

Trabajo Fin de Grado

Proyecto de homologación de las reformas efectuadas en el motor, la suspensión y la carrocería de un vehículo para utilización mixta del vehículo en uso ocasional y en pruebas de coches clásicos.

Project of legalization of the modifications made to the engine, suspension and bodywork of a vehicle for mixed use of the vehicle for occasional use and classic car races.

Autor/es

Juan Pedro Hernández León

Director/es

Santiago Baselga Ariño

Escuela de Ingeniería y Arquitectura

2021

Resumen.

El presente trabajo de fin de grado estudia las reformas realizadas en un BMW 320-i E30 en base a lo regulado por la legislación vigente en materia de reformas de vehículos. La reglamentación viene determinada por el Real Decreto 866/2010, de 2 de julio, un documento que se diseñó con el fin de mantener unos estándares de calidad y seguridad en los vehículos reformados en coherencia con la normativa a nivel europeo.

En la apertura del proyecto se realiza una presentación del vehículo, exponiendo de forma los distintos sistemas reformados, y detallando en qué consisten las reformas y a qué sistemas del vehículo afectan, así como en qué medida se recogen en la regulación vigente. Estas reformas afectan a prácticamente la totalidad del vehículo; desde el sistema de dirección, el sistema de frenos o el conjunto de motor y transmisión, hasta el sistema de dirección o la carrocería del vehículo.

En la memoria del documento se encuentra una recopilación de datos, todos ellos necesarios para la justificación y realización de los cálculos necesarios para demostrar la aptitud de las reformas. Se detallan las partes instaladas, modificadas o eliminadas, incluyendo las referencias identificativas y su procedencia, o las características de los materiales empleados para los elementos que así lo requieren en su posterior cálculo.

En el apartado de cálculos justificativos se realiza un análisis detallado de los distintos sistemas reformados, útiles para garantizar la aptitud de las reformas. Cabe destacar que a lo largo del mismo se han realizado una serie de simplificaciones. Para el cálculo del sistema de transmisión se han calculado los desarrollos que alcanzaría el vehículo si fuera capaz de superar todas las fuerzas de resistencia. Mientras en el caso del cálculo de los frenos se llevó a cabo una simplificación lineal, sintetizando en la medida de lo posible al no considerar el efecto de las inercias y torsiones.

Se utiliza el software de diseño 3D SolidWorks para el diseño y simulación de esfuerzos y deformaciones de la estructura de seguridad. Se realizan, además, cálculos justificativos sobre los elementos del sistema de suspensión, muelles y amortiguadores donde se demuestra la idoneidad del elemento elástico para soportar las cargas del vehículo y del conjunto para trabajar en régimen subamortiguado. Por otro lado, también se recoge un estudio de la viabilidad de las uniones escogidas, tanto para la estructura de seguridad, como para el alerón, instalados en el vehículo. A su vez, se exponen algunas características, en referencia a los sistemas de dirección y la instalación de las barras estabilizadoras, que por sí mismas justifican la viabilidad de las reformas, de acuerdo con la normativa vigente, sin necesidad de cálculos que las avalen.

En definitiva, este proyecto demuestra la viabilidad de las reformas realizadas de acuerdo con la normativa vigente, permitiendo la circulación lícita por la vía pública, al tiempo que se logra mejorar los sistemas de acuerdo con el uso deportivo que se prevé del vehículo.



Índice.

RESUMEN	1
ÍNDICE	2
1.- INTRODUCCIÓN	6
2.- OBJETO	9
3.- ALCANCE	10
4.- MEMORIA	11
4.1.- IDENTIFICACIÓN DEL VEHÍCULO.....	11
4.2.- ANTECEDENTES.....	11
4.3.- FICHA TÉCNICA REDUCIDA DEL VEHÍCULO ANTES Y DESPUÉS DE LA REFORMA.....	15
4.4.- DESCRIPCIÓN DE LA REFORMA.....	16
4.4.1.- <i>Tipificación de las reformas</i>	16
4.4.2.- <i>Breve descripción de los sistemas reformados</i>	17
4.4.3.- <i>Variación y sustitución de elementos</i>	21
4.4.3.1.- Motor.....	21
4.4.3.2.- Caja de cambios.....	21
4.4.3.3.- Elementos de transmisión situados después de la caja de cambios.....	22
4.4.3.3.- Elementos de dirección.....	22
4.4.3.4.- Elementos del sistema de suspensión.....	22
4.4.3.5.- Elementos del sistema de frenado.....	24
4.4.3.6.- Modificación de las características de los ejes.....	24
4.4.3.7.- Modificación de la carrocería del vehículo.....	25
4.4.4.- <i>Desmontajes de elementos realizados</i>	25
4.4.4.1.- Desinstalación de los asientos traseros.....	25
4.4.5.- <i>Montajes realizados</i>	25
4.4.5.1.- Elementos del sistema de suspensión.....	25
4.4.5.2.- Elementos de la carrocería del vehículo.....	26
4.4.5.3.- Instalación de una estructura de seguridad antivuelco.....	26
4.5.- PLANOS DEL VEHÍCULO.....	27
4.5.1.- <i>Plano de dimensiones del vehículo antes de la reforma</i>	27
4.5.2.- <i>Plano de dimensiones del vehículo después de la reforma</i>	27
5.- CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	28
5.1.- ESTUDIO DE LA DISTRIBUCIÓN DE CARGAS.....	28
5.2.- ESTUDIO DE LA DINÁMICA LONGITUDINAL DEL VEHÍCULO Y LAS REACCIONES EN LOS EJES.....	28
5.2.1.- <i>Reparto de pesos y reacciones estáticas en los ejes</i>	28
5.2.2.- <i>Reparto de pesos y reacciones dinámicas en los ejes en aceleración sobre suelo horizontal</i> .29	
5.2.3.- <i>Reparto de pesos y reacciones en los ejes en frenado sobre suelo horizontal</i>	30
5.2.4.- <i>Reacciones en los ejes con el vehículo cargado</i>	31
5.3.- ESTUDIO SOBRE LA MANIOBRABILIDAD DEL VEHÍCULO TRANSFORMADO, INCLUYENDO EL RADIO DE GIRO.....	32
5.4.- ESTUDIO SOBRE LOS NUEVOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN.....	32
5.4.1.- <i>Muelles</i>	32
5.4.1.1.- Cálculo del Máximo Esfuerzo a compresión.....	34
5.4.1.2.- Cálculo de la carga máxima en función de la flecha.....	34
5.4.1.3.- Cálculo de torsión provocada por las cargas oscilantes.....	35
5.4.1.4.- Conclusiones.....	36
5.4.3.- <i>Amortiguadores</i>	36
5.4.3.1.- Coeficiente de amortiguamiento crítico.....	36
5.4.3.2.- Factor de amortiguamiento.....	37

5.4.3.3.- Conclusiones.....	37
5.5.- ESTUDIO SOBRE LAS LICITACIONES DE LOS ELEMENTOS DE UNIÓN DE LAS BARRAS ESTABILIZADORAS, ASÍ COMO DE LOS ELEMENTOS DE UNIÓN DE LOS BRAZOS DE SUSPENSIÓN	38
5.6.- CÁLCULO DE LA TRANSMISIÓN.....	38
5.6.1.- Descripción y materiales empleados.	38
5.6.2.- Estudio de los desarrollos antes y después de la reforma.	39
5.6.2.1.- Antes de la reforma.....	40
5.6.2.2.- Después de la reforma.	41
5.6.2.3.- Conclusiones.....	42
5.7.- ESTUDIO DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE FRENADO.	43
5.7.1.- Cálculo de la presión hidráulica.	44
5.7.2.- Cálculo del freno de disco delantero antes de la reforma.	45
5.7.3.- Cálculo del freno de disco delantero instalado tras la reforma.	46
5.7.4.- Cálculo del freno de tambor trasero antes de la reforma.....	46
5.7.5.- Cálculo del freno de disco trasero instalado tras la reforma.....	46
5.7.6.- Cálculo de la fuerza que es necesario ejercer sobre el pedal y del servofreno.	47
5.7.7.- Conclusiones.	48
5.8.- ESTUDIO DE LA ESTRUCTURA DE SEGURIDAD ANTIVUELCO.	49
5.9.- ESTUDIO DE LA RESISTENCIA DE LOS ANCLAJES DE LA ESTRUCTURA ANTIVUELCO.....	51
5.10.- ESTUDIO DE LA RESISTENCIA DE LOS ANCLAJES DEL ALERÓN INSTALADO.	52
6.- CONCLUSIÓN DEL PROYECTO.....	54
7.- BIBLIOGRAFÍA, FUENTES Y NOTAS:	56
8.- ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	59
9.- ANEXOS.	62
ANEXO 1: FICHA TÉCNICA DEL VEHÍCULO ANTES DE LA REFORMA.....	62
ANEXO 2.- FICHA TÉCNICA M3 E30 COUPÉ.....	63
ANEXO 3.- FICHA TÉCNICA BMW M535I E28.	64
ANEXO 4.- ELEMENTOS DE SUSPENSIÓN Y SU CÁLCULO.	66
4.1.- MUELLES.....	67
4.1.1.- Material.....	67
4.1.2.- Características de los muelles helicoidales.....	68
4.1.3.- Esfuerzos en un muelle helicoidal sometido a compresión.....	68
4.1.4.- Cálculo de la deformación del muelle.....	70
4.1.5.- Cálculo de muelles a torsión.	72
4.2.- AMORTIGUADORES.....	73
ANEXO 5.- CURVAS DE EQUIADHERENCIA E ISODECELERACIÓN, EXPLICACIÓN Y CÁLCULO.....	77
5.1.- CURVAS DE EQUIADHERENCIA.....	77
5.2.- CURVA DE ISODECELERACIÓN.....	79
5.3.- CÁLCULO DE CURVAS DE EQUIADHERENCIA E ISODECELERACIÓN ANTES DE LA REFORMA.....	79
5.4.- CÁLCULO DE CURVAS DE EQUIADHERENCIA E ISODECELERACIÓN DESPUÉS DE LA REFORMA.....	83
ANEXO 6: CÁLCULO DEL EQUIPO DE FRENADO.	87
6.1.- FRENOS DE DISCO.....	87
6.1.1.- Superficie de pastilla.....	88
6.1.2.- Par de frenado.	89
6.1.3.- Radio equivalente.....	90
6.2.- FRENO DE TAMBOR.....	90

ANEXO 7: ELEMENTOS DE TRANSMISIÓN Y SU CÁLCULO	91
7.1.- TRANSMISIÓN Y CONJUNTO MOTRIZ.....	91
7.2.- TRANSMISIÓN DE LA FUERZA MOTRIZ	91
7.3.- RELACIONES DE TRANSMISIÓN DE LOS ENGRANAJES.....	93
ANEXO 8: CÁLCULO DE TENSIONES Y DESPLAZAMIENTOS DE LA JAULA ANTIVUELCO MEDIANTE SOLIDWORKS	95
8.1.- CARGA DE 28 KN SOBRE EL MIEMBRO SUPERIOR DE LA ESTRUCTURA.....	95
8.1.1.- Descripción	95
8.1.2.- Información de modelo.....	96
8.1.3.- Propiedades de estudio.....	103
8.1.4.- Unidades.....	104
8.1.5.- Propiedades de material.....	105
8.1.6.- Cargas y sujeciones.....	107
8.1.7.- Información de malla.....	108
8.1.7.1.- Información de malla - Detalles.....	108
8.1.8.- Fuerzas resultantes.....	109
8.1.8.1.- Fuerzas de reacción	109
8.1.8.2.- Momentos de reacción.....	109
8.1.9.- Vigas	110
8.1.9.1.- Fuerzas de viga	110
8.1.9.2.- Tensiones de viga	112
8.1.10.- Resultados del estudio.....	116
8.2.- CARGA DE 28 KN SOBRE EL LATERAL IZQUIERDO SUPERIOR DE LA ESTRUCTURA.....	118
8.2.1.- Descripción	119
8.2.2.- Información de modelo.....	120
8.2.3.- Propiedades de estudio.....	127
8.2.4.- Unidades.....	128
8.2.5.- Propiedades de material.....	129
8.2.6.- Cargas y sujeciones.....	131
8.2.7.- Información de malla.....	132
8.2.7.1.- Información de malla - Detalles.....	132
8.2.8.- Fuerzas resultantes.....	133
8.2.8.1.- Fuerzas de reacción	133
8.2.8.2.- Momentos de reacción.....	133
8.2.9.- Vigas	134
8.2.9.1.- Fuerzas de viga	134
8.2.9.2.- Tensiones de viga	136
8.2.10.- Resultados del estudio.....	140
8.3.- CARGA DE 28 KN SOBRE EL LATERAL DERECHO SUPERIOR DE LA ESTRUCTURA.....	142
8.3.1.- Descripción	142
8.3.2.- Información de modelo.....	142
8.3.3.- Propiedades de estudio.....	150
8.3.4.- Unidades.....	151
8.3.5.- Propiedades de material.....	151
8.3.6.- Cargas y sujeciones.....	154
8.3.7.- Información de malla.....	154
8.3.7.1.- Información de malla - Detalles.....	154
8.3.8.- Fuerzas resultantes.....	155
8.3.8.1.- Fuerzas de reacción	155
8.3.8.2.- Momentos de reacción.....	155
8.3.9.- Vigas	156



8.3.9.1.- Fuerzas de viga	156
8.3.9.2.- Tensiones de viga	158
8.3.10.- <i>Resultados del estudio</i>	161
ANEXO 9.- PLIEGO DE CONDICIONES.....	163
9.1.- OBSERVACIONES.	163
9.2.- MATERIALES EMPLEADOS.....	163
9.3.- NORMAS DE EJECUCIÓN.....	164
9.4.- CERTIFICADOS Y AUTORIZACIONES.	165
ANEXO 10.- PRESUPUESTO DETALLADO.....	166
10.1.- PRESUPUESTO POR CAPÍTULOS.....	166
10.2.- RESUMEN PRESUPUESTARIO.....	170
ANEXO 11.- CERTIFICADO DE MONTAJE EN TALLER.	172

1.- Introducción.

La personalización de los vehículos es un fenómeno cultural que ha acompañado al automóvil durante muchos años y que no deja indiferente a nadie.

El movimiento nació en la década de 1920, fue extendiéndose a lo largo de los años 30 y se popularizó a partir de los años 40 en Estados Unidos. En estos inicios estuvo asociado a las restricciones dadas por la ley seca, que prohibía el consumo, transporte y venta de bebidas alcohólicas en algunos estados del país. Los conductores, tratando de hacer sus vehículos más rápidos y manejables, comenzaron a modificarlos para hacer el transporte más exitoso. Posteriormente, en los años 40, estuvo asociado a aquellos veteranos de la segunda guerra mundial que, tras su regreso a casa, sentían un vacío en sus vidas; vacío que canalizaron en forma de personalización de sus vehículos, lo que los llevó a competir a menudo, y se extendió bajo el nombre de *Hot Rod*¹, haciéndose tan popular que ha perdurado hasta nuestros días. Algo similar ocurrió en Japón con el fenómeno *Bosozoku*², sin embargo, este último se centró en las motocicletas dada la situación económica del país tras la Segunda Guerra Mundial.



Ilustración 1: Claro ejemplo del fenómeno Hot Rod.
Fuente: Nussbaum, 2021¹.



Ilustración 2: Ejemplo de motocicletas Bosozoku. Fuente: MessyNessy, 2015².

Los primeros precedentes de personalización de vehículos que aparecieron en Europa datan de la década de los años 50, no siendo hasta entrada la década de los 60 cuando terminó de cuajar el fenómeno. Gracias a la imperiosa necesidad que tenían los propietarios de diferenciarse y plasmar su personalidad, desde entonces, muchas han sido las corrientes y los estilos adoptados.

En el año 1953 encontramos uno de los precedentes europeos del fenómeno de la mano de Karl Meier, fundador de KAMEI. Presentó en el Salón del Automóvil de Ginebra una solución aerodinámica para el Volkswagen Beetle llamada "*Tiefensteuer*" que permitía incrementar la estabilidad del vehículo a alta velocidad, eliminando la característica flotación del tren delantero que sufría este modelo.



Ilustración 3: "*Tiefensteuer*" de Karl Meier. Fuente: Kamei Automotive GMBH, s.f.³

En la década de los 60, el Mini será el vehículo que disparó la personalización, gozando de todo tipo de preparaciones. Algunos de estos cambios estaban más orientados a convertir los vehículos a un uso mixto, permitiéndoles participar en competiciones monomarca al tiempo que continuaban sirviendo como el utilitario que fue concebido, mientras que otros cambios se centraban solamente en el plano estético.



Ilustración 4: Mini Cooper S modificado según las tendencias de los años 60. Fuente: Lackey, 2020⁴.

Esta tendencia se extendió a lo largo de los 70 a las berlinas y utilitarios deportivos, ganando poco a poco popularidad y aceptación. En algunos países, véase Japón, en esta época las modificaciones empezaron a diferenciarse más claramente. El *Boso-zoku*, uno de los primeros estilos adoptados e iniciado con las motocicletas, se dividió en subgrupos como en el caso del *Shakotan*. Esta tendencia hacia la clasificación de los vehículos según las características estéticas de las modificaciones se extendió mundialmente, y es algo que aún hoy sigue manteniéndose y renovándose.



Ilustración 5: Celica TA22 estilo Shakotan, popular en Japón en los 70 y 80. Fuente: Staryjaponiec, 2014⁵.

La creciente tendencia de las modificaciones continuó a lo largo de la década de los 80 y los 90. Tal aumento de popularidad estuvo respaldado por el surgimiento de toda una industria detrás de las modificaciones; empresas dedicadas a desarrollar desde suspensiones hasta frenos, pasando por asientos o aditamentos estéticos con mayor o menor funcionalidad, elementos que en definitiva conseguían diferenciar al vehículo del resto.



Ilustración 6: Honda Civic de cuarta generación, ejemplo de las modificaciones de los años 90. Fuente: Amuse, 2018⁶.

Con la llegada del nuevo milenio, esta tendencia ascendente se volvió demasiado extrema, concretamente en España este fenómeno se vio influenciado positivamente por la época de bonanza económica. La magnitud de las inversiones se disparó hasta extremos nunca vistos, haciendo que algunos vehículos fueran prácticamente inutilizables en la vía pública y, lo que es peor, sin garantía alguna de cumplimiento de las medidas mínimas de seguridad.



Ilustración 7: Ejemplo de las modificaciones llevadas a cabo en España durante la década del 2000. Fuente: García, 2016⁷.

En definitiva, las lagunas normativas provocaron que la legislación vigente en ese momento no contemplase este tipo de modificaciones. Es por ello por lo que nace el Real Decreto 866/2010 de 2 de julio, y que ha dado a los aficionados una década de modificaciones más racionales, y, sobre todo, más seguras para los ciudadanos. Dicho Real Decreto 866/2010 define una reforma en su artículo 3 de la siguiente forma:

*“Reforma de vehículo: Toda modificación, sustitución, actuación, incorporación o supresión efectuada en un vehículo después de su matriculación y en remolques ligeros después de ser autorizados a circular, que o bien cambia alguna de las características del mismo, o es susceptible de alterar los requisitos reglamentariamente aplicables contenidos en el Real Decreto 2028/1986, de 6 de junio. Este término incluye cualquier actuación” (p. 3)*⁸.

Es precisamente en este sentido en el que se enfoca el presente proyecto, asegurar el cumplimiento de dicha legislación en materia de reformas de vehículos. Estas reformas deben someterse a un procedimiento de homologación para poder circular por la vía pública sin la posibilidad de ser sancionados.

2.- Objeto.

El presente proyecto tiene como objeto la sustitución y reforma de algunas partes de un turismo M1, concretamente de un BMW 320-i (E30), para optimizar su funcionamiento de cara a una utilización mixta del vehículo; tanto para uso ocasional, como de cara a la participación en pruebas de regularidad organizadas para coches clásicos.

La idea se fundamenta en el aprovechamiento de la mecánica de un BMW M535-i (E28) cuya carrocería se encontraba muy deteriorada, el cual actuará como donante. Con este fin, se adaptará la misma a la carrocería del BMW 320-i (E30); vehículo que había sufrido importantes daños en su mecánica original. Asimismo, se añadirán algunas otras modificaciones con el fin de mejorar las características originales del modelo receptor.

Todo el proyecto se someterá a un exhaustivo proceso de restauración, limpiando, saneando y pintando todos los elementos mecánicos, así como la instalación eléctrica y carrocería, con el fin de conseguir un vehículo de buena calidad, en buen estado de conservación y que goce de unas características mecánicas y dinámicas mejoradas.

La motivación inicial del propietario, promotor de esta modificación, se ve incrementada por la circunstancia de que este proyecto constituya la base y fundamento del trabajo de fin de grado, para el grado en Ingeniería Mecánica, realizado por su hijo.

A lo largo del proyecto se describirán de forma detallada los procedimientos, requisitos y criterios que será necesario cumplir a la hora de realizar estas reformas para satisfacer con la demanda del solicitante y, al mismo tiempo, asegurar que se satisfacen los criterios recogidos en el Manual de Reformas de Vehículos. Este manual, redactado por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo en respuesta al Real Decreto 866/2010, responsable de regular la forma en la que se tramitan las reformas de vehículos y de unificar los criterios legislativos nacionales con los europeos (Ministerio de industria, comercio y turismo, 2020)⁹.

En definitiva, una vez ejecutado el presente proyecto, y obtenidos los certificados de conformidad necesarios emitidos por un laboratorio competente, el propietario podrá acudir a cualquier estación ITV para pasar la Inspección Técnica de Vehículos, donde se comprobará que el vehículo cumple la reglamentación vigente. Una vez superada, quedarán homologadas las reformas realizadas, obteniendo las autorizaciones necesarias para circular por la vía pública.

3-. Alcance.

A lo largo de este trabajo de fin de grado se realizará un estudio sobre las modificaciones ejecutadas en un BMW 320-i (E30). Concretando más en profundidad, estas modificaciones consisten en:

- Instalación de Motor BMW 34-6E-B y caja de cambios, procedentes de BMW M535-i (E28).
- Grupo cónico diferencial 3.73 con autoblocante procedente de BMW (E30).
- Árbol de transmisión procedente de BMW M3 (E30).
- Pinzas de frenos y discos de freno procedentes de BMW M3 (E30).
- Incremento del ancho de vías delantero y trasero al instalar brazos de suspensión y semiejes de BMW M3 (E30).
- Ensanche de carrocería acorde al nuevo ancho de vías.
- Instalación de media jaula antivuelco y eliminación de las plazas traseras.
- Instalación de muelles BMW M3 (E30).
- Instalación de barras estabilizadoras procedentes de BMW M3 (E30).
- Instalación de alerón en la parte trasera procedente de BMW M535-i (E28).
- Instalación de batería en el maletero.
- Instalación de cremallera de dirección de BMW M3 (E30).

En la realización de este proyecto se realizarán los pertinentes cálculos para demostrar que los componentes instalados en el BMW 320-i (E30) cumplen con las condiciones determinadas por la normativa vigente y que, cuando sea necesario, exceden las características de los componentes instalados originalmente. Todos estos cálculos se han realizado comparando las características que tenían en un principio con las nuevas.

Al margen de los cálculos realizados, algunas reformas requerirán de la realización de ensayos para comprobar y acreditar su conformidad de cara a la emisión de un certificado de conformidad, estas pruebas siempre serán realizadas a juicio del laboratorio pertinente, y en el caso particular que nos incumbe se reducirían a un ensayo de frenada que se realizaría según el Reglamento 13-H.

Una vez realizados los cálculos y analizados los resultados, se podrá determinar la viabilidad del vehículo para circular por la vía pública de acuerdo con la normativa vigente.

4.- Memoria.

4.1.- Identificación del vehículo.

Los datos del vehículo al cual se van a realizar las reformas de importancia son:

MARCA	BMW
TIPO	E30
VARIANTE	--
DENOMINACIÓN COMERCIAL	320-i
NÚMERO DE BASTIDOR	WBAAA310409773015
MATRÍCULA	TF-2470-X
CONTRASEÑA DE HOMOLOGACIÓN	B-0935
FECHA DE PRIMERA MATRICULACIÓN	19 – Septiembre - 1986

Tabla 1: Fuente: Ficha técnica del vehículo ([Anexo 1](#)).

4.2.- Antecedentes.

El presente proyecto pretende la regulación de la situación administrativa conforme a la actual legislación. Para ello se solicita la aprobación de los organismos competentes; concretamente por parte de los Servicios técnicos de Industria pertenecientes a la Comunidad Autónoma, en la que se vaya a realizar la legalización de las reformas que, según la normativa regulada por los Actos Reglamentarios recogidos en el Real Decreto 866/2010, de 2 de julio (reflejados en el Manual de Reformas de Importancia en Vehículos), y por el Real Decreto 750/2010, de 4 de junio (Homologación de vehículos).

- **2.1 Modificación de las características o sustitución de los elementos del sistema de admisión de comburente.** Se sustituye la admisión de comburente por la del motor donante (BMW M535i E28).

Sistema afectado	Acto Reglamentario
Nivel sonoro admisible	70/157/CEE
Emisiones	70/220/CEE
Salientes exteriores	74/483/CEE
Campo de visión delantera	77/649/CEE

Tabla 2: Fuente: Ministerio de industria, comercio y turismo, 2020⁹.

- **2.3 Modificación o sustitución de la unidad motriz por otra de distintas características.** Instalación de Motor BMW 34-6E-B y caja de cambios, procedentes del vehículo donante (BMW M535i E28).

Sistema afectado	Acto Reglamentario
Nivel sonoro admisible	70/157/CEE
Emisiones	70/220/CEE
Depósitos de combustible	70/221/CEE
Frenado	71/320/CEE
Parásitos radioeléctricos (compatibilidad electromagnética)	72/245/CEE
Neumáticos	92/23/CEE
Masas y dimensiones (automóviles)	92/21/CEE

Tabla 3: Fuente: Ministerio de industria, comercio y turismo, 2020⁹.

- **2.6 Modificación o sustitución de las características del sistema de escape: disposición, volumen total, silenciadores, catalizador, tramo de salida.** Sustitución del sistema de escape por la del motor donante.

Sistema afectado	Acto Reglamentario
Nivel sonoro admisible	70/157/CEE
Emisiones	70/220/CEE
Salientes exteriores	74/483/CEE
Silenciosos de recambio	96/20/CE
Catalizadores para recambio	98/77/CE

Tabla 4: Fuente: Ministerio de industria, comercio y turismo, 2020⁹.

- **2.9 Modificación de los sistemas o de la programación de los mismos que puedan variar la potencia máxima.** Incremento de potencia debido al cambio de unidad motriz, además de la instalación de la unidad de control del motor (ECU) del vehículo donante (BMW M535i E28).

Sistema afectado	Acto Reglamentario
Nivel sonoro admisible	70/157/CEE
Emisiones	70/220/CEE
Parásitos radioeléctricos (compatibilidad electromagnética)	72/245/CEE
Potencia del motor	80/1269/CEE

Tabla 5: Fuente: Ministerio de industria, comercio y turismo, 2020⁹.

- **3.3 Modificación de la caja de cambios o sustitución por otra de distintas características.** Debido a la sustitución de la unidad motriz, se debe instalar la caja de cambios del vehículo donante (BMW M535i E28).

Sistema afectado	Acto Reglamentario
Nivel sonoro admisible	70/157/CEE
Emisiones	70/220/CEE
Frenado	71/320/CEE
Velocímetro y marcha atrás	75/443/CEE
Masas y dimensiones (automóviles)	92/21/CEE
Neumáticos	92/23/CEE

Tabla 6: Fuente: Ministerio de industria, comercio y turismo, 2020⁹.

- **3.4 Modificaciones de las características o sustituciones de los elementos de transmisión por otros diferentes desde la salida de la caja de cambios hasta las ruedas.** Instalación de árbol de transmisión y semiejes procedentes de vehículo donante (BMW M3 E30). Instalación de grupo cónico diferencial BMW.

Sistema afectado	Acto Reglamentario
Nivel sonoro admisible	70/157/CEE
Emisiones	70/220/CEE
Frenado	71/320/CEE
Velocímetro y marcha atrás	75/443/CEE
Masas y dimensiones (automóviles)	92/21/CEE
Neumáticos	92/23/CEE

Tabla 7: Fuente: Ministerio de industria, comercio y turismo, 2020⁹.

- **4.1 Sustitución del eje por otro de distintas características o modificación de las características del mismo.** Instalación en ambos ejes de brazos de suspensión procedentes del vehículo donante (BMW M3 E30).

Sistema afectado	Acto Reglamentario
Nivel sonoro admisible	70/157/CEE
Depósitos de combustible	70/221/CEE

Dispositivos de protección trasera	70/221/CEE
Emplazamiento de la placa de matrícula posterior	70/222/CEE
Mecanismos de dirección	70/311/CEE
Cerraduras y bisagras de las puertas	70/387/CEE
Dispositivos de visión indirecta	2003/97/CE
Frenado	71/320/CEE
Velocímetro y marcha atrás	75/443/CEE
Instalación de los dispositivos de alumbrado y señalización luminosa	76/756/CEE
Guardabarros	78/549/CEE
Masas y dimensiones (automóviles)	92/21/CEE
Neumáticos	92/23/CEE
Protección de los peatones	2003/102/CE
Sistemas de protección delantera	2005/66/CE

Tabla 8: Fuente: Ministerio de industria, comercio y turismo, 2020⁹.

- **5.1 Modificación de las características del sistema de suspensión o de algunos de sus componentes elásticos.** Instalación de conjunto de muelle y amortiguador, así como de barras estabilizadoras procedentes de vehículo donante (BMW M3 E30).

Sistema afectado	Acto Reglamentario
Dispositivos de protección trasera	70/221/CEE
Emplazamiento de la placa de matrícula posterior	70/222/CEE
Dispositivos de visión indirecta	2003/97/CE
Frenado	71/320/CEE
Parásitos radioeléctricos (compatibilidad electromagnética)	72/245/CEE
Instalación de los dispositivos de alumbrado y señalización luminosa	76/756/CEE
Guardabarros	78/549/CEE
Masas y dimensiones (automóviles)	92/21/CEE
Dispositivos de acoplamiento	94/20/CE
Protección de los peatones	2003/102/CE
Sistemas de protección delantera	2005/66/CE

Tabla 9: Fuente: Ministerio de industria, comercio y turismo, 2020⁹.

- **6.1 Modificación del sistema de dirección.** Instalación de cremallera de dirección procedente de vehículo donante (BMW M3 E30).

