c)

En el caso de este factor de corrección tomamos el valor de la siguiente tabla:

Confiabilidad (%)	50	90	99	99.9	99.99	99.999
K_c	1	0.897	0.814	0.753	0.702	0.659

→ Factor de temperatura (K_d)

Debido a que nuestro elemento no va a estar sometido a una temperatura superior o igual a 450 °C, este factor de corrección se asume como 1.

→ Factor de carga (K_{car})

En este factor asumiremos el valor como 1 puesto que el rodamiento está sometido únicamente a flexión.

→ Factor de efectos varios (K_e)

En este caso también tenemos un valor de 1, debido a que asumimos que no existen efectos residuales.

→ Factor de concentradores de esfuerzos (K_f)

No hay concentrador de tensiones porque tenemos una sección uniforme, por lo tanto, el factor de corrección tiene un valor de 1.

Una vez sabidos todos los factores de corrección, hallamos la tensión de fatiga del componente S_{10^3} y el límite a fatiga del componente S_e , para la posterior obtención de la vida útil ($2N$).

$$S_e = K_a * K_b * K_c * K_e * K_{car} * S'_e / K_f \quad S_e = 162.2 MPa$$

$$S_{10^3} = K_a * K_b * K_c * K_e * K_{car} * S'_{10^3} / K_f \quad S_{10^3} = 308.1 MPa$$

$$A = \frac{(S_{10^3})^2}{S_e} \quad A = 585.24$$

$$B = \frac{\log\left(\frac{S_e}{S_{10^3}}\right)}{3} \quad B = -0.0929$$

Finalmente, hallamos la vida para los diferentes esfuerzos a los que se ve sometido el rodamiento:

$$\sigma_a = A * (2N)^B$$

$$\rightarrow \sigma_{m\acute{a}x} = 227.58 MPa \rightarrow 2N = 26030 \text{ ciclos}$$

$$\rightarrow \sigma_m = 197.58 MPa \rightarrow 2N = 119207 \text{ ciclos}$$

$$\rightarrow \sigma_{m\acute{i}n} = 167.58 MPa \rightarrow 2N = 701723 \text{ ciclos}$$

Con los resultados obtenidos y sabiendo que no siempre trabajan a un esfuerzo constante, podemos concluir que la vida útil aproximada del rodamiento sería 90000 ciclos, suponiendo que trabaja a dichos esfuerzos equitativamente.

Asimismo, la vida útil aproximada de la mangueta sería de 280000 ciclos, suponiendo de la misma forma que trabaja a los esfuerzos equitativamente.

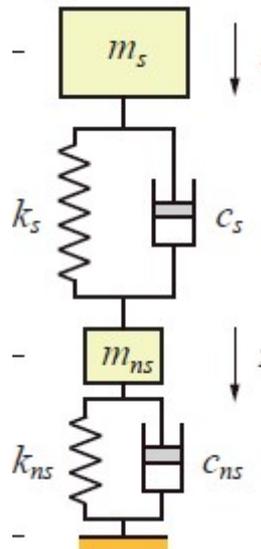
3.4. Variación de la frecuencia vertical del vehículo

Uno de los aspectos a tener en cuenta cuando se sustituye una suspensión por otra es la variación que generará en el confort del vehículo, por ello se analiza brevemente el comportamiento que tendrá el vehículo en las nuevas condiciones.

Inicialmente, asumimos que las constantes “k” y “c” serán proporcionales en todos los ejes de nuestro vehículo puesto que la suspensión es similar.

El confort está ligado a las vibraciones que percibe el vehículo por distintos motivos, ya sea las irregularidades del terreno o la diferencia de pesos incluidos en la masa suspendida.

El sistema equivalente es el modelo de $\frac{1}{4}$ de automóvil como la figura siguiente:



Con este modelo es posible analizar el movimiento vertical de la masa suspendida en función de la masa no suspendida, rigidez del neumático, rigidez del muelle y coeficiente de amortiguamiento y la función de transferencia con la cual se realizaría el cálculo sería de dos grados de libertad.

Sin embargo, sabiendo que la gráfica de amplitud frente a frecuencia obtenida de dicha función de transferencia sería como la que mostramos a continuación plantearemos las ecuaciones de movimiento con las que podremos sacar las conclusiones del comportamiento del nuevo sistema.

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} F \sin \omega t \\ 0 \end{pmatrix}$$


$$|Z(\omega)| = \begin{vmatrix} k_1 + k_2 - m_1 \omega^2 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 - m_2 \omega^2 \end{vmatrix} = k_1 k_2 - m_1 k_2 \omega^2 - k_1 m_2 \omega^2 - k_2 m_2 \omega^2 + m_1 m_2 \omega^4$$

$$= m_1 m_2 (\lambda_1 - \omega^2)(\lambda_2 - \omega^2)$$

Aplicando el determinante suponiendo un valor de K1 antes de la reforma menor que el valor K2 que tendrá después de la reforma, puesto que el muelle puesto en el vehículo sabemos que tendrá mayor rigidez.