Sistema afectado	Acto Reglamentario
Mecanismos de dirección	70/311/CEE
Parásitos radioeléctricos (compatibilidad electromagnética)	72/245/CEE

Tabla 10: Fuente: Ministerio de industria, comercio y turismo, 2020⁹.

- **7.1 Modificación de las características del sistema de frenado o de alguno de sus componentes.** Instalación de pinzas de freno y discos de freno procedentes de vehículo donante en ambos ejes (BMW M3 E30).

Sistema afectado	Acto Reglamentario
Mecanismos de dirección	70/311/CEE
Frenado	71/320/CEE

Parásitos radioeléctricos (compatibilidad electromagnética)	72/245/CEE
Acondicionamiento exterior	74/60/CEE

Tabla 11: Fuente: Ministerio de industria, comercio y turismo, 2020⁹.

- **8.1 Reducción de las plazas de asiento.** Eliminación de las plazas de asiento traseras.

Sistema afectado	Acto Reglamentario
Resistencia de los asientos	74/408/CEE
Anclajes de los cinturones de seguridad	76/115/CEE
Cinturones de seguridad y sistemas de retención	77/541/CEE
Masas y dimensiones (automóviles)	92/21/CEE

Tabla 12: Fuente: Ministerio de industria, comercio y turismo, 2020⁹.

- **8.33 Instalación o desinstalación de arco de seguridad interior contra vuelco.**

Instalación de un arco de seguridad en las plazas traseras.

Sistema afectado	Acto Reglamentario
Acondicionamiento interior	74/60/CEE
Masas y dimensiones (automóviles)	92/21/CEE

Tabla 13: Fuente: Ministerio de industria, comercio y turismo, 2020⁹.

- **8.51 Modificaciones que afecten a la carrocería del vehículo.** Ensanche de carrocería.

Sistema afectado	Acto Reglamentario
Dispositivos de protección trasera	70/221/CEE
Emplazamiento de la placa de matrícula posterior	70/222/CEE
Cerraduras y bisagras de las puertas salientes exteriores	70/387/CEE
Dispositivos de remolcado	74/483/CEE
Instalación de los dispositivos de alumbrado y señalización luminosa	77/389/CEE
Campo de visión delantera	76/756/CEE
Lava/limpiaparabrisas	77/649/CEE
Guardabarros	78/318/CEE
Masas y dimensiones (automóviles)	78/549/CEE
Cristales de seguridad	92/21/CEE
Colisión frontal	92/22/CEE
Colisión lateral	96/79/CE
Sistemas de protección delantera	96/27/CE
Protección de los peatones	2005/66/CE
	2003/102/CE

Tabla 14: Fuente: Ministerio de industria, comercio y turismo, 2020⁹.

- **8.52 Modificación, incorporación o desinstalación de elementos en el exterior del vehículo.** Instalación de alerón opcional (BMW M535i E28).

Sistema afectado	Acto Reglamentario
Dispositivos de protección trasera	70/221/CEE
Emplazamiento de la placa de matrícula posterior	70/222/CEE
Cerraduras y bisagras de las puertas salientes exteriores	70/387/CEE
	74/483/CEE

Parásitos electromagnéticos (compatibilidad electromagnética)	72/245/CEE
Instalación de los dispositivos de alumbrado y señalización luminosa	76/756/CEE
Dispositivos de remolcado	77/389/CEE
Campo de visión delantera	77/649/CEE
Lava/limpiaparabrisas	78/318/CEE
Guardabarros	78/549/CEE
Masas y dimensiones (automóviles)	92/21/CEE
Cristales de seguridad	92/22/CEE
Colisión frontal	96/79/CE
Colisión lateral	96/27/CE
Dispositivo de visión indirecta	2003/97/CE
Sistemas de protección delantera	2005/66/CE
Protección de los peatones	2003/102/CE

 Tabla 15: Fuente: Ministerio de industria, comercio y turismo, 2020⁹.

4.3.- Ficha técnica reducida del vehículo antes y después de la reforma.

	Características <u>antes</u> de la reforma	Características <u>después</u> de la reforma
IDENTIFICACIÓN		
Marca	BMW	--
Tipo	E30	--
Variante	320-i	--
Nº de bastidor	WBAAA310409773015	--
Matrícula	TF-2470-X	--
UNIDAD MOTRIZ		
Motor	Marca: BMW Cilindrada: 1990 cc Tipo: M20B25 Nº Cilindros: 6 Potencia (kw): 95 kW	Marca: BMW Cilindrada: 3430 cc Tipo: 34-6E-B Nº Cilindros: 6 Potencia (kw): 160 kW
TRANSMISIÓN		
Tipo:	Mecánica	--
Nº de relaciones:	5 + marcha atrás	--
Tipo:	Getrag 240	Getrag 265
MASAS Y DIMENSIONES		
Altura total (mm)	1389	1350
Anchura total (mm)	1645	1680
Longitud total (mm)	4325	--
Vía anterior (mm)	1407	1412
Vía posterior (mm)	1415	1424
Voladizo posterior (mm)	--	--

Distancia entre ejes (mm)	2563	--
MMA 1er eje (kg)	825*	790
MMA 2º eje (kg)	905*	865
Tara (kg)	1050	1138
CONSTRUCCIÓN GENERAL		
Neumáticos	4 – 185/60 HR14	4 – 215/40 R17
CARROCERÍA		
Nº de plazas	5	2

Tabla 16: Características del vehículo antes y después de la reforma. Fuente: elaboración propia a partir de las fichas técnicas de vehículo reformado y donantes, anexos 1, 2 y 3; *Eibach Suspension, 2013⁴⁰.

4.4.- Descripción de la reforma.

La reforma consiste en varios puntos bien diferenciados:

- Se sustituye el motor original por otro; reforma que conlleva la instalación de la caja de cambios del motor donante, así como el sistema de escape y el sistema de admisión de comburente. Para posibilitar la instalación del mencionado motor, se instala otro árbol de transmisión, otro grupo cónico diferencial y otros semiejes.
- Se modifica el sistema de frenos al instalar otras pinzas y discos de freno.
- Se sustituyen los brazos de suspensión por otros, aumentando el ancho de vías y reduciendo la influencia de esta reforma en la geometría de suspensión. La realización de esta reforma implica, además, que el ancho del vehículo varía.
- Se sustituye el conjunto de muelle y amortiguador en ambos ejes, así como las barras estabilizadoras.
- Se modifica el sistema de dirección instalando otra cremallera de dirección con desmultiplicación distinta.
- Se instala un alerón en la parte trasera del vehículo.
- Se suprimen las plazas traseras y se instala una estructura de seguridad antivuelco.

4.4.1.- Tipificación de las reformas.

La tipificación de las reformas se describe en el Manual de Reformas de Vehículos, elaborado por el Ministerio de Industria, y se regula mediante el RD 866/2010 de 2 de julio, teniendo la potestad de regular la tramitación de las reformas de vehículos (Ministerio de industria, comercio y turismo, 2020)⁹. Al mismo tiempo, se debe tener en consideración el Real Decreto 750/2010, de 4 de junio; el cual tiene la potestad de regular los procedimientos relativos a la homologación de vehículos a motor y sus sistemas, así como remolques y vehículos agrícolas (RD 750/2010, de 4 de junio)¹¹. Aquellas que afectan al vehículo que nos ocupa, y que se recogen literalmente en el mencionado Manual de Reformas, en su 6ª revisión, son:

- **2.1 Modificación de las características o sustitución de los elementos del sistema de admisión de comburente.**
- **2.3 Modificación o sustitución de la unidad motriz por otra de distintas características.**
- **2.6 Modificación o sustitución de las características del sistema de escape: disposición, volumen total, silenciadores, catalizador, tramo de salida.**

- **2.9 Modificación de los sistemas o de la programación de los mismos que puedan variar la potencia máxima.**
- **3.3 Modificación de la caja de cambios o sustitución por otra de distintas características.**
- **3.4 Modificaciones de las características o sustituciones de los elementos de transmisión por otros diferentes desde la salida de la caja de cambios hasta las ruedas.**
- **4.1 Sustitución del eje por otro de distintas características o modificación de las características del mismo.**
- **5.1 Modificación de las características del sistema de suspensión o de algunos de sus componentes elásticos.**
- **6.1 Modificación del sistema de dirección.**
- **7.1 Modificación de las características del sistema de frenado o de alguno de sus componentes.**
- **8.1 Reducción de las plazas de asiento.**
- **8.33 Instalación o desinstalación de arco de seguridad interior contra vuelco.**
- **8.51 Modificaciones que afecten a la carrocería del vehículo.**
- **8.52 Modificación, incorporación o desinstalación de elementos en el exterior del vehículo.**

(Ministerio de industria, comercio y turismo, 2020. pp. 25-155)⁹

4.4.2.- Breve descripción de los sistemas reformados

El motor es la máquina encargada de transformar el potencial energético que se encuentra en el combustible en movimiento aprovechable para mover el vehículo. Nos centraremos en el motor de combustión interna de 4 tiempos con inyección electrónica indirecta. En este, la alimentación de combustible se realiza gracias a la pulverización de este en el colector de admisión, donde se mezcla con el aire limpio (el comburente), obteniendo una mezcla homogénea optimizada para cumplir los requerimientos necesarios en cada momento. Esta mezcla entra en el cilindro a través de las válvulas, donde se comprime, se detona y finalmente se expulsa; completando así los 4 tiempos necesarios. El término 4 tiempos hace alusión a que, para realizar este ciclo, el pistón necesita completar dos veces el movimiento descendente y ascendente para completar un ciclo (Moreno, 1991)¹².

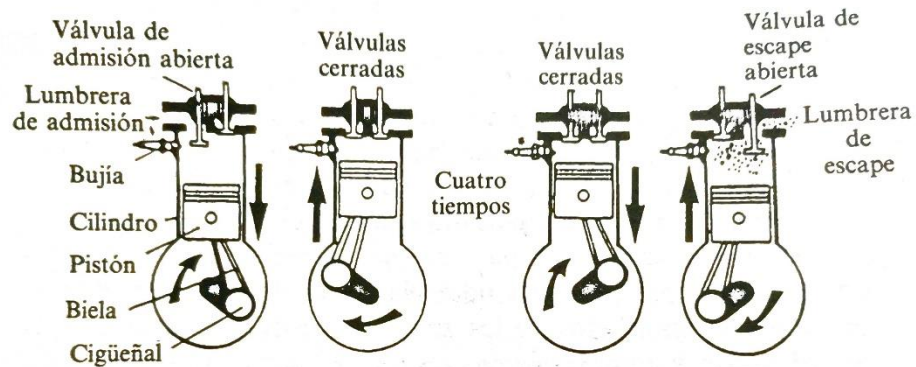


Ilustración 8: Representación de los 4 tiempos de un motor de combustión interna. Fuente: Moreno, 1991¹².

La caja de cambios es la parte del tren motriz formada por un conjunto de engranajes, de diferentes medidas, que es capaz de variar la velocidad de las ruedas para un mismo régimen de velocidad del motor. Esto permite adaptar la entrega de par y potencia del motor a la demanda, pudiendo afrontar una subida pronunciada a baja velocidad, pero con una entrega de potencia elevada, o alcanzar altas velocidades de cruce sin exponer al motor a un desgaste excesivo.

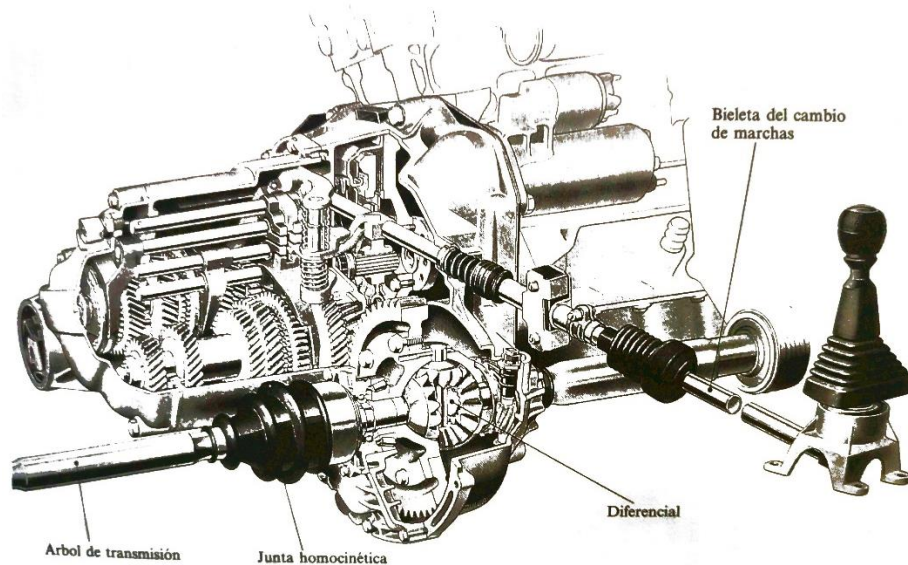


Ilustración 9: Representación de una caja de cambios y grupo cónico diferencial de un vehículo de tracción delantera. Fuente: Moreno, 1991¹².

En los vehículos con disposición frontal-trasera (motor situado en la parte delantera y eje motriz trasero), existen una serie de elementos encargados de transmitir el movimiento desde la salida de la caja de cambios hasta las propias ruedas. Estos elementos son el árbol de transmisión, el grupo cónico diferencial y los semiejes. El árbol de transmisión y los semiejes son elementos relativamente sencillos, sin embargo, el grupo cónico diferencial es el encargado, en última instancia, de transformar la velocidad angular de salida de la caja de cambios y adecuarla a la que deberían tener las ruedas y, al mismo tiempo, “está capacitado para equilibrar la diferencia de recorrido de las ruedas propulsoras, en cualquier circunstancia en que ellas precisen de una diferencia de velocidad” (Moreno, 1991. p.110-111)¹².

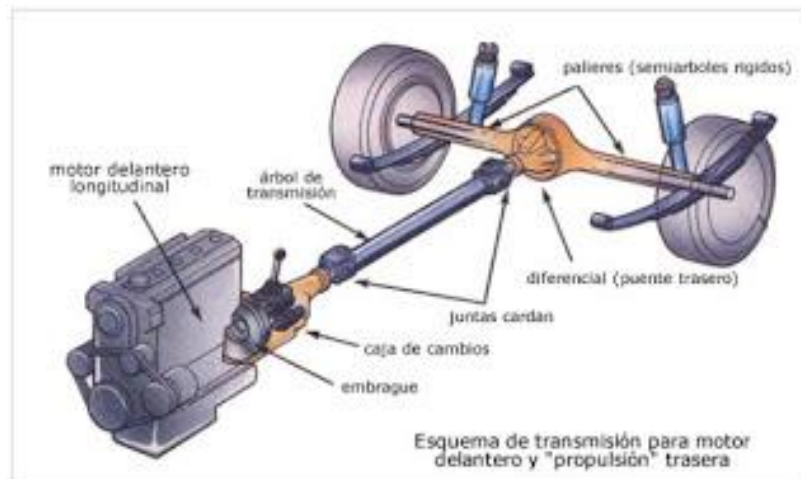


Ilustración 10: Esquema de transmisión de un vehículo de motor delantero y tracción trasera. Fuente: [2emvospeme, 2016¹³](#).

La dirección del vehículo está formada por un engranaje recto sobre cremallera. Es decir, “el volante mueve un semieje en cuyo extremo va un engranaje de dientes rectos y romboidales, que ataca sobre una cremallera provista de dientes del mismo paso, la cual es desplazada por el engranaje fijo, hacia uno u otro lado” (Moreno, 1991. p.115)¹², y finalmente transmiten el movimiento a las ruedas delanteras.

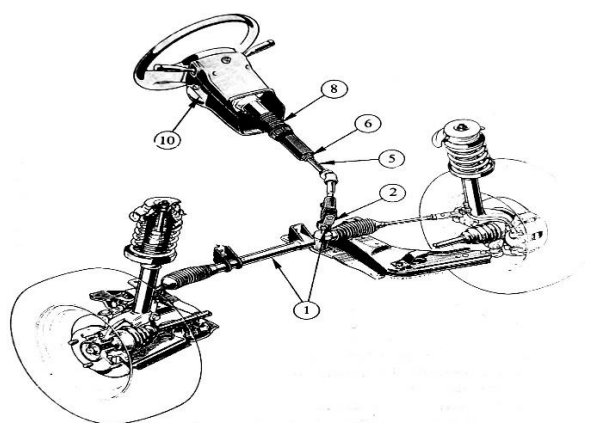


Ilustración 11: Representación del sistema de dirección de un vehículo. Fuente: [Moreno, 1991¹²](#).

La suspensión es la parte del vehículo que tiene la misión de mantener en contacto los neumáticos con la carretera, así como proporcionar a las personas un nivel de confort aceptable.

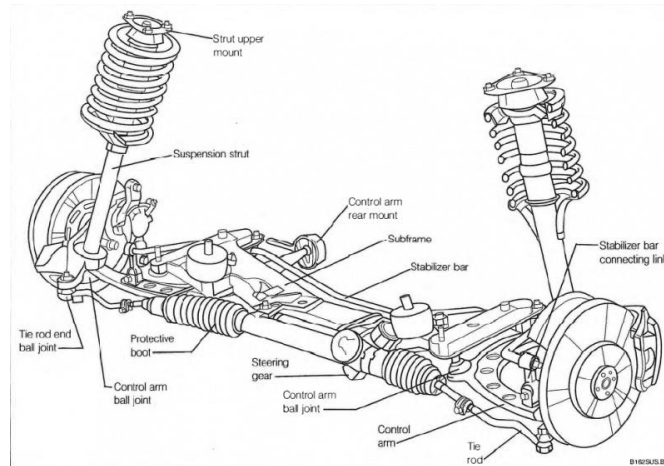


Ilustración 12: Suspensión delantera BMW E30. Fuente: E30 Zone Wiki, s.f.¹⁴

En el vehículo protagonista del presente trabajo este sistema está formado por conjuntos de amortiguadores hidráulicos de tipo botella acompañados de muelles helicoidales, dispuestos de forma telescópica en la parte delantera (sistema McPherson), y de forma independiente en la parte trasera, donde encontramos una geometría de brazos semi-arrastrados (Moreno, 1991)¹².

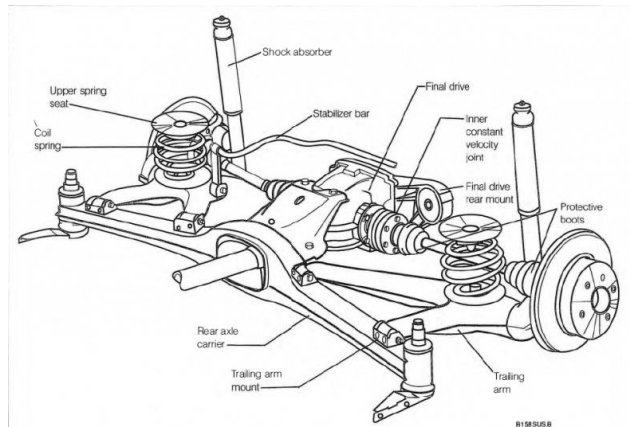


Ilustración 13: Esquema de suspensión trasera BMW E30. Fuente: E30 Zone Wiki, s.f.¹⁴

Finalmente, el sistema de frenos del vehículo es un sistema hidráulico que transmite la presión desde el cilindro maestro (o bomba hidráulica), que es accionado por el pedal de freno, hasta los actuadores situados en las pinzas de freno y que se presentan en forma de pistón. Este pistón traduce la presión a fuerza, que a su vez empuja la pastilla de freno contra el disco, provocando fricción y consiguiendo así reducir la velocidad del vehículo. Para finalizar, la válvula de reparto de frenado, o cilindro compensador de frenada, es el elemento que equilibra la diferencia de eficacia entre los discos según la capacidad de agarre del tren trasero. Esto se logra gracias a la distancia relativa del eje trasero a la carrocería del vehículo, es decir, en función de la carga efectiva sobre dicho eje tendremos un reparto u otro (Moreno, 1991)¹².

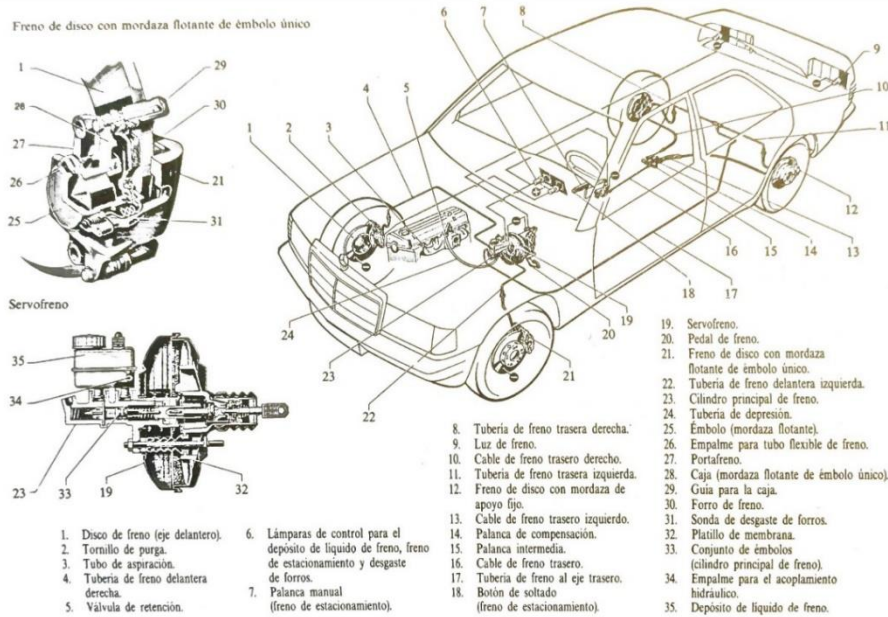


Ilustración 14: Representación del sistema de freno de un vehículo y de alguno de sus componentes. Fuente: Moreno, 1991¹².

4.4.3.- Variación y sustitución de elementos.

En este apartado se describen los sistemas del vehículo que se sustituyen por otros de diferentes características, respetando los anclajes y calidades de tornillería que por diseño dicta el fabricante como originales.

4.4.3.1.- Motor.

Se sustituye el motor original por otro de marca BMW, tipo 34-6E-B; motor de 6 cilindros en línea y 3430 cc de cilindrada, con 160kW de potencia real y una potencia fiscal de 21,64 CVF, procedente de un coche marca BMW, modelo M535i y tipo E28, con contraseña de homologación B – 0906.



Ilustración 15: Motor instalado en el vehículo en el desarrollo inicial del proyecto. Fuente: Elaboración propia.

4.4.3.2.- Caja de cambios.

Se sustituye la caja de cambios de origen y se instala la del vehículo donante; de Marca Getrag, tipo 265/5, procedente de un coche marca BMW, modelo M535i, tipo E28, con contraseña de homologación B – 0906. Esta reforma conlleva la necesidad de reajustar el velocímetro de acuerdo con la nueva relación de transmisión.



Ilustración 16: Caja de cambios procedente del vehículo donante. Fuente: Elaboración propia.

4.4.3.3.- Elementos de transmisión situados después de la caja de cambios.

Se sustituye el árbol de transmisión y los semiejes por los de otro vehículo donante, marca BMW, modelo M3, tipo E30, con contraseña de homologación B – 1293, y con referencia BMW – 26112226239. El grupo cónico diferencial procede del mismo donante, y tiene una relación final de 3.73:1.

Se sustituyen además los semiejes por los del vehículo donante, marca BMW, modelo M3, tipo E30, con contraseña de homologación B – 1293, y con referencia BMW – 33211226901.

4.4.3.3.- Elementos de dirección.

Se sustituye la cremallera original por otra procedente de un vehículo donante con una desmultiplicación menor, procedente de un vehículo marca BMW, modelo M3, tipo E30, con referencia BMW – 32132225556, obteniendo una dirección más rápida.

4.4.3.4.- Elementos del sistema de suspensión.

Se sustituye el conjunto de muelle y amortiguador en los ejes delantero y trasero por otros de nueva manufactura correspondientes a uno de los vehículos donantes, marca BMW, modelo M3, tipo E30, con contraseña de homologación B-1293 y referencias BMW – 31331130043 para los muelles delanteros y BMW – 33539061510 para los traseros. Mientras los amortiguadores proceden del mismo vehículo y tienen referencias BMW – 31322225397 para los delanteros y BMW – 33522225426 para los traseros.



Ilustración 17: Detalle del conjunto de muelle y amortiguador instalado. Fuente, elaboración propia.

4.4.3.4.1.- Materiales empleados.

A lo largo de este apartado se desmenuzan los distintos materiales de los que están compuestos todos los elementos que se han instalado.

Respecto a los amortiguadores, en la siguiente imagen se muestran las distintas partes del amortiguador tanto para un diseño twintube como para un diseño monotube. A pesar de las diferencias de diseño, los materiales empleados son similares.

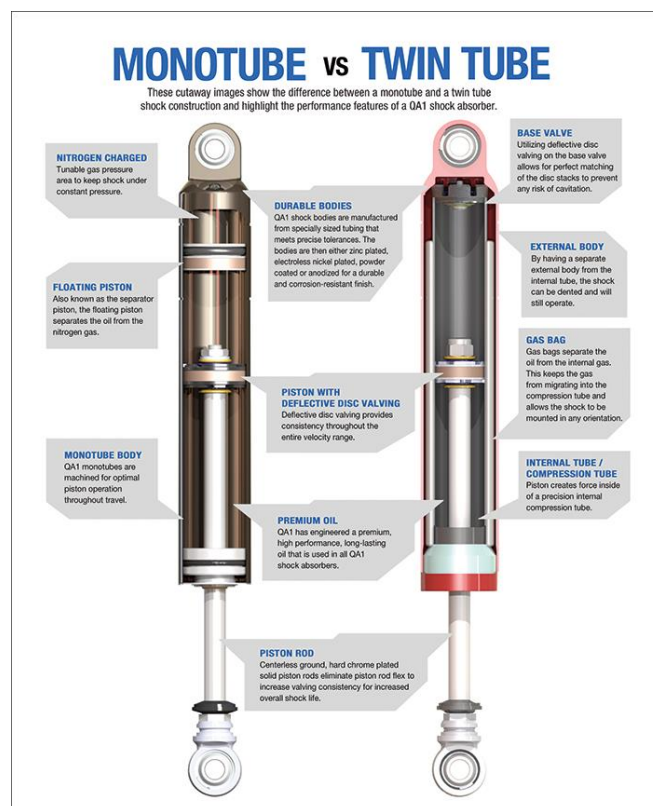


Ilustración 18: Las distintas partes de un amortiguador. Fuente: QA1 High Performance Suspension & Driveline, s.f.¹⁵

El vástago del amortiguador (piston rod) debe estar formado por un acero de alta resistencia endurecido que sea resistente a la

corrosión. El pistón es otro de los componentes fundamentales del amortiguador; está compuesto por un acero endurecido que permite alargar su vida útil. Finalmente, el cuerpo del amortiguador (body), es la parte encargada de mantener la presión; es por ello, que para cumplir las solicitudes se recurre a un acero endurecido, completamente mecanizado, dejando la parte inferior del cuerpo completamente tapada, esto permitirá soportar presiones internas del orden de los 1000 bares (Martande et al., 2013).

Por otro lado, según los datos facilitados por BMW, los muelles están compuestos de un acero EN 10270-2 FDSiCrV, cuyas propiedades mecánicas son las siguientes:

EN 10270-2 FD SiCr	
Resistencia mecánica (Rm)	204 Kg/mm ²
Resistencia práctica del acero a cizalladura (Rc)	1120 MPa
Resistencia elástica del acero (Re)	176 Kg/mm ²
Módulo elástico a cizalladura (G)	79500 MPa

Tabla 17: Propiedades mecánicas del acero que conforma los muelles. Fuente: Matmatch GmbH, s.f.¹⁶

4.4.3.5.- Elementos del sistema de frenado.

Se sustituyen las pinzas delanteras por otras con referencias BMW – 34112225403 para la pinza izquierda, y BMW – 34112225404 para la pinza derecha. Las pinzas traseras se reemplazan por otras con referencias BMW – 34211160353 para la pinza izquierda, y BMW – 34211160354 para la pinza derecha. Los discos de freno delanteros por otros ventilados de dimensiones 280x25 mm y los discos de freno traseros por otros macizos de dimensiones 282x12 mm, así como la válvula de compensación de frenado; todos elementos provenientes del vehículo donante marca BMW, modelo M3, tipo E30, con contraseña de homologación B – 1293.

4.4.3.6.- Modificación de las características de los ejes.

Se sustituyen los brazos de suspensión de los ejes delantero y trasero por otros provenientes del vehículo donante marca BMW, modelo M3, tipo E30, con contraseña de homologación B – 1293. Para el eje delantero, con referencias BMW – 31121127725 en el lado izquierdo y BMW – 31121127726 en el lado derecho; y para el eje trasero con referencias BMW – 33321137641 en el lado izquierdo y BMW – 33321137642 en el lado derecho. La instalación de estos elementos conlleva una variación del ancho de vías en ambos ejes, por lo que es necesario utilizar los semiejes del mismo vehículo donante con referencia BMW – 33211226901 en ambos lados.



Ilustración 19: Detalle de los brazos de suspensión traseros instalados. Fuente, elaboración propia.

4.4.3.7.- Modificación de la carrocería del vehículo

Se modifica la carrocería del vehículo dotándola de un ancho mayor; esta modificación que se realiza de forma artesanal sobre la carrocería original respetando los materiales de esta.



Ilustración 20: Detalle de la modificación realizada en la carrocería. Fuente, elaboración propia.

4.4.4.- Desmontajes de elementos realizados.

A lo largo de este apartado se describirán aquellos sistemas que se eliminan del vehículo.

4.4.4.1.- Desinstalación de los asientos traseros.

Se lleva a cabo la eliminación de las plazas de asiento traseras. Para ello se desinstalan los asientos traseros y sus respectivos cinturones de seguridad, así como todos los anclajes de ambos elementos. Tras esta modificación el vehículo dispondrá de 2 plazas en total.

4.4.5.- Montajes realizados.

A lo largo de este apartado se describen aquellos elementos instalados o modificados que se realizan en el vehículo.

4.4.5.1.- Elementos del sistema de suspensión.

Se sustituyen las barras estabilizadoras delantera y trasera del vehículo por las del vehículo donante, marca BMW, modelo M3, tipo E30, con contraseña de homologación B-1293, cuyo grosor es de 14,5 mm y referencia BMW – 33551129194 para la estabilizadora trasera, y 19 mm con referencia BMW – 31352225284 para la estabilizadora delantera.