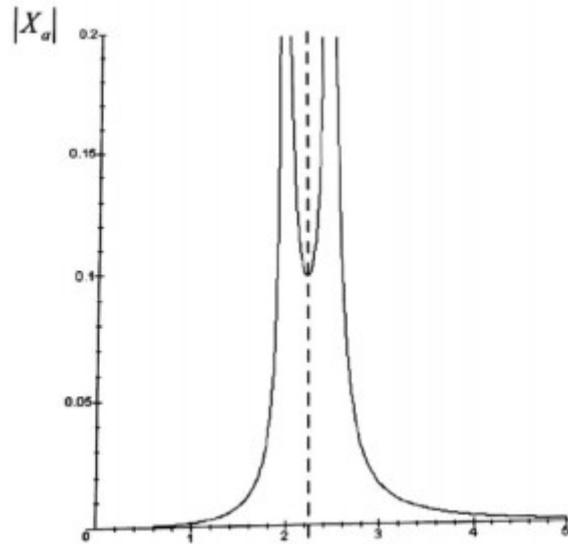
Aunque no tengamos el valor real de los valores de K ya que sería necesario obtenerlo experimentalmente, y este hecho no es objeto del presente proyecto y con los datos sencillos en los que observemos claramente la comparativa en el antes y después será:

- Para K1=K2= 1 y m1=m2=1 obtendremos un valor de frecuencia igual a +/- 0.618 y +/- 1.618
- Para K1=K2=2 y m1=m2=1 obtendremos un valor de frecuencia igual a +/- 0.874 y +/- 2.288

Por ello, se observa que la frecuencia aumentará, lo que supondrá un desplazamiento hacia la derecha de la gráfica siguiente.

Además de concluir en ello a partir de la función de transferencia, también sabemos que

$$\omega = \sqrt{\frac{K}{m}} .$$



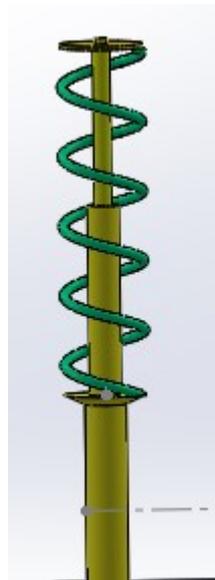
En resumen, se sabe que por la variación de frecuencia así como de aceleraciones y desplazamientos a los que estarán sometidos los pasajeros del vehículo, afectará directamente en el confort de ellos pero este análisis no es objeto en el presente proyecto.

3.5. Análisis mediante Solidworks

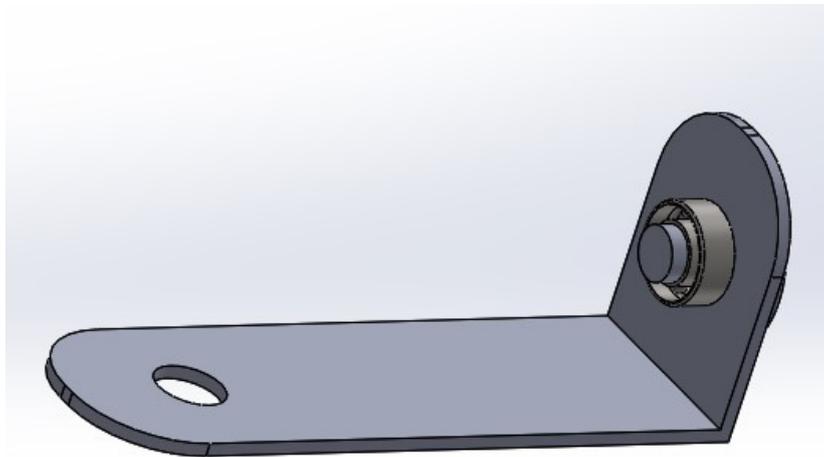
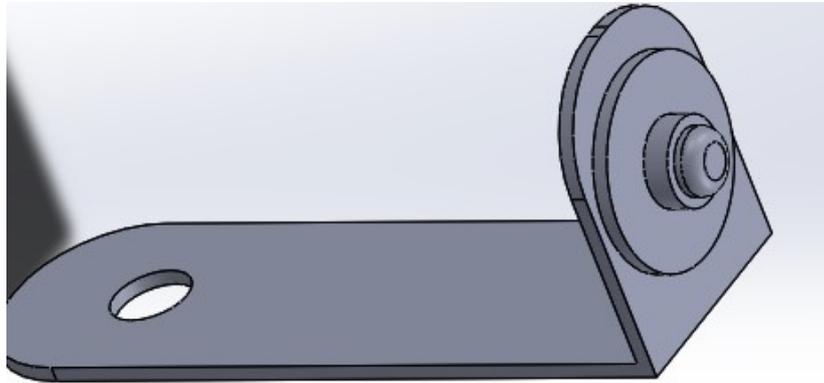
Hemos utilizado la herramienta Solidworks para simular el comportamiento de forma aproximada de nuestro sistema, para ello se ha modelado cada componente del sistema, después se procede a ensamblar y posteriormente se incluyen las condiciones de contorno y las cargas externas que se considera que afectaran a dicho conjunto, sin tener en cuenta el efecto que ejercen sobre el los demás sistemas referentes al vehículo.