4.4.5.2.- Elementos de la carrocería del vehículo.

Se instala un alerón en la parte trasera proveniente del vehículo donante marca BMW, modelo M535i, tipo E28, con contraseña de homologación B – 0906. El anclaje de este accesorio a la carrocería del vehículo (cuya referencia es BMW – 51711903898) se realiza mediante 4 tornillos M4 de calidad 4.8.

4.4.5.3.- Instalación de una estructura de seguridad antivuelco.

Se instala una estructura de seguridad en la parte trasera del habitáculo del vehículo. Esta estructura está formada por un tubo en forma de arco situado inmediatamente por detrás de los asientos delanteros; siendo reforzado con otros dos tubos soldados en posición diagonal que unen la parte superior del arco con la inferior en el lado opuesto. Desde la parte trasera del vehículo, sobre los pasos de rueda traseros, parten otros dos tubos que se unen nuevamente mediante soldadura al arco de seguridad. Asimismo, desde el paso de rueda trasero izquierdo, se conecta diagonalmente un tubo con el extremo superior derecho del arco.

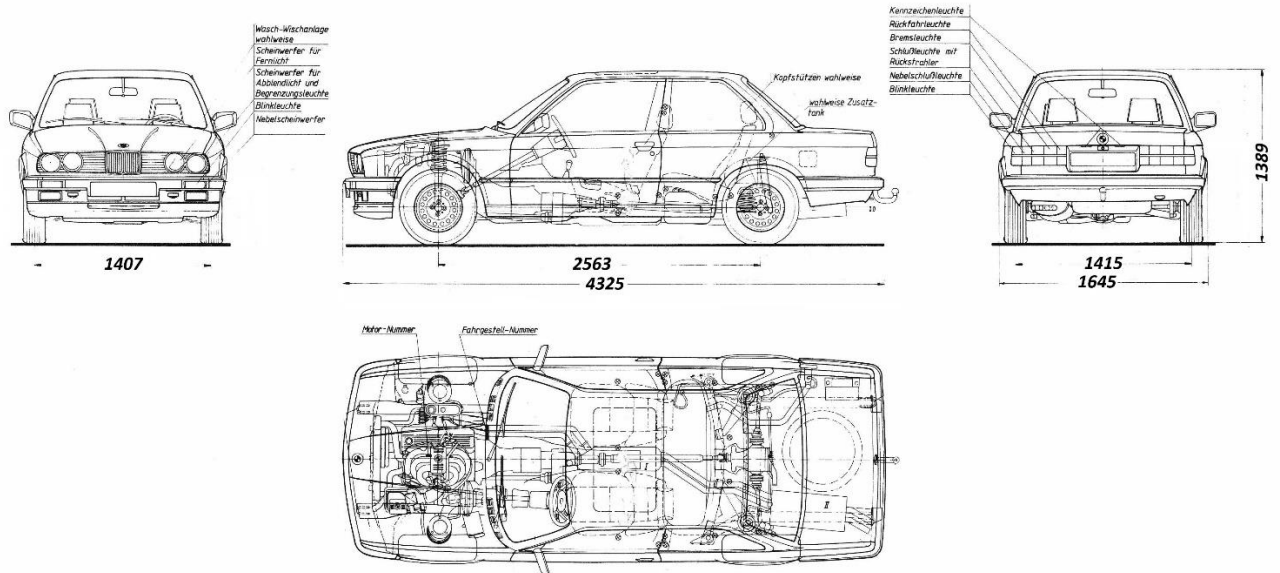


Ilustración 21: Detalle de la modificación realizada en la carrocería. Fuente, elaboración propia.

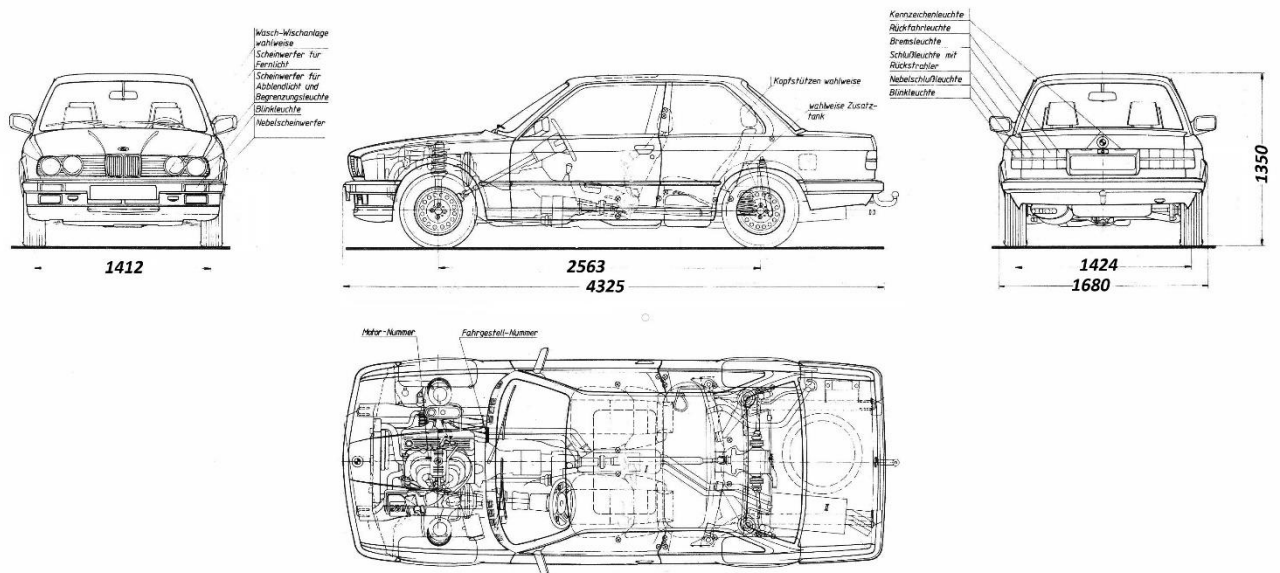
La construcción se realiza de manera artesanal utilizando acero al carbono AISI 4130; concretamente se empleó un perfil de 48 mm de diámetro y 3,5 mm de espesor de pared. El anclaje a la estructura principal del vehículo se realiza mediante 12 tornillos M8, con una calidad mínima de 12.9 y 3 tornillos en cada uno de los cuatro apoyos la estructura. Dichas medidas de anclaje y perfil estructural que cumplen con los requisitos mínimos dictados por la Federación internacional de Automovilismo (FIA) en su anexo J, y que, a pesar de no ser de obligado cumplimiento son un referente en la instalación de este tipo de elementos.

4.5.- Planos del vehículo.

4.5.1.- Plano de dimensiones del vehículo antes de la reforma.



4.5.2.- Plano de dimensiones del vehículo después de la reforma.



5.- Cálculos justificativos.

5.1.- Estudio de la distribución de cargas.

Como la distribución de cargas no varía de forma importante, se considera que no es necesario realizar un gráfico acotado donde se recoja la misma.

5.2.- Estudio de la dinámica longitudinal del vehículo y las reacciones en los ejes.

5.2.1.- Reparto de pesos y reacciones estáticas en los ejes.

En la siguiente figura se exponen las fuerzas que intervienen en la situación del vehículo en vacío y estático:

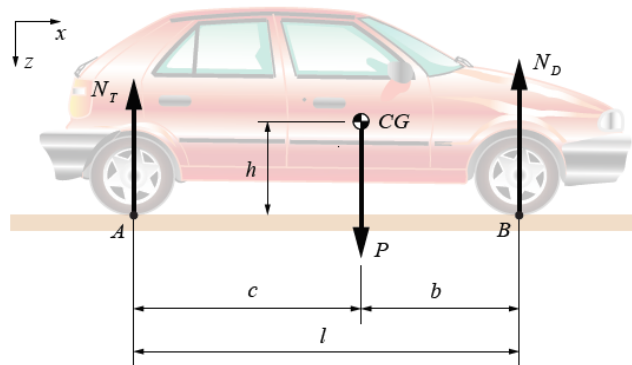


Ilustración 22: Esquema de cargas estáticas en el vehículo. Fuente: Alba y Maza, 2018.¹⁷

Para realizar el cálculo de la posición del centro de gravedad se realiza una medición del peso por ejes del vehículo, obteniéndose los siguientes resultados:

	Medición estática	Reparto de pesos	MMA	Sobrecarga
P	1138 kg	100%	1600 kg	71,13%
N_d	622,49 kg	54,7%	790 kg	78,80%
N_t	515,51 kg	45,3%	865 kg	59,60%

Tabla 18: Reacciones del eje delantero y trasero, y peso total del vehículo. Fuente: Elaboración propia.

Como estas cargas por sí mismas no superan los valores, **la situación estática del vehículo sería válida**. En este punto se va a calcular la posición del centro de gravedad, que será útil en futuros cálculos.

Tras realizar el equilibrio de momentos en los puntos A y B se obtendrían las distancias c y b mediante:

$$c = \frac{N_d \cdot l}{P} = \frac{622,49 \cdot 2563}{1138} = 1401,97 \text{ mm}$$

$$b = \frac{N_t \cdot l}{P} = \frac{515,51 \cdot 2563}{1138} = 1161,03 \text{ mm}$$

Donde l=2563 es la batalla del vehículo.

Además, la altura del centro de gravedad, **h**, después de realizar la reforma, está situada a 450 mm del suelo.

5.2.2.- Reparto de pesos y reacciones dinámicas en los ejes en aceleración sobre suelo horizontal.

A lo largo de este apartado se calcularán las reacciones en los ejes cuando el vehículo está acelerando y se compararán los valores con la masa máxima admisible (MMA) declarada por el fabricante para los dichos ejes. El valor de la aceleración se calculará un valor de aceleración basándonos en las prestaciones del vehículo, que es capaz de pasar de 0 a 100 km/h en 6.4 segundos.

Como 100 km/h equivale a 27,78 m/s, la aceleración resultante será:

$$v = v_0 + a \cdot t \rightarrow 27,78 = 0 + a \cdot 6,5$$

$$a = \frac{27,78}{6,5} = 4,27 \text{ m/s}^2$$

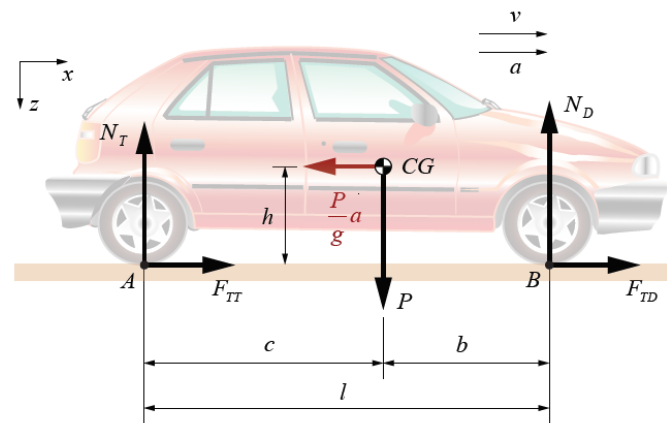


Ilustración 23: Esquema de cargas dinámicas en aceleración en el vehículo. Fuente: Alba y Maza, 2018. [17](#)

En función de los datos conocidos de geometrías y la aceleración calculada se pueden obtener las reacciones en los ejes delantero y trasero en aceleración, mediante el sumatorio de momentos en los puntos A y B, resultando de la siguiente forma:

$$N_t = \frac{P \cdot b}{l} + \frac{P}{g} \cdot a \cdot \frac{h}{l} = \frac{1138 \cdot 1161,03}{2563} + \frac{1138}{9,81} \cdot 4,27 \cdot \frac{450}{2563} = 602,48 \text{ kgf}$$

$$N_d = \frac{P \cdot c}{l} - \frac{P}{g} \cdot a \cdot \frac{h}{l} = \frac{1138 \cdot 1401,97}{2563} - \frac{1138}{9,81} \cdot 4,27 \cdot \frac{450}{2563} = 535,52 \text{ kgf}$$

En la siguiente tabla se recoge un resumen de los resultados:

	Medición aceleración	Reparto de pesos	MMA	Sobrecarga
P	1138 kg	100%	1600 kg	71,13%
Nd	535,52 kg	52,94%	790 kg	67,79%
Nt	602,48 kg	47,06%	865 kg	69,65%

Tabla 19: Reacciones en los ejes en situación de aceleración. Fuente: Elaboración propia.

Por tanto, se puede concluir que en las circunstancias descritas de aceleración máxima descrita **no se excede la MMA en ninguno de los ejes** y, por tanto **la situación del vehículo tras la reforma se considera apta**.

5.2.3.- Reparto de pesos y reacciones en los ejes en frenado sobre suelo horizontal.

En este apartado se obtendrán las reacciones en los ejes delantero y trasero cuando el vehículo, en vacío, está frenando.

Basándonos en las curvas de equiaderencia e isodeceleración, calculadas en el [anexo 5](#) para un coeficiente de fricción de $\mu=0,8$, se obtienen los siguientes resultados para la fuerza máxima con el vehículo en vacío en los ejes delantero y trasero:

$$F_{dm} = 6139,72 \text{ N} = 625,86 \text{ kgf}$$

$$F_{tm} = 2791,30 \text{ N} = 284,54 \text{ kgf}$$

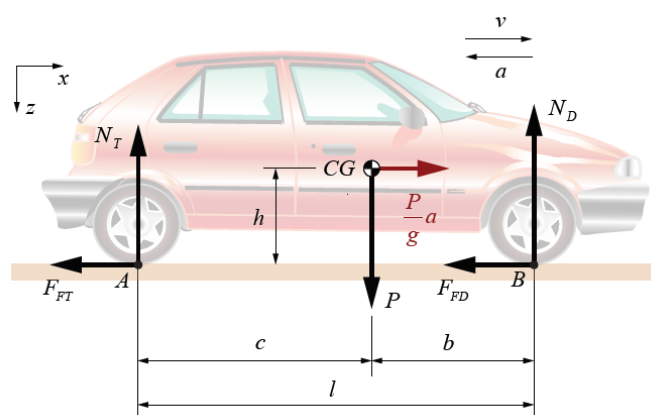


Ilustración 24: Esquema de cargas dinámicas en frenada en el vehículo. Fuente: Alba y Maza, 2018. [12](#)

En función de los datos conocidos de fuerzas de frenado máximas y geometrías se pueden obtener las reacciones en los ejes delantero y trasero de la siguiente forma:

$$N_t = \frac{P \cdot b}{l} + (F_{dm} + F_{tm}) \cdot \frac{h}{l} = \frac{1138 \cdot 1161,03}{2563} - (625,86 + 284,54) \cdot \frac{450}{2563} = 355,67 \text{ kgf}$$

$$N_d = \frac{P \cdot c}{l} - (F_{dm} + F_{tm}) \cdot \frac{h}{l} = \frac{1138 \cdot 1401,97}{2563} + (625,86 + 284,54) \cdot \frac{450}{2563} = 782,33 \text{ kgf}$$

En la siguiente tabla se recoge un resumen de los resultados:

	Medición frenado	Reparto de pesos	MMA	Sobrecarga
P	1138 kg	100%	1600 kg	71,13%
Nd	782,33 kg	68,75%	790 kg	99,03%
Nt	355,67 kg	31,25%	865 kg	41,12%

Tabla 20: Reacciones en los ejes en situación de frenada. Fuente: Elaboración propia.

Con resultados, se puede concluir que en las circunstancias descritas de frenada máxima en la situación descrita **no se excede la MMA en ninguno de los ejes y, por tanto la situación del vehículo tras la reforma se considera apta.**

5.2.4.- Reacciones en los ejes con el vehículo cargado.

A consecuencia de la supresión de las 3 plazas traseras y de la instalación de una jaula antivuelco, las cargas que se debe tener en cuenta a la hora de calcular las reacciones en los ejes se ven modificadas. Se tiene en cuenta el valor de la carga $P1=150\text{kg}$ asociada a los dos pasajeros delanteros de 75 kg, y un valor estimado de carga $PC=250\text{ kg}$, en el que se incluiría la capacidad de carga disponible en el maletero y el peso de la estructura de seguridad antivuelco.

El reparto de pesos en vacío para la situación estática, calculado previamente, se recoge en la siguiente tabla:

	Eje delantero	Eje trasero	Total
Reacción	622,49	515,51	1138
Reparto de peso	54,7%	45,3%	100%

Tabla 21: Reparto de pesos y reacciones del vehículo en vacío. Fuente: Elaboración propia.

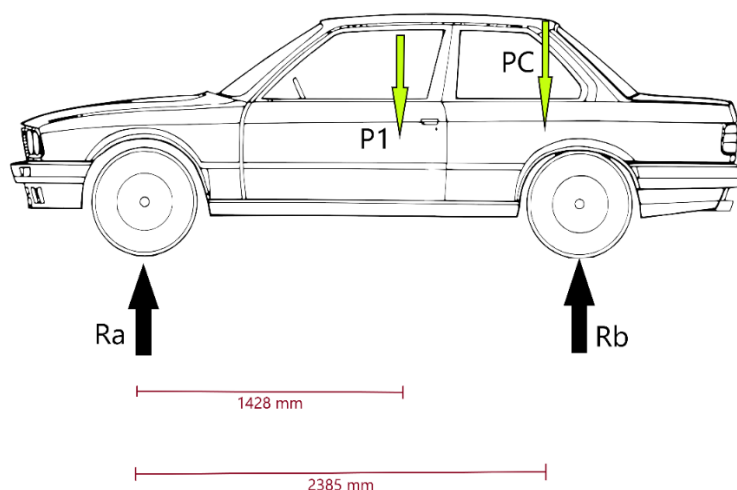


Ilustración 25: Detalle de cargas y reacciones por ejes.

Dado que la distancia entre ejes no varía (2563 mm), el cálculo de las reacciones en los ejes quedaría:

Equilibrio de momentos para la carga P1:

$$R_b = \frac{P1 \cdot 1428}{2563} = \frac{150 \cdot 1428}{2563} = 83,57 \text{ kg}$$

$$R_a = \frac{P1 \cdot (2563 - 1428)}{2563} = \frac{150 \cdot (2563 - 1428)}{2563} = 66,43 \text{ kg}$$

Equilibrio de momentos para la carga PC:

$$R_b = \frac{PC \cdot 2385}{2563} = \frac{250 \cdot 2385}{2563} = 232,64 \text{ kg}$$

$$R_a = \frac{PC \cdot (2563 - 2385)}{2563} = \frac{250 \cdot (2563 - 2385)}{2563} = 17,36 \text{ kg}$$

Una vez calculadas las reacciones debidas a las cargas PC y P1, se recogen en la siguiente tabla los resultados obtenidos.

(Kg)	Plazas	Primer eje (Ra)	Segundo eje (Rb)	TOTAL
TARA	-	622,49	515,51	1138
Pasajeros (P1)	2	66,43	83,57	150
Carga (PC)	-	17,36	232,64	250
Total	2	706,28	831,72	1538
M.M.A.	-	790	865	1600
Sobrecarga	-	89,40%	96,15%	96,12%
Porcentaje	-	45,92%	54,08%	100%

Tabla 22: Resumen de las reacciones en el vehículo por eje. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de la tabla llevan a la conclusión de que **las reacciones resultantes no exceden las M.M.A. en ninguno de los dos ejes**, por lo que se considera que la situación del vehículo tras la reforma **es apta**.

5.3.- Estudio sobre la maniobrabilidad del vehículo transformado, incluyendo el radio de giro.

Se sustituye la cremallera de dirección por una más rápida, siendo la única diferencia entre ellas el piñón de ataque, que cambia la relación de transmisión.

	Relación piñón-cremallera	Vueltas de volante entre topes
Antes de la reforma	20.5:1	4
Después de la reforma	19.6:1	3,5

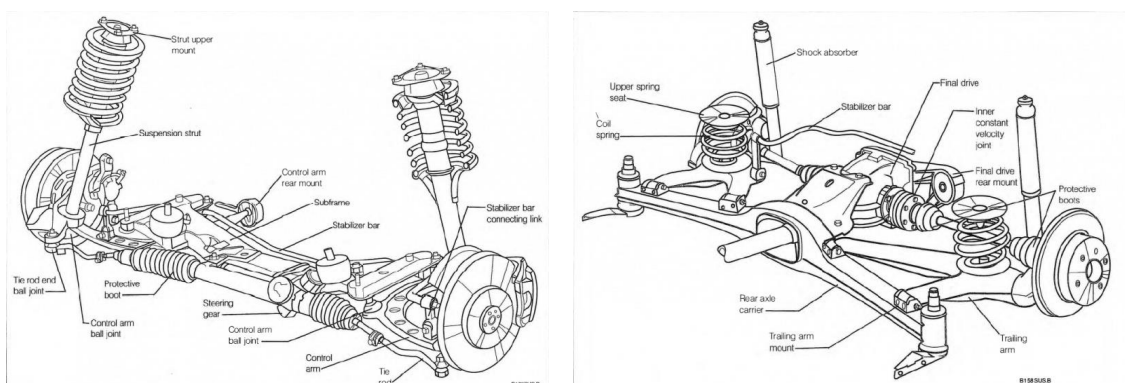
Tabla 23: Detalles técnicos de la cremallera de dirección. Fuente: Elaboración propia.

Dado que el ángulo de giro máximo de las ruedas y la distancia entre ejes del vehículo son exactamente iguales antes y después de la reforma, **no existe variación alguna en el recorrido de dirección y**, por tanto, **tampoco en la maniobrabilidad del vehículo transformado** pues el radio de giro permanece invariable, manteniendo un valor de 5,5 m, ajustándose a la normativa UNE 26-192-87.

5.4.- Estudio sobre los nuevos componentes del sistema de suspensión.

5.4.1.- Muelles

Para afrontar el cálculo de la resistencia de los muelles, se debe tener en cuenta que a pesar de que en realidad los amortiguadores y las barras estabilizadoras contribuyen levemente, debemos suponer que los muelles son el único elemento responsable de la sustentación del vehículo a estudiar, despreciando el efecto de los demás componentes. Se analizará el caso tanto de los muelles delanteros como de los traseros, puesto que sus solicitaciones son sensiblemente diferentes.



Ilustraciones 12 y 26 respectivamente: Esquema de suspensión delantera y trasera BMW E30. Fuente: E30 Zone Wiki, s.f.¹⁴

Características del material de los muelles.

EN 10270-2 FD SiCr	
Resistencia mecánica (Rm)	204 Kg/mm ²
Resistencia práctica del acero a cizalladura (Rc)	1120 MPa
Resistencia elástica del acero (Re)	176 Kg/mm ²
Módulo elástico a cizalladura (G)	79500 MPa

Tabla 24: Propiedades mecánicas del acero que conforma los muelles. Fuente: (Matmatch GmbH, s.f.).¹⁶

Características de los muelles delanteros: BMW – 31331130043.

Diámetro medio	Dm (mm)	133
Diámetro de la espira	De (mm)	13
Número de espiras	N	5
Número de espiras activas	Na	3,5
Longitud máxima	Lmax (mm)	280
Diámetro exterior	Do	146
Diámetro interior	Di (mm)	120
Relación diámetro exterior/interior	K	1,22
Constante de rigidez	R (kg/mm)	1,6
M.M.A. del eje delantero	MMA 1 ^{er} (kg)	790

Tabla 25: Características de los muelles delanteros. Fuente: Elaboración propia.

Características de los muelles traseros: BMW – 33539061510.

Diámetro medio	Dm (mm)	121
Diámetro de la espira	De (mm)	14
Número de espiras	N	4
Número de espiras activas	Na	2,5
Longitud máxima	Lmax (mm)	190
Diámetro exterior	Do	135
Diámetro interior	Di (mm)	107
Relación diámetro exterior/interior	K	1,26
Constante de rigidez	R (kg/mm)	2,1
M.M.A. del eje delantero	MMA 1 ^{er} (kg)	790

Tabla 26: Características de los muelles traseros. Fuente: Elaboración propia.

5.4.1.1.- Cálculo del Máximo Esfuerzo a compresión.

El valor correspondiente al máximo esfuerzo que es capaz de soportar el muelle trabajando a compresión pura, expresado en Kg, viene dado por:

$$V_{max} = \frac{\pi \cdot (De)^3 \cdot R_C}{8 \cdot D_m};$$

Valor de la carga máxima total de cortadura que es capaz de soportar el muelle trabajando a compresión y a tracción. Este valor, si queremos que cumpla con las especificaciones requeridas, tiene que ser menor que la MMA del eje estudiado. Quedando por tanto el coeficiente de seguridad (C.S.) como:

$$C.S. = \frac{V_{max} \cdot 2}{MMA};$$

Aplicamos ahora los cálculos al eje delantero:

$$V_{max} = \frac{\pi \cdot (De)^3 \cdot R_C}{8 \cdot D_m} = \frac{\pi \cdot (13)^3 \cdot 1120/9,81}{8 \cdot 133} = 740,61 \text{ kg};$$

$$C.S. = \frac{V_{max} \cdot 2}{MMA_1} = \frac{740,61 \cdot 2}{790} = 1,875 \geq 1 \rightarrow \text{Es válido}$$

Aplicamos ahora los cálculos al eje trasero:

$$V_{max} = \frac{\pi \cdot (De)^3 \cdot R_C}{8 \cdot D_m} = \frac{\pi \cdot (14)^3 \cdot 1120/9,81}{8 \cdot 121} = 1016,7 \text{ kg};$$

$$C.S. = \frac{V_{max} \cdot 2}{MMA_2} = \frac{1016,7 \cdot 2}{865} = 2,35 \geq 1 \rightarrow \text{Es válido}$$

5.4.1.2.- Cálculo de la carga máxima en función de la flecha.

Antes de afrontar el cálculo de la carga máxima en función de la flecha debemos hallar el valor de la flecha del resorte, y también el valor de la longitud mínima del muelle.

La longitud mínima del muelle es:

$$L_{min} = De \cdot N;$$

A su vez, la flecha viene dada por:

$$F = L_{max} - L_{min} = L_{max} - (De \cdot N);$$

Finalmente, obtendremos el valor de la carga máxima en función de la flecha, es decir, la carga necesaria para agotar la flecha, consumir el recorrido disponible del muelle.

$$Q = \frac{F \cdot G \cdot (De)^4 \cdot R_C}{64 \cdot Na \cdot (Dm/2)^3};$$

Es relevante tener en cuenta que el análisis de cara al coeficiente de seguridad tiene en cuenta la carga aplicada a todo el eje, por lo que debemos multiplicar por 2 el valor obtenido para la carga máxima en función de la flecha y dividirlo entre la M.M.A.:

$$C.S. = \frac{2 \cdot Q}{MMA};$$

Aplicamos ahora los cálculos al eje delantero:

$$F = L_{max} - L_{min} = L_{max} - (De \cdot N) = 280 - (13 \cdot 5) = 215 \text{ mm};$$

$$Q = \frac{F \cdot G \cdot (De)^4}{64 \cdot Na \cdot \left(\frac{Dm}{2}\right)^3} = \frac{215 \cdot 79500 / 9,81 \cdot (13)^4}{64 \cdot 3,5 \cdot \left(\frac{133}{2}\right)^3} = 755,43 \text{ kg};$$

$$C.S. = \frac{2 \cdot Q}{MMA_1} = \frac{2 \cdot 755,43}{790} = 1,91 \geq 1 \rightarrow \text{Es válido}$$

Aplicamos ahora los cálculos al eje trasero:

$$F = L_{max} - L_{min} = L_{max} - (De \cdot N) = 190 - (14 \cdot 4) = 134 \text{ mm};$$

$$Q = \frac{F \cdot G \cdot (De)^4 \cdot R_C}{64 \cdot Na \cdot \left(\frac{Dm}{2}\right)^3} = \frac{134 \cdot 79500 / 9,81 \cdot (14)^4}{64 \cdot 2,5 \cdot \left(\frac{121}{2}\right)^3} = 1177,4 \text{ kg};$$

$$C.S. = \frac{2 \cdot 1177,4}{865} = 2,72 \geq 1 \rightarrow \text{Es válido}$$

5.4.1.3.- Cálculo de torsión provocada por las cargas oscilantes.

El valor de la torsión debida a las cargas oscilantes viene dado por:

$$T = \frac{8 \cdot K \cdot Dm \cdot MMA}{\pi \cdot (De)^3 \cdot 2};$$

Y el valor del coeficiente de seguridad (C.S.) viene dado por el cociente entre la resistencia práctica del acero a cizalladura (R_C) y la torsión que provocan las cargas oscilantes (T):

$$C.S. = \frac{R_C}{T};$$

Aplicamos ahora los cálculos al eje delantero:

$$T = \frac{8 \cdot K \cdot Dm \cdot MMA}{\pi \cdot (De)^3 \cdot 2} = \frac{8 \cdot 1,6 \cdot 133 \cdot 790}{\pi \cdot (13)^3 \cdot 2} = 97,43 \text{ kg/mm}^2$$

$$C.S. = \frac{R_C}{T} = \frac{1120/9,81}{97,43} = 1,17 \geq 1 \rightarrow \text{Es válido}$$

Aplicamos ahora los cálculos al eje trasero:

$$T = \frac{8 \cdot K \cdot Dm \cdot MMA}{\pi \cdot (De)^3 \cdot 2} = \frac{8 \cdot 2,1 \cdot 121 \cdot 865}{\pi \cdot (14)^3 \cdot 2} = 101,99 \text{ kg/mm}^2$$

$$C.S. = \frac{R_C}{T} = \frac{1120/9,81}{101,99} = 1,12 \geq 1 \rightarrow \text{Es válido}$$

5.4.1.4.- Conclusiones.

En definitiva, como los muelles cumplen los cálculos para el máximo esfuerzo a compresión, como para la carga máxima en función de la flecha y para torsión provocada por las masas oscilantes, **se concluye que los muelles son aptos para el montaje en el vehículo.**

	EJE DELANTERO	EJE TRASERO
Máximo esfuerzo a compresión		
V. Max (kg)	740,61	1016,7
C.S.	1,875	2,35
Carga máxima en función de la flecha		
F (mm)	215	134
Q (kg)	755,43	1177,4
C.S.	1,91	2,72
Torsión debida a cargas oscilantes.		
T (kg/mm²)	97,43	101,99
C.S.	1,17	1,12

Tabla 27: Resultados obtenidos en el cálculo de los muelles. Fuente: Elaboración propia.

5.4.3.- Amortiguadores:

Para comprobar la validez de los amortiguadores instalados, se deben realizar los cálculos pertinentes que aseguren que las características de amortiguamiento permanecen intactas. Para ello analizaremos el coeficiente de amortiguamiento crítico.

5.4.3.1.- Coeficiente de amortiguamiento crítico.

Para calcular el amortiguamiento crítico se deben conocer las masas suspendidas y no suspendidas, así como la rigidez del muelle (R). En este sentido, cabe destacar que las masas no suspendidas son de alrededor de $m_{no\ suspendida} = 40 \text{ kg}$ en ambos ejes.

El coeficiente de amortiguamiento crítico corresponde al valor en el que el movimiento de oscilación se detiene.

- Tren delantero.

Masa suspendida:

$$m_{suspendida\ tren\ delantero} = MMA_1 - 2 \cdot m_{no\ suspendida} = 790 - 2 \cdot 40 = 610\ Kg$$

$$C_{cr,tren\ delantero} = 2 \cdot \sqrt{R_{del} \cdot m_{suspendida\ tren\ delantero}}$$

$$C_{cr,tren\ delantero} = 2 \cdot \sqrt{1,6 \cdot 9,81 \cdot 10^3 \cdot 610} = 6188,56 \frac{N \cdot s}{m}$$

- Tren trasero.

Masa suspendida:

$$m_{suspendida\ tren\ trasero} = MMA_1 - 2 \cdot m_{no\ suspendida} = 865 - 2 \cdot 40 = 685\ Kg$$

$$C_{cr,tren\ trasero} = 2 \cdot \sqrt{R_{tras} \cdot m_{suspendida\ tren\ trasero}}$$

$$C_{cr,tren\ trasero} = 2 \cdot \sqrt{2,1 \cdot 9,81 \cdot 10^3 \cdot 685} = 7513,10 \frac{N \cdot s}{m}$$

5.4.3.2.- Factor de amortiguamiento.

El propósito último del sistema de suspensión es mantener el contacto de la rueda con la calzada de forma continua, es por ello por lo que al calcular el factor de amortiguamiento ξ y obtener un valor inferior a 1, es decir, buscamos un sistema **subamortiguado**.

$$\xi = \frac{c}{c_{cr}}$$

Se deben tener en cuenta los coeficientes facilitados por el fabricante BMW:

$$c_{com} = 2230\ Ns/m; \quad c_{exp} = 3150\ Ns/m$$

- Tren delantero:

$$\xi = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{c_{com}}{c_{cr}} + \frac{c_{exp}}{c_{cr}} \right) = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{2230}{6188,56} + \frac{3150}{6188,56} \right) = 0,4347 < 1$$

Lo que implica que el movimiento es subamortiguado.

- Tren trasero:

$$\xi = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{c_{com}}{c_{cr}} + \frac{c_{exp}}{c_{cr}} \right) = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{2230}{7513,10} + \frac{3150}{7513,10} \right) = 0,358 < 1$$

Lo que implica que el movimiento es subamortiguado.

5.4.3.3.- Conclusiones.

En definitiva, los amortiguadores se muestran perfectamente válidos, cumpliendo con la premisa de un movimiento subamortiguado y, por tanto, con

la normativa vigente. **Se concluye que los amortiguadores son aptos para el montaje en el vehículo.**

5.5.- Estudio sobre las licitaciones de los elementos de unión de las barras estabilizadoras, así como de los elementos de unión de los brazos de suspensión

El anclaje de las barras estabilizadoras se realiza mediante los tornillos y anclajes originales, y lo mismo ocurre con los brazos de suspensión delanteros y traseros. Por tanto, ya que el R.D. 866/2010 Rev. 6 especifica en su punto 5.1.2 que *“Como norma general deberá justificarse el cálculo del sistema de fijación de cualquier elemento añadido objeto del proyecto técnico y en el caso de sustituciones sólo cuando no se utilicen los sistemas de fijación originales”* (Ministerio de industria, comercio y turismo, 2020. P. 7)⁸, no es necesario realizar los cálculos justificativos para estudiar las uniones destinadas a la instalación de estos elementos.

5.6.- Cálculo de la transmisión.

En este apartado se calcularán los desarrollos correspondientes a la caja de cambios original y el grupo diferencial equipados en el vehículo, y a la caja de cambios y el grupo diferencial que se instala tras la reforma. Este cálculo se realiza para comparar las prestaciones del vehículo y, al mismo tiempo, disponer de la corrección que se debe hacer en el velocímetro del mismo. Cabe destacar que la caja de cambios está preparada para soportar las sollicitaciones a las que se verá sometida ya que se corresponde con la que originalmente comercializaba asociada al motor.

5.6.1.- Descripción y materiales empleados.

La caja de cambios está formada por varias partes, en primer lugar, hablaremos de los ejes que se encuentran dentro de la misma. El eje primario es aquel al que se transmite directamente el movimiento rotacional del motor; de este eje el movimiento pasa a otro conocido como eje secundario y, finalmente, un último eje de salida que conecta directamente con el árbol de transmisión.

El movimiento entre los ejes primario y secundario, y entre el secundario y el eje de salida, se transmite mediante engranajes que pueden tener distintas relaciones de transmisión entre ellos. Nos centraremos en la relación existente entre el primario y secundario: cabe destacar que, como las relaciones de transmisión entre engranajes son distintas, estos deben disponer de un mecanismo de conexión/desconexión que permita trabajar a un solo par de engranajes al tiempo; es por ello por lo que las cajas de cambios tienen mecanismos selectores que permiten al conductor seleccionar a voluntad la marcha en la que desea circular con el vehículo.

Finalmente, existe una carcasa, generalmente de aluminio, que conserva al conjunto aislado de la suciedad y que contiene lubricante en su interior para garantizar el correcto funcionamiento de la caja de cambios.

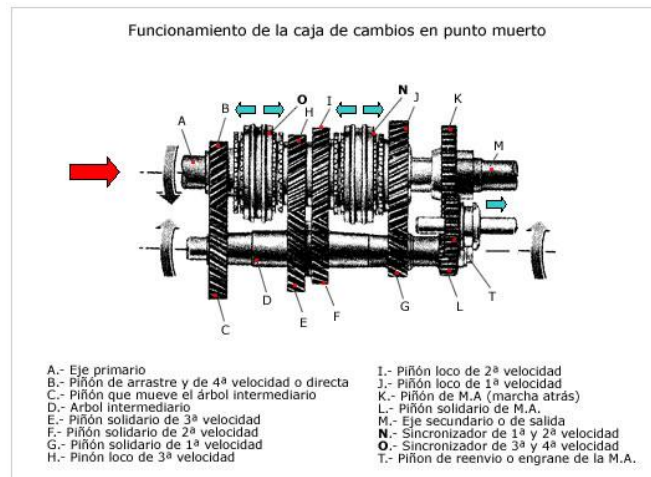


Ilustración 27: Detalle de las partes una caja de cambios de un vehículo de propulsión. Fuente: Peralta, s.f.¹⁸

En relación a los materiales empleados, todos coinciden entre la caja de cambios instalada antes y después de la reforma.

- La carcasa de la caja de cambios está hecha mediante un proceso de manufactura con moldes de fundición, constituida de aleación de aluminio A383.
- Los sincronizadores o sincros están hechos de acero 20MnCr5, mecanizados posteriormente las tolerancias requeridas.
- Los engranajes están compuestos por acero EN10083-3 50CrMo4 mejorado, con una resistencia a la tracción 1250 MPa.
- Los ejes se diseñan también con un acero de alta resistencia EN10083-3 50CrMo4, pues están sometidos a grandes cargas, distintas velocidades y aceleraciones a lo largo de su vida útil.

5.6.2.- Estudio de los desarrollos antes y después de la reforma.

Se expondrán las expresiones necesarias para calcular las velocidades desarrolladas por el automóvil tanto antes como después de la reforma, incluyéndose un glosario de términos para facilitar la comprensión de ellas.

Datos relativos a la rueda	
Ancho del neumático (mm)	A_{neum}
Perfil neumático (%)	H_{neum}
Diámetro de llanta (pulgadas)	Φ_{llanta}
Diámetro de rueda (mm)	Φ_{rueda}
Arco de rueda (m)	arc_r
Datos relativos al motor	
Corte de revoluciones o máx. físico (rpm)	N
Datos relativos a las relaciones de transmisión	
Relación 1ª marcha	i_1
Relación 2ª marcha	i_2
Relación 3ª marcha	i_3

Relación 4ª marcha	i4
Relación 5ª marcha	i5
Datos relativos al grupo cónico diferencial	
Relación grupo cónico diferencial	Rf
Resultados	
Velocidad en cada marcha n (n=1,2....n)	V _n

Tabla 28: Glosario de términos del sistema de transmisión. Fuente: Elaboración propia

En primer lugar, se debe conocer el arco de la rueda. Para ello se parte de la denominación comercial del neumático, de donde se extraen los datos de ancho del neumático, perfil del neumático y el diámetro de llanta utilizado. A partir de ellos se calcula:

Diámetro de rueda en mm:

$$\varphi_{\text{rueda}} = A_{\text{neum}}(m) \cdot \frac{H_{\text{neum}}(\%)}{100} \cdot 2 + \varphi_{\text{llanta}}(m)$$

Arco de rueda:

$$\text{arc}_r = 2 \cdot \pi \cdot \varphi_{\text{rueda}}$$

Seguidamente se calcula la velocidad máxima que se desarrolla en cada marcha. Este requiere conocer las relaciones de transmisión de la caja de cambios de n marchas, y la relación del grupo cónico diferencial, así como las revoluciones máximas que puede alcanzar el motor en rpm. Así, la velocidad, expresada en Km/h, es:

$$V_n = \frac{N \text{ (rpm)}}{i_n \cdot R_f} \cdot \frac{\pi \cdot \varphi_{\text{rueda}}(m)}{60}; \text{ (con } n = 1, 2..n)$$

5.6.2.1.- Antes de la reforma.

En la siguiente tabla se recogen las relaciones de cambio de la caja montada originalmente en el vehículo, así como los datos necesarios para los cálculos pertinentes de desarrollo en las distintas marchas.

Antes de la reforma	
Datos relativos a la rueda	
A_{neum} (mm)	195
H_{neum} (%)	60
ϕ_{llanta} (pulgadas)	14
ϕ_{rueda} (mm)	589,6
arc_r (m)	1,8523
Datos relativos al motor	
N (rpm)	6500
Datos relativos a las relaciones de transmisión	
i1	3,72
i2	2,02
i3	1,32
i4	1
i5	0,81
Datos relativos al grupo cónico diferencial	
Rf	3,46

Tabla 29: Datos relativos a la transmisión antes de la reforma. Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente tabla se recogen los resultados obtenidos en Excel para el cálculo de las velocidades máximas teóricas que sería posible desarrollar en cada marcha, suponiendo que el motor fuera capaz de sobrepasar la resistencia al avance derivada del arrastre aerodinámico y la resistencia a la rodadura. Además, se incluyen datos como la caída de revoluciones que experimenta el motor al engranar cada marcha, o la velocidad del motor tras engranar la siguiente marcha.

BMW 320i E30						Grupo Final	3,460
Marcha	Relación	% Caída RPM	Caída RPM	Entra a RPM	Velocidad máxima.	km/h ^	
1	3,72		2970		56,1		
2	2,02	45,70%	2252	3530	103,4	47,2	
3	1,32	34,65%	1576	4248	158,2	54,8	
4	1	24,24%	1235	4924	208,8	50,6	
5	0,81	19,00%	0	5265	257,8	49,0	

Tabla 30: Resultados tras el estudio de la relación de transmisión antes de la reforma. Fuente: Elaboración propia.

5.6.2.2.- Después de la reforma.

En la siguiente tabla se recogen las relaciones de cambio de la caja montada posteriormente, así como los datos necesarios para realizar los cálculos pertinentes de desarrollo en las distintas marchas.

Antes de la reforma	
Datos relativos a la rueda	
A_{neum} (mm)	215
H_{neum} (%)	40
φ_{llanta} (pulgadas)	17
φ_{rueda} (mm)	603,8
arc_r (m)	1,8969
Datos relativos al motor	
N (rpm)	6500
Datos relativos a las relaciones de transmisión	
i1	3,822
i2	2,203
i3	1,398
i4	1
i5	0,812
Datos relativos al grupo cónico diferencial	
Rf	3,73

Tabla 31: Datos relativos a la transmisión después de la reforma. Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente tabla se recogen los resultados obtenidos en Excel para el cálculo de las velocidades máximas teóricas que sería posible desarrollar en cada marcha, suponiendo condiciones similares a las anteriores. Igualmente, se dan datos como la caída de revoluciones que experimenta el motor al engranar cada marcha o la velocidad del motor tras engranar la siguiente marcha.

BMW M535i					Grupo Final	3,730
Marcha	Relación	% Caída RPM	Caída RPM	Entra a RPM	Velocidad máxima.	km/h ^
1	3,822		2753		51,9	
2	2,203	42,36%	2375	3747	90,0	38,1
3	1,398	36,54%	1850	4125	141,9	51,8
4	1	28,47%	1222	4650	198,3	56,5
5	0,812	18,80%	0	5278	244,3	45,9

Tabla 32: Resultados tras el estudio de la relación de transmisión después de la reforma. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se realiza el cálculo de la corrección de velocidad que será necesario realizar en el indicador del vehículo. Debido a que el sensor de velocidad (VSS) toma lectura a la salida de la caja de cambios, y a que se utilizan neumáticos de medida equivalente, solamente se tendrá en cuenta la influencia del grupo cónico diferencial de cara a la corrección en la lectura del velocímetro. La velocidad que marcará el vehículo en el indicador cuando se circula a 100 Km/h se calcula como:

$$V = 100 \frac{Km}{h} \cdot \frac{R_{f2}}{R_{f1}} = 100 \frac{3,73}{3,46} = 107,8 \text{ Km/h}$$

Por tanto, se deberá hacer una corrección del 7,8% para hacer que la velocidad indicada se corresponda con la real.

5.6.2.3- Conclusiones

Se presenta una gráfica donde se puede apreciar el escalonamiento de la transmisión del vehículo, antes y después de la reforma. En abscisas se representa la velocidad del vehículo en Km/h, mientras que en ordenadas encontramos la velocidad angular del motor del vehículo en revoluciones por minuto.

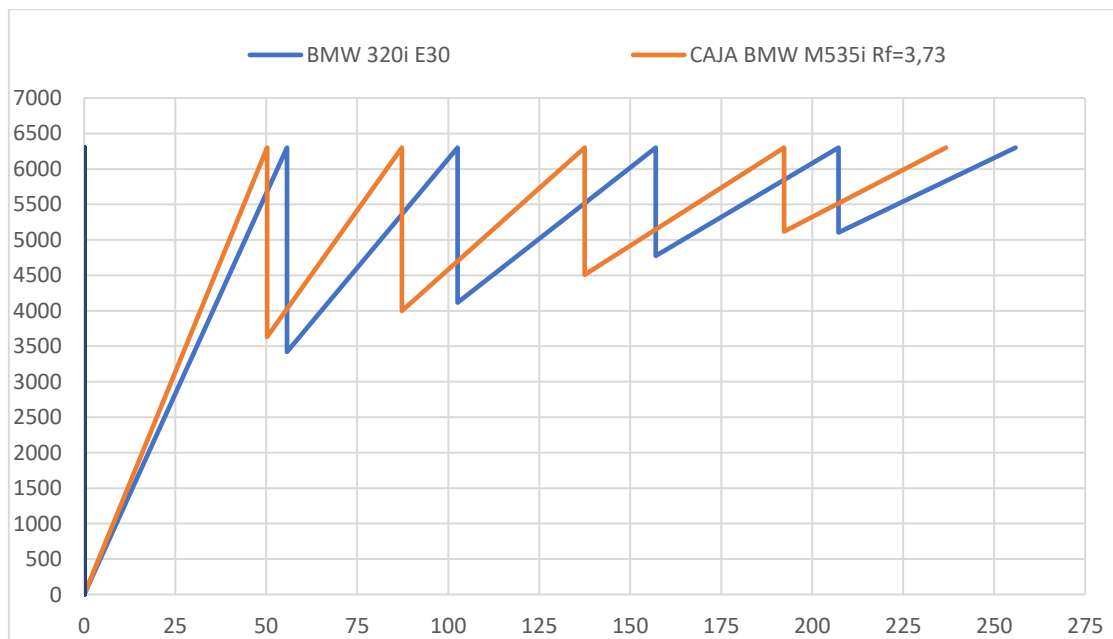


Ilustración 28: Comparativa entre la transmisión original (azul), y la reformada (naranja). Fuente: Elaboración propia.

A la vista de los resultados obtenidos, se llega a la conclusión de que **la relación de transmisión escogida es adecuada para el vehículo**, puesto que **conseguirá maximizar su aceleración respecto a la caja de cambios original**, en consonancia al uso recreacional y deportivo que desea realizar de él su propietario.

Del mismo modo, cabe mencionar que para ajustarse a la normativa **será necesario realizar un ajuste de la medida del velocímetro, que se ha calculado que marcará un 7,8% por encima de la medida real de velocidad.**

A lo largo de este cálculo no se ha incluido mención alguna al cálculo del embrague, ya que este elemento conservará sus características originales, y trabajará acoplado entre el motor y la caja para las que un principio fue concebido, por tanto, se supone bien dimensionado.

5.7.- Estudio de los componentes del sistema de frenado.

En la siguiente tabla se recogen las características de los componentes del sistema de frenos que han sufrido modificaciones.

PIEZA	ANTES DE LA REFORMA	DESPUÉS DE LA REFORMA
Pinza de freno delantera	1 cilindro esclavo de \varnothing 48 mm	1 cilindro esclavo de \varnothing 54 mm
Freno trasero	Tambor con bombín de \varnothing 20,64 mm	Pinza de 1 cilindro esclavo de \varnothing 38 mm
Disco de freno delantero	260x22 mm	280x25 mm
Freno trasero	Tambor 228 mm	Disco 282x12 mm

Tabla 33: Características del sistema de frenado antes y después de la reforma. Fuente: Elaboración propia.

En este apartado se realizarán los cálculos relacionados tanto con los frenos originales del vehículo, como con los reformados, realizando una comparativa entre los dos sistemas. Se estudiará tanto el tren delantero como el trasero ya que ambos sufren modificaciones, utilizándose los subíndices 1 para la situación antes de la reforma y el subíndice 2 para después de la reforma.

A la hora de realizar el cálculo se plantean algunas hipótesis en relacionadas con las ecuaciones a utilizar. Una de ellas es la de suponer que la presión ejercida entre dicha pastilla y el disco de freno es de **valor constante a lo largo de toda la superficie de la pastilla**. Finalmente, otro valor necesario será la presión hidráulica que ejerce el cilindro maestro o bomba de freno sobre el circuito de frenos tras ser actuada mediante el pedal de freno.

Además, en la siguiente tabla se recoge el glosario con los términos necesarios para realizar el cálculo:

P_H	Presión de cilindro hidráulico
dcm	Diámetro del cilindro maestro de la bomba de freno
Scm	Superficie del cilindro maestro de la bomba de freno
Freno de disco	
A_{pastilla}	Área de la pastilla de freno
α	Ángulo de pastilla de freno
φ	Coefficiente de rozamiento disco-pastilla
Re	Radio externo de la pastilla
Ri	Radio interno de la pastilla

P	Presión ejercida entre disco y pastilla
T	Fuerza que actúa sobre la pastilla
M	Par de frenada
Rd	Radio equivalente
db	Diámetro del bombín
Sbd	Superficie del bombín de freno de disco
Freno de tambor	
Rt	Radio equivalente del freno de tambor
Mt	Par de frenado del tambor
Nt	Par total de frenado
Rt	Radio equivalente del tambor.
Sbt	Superficie del bombín de freno de tambor

Tabla 34: Glosario de términos del sistema de frenos.

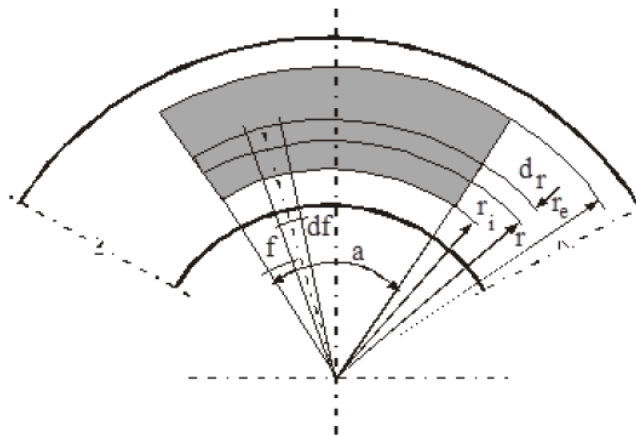


Ilustración 29: Sector de una pastilla y disco de freno. Fuente: Baselga, 2018.¹⁹

5.7.1.- Cálculo de la presión hidráulica.

Para calcular los pares de frenado es necesario conocer la presión hidráulica del circuito. Para ello se debe realizar previamente el cálculo de las curvas de equiadherencia e isodeceleración. Este proceso se detalla a lo largo del [Anexo 5](#), donde se recoge el cálculo y los resultados obtenidos mediante Excel para un coeficiente de adherencia $\mu=0,8$ correspondiente a una superficie de asfalto medio en condiciones de suelo seco.

Para el cálculo de la presión hidráulica se parte del par de frenado máximo que puede ejercer el vehículo en su condición original en la situación más desfavorable, es decir, cuando el vehículo está cargado. Los pares de frenado obtenidos son:

$$N_{dm} = 2449,52 \text{ Nm} \quad N_{tm} = 987,12 \text{ Nm}$$

Teniendo en cuenta que antes de la reforma, $r_i=74 \text{ mm}$ y $r_e=125 \text{ mm}$, se obtiene el radio equivalente:

$$r_d = \frac{M_d}{2 \cdot F_n \cdot \varphi} = \frac{2 \cdot (r_e^3 - r_i^3)}{3 \cdot (r_e^2 - r_i^2)} = 101,68 \text{ mm}$$

Sustituyendo los valores conocidos, junto al del rozamiento pastilla – disco $\varphi=0,35$ en:

$$N_{dm} = R_d \cdot S_{bd} \cdot P_H \cdot \varphi \cdot 4$$

$$2449,52 \cdot 10^3 = 101,68 \cdot S_{bd} \cdot P_H \cdot 0,35 \cdot 4$$

Y con:

$$S_{bd} = \frac{\pi \cdot d_{bd}^2}{4}$$

Para el diámetro del bombín conocido $d_{bd} = 48 \text{ mm}$:

$$2449,52 \cdot 10^3 = 101,68 \cdot \frac{\pi \cdot 48^2}{4} \cdot P_H \cdot 0,35 \cdot 4$$

Despejando se obtiene:

$$P_H = 9,51 \text{ MPa} = 95,1 \text{ bar}$$

Una vez obtenido un valor de presión hidráulica asociado al sistema de frenos original estaremos en posición de calcular los pares de frenado.

Tal y como se detalla en el [Anexo 6](#), el valor asociado al par de frenada en un sistema de freno de disco viene dado por:

$$P_d = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot P_H}{\alpha \cdot (r_e^2 - r_i^2) \cdot 2\pi}$$

$$M_d = 2 \cdot \frac{\alpha_1 \cdot \varphi \cdot P_d \cdot (Re^3 - Ri^3)}{3}$$

Y el valor asociado al par de frenada en un sistema de freno de tambor se expresa como:

$$M_t = R_t \cdot [2 \cdot S_{bt} \cdot P_H]$$

5.7.2.- Cálculo del freno de disco delantero antes de la reforma.

En la siguiente tabla se incluyen las características de los frenos delanteros:

Datos de los frenos delanteros antes de la reforma.	
$A_{\text{pastillas}}$	47,94 cm ²
R_i	74 mm
R_e	125 mm
P_H	9,51 MPa
db	48 mm
α_{1d}	0,35 rad

Tabla 35: Características de los frenos delanteros antes de la reforma. Fuente: Elaboración propia.

Que sustituyendo en la expresión mencionada anteriormente:

$$P_d = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot P_H}{\alpha \cdot (r_e^2 - r_i^2) \cdot 2\pi} = \frac{\pi \cdot (48)^2 \cdot 9,51}{0,35 \cdot (125^2 - 74^2) \cdot 2\pi} = 3,08 \text{ MPa}$$

$$M_{dd,1} = 2 \cdot \frac{\alpha_{1,d} \cdot \varphi \cdot P_d \cdot (125^3 - 74^3)}{3}$$

$$M_{dd,1} = 2 \cdot \frac{0,35 \cdot 0,35 \cdot 3,08 \cdot (125^3 - 74^3)}{3} = \mathbf{389,70 Nm}$$

5.7.3.- Cálculo del freno de disco delantero instalado tras la reforma.

Datos de los frenos delanteros después de la reforma.	
A _{pastillas}	90,06 cm ²
R _i	80 mm
R _e	137 mm
P _H	9,51 MPa
db	54 mm
α _{2d}	0,46

Tabla 36: Características de los frenos delanteros después de la reforma. Fuente: Elaboración propia.

Procediendo de manera análoga:

$$P_d = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot P_H}{\alpha \cdot (r_e^2 - r_i^2) \cdot 2\pi} = \frac{\pi \cdot (54)^2 \cdot 9,51}{0,35 \cdot (137^2 - 80^2) \cdot 2\pi} = 3,20 MPa$$

$$M_{dd,2} = 2 \cdot \frac{\alpha_{2,d} \cdot \varphi \cdot P_d \cdot (137^3 - 80^3)}{3}$$

$$M_{dd,2} = 2 \cdot \frac{0,49 \cdot 0,35 \cdot 3,20 \cdot (137^3 - 80^3)}{3} = \mathbf{753,45 Nm}$$

5.7.4.- Cálculo del freno de tambor trasero antes de la reforma.

Datos de los frenos traseros antes de la reforma.	
R _t	114 mm
P	9,51 MPa
d _{bt,1}	10,32 mm

Tabla 37: Características de los frenos traseros antes de la reforma. Fuente: Elaboración propia.

Sustituyendo en la expresión mencionada anteriormente:

$$N_t = R_t \cdot [2 \cdot S_{bt} \cdot P_H]$$

Donde:

$$S_{bt} = \frac{\pi \cdot d_{bt,1}^2}{4}$$

Luego:

$$N_t = R_t \cdot \left[2 \cdot \frac{\pi \cdot d_{bt,1}^2}{4} \cdot P_H \right]$$

Y sustituyendo:

$$N_{tt,1} = R_t \cdot \left[2 \cdot \frac{\pi \cdot d_{bt,1}^2}{4} \cdot P_H \right] = 114 \cdot 2 \cdot \frac{\pi \cdot 10,32^2}{4} \cdot 9,51 = \mathbf{181,37 Nm}$$

5.7.5.- Cálculo del freno de disco trasero instalado tras la reforma.

Datos de los frenos traseros después de la reforma.	
A _{pastillas}	26,40 cm ²

Ri	105 mm
Re	138 mm
P	9,51 MPa
db	38 mm
α	0,31 rad

Tabla 38: Características de los frenos traseros después de la reforma. Fuente: Elaboración propia.

Procediendo igual que para el cálculo de los otros pares de frenada asociados a frenos de disco:

$$P_d = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot P_H}{\alpha \cdot (r_e^2 - r_i^2) \cdot 2\pi} = \frac{\pi \cdot (38)^2 \cdot 9,51}{0,35 \cdot (138^2 - 105^2) \cdot 2\pi} = 2,45 \text{ MPa}$$

$$M_{dt,2} = 2 \cdot \frac{\alpha_{2,d} \cdot \varphi \cdot P_d \cdot (138^3 - 105^3)}{3}$$

$$M_{dt,2} = 2 \cdot \frac{0,31 \cdot 0,35 \cdot 2,45 \cdot (138^3 - 105^3)}{3} = 260,587 \text{ Nm}$$

5.7.6.- Cálculo de la fuerza que es necesario ejercer sobre el pedal y del servofreno.

El cilindro maestro del sistema de frenos, así como el servofreno, no sufren modificación alguna. Es por ello por lo que se calculará únicamente la fuerza que es necesario ejercer en el pedal para conseguir la presión hidráulica utilizada en los cálculos anteriores, $P_h=9,51$ MPa.

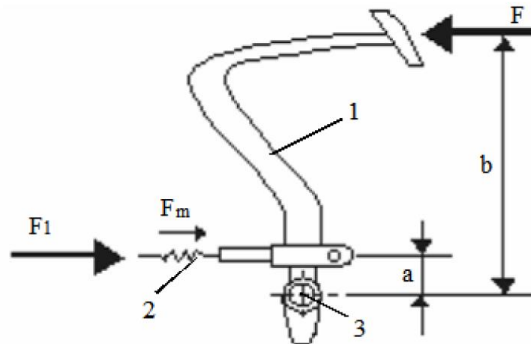


Ilustración 30: Esquemización de la geometría del pedal de freno. Fuente: Baselga, 2018. ¹⁹

A partir del dato de la presión hidráulica y del diámetro del cilindro maestro ($d_{cm} = 22,2$ mm) podemos obtener el valor de la fuerza F_1 :

$$P_H = \frac{F_1}{S_{cm}} \rightarrow F_1 = \frac{9,51}{9,81} \cdot \frac{\pi \cdot 22,2^2}{4} = 375,24 \text{ kgf}$$

Aplicando el equilibrio de momentos sobre el punto 3 se obtiene la relación entre F_1 y F :

$$F_1 = F \cdot \frac{b}{a} \rightarrow 375,24 = F \cdot \frac{280}{57} \rightarrow F = 76,38 \text{ kgf}$$

Finalmente, para calcular la asistencia del servofreno, se debe tener en cuenta que la normativa dicta un esfuerzo máximo a ejercer sobre el pedal del freno de 500 N, luego:

$$\text{Asistencia del servofreno} = \frac{F}{F_{\text{máx}}} = \frac{76,38}{500/9,81} = 1,4985 \cong 1,5$$

Es decir, el servofreno deberá tener una asistencia de al menos el 50%, entregando al eje solidario al cilindro maestro de la bomba de freno la fuerza que recibe multiplicada por 1,5.

5.7.7.- Conclusiones.

En las siguientes tablas se comparan los resultados obtenidos:

TREN DELANTERO	Antes de la reforma	Después de la reforma	
Par de frenado del tren delantero (Nm)	389,70	753,45	+ 93,34 %
Ángulo de la pastilla	0,35	0,49	Mejora en la capacidad de frenado
Rozamiento	0,35	0,35	
Diámetro del disco (mm)	260	280	
Radio interior de la pastilla (mm)	74	80	
Radio exterior de la pastilla (mm)	125	137	
Presión hidráulica en el circuito (Mpa)	9,51	9,51	
Diámetro del bombín de freno (mm)	48	54	
Presión ejercida entre pastilla y disco (MPa)	3,08	3,20	

Tabla 39: Comparativa de la capacidad de frenado del tren delantero antes y después de la reforma. Fuente: Elaboración propia.