Los tres grupos de componentes principales serán:

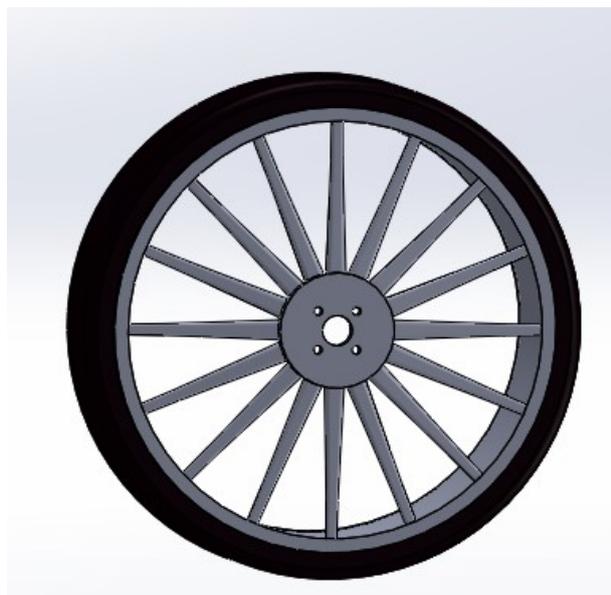
→ Amortiguador-muelle



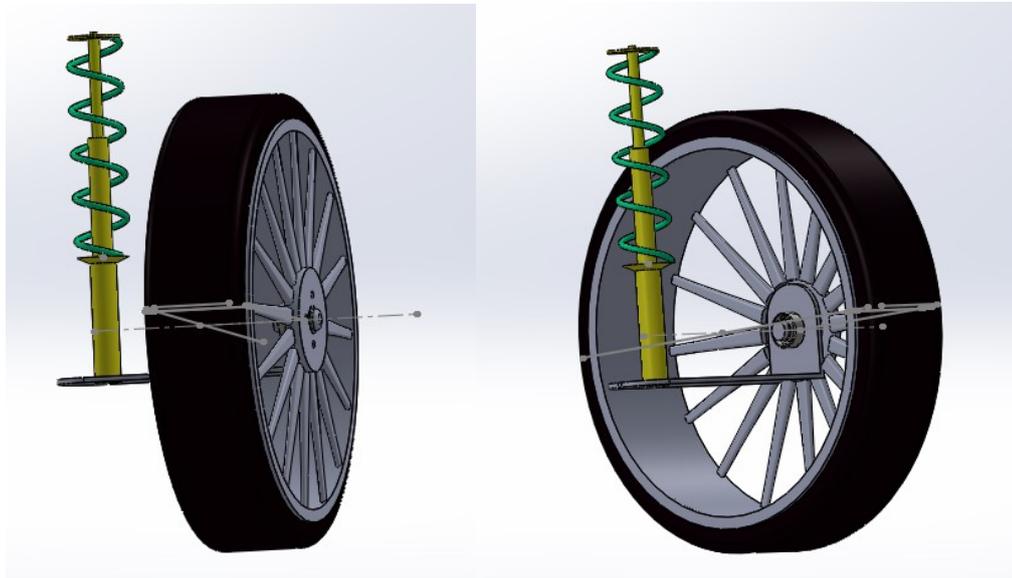
→ Buje-mangueta-rodamiento



→ Llanta-neumático

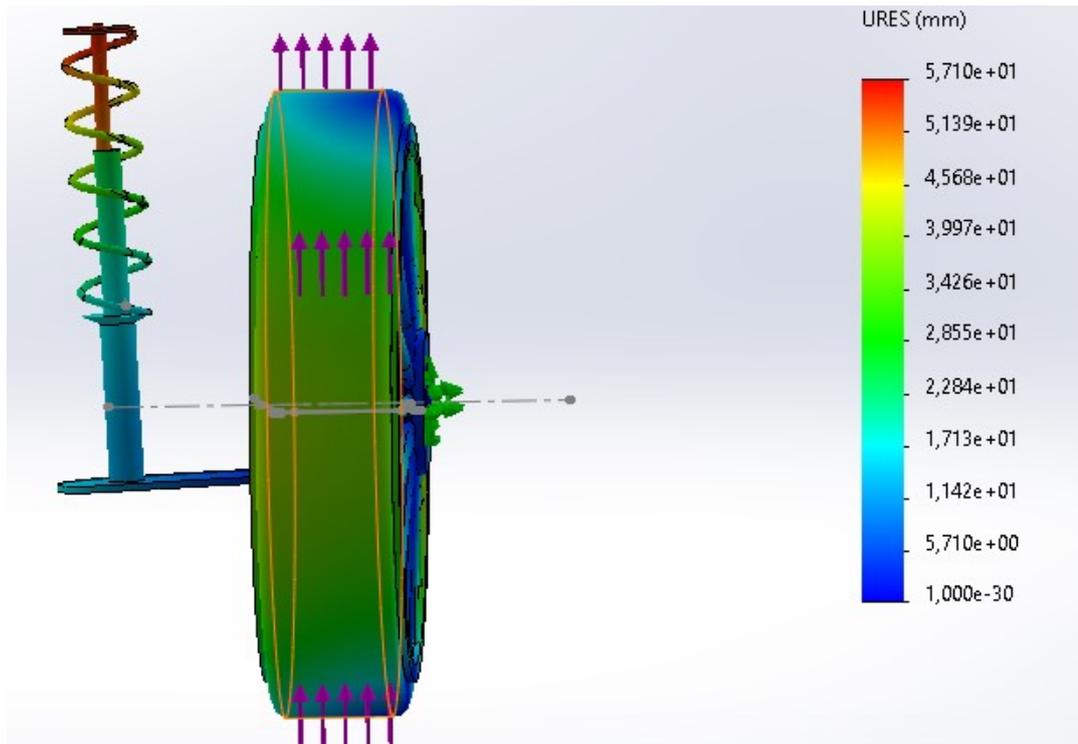


El ensamblaje al juntar todos los componentes del sistema de suspensión sería el siguiente:



Por otro lado, al ejecutar el análisis estático en Solidworks, únicamente se tendrá en cuenta la deformada y los desplazamientos obtenidos con este análisis, debido a que los cálculos de esfuerzos han sido realizados a mano porque el mallado que realiza el programa es uniforme para todos los componentes y eso no nos daría resultados cercanos a la realidad debido a que cada elemento tendría que ser mallado individualmente conforme a sus características.

Por ejemplo, en el caso de muelle sería adecuada una malla basada en curvatura y en Solidworks no es posible realizar mallas a cada componente del ensamblaje.



Se observa que en el muelle habrá un desplazamiento de aproximadamente 60 mm para un supuesto de fuerza recibida desde el suelo de $1.5 \times MMA = 1.5 \times 1520 = 2280 \text{ kg} = 22344 \text{ N}$.

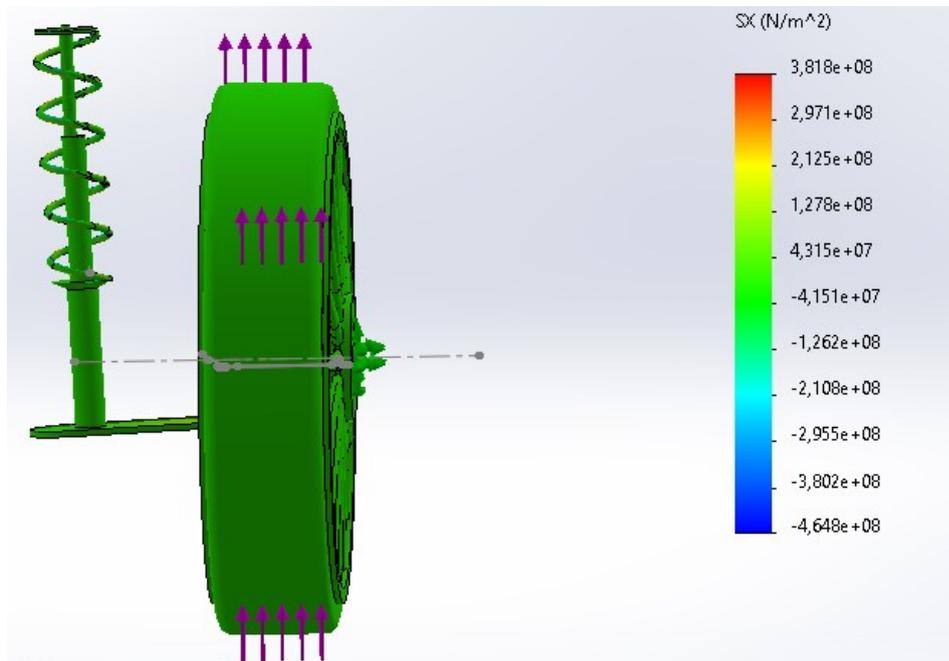
Mediante la deformada se sabe que el movimiento real que cabe esperar de dicho sistema será que al recibir la rueda tanto el giro de la misma en el avance del vehículo como la fuerza que ejerce el suelo sobre ella, repercutirá en el buje y a su vez en la mangueta flexionándolos ligeramente. Esta flexión realizará un esfuerzo sobre el amortiguador y el muelle debido al efecto del suelo, dicho sistema compensará este esfuerzo con la masa suspendida del vehículo.

Además, para asumir las variaciones del terreno, el muelle y amortiguador variarán su longitud con el fin de disminuir las vibraciones que le llegan al usuario del vehículo.

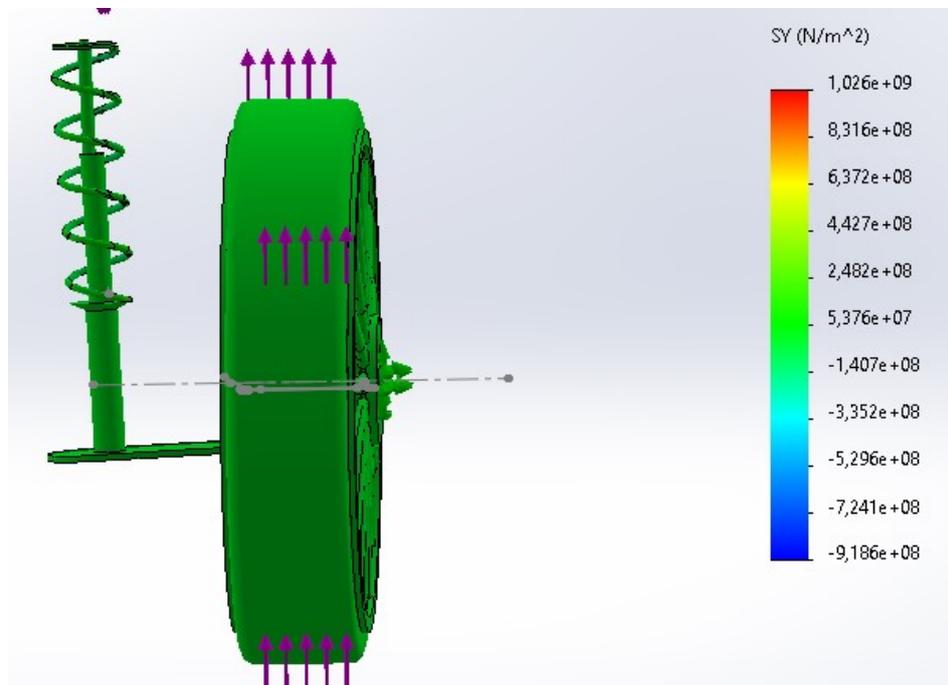
Asimismo, sabiendo que el terreno que recorre el vehículo en condiciones normales no es uniforme, se sabe que los desplazamientos variarán dependiente de la fuerza recibida en cada instante.