TREN TRASERO	Antes de la reforma	Después de la reforma	
Par de frenado del tren delantero (Nm)	181,37	260,587	+ 43,68 %
Ángulo de la pastilla	-	0,31	Mejora en la capacidad de frenado
Rozamiento	-	0,35	
Diámetro del disco (mm)	-	280	
Diámetro del tambor (mm)	228	-	
Radio interior de la pastilla (mm)	-	105	
Radio exterior de la pastilla (mm)	-	138	
Presión hidráulica en el circuito (Mpa)	9,51	9,51	
Diámetro del bombín de freno (mm)	20,64	38	
Presión ejercida entre pastilla y disco (MPa)	-	2,45	

Tabla 40: Comparativa de la capacidad de frenado del tren trasero antes y después de la reforma. Fuente: Elaboración propia.

Conviene recordar que estos resultados se basan en unas condiciones en las que se ejerce una fuerza sobre el pedal de 500 N, con una asistencia de servofreno de 1.5 veces dicha fuerza, lo que se traduce en una presión hidráulica en el circuito de 9,51 MPa. Además, se considera un coeficiente de fricción $\mu=0,8$ para asfalto medio en condiciones de suelo seco.

Concluimos que **el sistema de freno después de la modificación supera con creces las características del sistema original**, además, la sustitución del sistema de

freno de tambor en el tren trasero por un sistema de disco incrementará su resistencia a la fatiga; aspecto importante en la conducción deportiva.

Cabe mencionar que, a pesar de que se demuestra una mejora en el sistema de freno del vehículo, el cumplimiento de la normativa estará supeditado al cumplimiento de un ensayo de frenada tipo 0, realizado en laboratorio conforme al reglamento 13H, puesto que el vehículo no equipa sistema antibloqueo (ABS). Donde se probará la eficacia del sistema de frenos efectuando varias frenadas y el vehículo sea capaz de obtener unos resultados satisfactorios.

5.8.- Estudio de la estructura de seguridad antivuelco.

Para resolver el cálculo de los esfuerzos y desplazamientos a las que se pueda ver expuesta la jaula antivuelco se ha utilizado el software SolidWorks, modelando la estructura metálica en primer lugar, y posteriormente simulando por el método de elementos finitos para hallar las tensiones, deformaciones y desplazamientos que se obtendrían al aplicar una fuerza distribuida de 2,5 veces el peso del vehículo.

$$Q = 2,5 \cdot \text{Masa del vehículo} = 2,5 \cdot 1138 \text{ kg} = 2845 \text{ kgf} = 27909,45 \text{ N} \cong 28 \text{ KN}$$

El proceso de simulación se detalla en el Anexo 8. Por su parte, a continuación, se muestran unos gráficos a modo de resumen de los resultados.

Carga vertical sobre el miembro superior de la estructura:

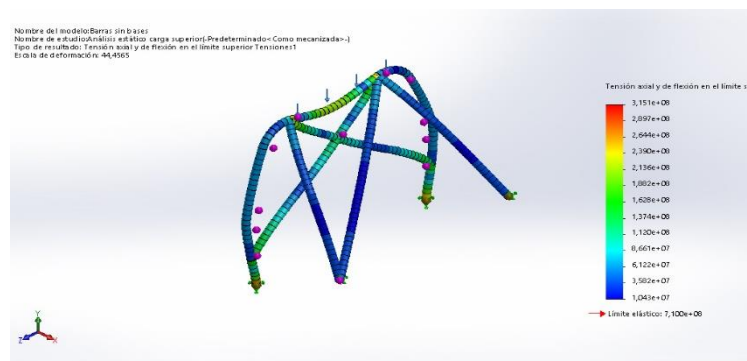


Ilustración 31: Tensiones resultantes de la aplicación de una carga vertical sobre el miembro superior de la estructura. Fuente: Elaboración propia.

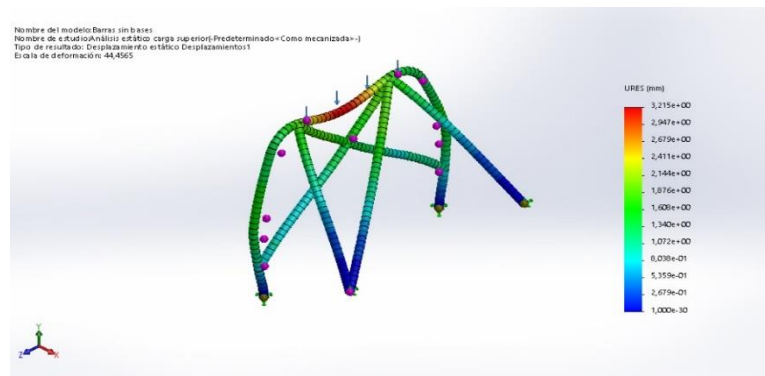


Ilustración 32: Desplazamientos resultantes de la aplicación de una carga vertical sobre el miembro superior de la estructura. Fuente: Elaboración propia.

Carga diagonal sobre el lateral superior izquierdo de la estructura:

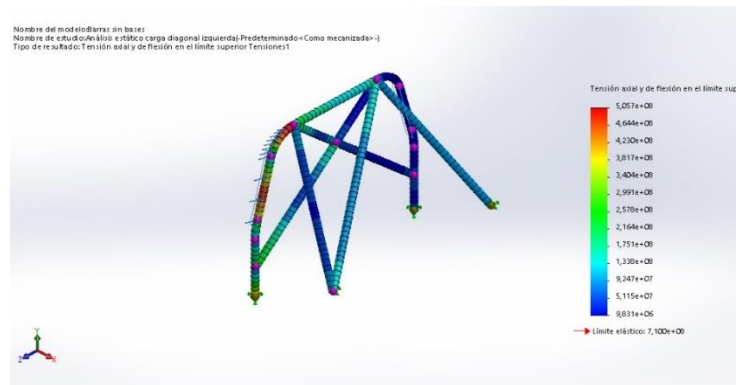


Ilustración 33: Tensiones resultantes de la aplicación de una carga vertical sobre el lateral izquierdo de la estructura. Fuente: Elaboración propia.

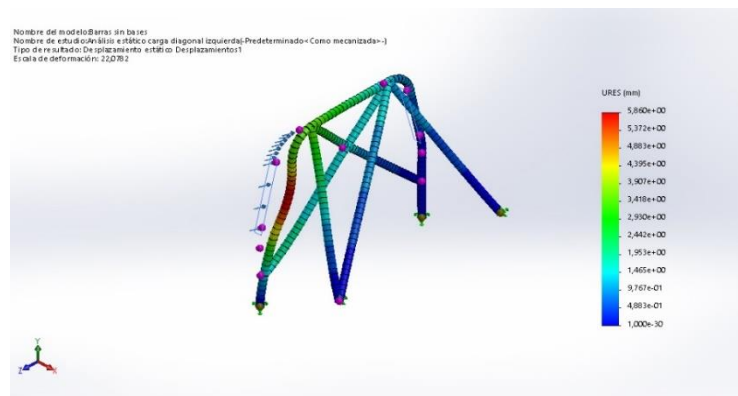


Ilustración 34: Desplazamientos resultantes de la aplicación de una carga vertical sobre el lateral izquierdo de la estructura. Fuente: Elaboración propia.

Carga diagonal sobre el lateral superior derecho de la estructura:

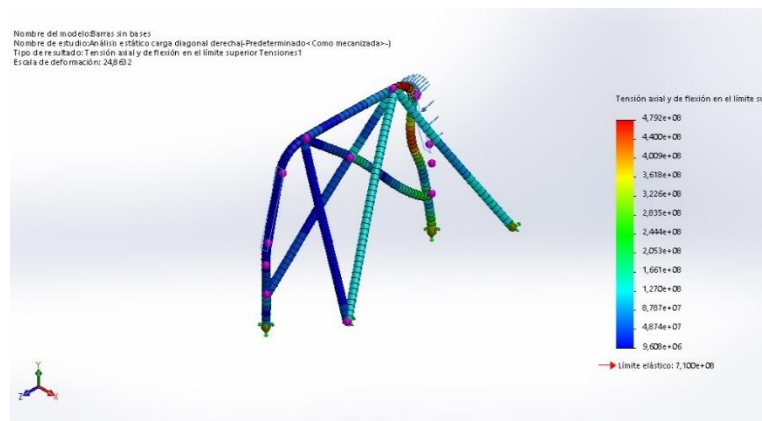


Ilustración 35: Tensiones resultantes de la aplicación de una carga vertical sobre el lateral derecho de la estructura. Fuente: Elaboración propia.

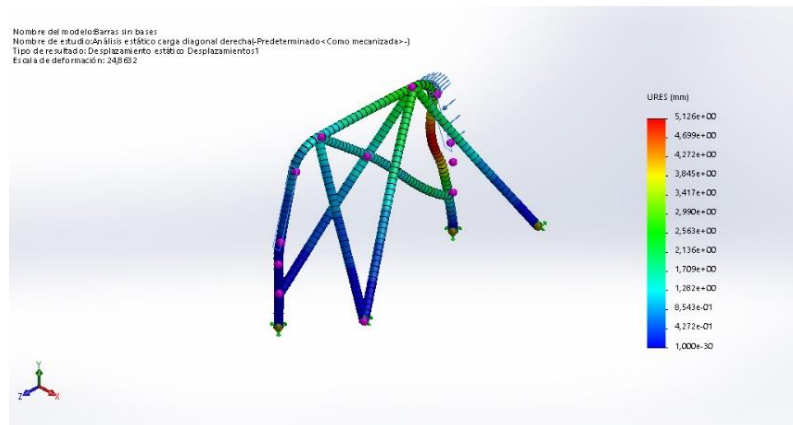


Ilustración 36: Desplazamientos resultantes de la aplicación de una carga vertical sobre el lateral derecho de la estructura. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados muestran que la estructura de seguridad es segura, ya que en ningún momento se supera su límite elástico. Además, atendiendo a los desplazamientos se aprecia que cuando la carga se distribuye sobre el miembro superior adquiere un valor máximo de 3,215 mm. En referencia a las cargas laterales, el máximo valor se da cuando la carga es diagonal descendente sobre el lateral izquierdo de la estructura, con un valor de 5,86 mm. **Ante estos resultados se puede concluir que la instalación del arco de seguridad es válida pues la distancia que hay entre los pasajeros y este supera ese margen holgadamente.**

5.9.- Estudio de la resistencia de los anclajes de la estructura antivuelco.

La estructura de seguridad tiene la función de proteger a las personas que se encuentren en el habitáculo del vehículo ante un posible accidente.

Para la realización de la simulación se supuso una carga máxima de 2.5 veces la masa del vehículo, es decir unos 28 KN, y además se considerará el propio peso de la estructura (60 kg); suponiendo una deceleración debida a un impacto estimada de 5G.

$$F = m \cdot a$$

$$a = 5 \cdot 9,81 = 49,05 \text{ m/s}^2$$

Sustituyendo en la ecuación de la fuerza:

$$F = 60 \cdot 49,05 = 2943 \text{ N}$$

Lo que resultaría en:

$$F_T = 2943 + 28000 = 30943 \text{ N}$$

Una vez tenemos la fuerza ejercida por el arco de seguridad, y sabiendo que está anclado al chasis por 12 tornillos M8 de calidad 12.9, supondremos el caso más desfavorable; que todos los tornillos trabajen a cortadura simple.

Sabiendo además que la resistencia de los tornillos según su calidad es de 64 kg/mm²: Aplicando el criterio de Von Mises:

$$\tau_{adm} = \frac{\sigma_e}{\sqrt{3}} = \frac{108 \text{ kg/mm}^2}{\sqrt{3}} = 62,35 \text{ kg/mm}^2$$

Y el esfuerzo máximo a cortadura que soportan los 12 tornillos M8 es:

$$F_{max} = \tau_{adm} \cdot n \cdot \pi \cdot \frac{d^2}{4} = 62,35 \frac{kg}{mm^2} \cdot 12 \cdot \pi \cdot \frac{(8 \text{ mm})^2}{4} = 37608,63 \text{ kg}$$

Por tanto, el coeficiente de seguridad es:

$$C.S. = \frac{F_{max} \cdot 9,81}{F} = \frac{37608,63 \cdot 9,81}{30943} = 11,923$$

Concluimos que **la tornillería utilizada** en los anclajes **se considera apta** puesto que tenemos un coeficiente de seguridad **C.S.= 11,923**, encontrándose dentro del rango de 10 a 15; el recomendado para cargas con choque violento para el criterio de resistencia a la rotura en materiales dúctiles.

5.10.- Estudio de la resistencia de los anclajes del alerón instalado.

En el cálculo de la resistencia de los tornillos que fijan el alerón trasero al maletero se deben tener en cuenta las fuerzas ejercidas mediante:

- Fuerzas estáticas debidas al peso del alerón, es decir:

$$F = m \cdot a = 2,3 \cdot 9,81 = \mathbf{22,563 \text{ N}}$$

- La fuerza fruto de la resistencia aerodinámica del elemento:

$$F_a = C_x \cdot \left(\frac{1}{2} \rho_a \cdot v^2 \right) \cdot A$$

Suponiendo que el vehículo circula a la velocidad máxima que le permite alcanzar la caja de cambios (250 Km/h), un coeficiente aerodinámico $C_x = 0,82$, unas dimensiones de alerón de 10 cm de alto y 1,50 m de largo, y un valor de la densidad del aire a 20°C de 1,20 kg/m³.

$$F_a = 0,82 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot 1,2 \cdot \left(\frac{250}{3,6} \right)^2 \right) \cdot (1,5 \cdot 0,1) = \mathbf{355,90 \text{ N}}$$

A efectos de cálculo se considerará la suma de ambas como la fuerza total aplicada:

$$F_T = 22,563 + 355,9 = 378,463 \text{ N} = \mathbf{38,579 \text{ kg}}$$

Sabiendo que se utilizarán 4 tornillos M4 de calidad 4.8 con una resistencia de 32 kg/mm², y aplicando el criterio de Von Mises:

$$\tau_{adm} = \frac{\sigma_e}{\sqrt{3}} = \frac{32 \text{ kg/mm}^2}{\sqrt{3}} = 18,48 \text{ kg/mm}^2$$

Y el esfuerzo máximo a cortadura que soportan los 4 tornillos M4 es:

$$F_{max} = \tau_{adm} \cdot n \cdot \pi \cdot \frac{d^2}{4} = 18,48 \frac{kg}{mm^2} \cdot 4 \cdot \pi \cdot \frac{(4 \text{ mm})^2}{4} = 928,91 \text{ kg}$$

Por tanto, el coeficiente de seguridad es:

$$C.S. = \frac{F_{max} \cdot 9,81}{F_a} = \frac{928,91 \cdot 9,81}{355,9} = 25,6$$



Concluimos que **la tornillería utilizada** en los anclajes **se considera apta** puesto que tenemos un coeficiente de seguridad **C.S.= 25,6**, mayor que 6; valor mínimo recomendado para cargas repetidas en una dirección gradual para el criterio de resistencia a la rotura en materiales dúctiles.

6.- Conclusión del proyecto.

La exposición de las conclusiones se dividirá de acuerdo con los apartados de cálculo que se han expuesto a lo largo de la memoria, explicando por qué se ha llegado a ellas y justificando la validez de estas.

En primer lugar, se realizó el cálculo de las reacciones en los ejes, comprobando que las reacciones resultantes no excedieran en ningún momento la MMA de ninguno de los ejes, analizando la situación estática, en aceleración frenado y en carga. Como ninguno de estos valores supera el valor de la MMA se considera que el vehículo es apto para soportarlas.

En segundo lugar, se llevó a cabo un estudio de la maniobrabilidad del vehículo. En este caso la desmultiplicación del mecanismo de dirección es menor tras la reforma, sin embargo, el ángulo de giro es idéntico, por lo que la maniobrabilidad del vehículo es exactamente la misma, manteniendo un radio de giro de 5,5 m y, por tanto, siendo apta.

En tercer lugar, se estudió la aptitud de los componentes del sistema de suspensión. Este se centró en los dos elementos principales, muelles y amortiguadores.

En el caso de los muelles se comprobó la aptitud ante los esfuerzos a los que van a verse sometidos una vez instalados en el vehículo. Estas comprobaciones se basaron en los cálculos del máximo esfuerzo a compresión, el cálculo de la carga máxima en función de la flecha y el cálculo de la torsión debida a cargas oscilantes. Los resultados obtenidos se mostraron satisfactorios, garantizándose así la aptitud.

En el caso de los amortiguadores se comprobó que, en las circunstancias de trabajo que van a enfrentar una vez instalados, se conserven las características de amortiguamiento. Para ello se comprobó que los amortiguadores trabajen en régimen subamortiguado, sirviéndonos del cálculo del factor de amortiguamiento tanto en el tren delantero como en el trasero. La conclusión alcanzada es que en las circunstancias previstas estos componentes efectivamente trabajarán en régimen subamortiguado.

En cuarto lugar, se concluye que los elementos de unión de las barras estabilizadoras no requieren de la realización de ningún cálculo adicional, puesto que, según la normativa vigente, no es necesario siempre y cuando se utilicen los sistemas de anclaje originales.

En quinto lugar, se abordó el cálculo de la transmisión del vehículo mediante un estudio de los desarrollos del vehículo en su situación original y tras la reforma. Los resultados reflejan una reducción de la velocidad máxima teórica que lograría alcanzar el vehículo en caso de ser capaz de vencer las fuerzas de resistencia. Esto, teniendo en cuenta el incremento del par motor y la potencia, se verá reflejado en un incremento de las prestaciones del vehículo en términos de aceleración. Estos resultados, que muestran un balance prestacional positivo, se consideran aptos teniendo en cuenta las pretensiones de uso deportivo que tiene el propietario. Del mismo modo, cabe destacar que, para cumplir con lo establecido por la normativa vigente, se debe realizar un reajuste del velocímetro, que marcará un 7,8% por encima de la velocidad real según reflejan los cálculos.

En sexto lugar, se realizó un estudio del sistema de frenado trazando una comparativa entre la capacidad de frenado máxima del vehículo. Para ello se partió de las curvas de equiaderencia e isodeceleración calculadas en el anexo 5, y se obtuvo la presión hidráulica en el circuito de frenos en unas condiciones concretas. Tras esto, se hallaron los pares de frenado

a partir de las características de los componentes del sistema de frenos. Se concluye que la reforma supone una mejora de la capacidad de frenado tanto en el tren delantero como en el trasero, considerándose apta.

En séptimo lugar, se realizó un estudio de la estructura de seguridad antivuelco. Se utilizó el software de modelado 3D y simulación SolidWorks para conocer el efecto que tendría una carga distribuida de 2,5 veces el peso del vehículo sobre distintos miembros de la estructura. Los resultados arrojados llevan a la conclusión de que la estructura es lo suficientemente segura, a que en ningún momento se supera su límite elástico, y las deformaciones previstas por la simulación no implican invasión alguna del espacio dedicado a los ocupantes del vehículo.

En octavo lugar, se estudió la validez de los anclajes seleccionados para la jaula antivuelco. Se tuvo en cuenta una carga de 28 KN en un esfuerzo cortante puro, a lo que además se sumó el peso de la propia estructura en un impacto lateral de 5G. Una vez determinada la carga se calculó la tensión máxima admisible de los tornillos, así como el esfuerzo máximo a cortadura que son capaces de soportar los 12 tornillos que anclan la estructura al chasis del vehículo. Tras ello, se obtuvo un valor satisfactorio de coeficiente de seguridad garantizando la validez de los anclajes elegidos.

En último lugar, se utilizó un criterio similar para estudiar la validez de los anclajes que fijan el alerón al vehículo. Con la diferencia de que esta vez las fuerzas vienen dadas por la carga estática del propio alerón y por las fuerzas fruto de la resistencia aerodinámica. Una vez aplicado el mismo criterio de estudio a cortante máximo que se empleó para los anclajes de la jaula antivuelco, se obtuvo un coeficiente de seguridad satisfactorio, cumpliéndose los requisitos de la unión.

En definitiva, de acuerdo con la exposición y demostración desarrollada a lo largo de esta memoria, las reformas de las cuales es objeto este proyecto son capaces de mantener las condiciones de seguridad y de protección al medio ambiente que se exige la normativa vigente, recogida en el RD 866/2010, y, por tanto, al finalizar la ejecución de este y su posterior inspección en una estación ITV, podrá circular por la vía pública legalmente.

Para concluir, siempre me he considerado un aficionado al mundo del motor, con un interés particular por los coches y la competición; hecho que me ha ayudado enormemente en las labores de búsqueda de información, comprensión y aplicación de la normativa. Es por ello que me supone una enorme satisfacción poder desarrollar como trabajo de fin de grado un proyecto en el que he trabajado con mis propias manos y gracias al que he puesto en práctica algunos de los conocimientos teóricos aprendidos a lo largo del grado en Ingeniería Mecánica. Esta posibilidad ha supuesto un punto de inflexión en la forma de plantearme mi futuro profesional, motivándome a enfocarlo alrededor de una de mis grandes pasiones: el sector del automóvil.

7.- Bibliografía, Fuentes y Notas:

1. NUSSBAUM, A. (8 DE JULIO DE 2021). TO EV OR NOT TO EV: THAT IS THE QUESTION. STREET MUSCLE MAGAZINE. [HTTPS://WWW.STREETMUSCLEMAG.COM/FEATURES/EDITORIALS-OPINIONS/TO-EV-OR-NOT-TO-EV-THAT-IS-THE-QUESTION/](https://www.streetmuscle.com/features/editorials-opinions/to-ev-or-not-to-ev-that-is-the-question/)
2. MESSYNESSEY. (7 DE ENERO DE 2015). THE TOKYO SUBCULTURE OF 1950S ROCKABILLY GANGS. MESSYNESSEY. [HTTPS://WWW.MESSYNESSEYCHIC.COM/2015/01/07/THE-TOKYO-SUBCULTURE-OF-1950S-ROCKABILLY-GANGS/](https://www.messynessychic.com/2015/01/07/the-tokyo-subculture-of-1950s-rockabilly-gangs/)
3. KAMEI AUTOMOTIVE GMBH. (S.F.). HISTORY. WHERE WE COME FROM. AND EVERYTHING WE'VE EXPERIENCED. KAMEI. [HTTPS://WWW.KAMEI.DE/EN/COMPANY/HISTORY/](https://www.kamei.de/en/company/history/)
4. LACKEY, D. (3 DE OCTUBRE DE 2020). CAFE RACE CAR: BUILDING A MOTORSPORT-INSPIRED MINI COOPER S. PETROLICIOUS. [HTTPS://PETROLICIOUS.COM/ARTICLES/CAFE-RACE-CAR-BUILDING-A-MOTORSPORT-INSPIRED-MINI-COOPER-S](https://petrolicious.com/articles/caffe-race-car-building-a-motorsport-inspired-mini-cooper-s)
5. STARYJAPONIEC. (7 DE FEBRERO DE 2014). 300. ZDJĘCIA #095: TOYOTA CELICA I (A20/30). STARYJAPONIEC - JAPOŃSKA MOTORYZACJA. [HTTPS://STARYJAPONIEC.BLOGSPOT.COM/2014/02/300-ZDJECIA-095-TOYOTA-CELICA-I-A2030.HTML](https://staryjaponiec.blogspot.com/2014/02/300-zdjecia-095-toyota-celica-i-a2030.html)
6. AMUSE, T. (2018). SOME BEAUTIFUL TUNING CARS FROM THE LATE 90S! <3. CARHROTTLE. [HTTPS://WWW.CARTHROTTLE.COM/POST/2ZEPDRX/](https://www.carhrottle.com/post/2zepdpx/)
7. GARCÍA, R. (2016). SPANISH CAR CULTURE IN THE 00S. CARHROTTLE. [HTTPS://WWW.CARTHROTTLE.COM/POST/W6RBQPB/](https://www.carhrottle.com/post/w6rbqpb/)
8. REAL DECRETO 866/2010, DE 2 DE JULIO, POR EL QUE SE REGULA LA TRAMITACIÓN DE LAS REFORMAS DE VEHÍCULOS. BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO, 170, DE 14 DE JULIO DE 2010, 61860 A 61869. [HTTPS://WWW.BOE.ES/BUSCAR/DOC.PHP?ID=BOE-A-2010-11154](https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2010-11154)
9. MINISTERIO DE INDUSTRIA, COMERCIO Y TURISMO. (2020). MANUAL DE REFORMAS DE VEHÍCULOS - REVISIÓN 6ª. MINISTERIO DE INDUSTRIA, COMERCIO Y TURISMO. [HTTPS://WWW.AECA-ITV.COM/WP-CONTENT/UPLOADS/2021/01/MANUALREFORMASVEHICULOSREV6CORR1.PDF](https://www.aeca-itv.com/wp-content/uploads/2021/01/ManualReformasVehiculosRev6Corr1.pdf)
10. EIBACH SUSPENSION. (SEPTIEMBRE DE 2013). EIBACH SUSPENSION CATALOGUE. SPRING-LOADED. [HTTPS://WWW.SPRING-LOADED.CO.UK/PRODIMAGES/EIBACH-SUSPENSION-CATALOGUE-SEPT-2013.PDF](https://www.spring-loaded.co.uk/prodimages/eibach-suspension-catalogue-sept-2013.pdf)
11. REAL DECRETO 750/2010, DE 4 DE JUNIO, POR EL QUE SE REGULAN LOS PROCEDIMIENTOS DE HOMOLOGACIÓN DE VEHÍCULOS DE MOTOR Y SUS REMOLQUES, MÁQUINAS AUTOPROPULSADAS O REMOLCADAS, VEHÍCULOS AGRÍCOLAS, ASÍ COMO DE SISTEMAS, PARTES Y PIEZAS DE DICHOS VEHÍCULOS. BOLETÍN OFICIAL DE ESTADO, 153, DE 24 JUNIO DE 2010, 55026 A 55319. [HTTPS://WWW.BOE.ES/BUSCAR/DOC.PHP?ID=BOE-A-2010-9994](https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2010-9994)
12. MORENO, J. (1991). MECÁNICA Y ELECTRICIDAD DEL AUTOMÓVIL. EDICIONES PIRÁMIDE, S. A.