Por otro lado, los esfuerzos obtenidos con esta herramienta son los siguientes:

→ Esfuerzos en el eje X



→ Esfuerzos en el eje Y



4. Pliego de condiciones

4.1. Calidad de los materiales utilizados

Los muelles montados son del acero indicado en la siguiente tabla que en conjunto con la calidad del material de los amortiguadores Bilstein siendo la tornillería necesaria proporcionada por el fabricante por lo que asegurará la seguridad en el montaje de los componentes.

El vehículo sometido a la modificación se encuentra en condiciones adecuadas de funcionamiento.

Tabla 1. Tipos de Aceros para Muelles											
Designación		Norma Vigente	Normas Nacionales				Campo de Aplicación	Propiedades Mecánicas			
Simbólica	Numérica		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

4.2. Normas de ejecución

El desarrollo de la presente modificación seguirá las normas indicadas en el apartado 2.7., la ejecución también deberá seguir las normas del fabricante.

Tal como se incluye en el anexo III el montaje de los amortiguadores y los muelles deberá ser ejecutado por un mecánico autorizado, siguiendo las especificaciones del fabricante de dichos componentes.

Asimismo, dicho mecánico deberá asegurar que:

- No se ha modificado ningún otro elemento de la suspensión del vehículo salvo la sustitución de muelles y amortiguación siendo el emplazamiento el mismo en el que se encontraba el sistema de suspensión original
- No ha sido manipulado ningún otro elemento del vehículo excepto los parámetros de la dirección al realizar la alineación del vehículo después del montaje del sistema de suspensión con el fin de garantizar que la seguridad sea la misma que antes de la reforma.

Por otro lado, los materiales utilizados para la reforma tendrán las condiciones de seguridad y calidad específicas, aseguradas por el comercial tanto de los amortiguadores como de los muelles, así como los demás repuestos incluidos en el montaje siendo exclusivamente para este modelo de vehículo.

4.3. Certificados y autorizaciones

Con el fin de autorizar la presente reforma, será necesario la presentación en el Servicio de Industria correspondiente la siguiente documentación:

- Proyecto técnico
- Certificado final de obra
- Informe de conformidad según el Anexo II del R.D. 866/2010 incluido en el Anexo IV del presente proyecto.
- Certificado de taller según el Anexo III del R.D. 866/2010 incluido en el Anexo IV del presente proyecto.

Así como aquellos documentos que crean de especial importancia requeridos por la autoridad administrativa competente.

5. Conclusión

Mediante los datos aportados se puede justificar que la realización de esta reforma sobre el vehículo es posible con el contenido de un proyecto técnico porque se ha demostrado que los componentes instalados cumplen los requisitos técnicos necesarios, si bien exista la necesidad de realización de ensayos adicionales sobre el vehículo para justificar los requisitos normativos de protección de peatones y de frenado, ensayo que quedará a determinar por el Servicio Técnico de Reformas que vaya a realizar el Informe de Conformidad. Con los datos aportados para el resto de los Actos Reglamentarios no es necesaria la realización de ensayos adicionales puesto que son dimensiones de instalación que cumplen con los valores necesarios.

Además con los cálculos realizados sabemos que:

- Los muelles, con la obtención de la tensión tangencial, se concluye que los muelles serán capaces de equilibrar los esfuerzos generados por los demás elementos del sistema.
- En el cálculo estático del sistema simplificado de suspensión se analiza los esfuerzos a los que están sometidos todos los elementos de dicho sistema y se concluye que el sistema no romperá por rotura puesto que el esfuerzo soportado por el sistema es mucho menor del límite del material a rotura.
- En el cálculo a fatiga se obtiene los ciclos que admite el sistema sin romper, sabiendo que si la vida útil de la mangueta y el rodamiento es tan alta siendo los elementos más solicitados en el sistema, se sabe que los demás elementos tendrán más vida útil que estos.
- En la variedad de la frecuencia vertical, se sabe que al ser más rígido el muelle dentro del vehículo se notarán más las irregularidades del terreno puesto que aumenta la frecuencia y la amplitud, analizado de forma simplificada con la gráfica que se obtiene a partir de las ecuaciones de movimiento del sistema.
- Por último, con los cálculos hallados sobre el modelo realizado con la herramienta de SolidWorks obtenemos los esfuerzos sobre los elementos estructurales, rodamientos y conocer la fuerza del muelle-amortiguador

Por lo tanto, se puede afirmar que el objetivo del proyecto se ha cumplido.