13. 2EMVOSPEME. (11 DE OCTUBRE DE 2016). LA TRANSMISIÓN EN LOS VEHÍCULOS. TRANSMISIÓN. [HTTPS://2EMVOSPEME85.BLOGSPOT.COM/2016/10/1-DEFINICION-IMAGENES-Y-VIDEOS-DE-LOS.HTML](https://2emvospepe85.blogspot.com/2016/10/1-definicion-imagenes-y-videos-de-los.html)
14. E30 ZONE WIKI. (S.F.). SUSPENSION. E30 ZONE WIKI. [HTTPS://WWW.E30ZONE.NET/E30WIKI/INDEX.PHP?TITLE=SUSPENSION](https://www.e30zone.net/e30wiki/index.php?title=Suspension)
15. QA1 HIGH PERFORMANCE SUSPENSION & DRIVELINE. (S.F.). MONOTUBE VS TWIN TUBE SHOCKS. QA1 HIGH PERFORMANCE SUSPENSION & DRIVELINE. [HTTPS://WWW.QA1.NET/OEM-INDUSTRIAL/SHOCK-ABSORBERS/MONOTUBE-VS-TWIN-TUBE-SHOCKS](https://www.qa1.net/oem-industrial/shock-absorbers/monotube-vs-twin-tube-shocks)
16. MATMATCH GMBH. (S.F.). DIN 17223-2 GRADE VD SiCr OIL QUENCHED AND TEMPERED. MATMATCH. [HTTPS://MATMATCH.COM/ES/MATERIALS/MINFC5851-DIN-17223-2-GRADE-VD-SICR-OIL-QUENCHED-AND-TEMPERED](https://matmatch.com/es/materials/minfc5851-din-17223-2-grade-vd-sicr-oil-quenched-and-tempered)
17. ALBA, J. J. [JUAN JOSÉ] & MAZA, M.V. [MARIO VICENTE]. (2018). DINÁMICA DE VEHÍCULOS [RECURSO DE APRENDIZAJE]. RECUPERADO DE UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA (EINA).
18. PERALTA, E. (S.F.). ¿CÓMO FUNCIONA UNA CAJA DE CAMBIOS? EL TRANSPORTE. [HTTP://WWW.ELTRANSPORTE.ES/FUNCIONAMIENTO-CAJA-DE-CAMBIOS.HTML](http://www.eltransporte.es/funcionamiento-caja-de-cambios.html)
19. BASELGA, S. (2018). EL FRENADO EN VEHÍCULOS DE CARRETERA. DESCRIPCIÓN, CÁLCULO Y REGLAMENTACIÓN. LAIMUZ.
20. AUTODOC. (S.F.). AUTODOC SHOP. AUTODOC: [HTTPS://WWW.AUTODOC.ES/](https://www.autodoc.es/)
21. EPYTEC GMBH. (S.F.). EPYTEC TUNING ADAPTER. [HTTPS://EPYTEC.DE/EN/ENGINE-AND-GEARS/ENGINE-GEARBOX-MOUNTING-BRACKETS/BMW/2480/BMW-E30-E36-320I-325I-ENGINE-MOUNTING-BRACKET-ENGINE-CONVERSION-M30-M5-S38-ENGINE-3.0-L-3.5-L-E34](https://epytec.de/en/engine-and-gears/engine-gearbox-mounting-brackets/bmw/2480/bmw-e30-e36-320i-325i-engine-mounting-bracket-engine-conversion-m30-m5-s38-engine-3.0-l-3.5-l-e34)
22. GRUPO OSCARO. (S.F.). OSCARO. [HTTPS://WWW.OSCARO.ES/](https://www.oscaro.es/)
23. MISHIMOTO. RADIADORES, INTERCOOLERS Y PIEZAS PARA COMPETICIÓN. (S.F.). MISHIMOTO. [HTTPS://MISHIMOTO.ES/BMW/902-RADIADOR-DE-AGUA-BMW-E30-M3-82-91.HTML](https://mishimoto.es/bmw/902-radiador-de-agua-bmw-e30-m3-82-91.html)
24. REALOEM.COM. (S.F.). REALOEM.COM BMW PARTS CATALOG. REALOEM.COM. [HTTPS://WWW.REALOEM.COM/](https://www.realoem.com/)
25. RECAMBIO VERDE. (S.F.). RECAMBIO VERDE. [HTTPS://WWW.RECAMBIOVERDE.ES/](https://www.recambioverde.es/)
26. RODIAUTO SPORT. (S.F.). RODIAUTO SPORT RALLY RACING PERFORMANCE PARTS. [HTTPS://WWW.RODIAUTOSPORT.ES/LATIGUILLOS-METALICOS-GOODRIDGE/844781-KIT-LATIGUILLOS-GOODRIDGE-BMW-3-SERIES-E30-M3.HTML](https://www.rodiautosport.es/latiguillos-metalicos-goodridge/844781-kit-latiguillos-goodridge-bmw-3-series-e30-m3.html)



27. SUMINISTROS INDUSTRIALES ENTABAN. (S.F.). ENTABAN. [HTTPS://ENTABAN.ES/AUTOBLOCANTES/163-TUERCA-AUTOBLOCANTE-DIN-985-CINCADA.HTML#/631-METRICA_TUERCA-8](https://entaban.es/autoblocantes/163-tuerca-autoblocante-din-985-cincada.html#/631-metrica_tuerca-8)
28. WURTH GROUP. (S.F.). WURTH. [HTTPS://WWW.WURTH.ES/](https://www.wurth.es/)
29. INGEMECÁNICA. INGENIERÍA, CONSULTORÍA Y FORMACIÓN. (S.F.). CÁLCULO DE MUELLES HELICOIDALES. INGEMECÁNICA. [HTTPS://INGEMECANICA.COM/TUTORIALSEMANAL/TUTORIALN129.HTML](https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn129.html)
30. FIL. (28 DE MAYO DE 2017). TU MOTO Y LA ALTURA: ¿EL TAMAÑO IMPORTA? 2ª PARTE. AMORTIGUACIÓN MÁGICA. MOTORADN. [HTTPS://WWW.MOTORADN.COM/2017/05/28/TU-MOTO-Y-LA-ALTURA-EL-TAMANO-IMPORTA-2A-PARTE/](https://www.motoradn.com/2017/05/28/tu-moto-y-la-altura-el-tamano-importa-2a-parte/)
31. LORENTE, A [ALEJANDRO]. (2018). MODIFICACIÓN DEL SISTEMA DE FRENADO DE UN VEHÍCULO, ANÁLISIS Y ENSAYO SEGÚN REQUISITOS ENSAYO TIPO 0 DEL REGLAMENTO 13H. [TRABAJO FINAL DE GRADO]. ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA, UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA. [HTTPS://ZAGUAN.UNIZAR.ES/RECORD/78621?LN=ES](https://zaguan.unizar.es/record/78621?ln=es)
32. KM77. (S.F.). KM77. GLOSARIO, PINZAS DE FRENO FLOTANTES Y FIJAS. [HTTPS://WWW.KM77.COM/GLOSARIO/PINZAS-DE-FRENO](https://www.km77.com/glosario/pinzas-de-freno)
33. E30 ZONE WIKI. (S.F.). ANDY335TOURING.GIF. E30 ZONE WIKI. [HTTPS://WWW.E30ZONE.NET/E30WIKI/INDEX.PHP?TITLE=FILE:ANDY335TOURING.GIF](https://www.e30zone.net/e30wiki/index.php?title=File:Andy335touring.gif)
34. BASELGA, S. (2018). CÁLCULO DE LA CADENA DE TRASMISIÓN Y DE LAS PRESTACIONES DEL AUTOMÓVIL. LAIMUZ.
35. BASELGA, S. (2018). MANUAL TEÓRICO SOBRE REFORMAS DE VEHÍCULOS. LAIMUZ.
36. BLUEPRINTS. (S.F.). DRAWINGDATABASE. BMW 3 SERIES E30 (325i) 1985 BLUEPRINT. [HTTPS://DRAWINGDATABASE.COM/BMW-3-SERIES-E30-325I-1985/](https://drawingdatabase.com/bmw-3-series-e30-325i-1985/)
37. BMW M REGISTRY. (S.F.). E28 M535i. BMW M REGISTRY. [HTTPS://BMWREGISTRY.COM/MODEL_FAQ.PHP?ID=6](https://bmwmregistry.com/model_faq.php?id=6)
38. FÉDÉRATION INTERNATIONALE DE L'AUTOMOBILE (FIA). (30 DE AGOSTO DE 2021). REGULATIONS - 2021 ANNEXE J / APPENDIX J – ARTICLE 260E. FIA. RECUPERADO EL 10 DE JULIO DE 2021 DE [HTTPS://WWW.FIA.COM/SITES/DEFAULT/FILES/260E_2021_WMSC_2021.07.08_UPDATED_2021.08.30.PDF](https://www.fia.com/sites/default/files/260e_2021_wmsc_2021.07.08_updated_2021.08.30.pdf)
39. FERNÁNDEZ, P. (S.F.). DESIGN OF A ROLL CAGE FOR A BMW E30 318i. THEANSWERIS27.COM. [HTTPS://THEANSWERIS27.COM/DESIGN-OF-A-ROLL-CAGE-FOR-A-BMW-E30-318I/](https://theansweris27.com/design-of-a-roll-cage-for-a-bmw-e30-318i/)
40. KRISHNA, S., SHETYE, A., & MALLAPUR, P. (S.F.). DESIGN AND ANALYSIS OF CHASSIS FOR SAE BAJA VEHICLE. IOSR JOURNAL OF ENGINEERING, 51-57
41. MARTANDE, S., JANGALE, Y., & MOTGI, N. (2013). DESIGN AND ANALYSIS OF SHOCK ABSORBER. INTERNATIONAL JOURNAL OF APPLICATION OR INNOVATION IN ENGINEERING & MANAGEMENT, 2, 195-199. [HTTPS://WWW.IJAIEM.ORG/VOLUME2ISSUE3/IJAIEM-2013-03-17-036.PDF](https://www.ijaiem.org/volume2issue3/ijaiem-2013-03-17-036.pdf)

8.- Índice de ilustraciones.

<i>Ilustración 1: Claro ejemplo del fenómeno Hot Rod. Fuente: Nussbaum, 2021¹.</i>	6
<i>Ilustración 2: Ejemplo de motocicletas Bosozoku. Fuente: MessyNessy, 2015².</i>	6
<i>Ilustración 3: “Tiefensteuer” de Karl Meier. Fuente: Kamei Automotive GMBH, s.f.³.</i>	6
<i>Ilustración 4: Mini Cooper S modificado según las tendencias de los años 60. Fuente: Lackey, 2020⁴.</i>	7
<i>Ilustración 5: Celica TA22 estilo Shakotan, muy popular en Japón en los 70 y 80. Fuente: Staryjaponiec, 2014⁵.</i>	7
<i>Ilustración 6: Honda Civic de cuarta generación, ejemplo de las modificaciones de los años 90. Fuente: Amuse, 2018⁶.</i>	8
<i>Ilustración 7: Ejemplo de las modificaciones llevadas a cabo en España durante la década del 2000. Fuente: García, 2016⁷.</i>	8
<i>Ilustración 8: Representación de los 4 tiempos de un motor de combustión interna. Fuente: Moreno, 1991¹².</i>	18
<i>Ilustración 9: Representación de una caja de cambios y grupo cónico diferencial de un vehículo de tracción delantera. Fuente: Moreno, 1991¹².</i>	18
<i>Ilustración 10: Esquema de transmisión de un vehículo de motor delantero y tracción trasera. Fuente: 2emvospeme, 2016¹³.</i>	19
<i>Ilustración 11: Representación del sistema de dirección de un vehículo. Fuente: Moreno, 1991¹².</i>	19
<i>Ilustración 12: Suspensión delantera BMW E30. Fuente: E30 Zone Wiki, s.f.¹⁴</i>	20
<i>Ilustración 13: Esquema de suspensión trasera BMW E30. Fuente: E30 Zone Wiki, s.f.¹⁴</i>	20
<i>Ilustración 14: Representación del sistema de freno de un vehículo y de alguno de sus componentes. Fuente: Moreno, 1991¹².</i>	21
<i>Ilustración 15: Motor instalado en el vehículo en el desarrollo inicial del proyecto. Fuente: Elaboración propia.</i>	21
<i>Ilustración 16: Caja de cambios procedente del vehículo donante. Fuente: Elaboración propia.</i>	22
<i>Ilustración 17: Detalle del conjunto de muelle y amortiguador instalado. Fuente, elaboración propia.</i>	23
<i>Ilustración 18: Las distintas partes de un amortiguador. Fuente: QA1 High Performance Suspension & Driveline, s.f.¹⁵</i>	23
<i>Ilustración 19: Detalle de los brazos de suspensión traseros instalados. Fuente, elaboración propia.</i>	25
<i>Ilustración 20: Detalle de la modificación realizada en la carrocería. Fuente, elaboración propia.</i>	25
<i>Ilustración 21: Detalle de la modificación realizada en la carrocería. Fuente, elaboración propia.</i>	26
<i>Ilustración 22: Esquema de cargas estáticas en el vehículo. Fuente: Alba y Maza, 2018.¹⁷</i>	28
<i>Ilustración 23: Esquema de cargas dinámicas en aceleración en el vehículo. Fuente: Alba y Maza, 2018.¹⁷</i>	29
<i>Ilustración 24: Esquema de cargas dinámicas en frenada en el vehículo. Fuente: Alba y Maza, 2018.¹⁷</i>	30
<i>Ilustración 25: Detalle de cargas y reacciones por ejes.</i>	31
<i>Ilustraciones 12 y 26 respectivamente: Esquema de suspensión delantera y trasera BMW E30. Fuente: E30 Zone Wiki, s.f.¹⁴</i>	33

<i>Ilustración 27: Detalle de las partes una caja de cambios manual de un vehículo de propulsión.</i>	
<i>Fuente: Peralta, s.f.¹⁸</i>	39
<i>Ilustración 28: Comparativa entre la transmisión original (azul), y la reformada (naranja).</i>	
<i>Fuente: Elaboración propia.</i>	42
<i>Ilustración 29: Sector de una pastilla y disco de freno. Fuente: Baselga, 2018.¹⁹</i>	44
<i>Ilustración 30: Esquematación de la geometría del pedal de freno. Fuente: Baselga, 2018.¹⁹</i>	47
<i>Ilustración 31: Tensiones resultantes de la aplicación de una carga vertical sobre el miembro superior de la estructura. Fuente: Elaboración propia.</i>	49
<i>Ilustración 32: Deformaciones resultantes de la aplicación de una carga vertical sobre el miembro superior de la estructura. Fuente: Elaboración propia.</i>	49
<i>Ilustración 33: Tensiones resultantes de la aplicación de una carga vertical sobre el lateral izquierdo de la estructura. Fuente: Elaboración propia.</i>	50
<i>Ilustración 34: Deformaciones resultantes de la aplicación de una carga vertical sobre el lateral izquierdo de la estructura. Fuente: Elaboración propia.</i>	50
<i>Ilustración 35: Tensiones resultantes de la aplicación de una carga vertical sobre el lateral derecho de la estructura. Fuente: Elaboración propia.</i>	50
<i>Ilustración 36: Deformaciones resultantes de la aplicación de una carga vertical sobre el lateral derecho de la estructura. Fuente: Elaboración propia.</i>	51
<i>Ilustración 37: Suspensión delantera BMW E30. Fuente: E30 Zone Wiki, s.f.¹⁴</i>	67
<i>Ilustración 38: Esquema de suspensión trasera BMW E30. Fuente: E30 Zone Wiki, s.f.¹⁴</i>	67
<i>Ilustración 39: Parámetros de un muelle. Fuente: Ingemecánica. Ingeniería, Consultoría y Formación, s.f.²⁹</i>	68
<i>Ilustración 40: Distribución de tensiones en la sección del muelle. Fuente: Ingemecánica. Ingeniería, Consultoría y Formación, s.f.²⁹</i>	69
<i>Ilustración 41: Rebanada diferencial del alambre de sección d que forma el muelle. Fuente: Ingemecánica. Ingeniería, Consultoría y Formación, s.f.²⁹</i>	70
<i>Ilustración 42: Vista seccionada de un amortiguador regulable con botella externa. Fuente: (FIL, 2017).³⁰</i>	74
<i>Ilustración 43: Esquema del sistema descrito con un grado de libertad. Fuente: Alba y Maza, 2018.¹⁷</i>	74
<i>Ilustración 44: Distintas fuerzas y pares que actúan sobre un vehículo en marcha. Fuente: Baselga, 2018.¹⁹</i>	77
<i>Ilustración 45: Fuerzas y reacciones en el vehículo antes de la reforma. Fuente: Elaboración propia.</i>	80
<i>Ilustración 46: Esquema de las fuerzas que actúan en el vehículo en el frenado. Fuente: Baselga, 2018.¹⁹</i>	81
<i>Ilustración 47: Representación gráfica de las curvas de equiadherencia e isodeceleración. Fuente: Elaboración propia.</i>	83
<i>Ilustración 48: Esquema de las fuerzas que actúan en el vehículo en el frenado. Fuente: Baselga, 2018.¹⁹</i>	83
<i>Ilustración 49: Representación gráfica de las curvas de equiadherencia e isodeceleración. Fuente: Elaboración propia.</i>	85
<i>Ilustración 50: Componentes del sistema de frenado. Fuente: Baselga, 2018.¹⁹</i>	87
<i>Ilustración 51: Partes de una pinza de freno flotante. Fuente: Km77, s.f.³²</i>	87
<i>Ilustración 52: Parámetros necesarios para definir una pinza de freno. Fuente: Baselga, 2018.¹⁹</i>	88



Ilustración 53: Esquema de transmisión de un vehículo de motor delantero y tracción trasera. Fuente: 2emvospeme, 2016. ¹³	91
Ilustración 54: Gráfica obtenida en un dinamómetro donde se refleja el par y potencia de un motor BMW 34-6E-B. Fuente: E30 Zone Wiki, s.f. ³³	92
Ilustración 55: Tren de engranajes simple. Fuente: Baselga, 2018. ³⁴	93
Ilustración 56: Tren de engranajes doble. Fuente: Baselga, 2018. ³⁴	94



9.- Anexos.

Anexo 1: Ficha técnica del vehículo antes de la reforma.

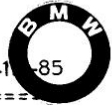
PRESA		Nº 181469 A		MATRICULA	
WALTHER SAUERMANN S.A.				IF-2470-X	
C/ RAMON Y CAJAL Nº 47				N.º CERTIFICADO	
S/C DE TENERIFE		19.09.86		DESTINO DEL VEHICULO	
a vehículo: B.M.W. lo y versión: 320-I lent.: WBAAA310409773015 (Kg.): 1.050 V/PMA1.º E (Kg.): 1.510 V/PMA2.º E (Kg.): V/PMA3.º E (Kg.): V/PMA4.º E (Kg.): S/F/D/F (Kg.): dim. neumáticos ("): 4-195/60HR14 cilindros/Cilindrada (c. c.): 6-1.990			Anchura máxima (mm.): 1.645 Via anterior/posterior (mm.): 1.407/1.415 Longitud máxima (mm.): 4.325 Voladizo máximo posterior (mm.): N.º de asientos: 5 Distancia eje 1.º/2.º (mm.): 2.563 Distancia eje 2.º/3.º (mm.): Distancia eje 3.º/4.º (mm.): Distancia 5.º R/ULT (mm.): Motor: Marca B.M.W. Tipo EXPL.4 TIEB Potencia fiscal (C.V.): 15,61		
<p>Por las piezas de origen extranjero incorporadas a este vehículo se han satisfecho los correspondientes derechos de Aduanas.</p> <p>El abajo firmante, legalmente autorizado por B.M.W., certifica que el vehículo cuyas características se reseñan es completamente conforme con el tipo homologado con la matrícula N.º B-0035.</p> <p>S/C DE TENERIFE, 12 de ABRIL de 19 86</p> <p>Firma del Fabricante Nacional o del Importador:</p> <p>WALTHER SAUERMANN, S. A.</p> <p>P. P.</p> <p>Ciudad inscrita: Reg. Mercantil de Las Palmas, Tomo 135, L. 73</p> <p>acc. 3ª, Folio 132, Hoja 1017, N.I.E. A-35019942</p>					
<p>carrocería de este vehículo es conforme con:</p> <p>de de 19</p> <p>Firma del Carrocero:</p>					
<p>Ciudad inscrita:</p>					
<p>apartado del número:</p>					



Anexo 3.- Ficha técnica BMW M535i E28.

Sociedad de Grupo
BMW

BMW Ibérica S.A.



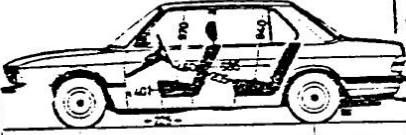


FICHA REDUCIDA PARA LOS VEHICULOS DE LA CATEGORIA " M 1 " SEGUN B.O.E. 320/18-1-85

Destinatario
Destinatario
M A R C A : B M W

CONTRASEÑA DE HOMOLOGACION : B-0906

T I P O	VARIANTES	DEN .COMERC	PARTE FLJA V I N	OBSERVACIONES
TURISMO		535i	* WBADC31 *	CAMBIO MANUAL
535i/E-28	535iA/E-28	535iA	* WBADC41 *	CAMBIO AUTOMATICO

ESQUEMA Y DIMENSIONES			MAN 2 P	MAN 4 P	AUT 2 P	AUT 4 P
  	LONG. TOTAL	A	/	4604	/	4604
	DIST. EJES	B	/	2625	/	2625
	VOLAD. POST	C	/	1096	/	1096
	ALTURA TOTAL	D	/	1098	/	1098
	ANCHO TOTAL	E	/	1415	/	1415
	VIA ANTERIOR	F	/	1700	/	1700
	VIA POSTERIOR	G	/	1710	/	1710
			/	1430	/	1430
			/	1440	/	1440
			/	1460	/	1460
			/	1470	/	1470

EMPLAZAMIENTO PLACA CONSTRUCTOR : SOBRE EL PASO DE RUEDA DERECHO DELANTERO.

EMPLAZAMIENTO NUMERO BASTIDOR : SOBRE EL PASO DE RUEDA DERECHO O NERVIOS CENTRAL DEL HABITAC.

	PESOS TECNICOS MAXIMOS ADMISIBLES				PESOS MAXIMOS AUTORIZADOS			
	MAN 2 P	MAN 4 P	AUT 2 P	AUT 4 P	MAN 2 P	MAN 4 P	AUT 2 P	AUT 4 P
TOTAL	/	1940	/	1940	/	1880	/	1900
1 EJE	/	920	/	920	/	860	/	880
2 EJE	/	1020	/	1020	/	1020	/	1020
TARA	/	---	/	---	/	1445	/	1465
PMR CF	/	---	/	---	/	1500	/	1500
PMR SF	/	---	/	---	/	500	/	500



BASTIDOR

TIPO ESTRUCTURA AUTO-PORTANTE

SUSPENSION

DELANTERA BRAZOS OSCIL.C/MUELLES HELICOIDALES
TRASERA INDEPENDIENTE C/MUELLES HELICOIDALES

AMORTIGUADORES

DELANTEROS HIDRAULICOS TELESCOPICOS
TRASEROS HIDRAULICOS TELESCOPICOS
BARRA ESTABILIZADORA DEL..... XTRASERA..... X

TRANSMISION

TIPO EMBRAGUE MECANICO O CONVERTIDOR DE PAR

MOTOR

MARCA O FABRICANTE B M W
TIPO (SIGLAS) 34-6E-B
POTENCIA EFECTICA 160 KW 218 CV
POTENCIA FISCAL 21,64 CVF
COMBUSTIBLE GASOLINA SUPER
Nº CILINDROS 6 EN LINEA Ø 92 mm

EMBRAGUE

TIPO MANUAL O AUTOMATICO

CAJA DE CAMBIO

TIPO MAN= GETRAC 265/5 265/6 AUT=ZF-4HP-22H/EH
MANDO POR PALANCA
Nº DE RELACIONES MAN= 5+MA AUT= 4 + MA

DISPOSITIVO DE ALUMBRADO Y SENALIZACION

Nº PROYECTORES CORTO ALCANCE 2
Nº PROYECTORES LARGO ALCANCE 2
Nº PROYECTORES MARCHA ATRAS 2
Nº PROJEC. ANTIMIEBLAS DEL. 2
Nº PROJEC. ANTIMIEBLAS TRAS. 1. OPC. 2

DIRECCION

DIAMETRO DEL VOLANTE 400 mm OPC. 390 mm

NEUMATICOS

NUMERO 4 + UNO DE REPUESTO
DIMENSIONES 220/55 VR-390
OPCIONALES 195/70 R-14 200/60 R-390

DISPOSITIVO DE FRENADO

SERVICIO HIDRAULICO SOBRE LAS 4 RUEDA
ESTACIONAMIENTO MECANICO POSTERIOR
SOCORRO SISTEMA DIAGONAL 2 CIRCUITOS INDEP
ASISTENCIA SI X NO

INSTALACION ELECTRICA

TENSION A 12 VOLTIOS
BATERIA BOSCH/VARTA/BERGA VOLT. 12
ALTERNADOR BOSCH 910 - 1120 W. 14 VOLT.

SISTEMA DE REFRIGERACION

TIPO POR AGUA BOMBA CENTRIFUGA RAY-PASS

SISTEMA DE COMBUSTIBLE

CAPACIDAD DEPOSITO 70 LITROS

EQUIPAMIENTOS

ESPEJOS RETROVISORES

EXTERIORES 1 LADO IZD OPC 1 LADO DRCHO
INTERIORES 1 SUJETO AL TECHO

ASIENTOS

Nº DE PLAZAS S.P.

PUERTAS 4 C/APEERTURA DETRAS-DELANTE

RUIDO A VEHICULO PARADO 85,5 dB
REFERENC. SILENC. DELANT. 1 175 769
SILENCIOSO INTERMEDIO 1 175 770
SILENCIOSO POSTERIOR 1 176 048

BMW Iberica, S.A.
 DPTO. HOMOLOGACIONES
 Avda. Castellana, 149
 28046 MADRID



FECHA	REVISION	ANULA A LA DE FECHA

CERTIFICACION DE
 VEHICULOS AUTOMOVILES
 CTVA 10995

Anexo 4.- Elementos de suspensión y su cálculo.

Cuando un automóvil circula por la calzada se generan una serie de vibraciones que se transmiten desde las ruedas al chasis, y del chasis a los pasajeros que lo ocupan. Estas vibraciones llegan a nosotros mediante el sentido del tacto, el oído o la vista.

El confort de marcha de un vehículo se define en función de estas vibraciones, considerando el tacto y la vista como tales, y denominando a las que se perciben auditivamente como ruido. Las frecuencias usuales para las vibraciones de un vehículo se sitúan en el rango de entre 0 y 20 KHz, y el ruido entre 25 y 20 KHz. El conjunto de todas estas vibraciones y ruidos que emite el automóvil será lo que en última instancia establezcan el nivel de confort que sienten las personas que viajan en él, un criterio por otra que depende por tanto de cada persona y de sus preferencias.

A la hora de diseñar un automóvil se deben tener en consideración las características más apreciadas, en general, por los conductores y garantizar cierto nivel de confort. El diseño de este se puede afrontar teniendo en cuenta 3 factores:

- Fuentes de excitación: Las fuentes de las vibraciones que se experimentan en un automóvil son numerosas, pero a grandes rasgos tendremos aquellas que produce el vehículo a consecuencia de su funcionamiento, y aquellas que provienen del exterior.
- Mecanismos de respuesta del vehículo: El sistema de suspensión es el principal mecanismo de repuesta que posee el vehículo ante las irregularidades de la vía. Este sistema está compuesto por una masa suspendida sobre un conjunto de suspensión, formado por un elemento elástico y un amortiguador, situados en las ruedas del automóvil. Además del confort de marcha, el sistema de suspensión es el encargado de la importante tarea de mantener el contacto de los neumáticos con el suelo, absorbiendo las irregularidades y garantizando un agarre óptimo del vehículo.
- Percepción humana: Que puede interpretarse de diversas formas, como el número de frecuencias que se perciben, la dirección de las mismas, postura de las personas en el asiento, las vibraciones percibidas por los pies o las manos o aquellas que se perciben por el oído o la vista.

(Alba y Maza, 2018)¹⁷.

El sistema de suspensión del vehículo protagonista de este proyecto tiene un sistema de suspensión cuyos elementos elásticos son muelles helicoidales; que se presentan en conjunto con amortiguadores de botella tal y como se muestra en las siguientes figuras:

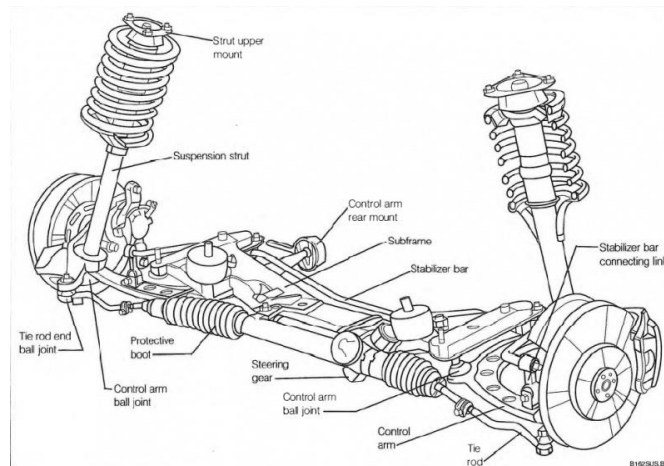


Ilustración 37: Suspensión delantera BMW E30. Fuente: E30 Zone Wiki, s.f. ¹⁴

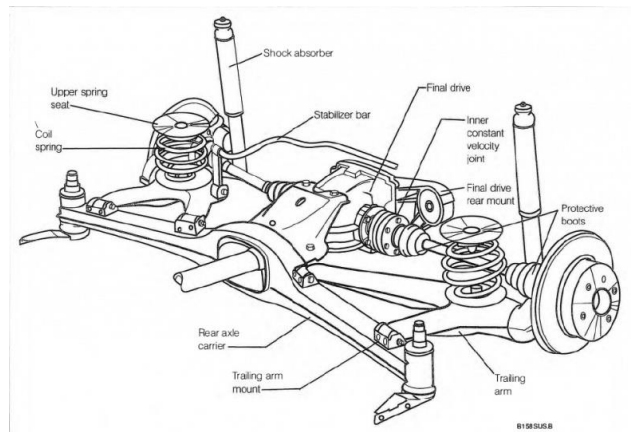


Ilustración 38: Esquema de suspensión trasera BMW E30. Fuente: E30 Zone Wiki, s.f. ¹⁴

Es importante separar los distintos elementos que componen el sistema de suspensión, puesto que como cada uno tiene una misión distinta y bien definida, el cálculo de estos elementos será distinto.

4.1.- Muelles.

4.1.1.- Material.

El muelle es un elemento con la capacidad de recuperar su forma después de que cese el esfuerzo que los deforma. Es por esta capacidad que son ampliamente utilizados como elemento elástico en la suspensión de los vehículos.

Un aspecto determinante a tener en cuenta es el material del que están compuestos los muelles, ya que en función de ello las características del muelle variarán, siendo más o menos aptos para la aplicación prevista. Por lo general el material más extendido es el acero, aunque dentro del propio acero encontramos una variedad muy extensa, desde aceros al carbono tradicionales, hasta aleaciones con mayor resistencia a la corrosión.

4.1.2.- Características de los muelles helicoidales.

En primer lugar, se deben tener en cuenta los distintos parámetros que definen un muelle helicoidal:

D	Diámetro del muelle
d	Diámetro del alambre
p	Paso de la espira
Na	Número de espiras activas
α	Ángulo de la espira
K	Constante elástica del muelle

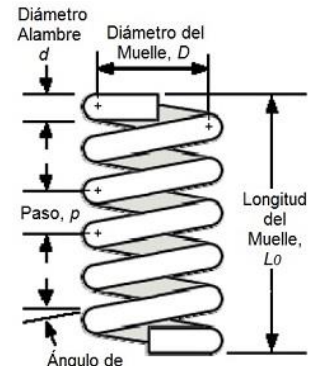


Ilustración 39: Parámetros de un muelle: Fuente: *Ingeniería, Consultoría y Formación*, s.f.²⁹

La constante elástica del muelle, en el caso de muelles sometidos a extensión o compresión viene dada por:

$$K = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot D^3 \cdot Na}$$

Donde G representa el módulo de cizalladura del alambre del muelle.

4.1.3.- Esfuerzos en un muelle helicoidal sometido a compresión.

Cuando un muelle se ve sometido a compresión es debido a que sobre él actúa una carga axial; a esta carga la llamaremos F, y será la responsable de que exista un esfuerzo a cortadura "V" en el muelle, y una torsión "T", que a su vez originarán tensiones tangenciales en la sección del alambre que compone el muelle.

De esta forma:

$$V = F; \quad T = F \cdot \frac{D}{2};$$

Tensiones tangenciales debidas a V:

$$\tau_V = \frac{1,23 \cdot F}{\pi \cdot \frac{d^2}{4}} = \frac{0,615}{c} \cdot \frac{8 \cdot F \cdot D}{\pi \cdot d^3}$$

Y las tensiones tangenciales debidas a T:

$$\tau_T = \frac{T}{\pi \cdot \frac{d^3}{16}} = \frac{8 \cdot F \cdot D}{\pi \cdot d^3}$$

Y la tensión tangencial resultante viene dada por:

$$\tau = \tau_V + \tau_T = \left(1 + \frac{0,615}{c}\right) \cdot \frac{8 \cdot F \cdot D}{\pi \cdot d^3}$$

De donde se obtiene el coeficiente Ks:

$$K_s = \left(1 + \frac{0,615}{c}\right)$$

Con $c = D/d$.

Este planteamiento sería suficiente si solo se tiene en cuenta los efectos de los esfuerzos de cizalladura puros, como, por ejemplo, cuando el muelle se encuentra sometido a una carga estática de compresión. En ese caso, bastaría con comprobar que el valor de la tensión tangencial resultante es inferior al de la tensión de cortadura admisible por el acero.

$$\tau \leq \tau_{adm}$$

A partir de estas expresiones se puede llegar a otra que nos sirve para obtener la carga máxima que es capaz de soportar el muelle a compresión:

$$V_{max} = \frac{\pi \cdot (d)^3 \cdot R_c}{8 \cdot D};$$

Donde R_c es el valor de la resistencia práctica a cizalladura del acero del que está fabricado el muelle.

Sin embargo, se debe tener en cuenta que, en los muelles, debido a la forma del alambre, las fibras que lo forman en su cara interna tienen menor longitud que aquellas que se encuentran en su cara externa, esto resulta en que se origina una distribución de tensiones desigual y, por tanto, se encuentran puntos de concentración de tensiones en las fibras de la cara interna de la sección del alambre. Este fenómeno es particularmente necesario tenerlo en cuenta cuando se afronta el cálculo de un muelle a fatiga.