6. Bibliografía

- <https://tijuiliando.com/la-historia-del-sistema-de-suspension-en-los-automoviles/>
- <https://www.diarimotor.com/>
- <https://como-funciona.co/sistema-de-suspension-independiente/>
- Libro “Tecnología del automóvil”, Paraninfo.
- <https://www.mundodelmotor.net/>
- <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn129.html>
- Apuntes Dinámica (Asignatura: Diseño y arquitectura de vehículos)
- Apuntes Fatiga (Asignatura: Cálculo de elementos de máquinas)
- Apuntes asignatura Vibraciones y Ruido en Máquinas.

Anexos

Anexo I. Tipos de suspensión. Componentes de la suspensión.

El cambio en los sistemas de suspensión de los vehículos se ha observado a lo largo de los años; en sus inicios, dicho sistema estaba compuesto por ballestas, el sistema está constituido por tiras de acero curvadas y superpuestas.

Normalmente las ballestas se utilizan en vehículos de carga y, en ocasiones, se encuentran en todoterrenos.

Otro tipo de suspensión es el de eje rígido. El eje rígido es un tipo de suspensión que consiste en un bloque atravesando el coche, que contiene los palieres y el diferencial dentro de una carcasa. En un eje delantero, este esquema permite únicamente la articulación de las ruedas respecto al eje para girar a izquierda y derecha, mientras que en el eje trasero no hay ninguna articulación entre eje y ruedas, que permanecen siempre perpendiculares, se sostiene al bastidor mediante resortes que hacen de elemento elástico transmitiendo las oscilaciones y, por último y completando el conjunto, se encuentran los amortiguadores.

El siguiente avance en los sistemas de suspensión fue el sistema semirrígido el cual es muy parecido al anterior. La diferencia es que monta un brazo adicional que reduce las vibraciones y movimientos del vehículo.

Por último, se encuentra el sistema independiente. Es el más utilizado en la actualidad y posee derivaciones entre las que se encuentran: las suspensiones de eje oscilante de brazos tirados, McPherson o de triángulos superpuestos.

La suspensión independiente es aquella en la que no existe conexión entre las ruedas izquierda y derecha de cada eje.

Una vez se explican los tipos de suspensión se pasa a profundizar un poco más con los componentes que forman una suspensión, variando ligeramente los mismos en cada uno de los tipos vistos anteriormente.

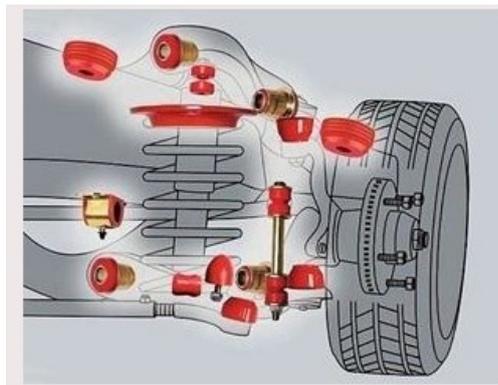
➤ Ruedas.

No son componentes de la suspensión, pero al estar montadas al semieje se consideran parte del sistema de suspensión.

Son elementos que disponen de anclaje móvil en, al menos, uno de sus extremos, para permitir los desplazamientos relativos entre ruedas y carrocería al trabajar la suspensión.

➤ Silent-blocks (elementos aislantes).

Es una pieza de goma que se intercala en las conexiones móviles de unión entre rueda y carrocería para absorber gran parte del ruido y vibraciones generados por el trabajo de la suspensión.



➤ Rótulas.

Es una junta esférica que permite el movimiento vertical y de rotación de las ruedas directrices de la suspensión delantera. Está compuesta por casquillos de fricción y de perno encerrados en una carcasa. Elemento propio de las suspensiones y del sistema de palancas de la dirección, que consiste en una articulación con 3 tipos de movimientos. Además, se utiliza en los reenvíos de la barra anti balanceo, en tirantes y en otros puntos.



➤ Mangueta y buje.

La mangueta es una pieza construida en acero que une el buje de la rueda con los demás elementos de la suspensión y de la dirección, ésta se diseña teniendo en cuenta todas las características geométricas del auto.

En el interior del buje se aloja el rodamiento que garantiza el giro de la rueda.



- Tijeras, brazos de suspensión o trapecios.

Son unos elementos en forma de tijera o trapecio que se fabrican en fundición.

Soportan el vehículo a través de la suspensión, unen la mangueta y el buje mediante los silentblocks y rotulas explicados anteriormente.

Esta pieza soporta todos los esfuerzos generados por el funcionamiento de la suspensión.



➤ Amortiguador.

Es un elemento de la suspensión que ayuda a recibir el impacto de las oscilaciones del terreno. Una de las funciones importantes del amortiguador es la de mantener las ruedas adheridas al pavimento con el fin de mantener la estabilidad y el confort de los ocupantes del vehículo.

Existen distintos tipos de amortiguadores como los hidráulicos de un tubo, de dos tubos, con válvulas y amortiguadores de gas.

Además, se considera sistema de seguridad activa del vehículo por la función desempeñada.

En algunos sistemas de suspensión vienen acompañados de ballestas o resortes helicoidales que pueden estar ubicados dentro o fuera del resorte.



Anexo II. Instrucciones montaje según fabricante.

E4-WM5-Y040A00

EINBAUANLEITUNG/ MOUNTING INSTRUCTIONS



ZUM LÖSEN UND ANZIEHEN DER MUTTERN DARF KEIN SCHLAGSCHRAUBENDREHER VERWENDET WERDEN. DAS BEFESTIGUNGSGEWINDE WIRD SONST ZERSTÖRT. SELBSTSICHERNDE MUTTERN DÜRFEN NUR EINMAL VERWENDET WERDEN!

DO NOT USE IMPACT TOOLS FOR LOOSENING OR TIGHTENING FASTENERS, BECAUSE THIS MAY DESTROY THE THREADS. SELF-LOCKING NUTS MUST ONLY BE USED ONCE!

1. Mutter Anzugsmoment 15 Nm *B
nut torque 12 ft lb *B
2. Teller
plate
3. Mutter (*B nur bei M10x1,5)
nut (*B only M10x1,5)
4. Teller
plate
5. Lagerring oben
upper support bearing
6. Teller
plate
7. Lagerring unter
bottom support bearing
8. Distanzbuchse *B
sleeve *B
9. Federteller oben
upper spring plate
10. Ring *B
ring *B
11. Federauflage
rubber pad
12. Schraubenfeder
helical spring
13. Anschlagpuffer
bump stop
14. Schutzrohr
dust cover
15. Federteller unten *B
bottom spring plate *B
16. Stützring *B
ring *B
17. BILSTEIN- Stoßdämpfer
BILSTEIN- shock absorber
18. Buchse im Dämpferauge
fitted sleeve
19. Mutter Anzugsmoment 70 Nm
nut torque 17,5 ft lb
20. Sprengling *B
circlip *B
21. Bohrung
bore
22. Federenden
ends of spring
23. Rad
wheel

*B = BILSTEIN Lieferumfang
mounting parts delivered by BILSTEIN

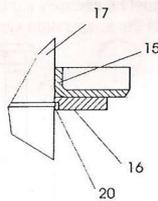


Abb./fig.2

ACHTUNG/ ATTENTION
Bei der Montage des Stützringes (16) ist auf korrekten Sitz des Sprenglinges (20) zu achten!
When fitting the supporting ring (16) care must be taken to ensure that the circlip (20) is seated correctly!

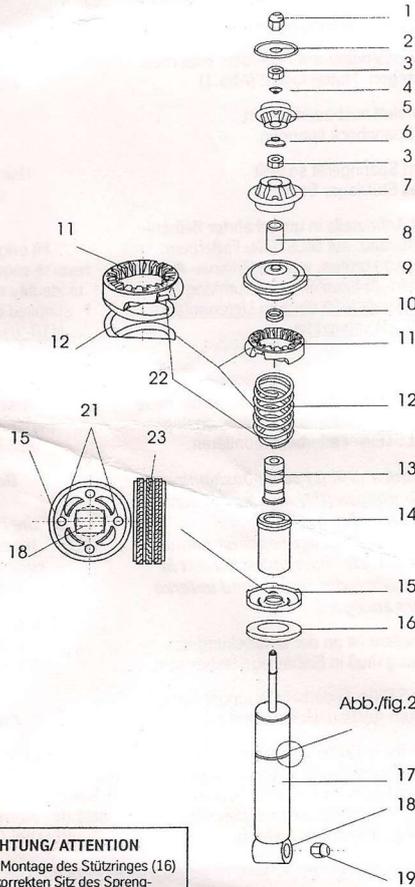


Abb./fig.1

ThyssenKrupp Bilstein Suspension GmbH
August-Bilstein-Str. 4, 58256 Ennepetal
Postfach 11 51, 58240 Ennepetal
Telefon: (0 23 33) 791-0, Telefax: (0 23 33) 7 91- 4900
Hotline: 01805- 600- 860; Internet: www.bilstein.de

H&R Mounting-instructions

Important product information – must be read before installation!

H&R suspension components are developed and designed from a sporting viewpoint and have more sporting and tighter handling characteristics than original manufacturer products. The amount of lowering was measured on the vehicle made available to us for test conversion and for testing and was confirmed by a German Inspection Organization. Nevertheless, the details on lowering should be treated only as approximate guidelines, and on each vehicle are influenced by the following factors:

- Different engine size, e.g. 4 cylinder or 6 cylinder
- Extra equipment or special aftermarket parts which may increase vehicle weight (gas fuel conversions/ HiFi conversions/ trailers)
- Accessory deadweight can add up very quickly
- Original vehicle model tolerances
- Type and construction of the installed shock absorbers
- Variations in fuel level
- Age and condition of stock springs

Because of these outside influences, we can not accept any liability for the degree of lowering.

H&R suspension components are manufactured under constant quality control and with the greatest of care; nevertheless, even top-quality products may become defective.

To avoid damage to the product, please note the following information:

- Do not overload the vehicle, and do not exceed the axle loading prescribed by the manufacturer or type approval.
- Avoid unusual and aggressive driving maneuvers which place excessive demands on the vehicle (racing events, etc.)
- Because of the reduced ground clearance, avoid off-road use.
- Watch your speed to avoid hitting the undercarriage on speed bumps, etc.