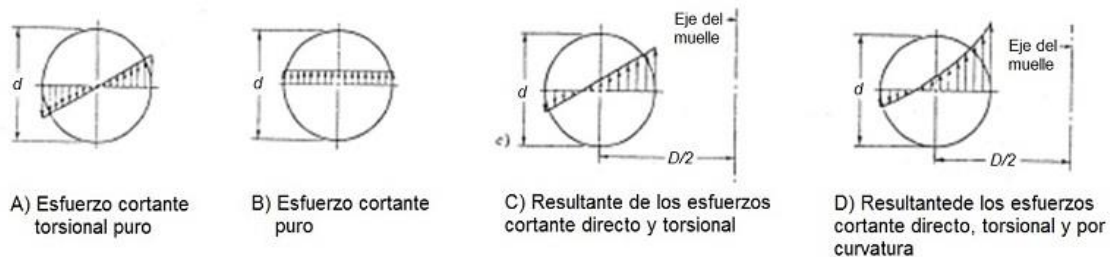


Ilustración 40: Distribución de tensiones en la sección del muelle. Fuente: Fuente: Ingemecánica. Ingeniería, Consultoría y Formación, s.f.²⁹

Si se quiere tener en cuenta este fenómeno en la resolución del cálculo de un muelle helicoidal se ha de tener en cuenta la corrección de Wahl, K_w , que viene dada por la expresión:

$$K_w = \frac{4 \cdot c - 1}{4 \cdot c - 4} + \left(1 + \frac{0,615}{c}\right)$$

En el caso del cálculo a fatiga de un muelle se procedería, se obtendría la tensión mediante la expresión:

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

Donde F se corresponde con el valor de la carga variable.

Posteriormente, bastaría con comprobar que el valor de la tensión tangencial resultante es inferior al de la tensión de cortadura admisible por el acero.

$$\tau \leq \tau_{adm} = \beta \cdot \sigma_u$$

Donde β representa el coeficiente de seguridad dependiente del número de ciclos aplicado en el cálculo a fatiga, y σ_u es la resistencia última del material a tracción.

- $B=0,405$ si $N < 10^4$ ciclos
- $B=0,405$ si $10^4 < N < 10^5$ ciclos
- $B=0,405$ si $N > 10^6$ ciclos

4.1.4.- Cálculo de la deformación del muelle.

Cuando se afronta el estudio de la deformación del alambre al verse sometido a una carga axial F se debe considerar, en primer lugar, la rebanada diferencial de longitud dx, de la sección del alambre que forma el muelle.

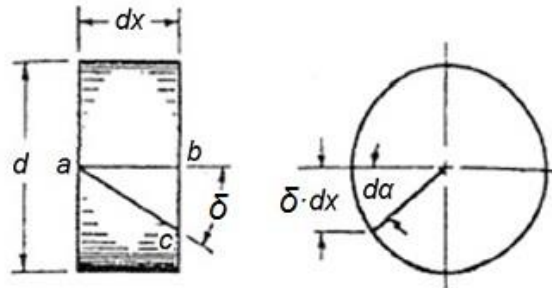


Ilustración 41: Rebanada diferencial del alambre de sección d que forma el muelle. Fuente: Fuente: Ingemecánica. Ingeniería, Consultoría y Formación, s.f.²⁹

Al actuar la mencionada fuerza axial F sobre el muelle, lo deforma y con ello la sección dibujada en la ilustración anterior gira un ángulo δ , desplazando la sección ab hasta la sección ac.

La relación entre la tensión y la deformación viene dada por la ley de Hook, y se relaciona mediante el módulo de cizalladura G mediante la siguiente expresión:

$$\delta = \frac{\tau}{G}$$

Anteriormente se expresó la tensión en función del factor Kw de Wahl, sin embargo, como en este caso se considera un diferencial de longitud infinitamente pequeña de alambre dx, el efecto de la curvatura asociada al

muelle queda en un segundo plano y pasa a considerarse despreciable, en consecuencia, $K_w=1$, lo que implica:

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

Y el giro relativo entre dos secciones de alambre separadas por dx quedaría:

$$d\beta = \frac{2\delta \cdot dx}{d}$$

Es decir:

$$d\beta = \frac{16 \cdot F \cdot D \cdot dx}{G \cdot \pi \cdot d^4}$$

Aplicando este razonamiento a un muelle helicoidal con un número de espiras activas N_a , la longitud de alambre es:

$$L = \pi \cdot D \cdot N_a$$

A partir de aquí es relativamente sencillo obtener la deformación angular, producida por una carga axial F , entre los dos extremos de un muelle. Para ello se integra el diferencial del ángulo β a lo largo de la longitud del alambre.

$$\beta = \int_0^L d\beta = \int_0^{\pi \cdot D \cdot N_a} \frac{2\delta \cdot dx}{d} = \frac{16 \cdot F \cdot D^2 \cdot N_a}{G \cdot d^4}$$

La carga F tiene asociado un momento, dado que está separada de las espiras una distancia $D/2$. De esta forma, la deformación tiene un valor de:

$$y = \frac{\beta \cdot D}{2} = \frac{8 \cdot F \cdot D^2 \cdot N_a}{G \cdot d^4}$$

Esta expresión también sirve para obtener la constante elástica del muelle K , y es que:

$$K = \frac{F}{y} = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot D^2 \cdot N_a}$$

Se debe tener en cuenta, cuando se aplica a casos reales, que la deformación máxima que puede experimentar un muelle, o flecha máxima, viene dada por la diferencia entre su longitud inicial L y su longitud cuando todas las espiras se encuentran comprimidas, o longitud al bloque, L_b :

$$f_{m\acute{a}x} = L - L_b$$

Finalmente, para obtener el valor de la carga máxima en función de la flecha, es decir, la carga necesaria para consumir por completo el recorrido disponible del muelle, se utiliza la siguiente expresión.

$$Q = \frac{f_{\max} \cdot G \cdot (De)^4 \cdot R_C}{64 \cdot Na \cdot (Dm/2)^3};$$

4.1.5.- Cálculo de muelles a torsión.

Los esfuerzos a torsión que se ejercen en un muelle, y que vienen dados por un momento torsor $M=F \cdot r$, se traducen en la sección del muelle en un esfuerzo normal a la misma:

$$\sigma = K \cdot \frac{M}{W}$$

Donde W es el módulo resistente a flexión de la sección del alambre que forma el muelle y K es un coeficiente que sirve para definir la concentración de tensiones derivadas de la forma curvada del muelle, y que dependerá de la forma, así como de la consideración que se tome de la fibra interna o externa.

$$W = \frac{I}{c} = \frac{\pi \cdot \frac{d^4}{64}}{d/2} = \frac{\pi \cdot d^3}{32}$$

Por tanto:

$$\sigma = K \cdot \frac{32 \cdot F \cdot r}{\pi \cdot d^3}$$

Según Wahl, el coeficiente K se puede calcular, teniendo en cuenta que $c=D/d$, mediante:

$$K_{\text{interna}} = \frac{4c^2 - c - 1}{4c \cdot (c - 1)}$$

$$K_{\text{externa}} = \frac{4c^2 + c - 1}{4c \cdot (c - 1)}$$

En lo referente a la deformación angular del muelle sometido a un esfuerzo torsor derivado de un momento $M=F \cdot r$, se partirá de la energía de deformación del muelle U , para lo cual se debe integrar a lo largo de toda la longitud del alambre que forma el muelle:

$$U = \int_0^{\pi \cdot D \cdot L} \frac{M^2}{2EI} \cdot dx$$

Del mismo modo, sabemos que el desplazamiento asociado a unas fuerzas que actúan sobre un elemento elástico viene dado por:

$$\Delta = dU/dF$$

Y como se dijo anteriormente, la fuerza F tiene un brazo r y recorre un ángulo θ , ángulo que se corresponde con la deformación angular que experimenta el muelle.

$$\Delta = r \cdot \theta = dU/dF$$

Esto implica que:

$$r \cdot \theta = \int_0^{\pi \cdot D \cdot L} \frac{(F \cdot r)^2}{2EI} \cdot \frac{d}{dF} \cdot dx = \int_0^{\pi \cdot D \cdot L} \frac{F \cdot r^2}{EI} \cdot dx$$

Y un alambre redondo, con inercia:

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64}$$

Que despejando θ , resolviendo y sustituyendo:

$$\theta = \frac{64 \cdot F \cdot r \cdot D \cdot Na}{E \cdot d^4}$$

Para finalizar, con respecto al cálculo de la constante elástica del muelle K, para un muelle sometido a torsión, esta viene definida por:

$$K = \frac{F \cdot r}{\theta} \left(\frac{kg \cdot cm}{rad} \right)$$

Si se sustituye en esta expresión el valor calculado para la deformación angular se obtiene:

$$K = \frac{E \cdot d^4}{64 \cdot D \cdot Na}$$

Finalmente, se recoge la expresión necesaria para calcular el número de espiras que necesita tener un muelle para soportar una fuerza F con una deflexión determinada x es:

$$Na = \frac{G \cdot d^4 \cdot x}{8F \cdot D^3}$$

En definitiva, el esfuerzo de torsión que se ejerce sobre un muelle sometido a una carga axial F viene dado por:

$$T = \frac{8 \cdot K \cdot D \cdot F}{\pi \cdot d^3};$$

(Ingemecánica. Ingeniería, Consultoría y Formación, s.f.)²⁹

4.2.- Amortiguadores.

El amortiguador es un elemento del sistema de suspensión cuya misión es controlar el movimiento de los muelles cuando estos absorben las irregularidades del firme. Es por ello por lo que su función y estudio no se pueden desvincular del propio muelle junto al que van instalados.



Ilustración 42: Vista seccionada de un amortiguador regulable con botella externa. Fuente: (FIL, 2017).³⁰

Para afrontar el cálculo se debe considerar, por tanto, un sistema de oscilación compuesto por un muelle y amortiguador colocados en paralelo, y con un grado de libertad en la perpendicular a la sección del vástago del mencionado amortiguador. Se considera por tanto que el conjunto se encuentra en un equilibrio estático que tomaremos de referencia, y al que denominaremos mediante la letra O, con una reducción de su longitud Δz_{est} :

$$\sum F_{ext} = 0: mg - k \cdot \Delta z_{est} = 0 \rightarrow mg = k \cdot \Delta z_{est}$$

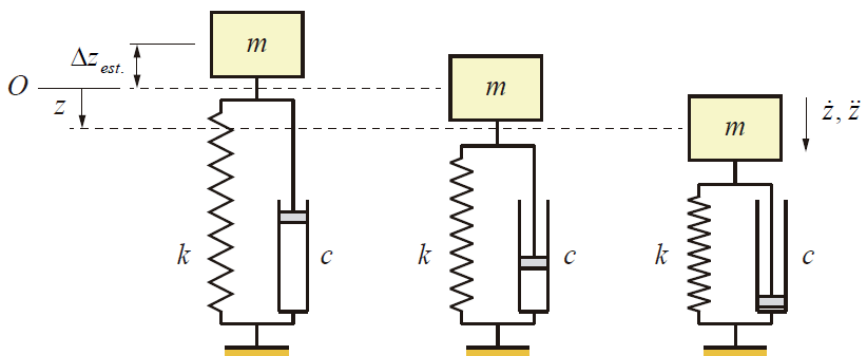


Ilustración 43: Esquema del sistema descrito con un grado de libertad. Fuente: Alba y Maza, 2018.¹⁷

Si hacemos el equilibrio de fuerzas considerando la masa suspenda m:

$$\sum F_{ext} = m \cdot a: \quad mg - k \cdot (z - \Delta z_{est}) - c \cdot \dot{z} = m\ddot{z}$$

$$mg - kz - mg - c \cdot \dot{z} = m\ddot{z} \rightarrow -kz - c \cdot \dot{z} = m\ddot{z}$$

Luego, el movimiento del sistema vendrá dado por:

$$m\ddot{z} + c \cdot \dot{z} + kz = 0$$

Antes de resolver la ecuación diferencial debemos definir el factor de amortiguamiento, la frecuencia angular natural y la frecuencia natural angular amortiguada, que por orden serían:

$$\xi = \frac{c}{2 \cdot m \cdot \omega_n}$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$\omega_d = \omega_n \cdot \sqrt{1 - \xi^2}$$

Cuya ecuación característica es:

$$m\lambda^2 + c \cdot \lambda + k = 0$$

Si se resuelve se obtiene:

$$\lambda_1 = \omega_n \cdot \left(-\xi + \sqrt{\xi^2 - 1}\right)$$

$$\lambda_2 = \omega_n \cdot \left(-\xi - \sqrt{\xi^2 - 1}\right)$$

Una vez hallada la solución, el sistema compuesto por muelle y amortiguador, por su forma de actuar, puede clasificarse en subamortiguado, sobreamortiguado o críticamente amortiguado.

- Sobreamortiguado $\xi > 1$.
- Críticamente amortiguado $\xi < 1$.
- Subamortiguado $\xi < 1$.

En la aplicación que nos ocupa, la suspensión de un automóvil, las dos primeras opciones no se consideran válidas, puesto que la misión del amortiguador es, como se dijo anteriormente, controlar el movimiento oscilatorio del muelle provocado por la absorción de las irregularidades del firme, frenándolo hasta estabilizarlo. Así pues, la única opción que consideraremos válida es que el conjunto muelle-amortiguador trabajen en régimen subamortiguado ($\xi < 1$).

Para el caso en el que $\xi < 1$, si se resuelve la ecuación de posición se obtiene:

$$z = e^{-\xi \cdot \omega_n \cdot t} \cdot (A \cdot \cos(\omega_d \cdot t) + B \cdot \text{sen}(\omega_d \cdot t))$$

Derivando la expresión una vez respecto al tiempo se obtiene la velocidad, y con la segunda derivada la aceleración:

$$\dot{z} = -\xi \cdot \omega_n \cdot e^{-\xi \cdot \omega_n \cdot t} \cdot (A \cdot \cos(\omega_d \cdot t) + B \cdot \text{sen}(\omega_d \cdot t)) + \omega_d \cdot e^{-\xi \cdot \omega_n \cdot t} \cdot (-A \cdot \text{sen}(\omega_d \cdot t) + B \cdot \cos(\omega_d \cdot t))$$

$$\ddot{z} = (\xi \cdot \omega_n)^2 \cdot e^{-\xi \cdot \omega_n \cdot t} \cdot (A \cdot \cos(\omega_d \cdot t) + B \cdot \text{sen}(\omega_d \cdot t)) - 2\xi \cdot \omega_d \cdot \omega_n \cdot e^{-\xi \cdot \omega_n \cdot t} \cdot (-A \cdot \text{sen}(\omega_d \cdot t) + B \cdot \cos(\omega_d \cdot t)) + \omega_d^2 \cdot e^{-\xi \cdot \omega_n \cdot t} \cdot (-A \cdot \cos(\omega_d \cdot t) - B \cdot \text{sen}(\omega_d \cdot t))$$

Aplicando las condiciones de contorno:

$$\text{Para } z(0) = 0: \quad z = (A + B \cdot 0) = A = z_0$$

$$\text{Para } \dot{z}(0) = \dot{z}_0: \quad \dot{z} = -\xi \cdot \omega_n \cdot (A + B \cdot 0) + \omega_d \cdot (-A \cdot 0 + B) =$$

$$\dot{z} = -\xi \cdot \omega_n \cdot A + \omega_d \cdot B$$

Despejando las constantes:

$$A = z_0 \quad B = \frac{\dot{z}_0^2 + \xi \cdot \omega_n \cdot z_0}{\omega_d}$$

Si se aplica el cálculo a un automóvil, en primer lugar, se debe calcular el coeficiente de amortiguamiento crítico C_{cr} , y posteriormente, utilizando ese valor y los coeficientes de compresión C_{comp} y expansión C_{exp} , ya que un amortiguador no tiene por qué trabajar igual en la fase de compresión y en la de extensión. Estos se facilitan por el fabricante del amortiguador, o se determinan experimentalmente, y permiten obtener el factor de amortiguamiento, que como ya se ha mencionado, debe tener un valor inferior de la unidad para tener el comportamiento deseado, subamortiguado.

De este modo, el coeficiente de amortiguamiento crítico vendría dado por:

$$C_{cr} = 2 \cdot \sqrt{K \cdot MMA}$$

Donde K será la constante de rigidez del muelle al que va asociado el amortiguador, y MMA se corresponde con el valor máximo admisible de carga por eje. El 2 que aparece al principio resulta de tener 2 amortiguadores por eje, y la carga máxima admisible por eje queda repartido entre ellos.

Una vez obtenido C_{cr} y conocidos C_{comp} y C_{exp} , el factor de amortiguamiento viene dado por:

$$\xi = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{C_{comp}}{C_{cr}} + \frac{C_{ext}}{C_{cr}} \right)$$

(Alba y Maza, 2018)¹⁷.

Anexo 5.- Curvas de equiadherencia e isodeceleración, explicación y cálculo.

5.1.- Curvas de equiadherencia.

Las curvas de equiadherencia son la representación gráfica de la relación entre los pares máximos de frenado delantero y trasero para distintas condiciones de adherencia.

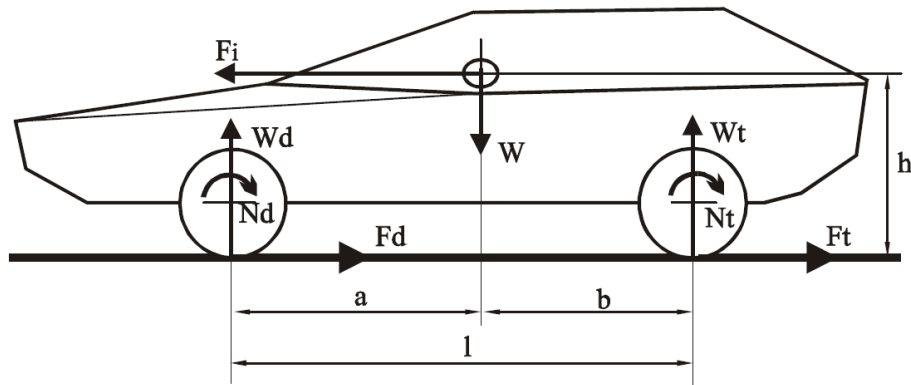


Ilustración 44: Distintas fuerzas y pares que actúan sobre un vehículo en marcha. Fuente: Baselga, 2018.¹⁹

Inicialmente se recogen las distintas variables que serán necesarias para obtener las curvas de equiadherencia e isodeceleración y su significado.

W	Peso del vehículo
Wd	Carga sobre el tren delantero
Wt	Carga sobre el tren trasero
Fd	Fuerza de frenado en eje delantero
Ft	Fuerza de frenado en eje trasero
FF	Fuerza de frenado resultante
h	Altura del centro de gravedad
l	Batalla del vehículo
a	Distancia del centro de gravedad al eje delantero
b	Distancia del centro de gravedad al eje trasero
g	Aceleración de la gravedad
R	Radio de la rueda

Tabla 41: Parámetros relativos al sistema de frenos. Fuente: Baselga, 2018.¹⁹

A partir de aquí se pueden ir calculando todos los parámetros necesarios para obtener las curvas de equiadherencia de la siguiente forma:

Partiendo de la deceleración de frenado (γ) se puede obtener la fuerza de inercia longitudinal (F_i):

$$F_i = \frac{W}{g} \cdot \gamma$$

Y también las cargas sobre el tren delantero y trasero, así como las reacciones normales estáticas al suelo para ambos ejes:

$$W_d = \frac{W \cdot b}{l} + \frac{W \cdot h}{g \cdot l} \cdot \gamma$$

$$W_t = \frac{W \cdot a}{l} - \frac{W \cdot h}{g \cdot l} \cdot \gamma$$

$$W_{de} = \frac{W \cdot b}{l}; \quad W_{te} = \frac{W \cdot h}{g \cdot l}$$

Una vez calculados estos parámetros estamos en posición de obtener el esfuerzo máximo de frenada en cada eje:

$$F_{d,m\acute{a}x} = W_d \cdot \mu_a; \quad F_{t,m\acute{a}x} = W_t \cdot \mu_a;$$

Donde:

$F_{d,m\acute{a}x}$ = Fuerza de frenado máxima en el eje delantero.

$F_{t,m\acute{a}x}$ = Fuerza de frenado máxima en el eje trasero.

μ_a = Coeficiente de adherencia.

$$\mu_a \cdot W_d + \mu_a \cdot W_t = \frac{W}{g} \cdot \gamma_{m\acute{a}x}$$

Donde, para el caso en el que actúan los máximo esfuerzos de frenada, la deceleración obtenida es máxima ($\gamma_{m\acute{a}x}$), teniendo en cuenta la expresión de los pesos.

$$\mu_a \cdot W = \frac{W}{g} \cdot \gamma_{m\acute{a}x} \rightarrow \gamma_{m\acute{a}x} = \mu_a \cdot g$$

$$F_{d,m\acute{a}x} = \frac{W \cdot b}{l} \cdot \mu_a + \frac{W \cdot h}{g \cdot l} \cdot \mu_a \cdot \mu_a \cdot g \rightarrow F_{d,m\acute{a}x} = \frac{W}{l} \cdot \mu_a \cdot (b + h \cdot \mu_a)$$

$$F_{t,m\acute{a}x} = \frac{W \cdot a}{l} \cdot \mu_a - \frac{W \cdot h}{g \cdot l} \cdot \mu_a \cdot \mu_a \cdot g \rightarrow F_{t,m\acute{a}x} = \frac{W}{l} \cdot \mu_a \cdot (a - h \cdot \mu_a)$$

Y los pares máximos de frenada se obtendrían como:

$$N_{d,m\acute{a}x} = R \cdot \frac{W}{l} \cdot \mu_a \cdot (b + h \cdot \mu_a)$$

$$N_{t,m\acute{a}x} = R \cdot \frac{W}{l} \cdot \mu_a \cdot (a - h \cdot \mu_a)$$

Donde:

$N_{d,m\acute{a}x}$ = Par de frenado máximo en el eje delantero.

$N_{t,m\acute{a}x}$ = Par de frenado máximo en el eje trasero.

R = Radio de rodadura de la rueda.

Para los esfuerzos máximos de frenada se cumple:

$$F_{d,m\acute{a}x} = \mu_a \cdot W_d; \quad F_{t,m\acute{a}x} = \mu_a \cdot W_t$$

Hallamos el cociente entre los pares máximos de frenada:

$$\frac{N_{t,máx}}{N_{d,máx}} = R \cdot \frac{F_{t,máx}}{F_{d,máx}} = \mu_a \cdot \frac{W_t}{W_d} = \frac{W_{te} - F_i \cdot \frac{h}{l}}{W_{de} + F_i \cdot \frac{h}{l}}$$

Desarrollando:

$$\frac{N_{t,máx}}{N_{d,máx}} = \frac{W_{te} - (F_{t,máx} + F_{d,máx}) \cdot \frac{h}{l}}{W_{de} + (F_{t,máx} + F_{d,máx}) \cdot \frac{h}{l}} = \frac{W_{te} - \left(\frac{N_{t,máx}}{R} + \frac{N_{d,máx}}{R}\right) \cdot \frac{h}{l}}{W_{de} + \left(\frac{N_{t,máx}}{R} + \frac{N_{d,máx}}{R}\right) \cdot \frac{h}{l}}$$

De donde obtendremos la siguiente ecuación, la cual sirve para relacionar $N_{d,max}$ y $N_{t,máx}$, obteniendo de esta forma la curva parabólica que denominamos *curva de equiaderencia*.

$$\frac{h}{R \cdot l} \cdot (N_{d,máx} + N_{t,máx})^2 + N_{t,máx} \cdot W_{de} - N_{d,máx} \cdot W_{de} = 0$$

(Baselga, 2018)¹⁹.

5.2.- Curva de isodeceleración

Las curvas de isodeceleración nos sirven para conocer el comportamiento del vehículo en distintas condiciones de adherencia, por ejemplo, cuando las condiciones y materiales del firme varían, o cuando cambia el estado de los neumáticos. En la siguiente tabla se recogen los coeficientes de adherencia μ para distintos tipos de firme y estados:

Tipo de suelo		Asfalto Medio				Asfalto compacto		Hormigón	
		Embarrado	Helado	Mojado	Seco	Mojado	Seco	Mojado	Seco
Neumáticos	Nuevos	0,15	0,1	0,65	0,8	0,65	0,6	0,7	1
	Usados	0,1	0,1	0,55	0,8	0,3	0,6	0,50	1

Tabla 42: Coeficientes de rozamiento de distintas superficies en distintas circunstancias. Fuente: Lorente 2018.³¹

Para obtener las curvas de isodeceleración se deben tomar valores constantes de μ en la siguiente ecuación:

$$F_{dm} + F_{tm} = m \cdot \mu = cte$$

Donde para obtener las mencionadas curvas se irán tomando valores de F_{tm} y se obtendrán los correspondientes valores de F_{dm} . La resultante se representará junto con las curvas de equiaderencia, representando el cruce de cada una de las curvas aquellos valores máximos de fuerza de frenado, tanto delantera como trasera, que sería capaz de alcanzar nuestro vehículo para cada uno de los terrenos y estados.

5.3.- Cálculo de curvas de equiaderencia e isodeceleración antes de la reforma.

En primer lugar, se deben calcular las reacciones debida a las cargas con el vehículo en carga, para ello se calculan las cargas por eje para el vehículo antes de la reforma:

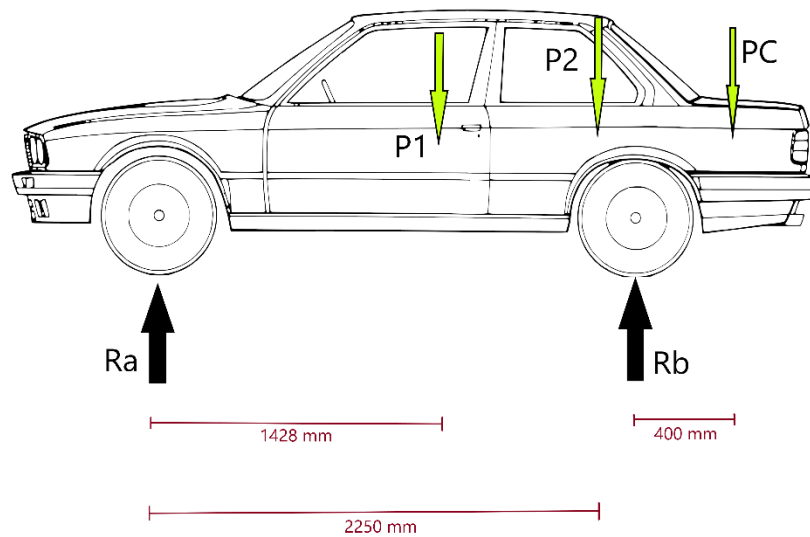


Ilustración 45: Fuerzas y reacciones en el vehículo antes de la reforma. Fuente: Elaboración propia.

Para la carga P1:

$$R_b = \frac{P1 \cdot 1428}{2563} = \frac{150 \cdot 1428}{2563} = 83,57 \text{ kg}$$

$$R_a = \frac{P1 \cdot (2563 - 1428)}{2563} = \frac{150 \cdot (2563 - 1428)}{2563} = 66,43 \text{ kg}$$

Para la carga P2:

$$R_b = \frac{P2 \cdot 2250}{2563} = \frac{150 \cdot 2250}{2563} = 131,68 \text{ kg}$$

$$R_a = \frac{P2 \cdot (2563 - 2250)}{2563} = \frac{150 \cdot (2563 - 2250)}{2563} = 18,32 \text{ kg}$$

Para la carga PC:

$$R_b = PC = 160 \text{ kg}$$

$$R_a = 0 \text{ kg}$$

(Kg)	Plazas	Primer eje (Ra)	Segundo eje (Rb)	TOTAL
TARA	-	575,4	474,6	1050
Pasajeros (P1)	2	66,43	83,57	150
Pasajeros (P2)	3	27,48	197,52	225
Carga (PC)	-	0	85	85
Total	2	669,31	840,69	1510
M.M.A.	-	-	-	1510
Sobrecarga	-	-	-	100%
Porcentaje	-	44,33%	55,67%	100%

Tabla 43: Reacciones y reparto de carga del vehículo antes de la reforma. Fuente: Elaboración propia.

Como nuestro objetivo es comparar los sistemas de frenado antes y después de la reforma, se considerará únicamente una condición de adherencia, concretamente la condición de asfalto medio seco para un neumático usado, por ser la más común en la vida real.

$$\mu = 0,8$$

Del mismo modo, las características antes de la reforma son las siguientes:

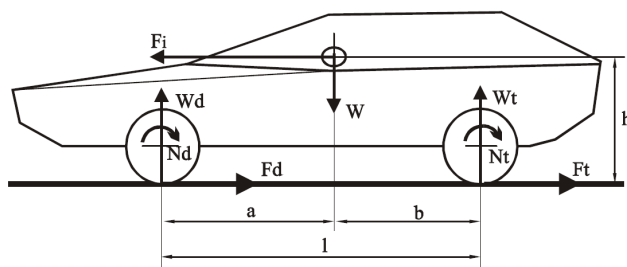


Ilustración 46: Esquema de las fuerzas que actúan en el vehículo en el frenado. Fuente: Baselga, 2018.¹⁹

Inicialmente se recogen las distintas variables que serán necesarias para obtener las curvas de equiadherencia e isodeceleración y su significado.

	Vacío	Carga
W	1050 kg	1510
Wd	575,4 kg	669,31
Wt	474,6 kg	840,69
h	500 mm	
l	2563 mm	
a	1158,48 mm	1136,18
b	1404,52 mm	1426,82
g	9,81 m/s ²	
μ	0,8	
R	290 mm	

Tabla 44: Parámetros necesarios para el cálculo de las curvas de equiadherencia e isodeceleración. Fuente: Elaboración propia.

Mediante el uso de Excel se han calculado los valores de Fdm y Ftm para distintos coeficientes de rozamiento μ , a continuación, se expone la tabla con los resultados y su representación gráfica, situando en el eje horizontal Fdm y en el vertical Ftm, reflejando así las curvas de equiadherencia para la situación de vehículo vacío y en carga. Finalmente, para obtener la curva de isodeceleración para un $\mu=0,8$, se parte en primer lugar de una escala de Ftm asignada en un intervalo que irá desde 3000 N hasta 0 y se calculará Fdm para cada punto. La representación gráfica de la curva de isodeceleración se realiza junto a la curva de equiadherencia calculada previamente.