H&R suspension components are intended exclusively for use in vehicles which are permitted for use on public roads, and which fulfill the applicable legal requirements. You are unconditionally advised against any other use.

Make sure that the components are installed only by an authorized mechanic/ workshop. Only these authorized mechanics have the necessary specialized knowledge and equipment.

Hybrid and Battery Electric Vehicles may only be retrofitted in specialized workshops where the staff visited special trainings on high voltage systems in cars and work safely on cars with this technology.

1. Before installation:

- Please compare the item delivered with the delivery note
- Please compare the content of the delivery with the parts approval/vehicle type approval
- Please also compare the parts approval/vehicle type approval with the vehicle papers
- Check that the delivery is complete
- Please check that the appropriate tools are available for fitting
- Order any additional parts which may be necessary
- Measure all dimensions relevant to the conversion
- If there are disagreements or deviations, please contact your vendor

2. During installation:

- Work as per the vehicle's factory service manual or workshop manual
- Comply with all details in the technical tips provided with product (installation or mounting instruction)
- Please check that all parts removed function correctly
- Replace defective original parts with new original parts
- Use only suitable tools and equipment for installation and disassembly
- Do not carry out extra work on parts or adapt them to fit

If products do not match, stop the installation or conversion immediately. The installation of products into vehicles for which they are not suitable can result in severe material damage and physical injury.

In this case, contact your dealer and explain the problem to him. Keep the vehicle papers and/or technical documentation on hand, so that you can answer any questions which arise. Please ensure that after a conversion is complete, there are not more parts left over than you replaced.

3. After the conversion:

- Use only the tightening and fixing values provided by the vehicle's factory service manual
- Test and adjust the correct securing of all loosened and fitted parts
- Test and adjust the ease of movement of the wheel/tire combination (loaded/unloaded)
- Test and adjust the ease of movement of all axle and steering parts (for all steering movements)
- Test and adjust the ease of movement of all brake parts and brake hoses (for all steering movements)
- Test and adjust the braking system and the adjustment of the load-dependent brake force compensator
- Test and adjust the setting of the headlights
- Test and adjust the setting of the level adjustment
- Test and adjust the setting of the axles
- Measure all dimensions relevant to the conversion

Comply with the authorization permissions and regulations applicable in your country. The following minimum clearances from the road surface are defined in EU test standard ECE 48: edge of headlight opening: 500mm, daytime headlights: 250mm, brake and tail lights: 350mm, fog lights front/rear: 250mm, indicators front, rear, side: 350mm, number plate front 200mm, number plate rear 300mm. The clearance of the trailer connection at the permitted axle loading must be 350mm to the midpoint of the ball head. Ensure that a vehicle acceptance is carried out immediately by an authorized testing organization.

Non-compliance with this test and adjustment work can result in failure of vehicle systems, material damage and physical injury with severe consequences.

4. Test drive

- Installing H&R products will alter the handling of your vehicle.
- Therefore, drive with care until you have become accustomed to the altered vehicle characteristics.
- Unexpected vehicle handling characteristics can indicate that the products installed are not suitable for your vehicle, or that there are errors in installation and/or in adjustment to the suspension geometry. In this case, please have the vehicle inspected immediately in a specialist workshop.

Failure to do so can result in severe material damage and physical injury.

With some vehicles, lowering of the front axle can result in noises at full steering lock. Noise can also occur due to tolerances when the shock absorbers are extended to their full length. These potential noises are design-related. They may not necessarily indicate a defect which affects driving safety. Installation of noise damping sleeves may help to correct this; they are available from your specialist dealer.

If you have complaints after purchase and/or installation of H&R products, please contact your dealer.

Anexo III. Certificados necesarios después de la reforma.

Para finalizar la legalización de la reforma realizada, aparte del proyecto técnico serán necesarios los siguientes certificados según el Real Decreto 866/2010, los cuales estarán firmados por la persona autorizada en cada caso.

Informe de conformidad

El/los abajo firmante(s) expresamente autorizado/s por:

INFORMA

Que el vehículo, marca, tipo....., variante....., denominación comercial, contraseñas de homologación (*), matrícula, y con número de bastidor....., es técnicamente apto para ser sometido a la(s) reforma(s) consistente(s) en:

Tipificada/s con el/los Código de Reforma/s

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	Contraseña de homologación o informe que avala su cumplimiento.

El vehículo reformado 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, a de de

(*) Si el vehículo no dispone de contraseña se rellenará este campo con N.P.

Certificado del taller

D....., expresamente autorizado por la empresa, domiciliada en, provincia de, calle, n.º, teléfono, dedicada a la actividad de, con n.º de registro industrial y n.º de registro especial (1)

CERTIFICA

Que la mencionada empresa ha realizado la/s reforma/s, y asume la responsabilidad de la ejecución, sobre el vehículo marca....., tipo....., variante....., denominación comercial, matrícula y n.º de bastidor, de acuerdo con:

La normativa vigente en materia de reformas de vehículos.

Las normas del fabricante del vehículo aplicables a la/s reforma/s llevadas a cabo en dicho vehículo.

El proyecto técnico de la/s reforma/s, adjunto al expediente.

OBSERVACIONES:

..... a de de.....

Firma y sello

Fdo.:

(1) En el caso de que la reforma sea efectuada por un fabricante se indicará N/A.