μ	VACÍO		CARGA	
	Fdm	Ftm	Fdm	Ftm
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,05	287,26	227,77	419,55	321,11
0,10	584,56	445,49	853,54	627,77
0,15	891,91	653,16	1301,99	919,98
0,20	1209,31	850,79	1764,88	1197,74
0,25	1536,76	1038,37	2242,22	1461,05
0,30	1874,25	1215,90	2734,01	1709,92
0,35	2221,79	1383,39	3240,25	1944,33

0,40	2579,38	1540,82	3760,94	2164,30
0,45	2947,01	1688,21	4296,08	2369,81
0,50	3324,69	1825,56	4845,67	2560,88
0,55	3712,42	1952,85	5409,71	2737,50
0,60	4110,20	2070,10	5988,19	2899,67
0,65	4518,03	2177,30	6581,13	3047,39
0,70	4935,90	2274,45	7188,51	3180,66
0,75	5363,82	2361,56	7810,34	3299,48
0,80	5801,78	2438,62	8446,62	3403,86
0,85	6249,80	2505,63	9097,35	3493,78
0,90	6707,86	2562,59	9762,53	3569,26
0,95	7175,96	2609,51	10442,16	3630,28
1,00	7654,12	2646,38	11136,24	3676,86

Tabla 45: Fuerzas máximas de frenado en los ejes delantero y trasero para diferentes coeficientes de fricción en el vehículo antes de la reforma. Fuente: Elaboración propia.

ISODECCELERACIÓN	
F _{tm}	F _{dm}
3000	5240,4
2900	5340,4
2800	5440,4
2700	5540,4
2600	5640,4
2500	5740,4
2400	5840,4
2300	5940,4
2200	6040,4
2100	6140,4
2000	6240,4
1900	6340,4
1800	6440,4
1700	6540,4
1600	6640,4
1500	6740,4

1400	6840,4
1300	6940,4
1200	7040,4
1100	7140,4
1000	7240,4
900	7340,4
800	7440,4
700	7540,4
600	7640,4
500	7740,4
400	7840,4
300	7940,4
200	8040,4
100	8140,4
0	8240,4

Tabla 46: Relación entre la fuerza máxima de frenado trasera y delantera para un mismo coeficiente de adherencia en el vehículo antes de la reforma. Fuente: Elaboración propia.

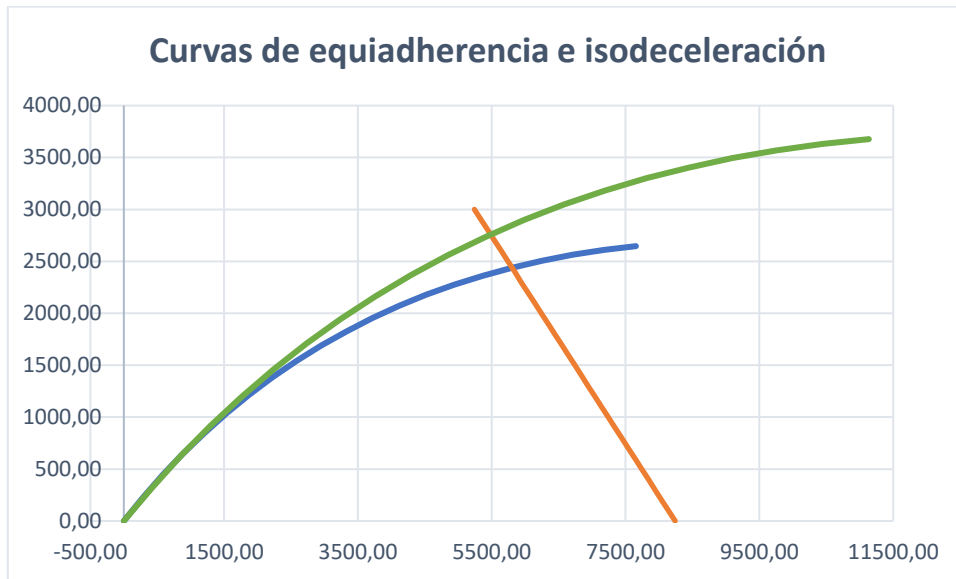


Ilustración 47: Representación gráfica de las curvas de equiadherencia e isodeceleración. Fuente: Elaboración propia.

De donde se obtienen unos valores máximos fuerzas de frenado, para $\mu=0,8$, de:

Vacío: $F_{dm} = 5801,78 \text{ N}; \quad F_{tm} = 2438,62 \text{ N}$

Carga: $F_{dm} = 8446,62 \text{ N}; \quad F_{tm} = 3403,86 \text{ N}$

Y de aquí los valores de los pares máximos de frenado:

Vacío: $N_{dm} = 5801,78 \cdot R = 1682,52 \text{ Nm} \quad N_{tm} = 2438,62 \cdot R = 707,20 \text{ Nm}$

Carga: $N_{dm} = 8446,62 \cdot R = 2449,52 \text{ Nm} \quad N_{tm} = 3403,86 \cdot R = 987,12 \text{ Nm}$

5.4.- Cálculo de curvas de equiadherencia e isodeceleración después de la reforma.

De forma análoga a como se ha desarrollado el cálculo de las curvas antes de la reforma, se considerará únicamente la condición de adherencia de asfalto medio seco para un neumático usado.

$$\mu = 0,8$$

También se considerará únicamente la situación del vehículo en vacío, cuyas características antes de la reforma son las siguientes:

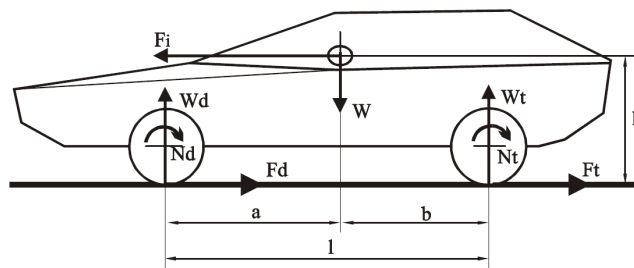


Ilustración 48: Esquema de las fuerzas que actúan en el vehículo en el frenado. Fuente: Baselga, 2018.¹⁹

Inicialmente se recogen las distintas variables que serán necesarias para obtener las curvas de equiadherencia e isodeceleración y su significado.

	Vacío	Carga
W	1138 kg	1538
Wd	622,49 kg	706,25
Wt	515,51 kg	831,75
h	450 mm	
l	2563 mm	
a	1161,04 mm	1176,93
b	1401,96 mm	1386,07
g	9,81 m/s ²	
μ	0,8	
R	302 mm	

Tabla 47: Parámetros necesarios para el cálculo de las curvas de equiadherencia e isodeceleración. Fuente: Elaboración propia.

Mediante el uso de Excel se han calculado los valores de Fdm y Ftm para distintos coeficientes de rozamiento μ , a continuación, se expone la tabla con los resultados y su representación gráfica, situando en el eje horizontal Fdm y en el vertical Ftm, reflejando así las curvas de equiadherencia para la situación de vehículo vacío y en carga. Finalmente, para obtener la curva de isodeceleración para un $\mu=0,8$, se parte en primer lugar de una escala de Ftm asignada en un intervalo que irá desde 3500 N hasta 0 y se calculará Fdm para cada punto. La representación gráfica de la curva de isodeceleración se realiza junto a la curva de equiadherencia calculada previamente.

mu	Vacío		carga	
	Fdm	Ftm	Fdm	Ftm
0	0	0	0,00	0,00
0,05	310,23	247,96	414,60	339,79
0,1	630,26	486,12	842,44	666,34
0,15	960,09	714,48	1283,52	979,64
0,2	1299,72	933,04	1737,86	1279,70
0,25	1649,15	1141,79	2205,43	1566,51
0,3	2008,38	1340,75	2686,25	1840,08
0,35	2377,41	1529,91	3180,32	2100,40
0,4	2756,25	1709,26	3687,63	2347,48
0,45	3144,88	1878,82	4208,19	2581,31
0,5	3543,31	2038,58	4742,00	2801,89
0,55	3951,55	2188,53	5289,04	3009,24
0,6	4369,58	2328,69	5849,34	3203,33
0,65	4797,42	2459,04	6422,88	3384,18
0,7	5235,05	2579,60	7009,66	3551,79
0,75	5682,49	2690,35	7609,69	3706,15
0,8	6139,72	2791,30	8222,96	3847,26
0,85	6606,76	2882,45	8849,48	3975,13
0,9	7083,59	2963,81	9489,25	4089,75
0,95	7570,23	3035,36	10142,26	4191,13

1	8066,67	3097,11	10808,51	4279,27
---	---------	---------	----------	---------

Tabla 48: Fuerzas máximas de frenado en los ejes delantero y trasero para diferentes coeficientes de fricción en el vehículo antes de la reforma. Fuente: Elaboración propia.

ISODECELERACIÓN	
F _{tm}	F _{dm}
3500	5431,02
3400	5531,02
3300	5631,02
3200	5731,02
3100	5831,02
3000	5931,02
2900	6031,02
2800	6131,02
2700	6231,02
2600	6331,02
2500	6431,02
2400	6531,02
2300	6631,02
2200	6731,02
2100	6831,02
2000	6931,02
1900	7031,02
1800	7131,02

1700	7231,02
1600	7331,02
1500	7431,02
1400	7531,02
1300	7631,02
1200	7731,02
1100	7831,02
1000	7931,02
900	8031,02
800	8131,02
700	8231,02
600	8331,02
500	8431,02
400	8531,02
300	8631,02
200	8731,02
100	8831,02
0	8931,02

Tabla 49: Relación entre la fuerza máxima de frenado trasera y delantera para un mismo coeficiente de adherencia en el vehículo antes de la reforma. Fuente: Elaboración propia.

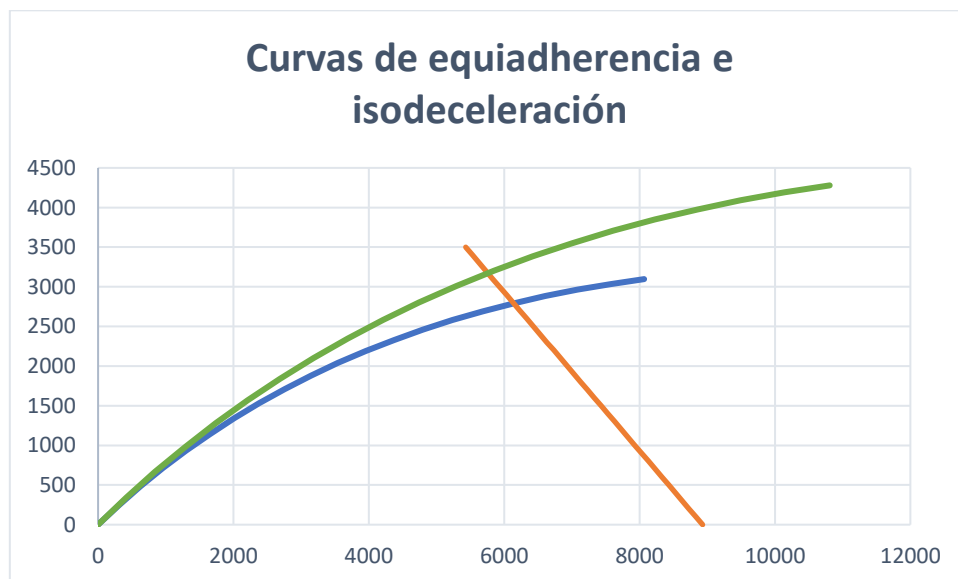


Ilustración 49: Representación gráfica de las curvas de equiadherencia e isodeceleración. Fuente: Elaboración propia.

De donde se obtienen unos valores máximos fuerzas de frenado, para $\mu=0,8$, de:



Vacío: $F_{dm} = 6279,11 \text{ N}; \quad F_{tm} = 2651,92 \text{ N}$

Carga: $F_{dm} = 8411,34 \text{ N}; \quad F_{tm} = 3658,88 \text{ N}$

Y de aquí los valores de los pares máximos de frenado:

Vacío: $N_{dm} = 6279,11 \cdot R = 1896,29 \text{ Nm} \quad N_{tm} = 2651,92 \cdot R = 800,88 \text{ Nm}$

Carga: $N_{dm} = 8411,34 \cdot R = 2540,22 \text{ Nm} \quad N_{tm} = 3658,88 \cdot R = 1104,98 \text{ Nm}$

Anexo 6: Cálculo del equipo de frenado.

A la hora de afrontar el cálculo del equipo de frenado se deberá tener en cuenta que existen dos tipos básicos de sistemas, los frenos de disco y los frenos de tambor. En nuestro caso, antes de la reforma el vehículo contaba con un sistema mixto en el que se equipaban frenos de disco en el tren delantero y frenos de tambor en el tren trasero; mientras que después de la reforma se equipan discos de freno en sendos ejes. Por ello a lo largo de este anexo se desglosarán la metodología de cálculo de ambos sistemas.

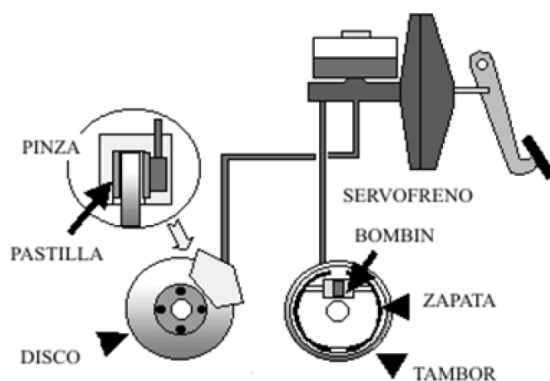


Ilustración 50: Componentes del sistema de frenado. Fuente: Baselga, 2018.¹⁹

6.1.- Frenos de disco.

A la hora de calcular un sistema de freno de disco se deben considerar parámetros diversos, como la superficie que tienen nuestras pastillas de freno, el radio equivalente del disco, la fuerza ejercida sobre cada pastilla o el par de frenado.

En primer lugar, definiremos el par de frenado para un sistema de freno de disco compuesto por dos bombines por pinza y dos pinzas por eje, este viene dado por:

$$N_d = R_d \cdot T \cdot \varphi \cdot 4$$

Donde "R_d" se corresponde con el radio de acción del disco, "φ" representa el coeficiente de fricción pastilla-disco y "T" la fuerza de empuje del bombín de la pinza de freno.

Cabe destacar que el coeficiente de rozamiento entre el disco y la pastilla suele tomar un valor de 0,35.

PINZA DE FRENO FLOTANTE

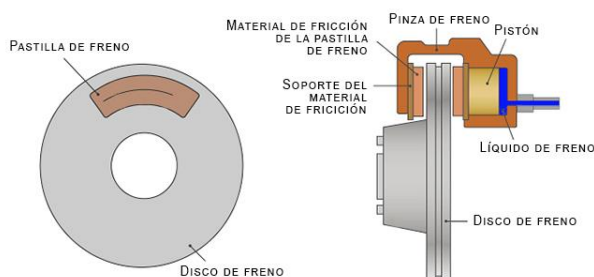


Ilustración 51: Partes de una pinza de freno flotante. Fuente: Km77, s.f.³²

En la imagen se muestra una pinza de freno flotante, esta se caracteriza por tener únicamente un bombín de freno y tener la capacidad de desplazarse hasta que ambas pastillas tocan el disco, cada una por su lado. Para este caso, actúa una fuerza sobre cada una de las pastillas que se calcula como:

$$T = S_{bd} \cdot P_H = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot P_H$$

Donde S_{bd} es la superficie del bombín de la pinza de freno, “d” representa el diámetro hidráulico y P_H la presión hidráulica.

En la siguiente figura se representa un disco de freno y su correspondiente pastilla, esta figura servirá para identificar los parámetros necesarios para determinar las dimensiones mínimas del disco que garanticen que se satisfacen las exigencias de par de frenado.

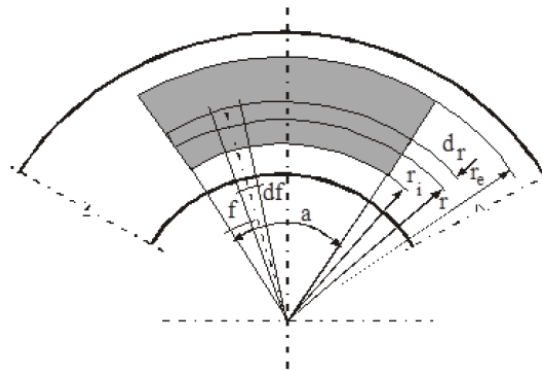


Ilustración 52: Parámetros necesarios para definir una pinza de freno. Fuente: Baselga, 2018. ¹⁹

6.1.1.- Superficie de pastilla.

Recordemos que cada una de las pastillas se encuentra empujada por una fuerza de valor T , por tanto:

$$P = T/S$$

El diferencial de área de la pastilla de freno viene dado por:

$$ds = r \cdot d\phi \cdot dr$$

Conviene aclarar que el ángulo “ α ” se corresponde con aquel ángulo que abarca la pastilla de un extremo al otro en la dirección radial del disco. Este ángulo se dimensiona en función de los requerimientos técnicos de la pastilla de freno, concretamente de cara a la disipación de calor y a garantizar la máxima presión de contacto. Por tanto, la superficie de la pastilla viene dada por:

$$S_t = \alpha \cdot (r_e^2 - r_i^2)$$

Integrando el diferencial de área, teniendo en cuenta que existen 2 pastillas por cada disco:

$$S = \int_0^a \int_{r_i}^{r_e} r \cdot dr \cdot d\phi = \int_0^a \frac{(r_e^2 - r_i^2)}{2} \cdot d\phi = \frac{\alpha \cdot (r_e^2 - r_i^2)}{2}$$

Y sustituyendo para obtener el valor de la presión de freno, siempre que se considere que la distribución de presiones entre las pastillas de freno y el disco es de valor constante:

$$P = \frac{\frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot P_H}{\frac{\alpha \cdot (r_e^2 - r_i^2)}{2}} = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot P_H}{\alpha \cdot (r_e^2 - r_i^2) \cdot 2\pi}$$

Lo que implica que la fuerza normal que ejerce la pastilla es:

$$F_N = \frac{P \cdot \alpha \cdot (r_e^2 - r_i^2)}{2}$$

6.1.2.- Par de frenado.

A partir de las expresiones anteriores se puede obtener el par de frenado para un sistema de freno de disco:

$$N_d = R_d \cdot S_{bd} \cdot P_H \cdot \varphi \cdot 4$$

El par de frenado del disco se calcula a partir de la ecuación diferencial de fuerza, suponiendo que esta se produce de forma normal entre el disco y la pastilla:

$$dF = P \cdot ds$$

Producto de esta fuerza se producirá un rozamiento entre pastilla y disco con componente tangencial, que será el mecanismo encargado de frenar el vehículo, y que viene dado por:

$$dF_t = \varphi \cdot dF$$

Con φ como coeficiente de rozamiento entre el disco y la pastilla. Si tenemos en cuenta la distancia "r" entre la aplicación de esta fuerza tangencial y el centro del disco de freno, obtendremos un par de frenado:

$$dM = r \cdot \varphi \cdot P \cdot ds$$

Que teniendo en cuenta que tenemos dos pastillas por disco, que el valor de la superficie e integrando:

$$M = 2 \cdot \int_0^a \int_{r_i}^{r_e} r^2 \cdot \varphi \cdot P \cdot dr \cdot d\phi = \frac{2 \cdot \alpha \cdot \varphi \cdot p \cdot (r_e^3 - r_i^3)}{3}$$

$$M = 2 \cdot \frac{\alpha \cdot \varphi \cdot P \cdot (r_e^3 - r_i^3)}{3}$$

Y se relaciona con el par de frenado del sistema multiplicándolo por 2, ya que existen dos discos en el eje:

$$N_d = 2 \cdot M_d$$

Una vez planteadas estas fórmulas se debe proceder a la explicación de lo que significa lo que en ellas se refleja, cómo se obtienen estos valores y qué criterio se debe tener en cuenta.

6.1.3.- Radio equivalente

Finalmente, el radio equivalente del disco (r_d), puede aproximarse con el valor del radio de acción del disco (R_d), es por ello por lo que se define en este punto cómo obtenerlo:

$$r_d = \frac{M_d}{2 \cdot F_n \cdot \varphi} = \frac{2 \cdot (r_e^3 - r_i^3)}{3 \cdot (r_e^2 - r_i^2)}$$

6.2.- Freno de tambor.

A la hora de calcular un sistema de freno de tambor se deben considerar parámetros diversos, como la superficie que tiene el bombín de freno, el radio equivalente del freno de tambor, los empujes sobre las zapatas primarias y secundarias o el par de frenado.

En primer lugar, definiremos el par de frenado para un sistema de freno de disco compuesto por dos bombines por pinza y dos pinzas por eje, este viene dado por:

$$N_t = R_t \cdot [(T_1 + T_2) - T_{per} \cdot 2]$$

Donde " R_t " es el radio equivalente del freno de tambor. Mediante la definición de este parámetro de radio equivalente se verifica que la resultante de la suma de las zapatas primarias y secundarias ($T_1 + T_2$) es igual a la suma de los empujes resultantes para cada tambor T_t multiplicada por 2, ya que existen dos tambores por eje.

$$T_1 + T_2 = 2 \cdot T_t$$

Como el sistema de frenos es un sistema hidráulico, al igual que ocurría con el freno de disco, la fuerza se transmite gracias a la presencia de un cilindro esclavo, el cual denominaremos bombín de freno de tambor (S_{bt}). Como ambos bombines de freno tienen el mismo diámetro:

$$T_1 = T_2 = T_t = S_{bt} \cdot P_H + T_{per}$$

Es decir:

$$T_1 + T_2 - 2 \cdot T_t = 2 \cdot S_{bt} \cdot P_H$$

Y sustituyendo en la primera ecuación:

$$N_t = R_t \cdot [2 \cdot S_{bt} \cdot P_H]$$

(Baselga, 2018)¹⁹.

Anexo 7: Elementos de transmisión y su cálculo.

7.1.- Transmisión y conjunto motriz.

La energía es transformada en movimiento rotacional gracias a la acción del motor, en el caso de los vehículos de combustión interna más extendidos, gracias un proceso de detonación controlada de la mezcla de aire y combustible que se transforma en movimiento longitudinal y, posteriormente, en movimiento rotacional gracias a un mecanismo de biela-manivela.

Una vez obtenido este movimiento es pertinente transmitirlo desde el motor hasta las ruedas, y es ahí donde entra el mecanismo de transmisión. Es decir, que la transmisión es aquel conjunto de elementos responsables de transmitir la fuerza motriz necesaria para que el automóvil se desplace.

A simples rasgos la transmisión de potencia podría resolverse con un simple árbol de transmisión y un diferencial que permitiera a las ruedas girar independientemente, al tiempo que se transmite la fuerza motriz a ellas. Sin embargo, las necesidades derivadas del uso del automóvil hacen que la cadena de transmisión de un automóvil sea un elemento complejo y que determine en gran medida el rendimiento de este.

Un sistema de transmisión de un vehículo con una disposición clásica de motor delantero y propulsión, o tracción trasera, estaría compuesto por un embrague, una caja de cambios, un árbol de transmisión, un grupo cónico diferencial y un eje motriz, aunque este último puede verse sustituido por dos semiejes si el diseño de la geometría de suspensión así lo requiriese. En definitiva, seguiría el siguiente esquema:

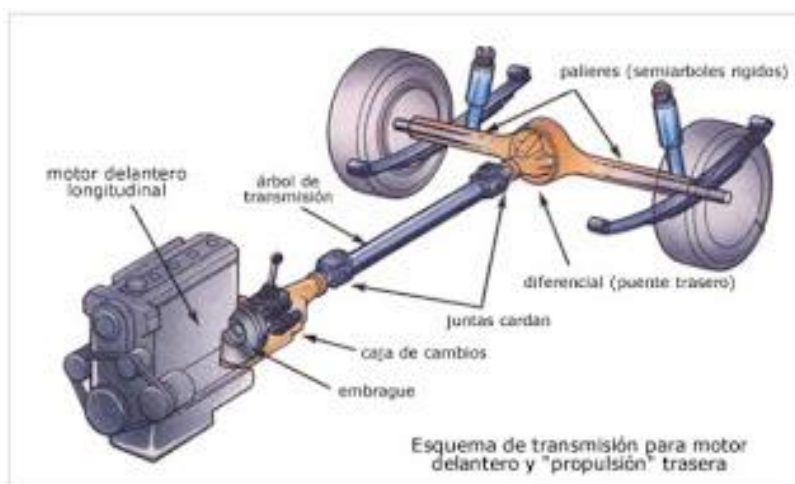


Ilustración 53: Esquema de transmisión de un vehículo de motor delantero y tracción trasera. Fuente: 2emvospeme, 2016.⁴³

7.2.- Transmisión de la fuerza motriz.

El comportamiento de un motor de combustión interna puede definirse mediante una representación gráfica de dispersión en la que se expresa el par motor entregado en el eje de ordenadas y las revoluciones por minuto o la velocidad rotacional del motor en el eje de abscisas. En estas representaciones se suele incluir también la potencia, a pesar de poder ser calculada a partir del par motor y las revoluciones.

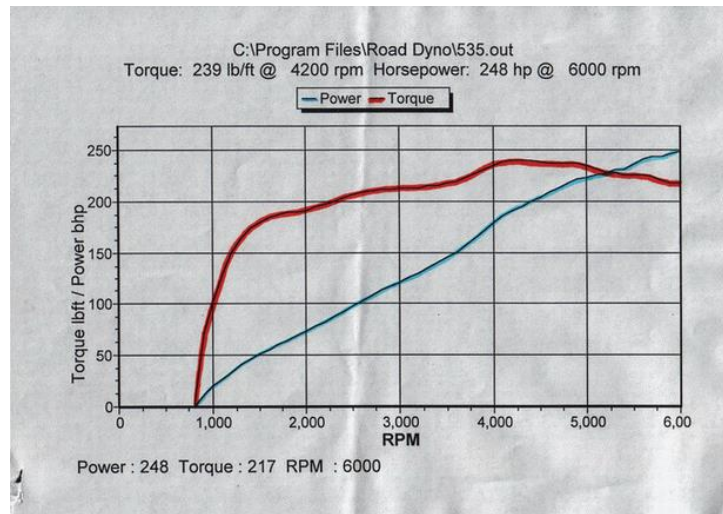


Ilustración 54: Gráfica obtenida en un dinamómetro donde se refleja el par y potencia de un motor BMW 34-6E-B. Fuente: E30 Zone Wiki, s.f.³³

La potencia en CV se calcula a partir del Par motor en kgf·m (Mm) y la velocidad angular del motor en revoluciones por minuto utilizando la expresión:

$$P = \frac{M_m \cdot n_m}{716,2}$$

La fuerza que son capaces de transmitir al suelo las ruedas depende, no solo de la relación de transmisión del motor, sino también de las pérdidas que se produzcan a lo largo de la cadena de transmisión:

$$F_m = \frac{M_m \cdot r_i \cdot r_f \cdot \eta_t}{R}$$

Donde:

Fm: Fuerza motriz que transmiten los neumáticos al suelo (Kgf).

Mm: Par producido por el motor (Kgf·m).

R: Radio del neumático (m).

ri: Relación de transmisión de la caja de cambios.

rf: Relación de transmisión del grupo cónico diferencial.

Ht: Rendimiento de la transmisión (tanto por uno).

Otra variable importante por calcular es la velocidad que es capaz de desarrollar el vehículo en función de las revoluciones a las que gira el motor:

$$V = \frac{n_m}{r_i \cdot r_f} \cdot \frac{2\pi \cdot R}{60}$$

Combinando estas expresiones se puede llegar a obtener la potencia necesaria para que el vehículo sea capaz de circular a una velocidad V, para lo que tendrá que transmitir una fuerza motriz Fm:

$$P = \frac{F_m \cdot V}{75 \cdot \eta_t}$$

Finalmente, la resistencia que se tendrá que vencer para que el vehículo pueda circular a una velocidad V constante estará determinada por el conjunto de resistencias aerodinámica y de rodadura, así como la pendiente que tenga que vencer el vehículo que vendrá determinada por las condiciones del terreno. Esta resistencia total R_t se obtiene, en Kgf, mediante:

$$R_t = F_z \cdot \mu_r + \frac{1}{g} \cdot \frac{d_a}{2} \cdot C_x \cdot S \cdot V^2 + P \cdot n$$

Donde:

F_z : Reacción normal al suelo sobre los neumáticos del eje tractor (Kgf).

μ_r : Coeficiente de rodadura.

d_a : Densidad del aire (Kg/m^3).

C_x : Coeficiente de resistencia aerodinámica.

V : Velocidad del vehículo (m/s).

S : Superficie frontal efectiva del vehículo (m^2).

P : Peso del vehículo (Kgf).

n : Pendiente del terreno (tanto por uno).

7.3.- Relaciones de transmisión de los engranajes.

La relación de transmisión en un conjunto de engranajes se traduce como la relación que existe entre el número de dientes de la rueda conducida y el número de dientes de la rueda conductora, o bien a la relación entre las velocidades de los engranajes.

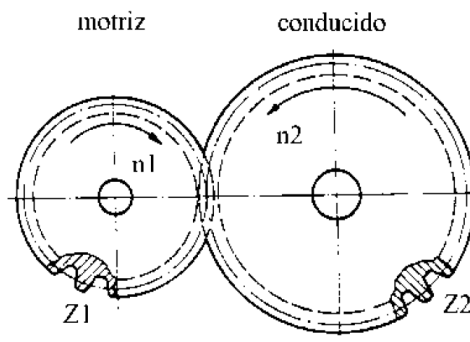


Ilustración 55: Tren de engranajes simple. Fuente: Baselga, 2018.³⁴

La relación de transmisión para un tren de engranajes simple como el de la figura anterior se obtiene de la siguiente forma:

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{Z_2}{Z_1}$$

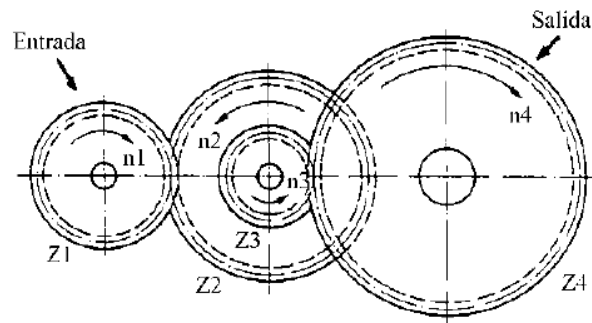


Ilustración 56: Tren de engranajes doble. Fuente: Baselga, 2018.³⁴

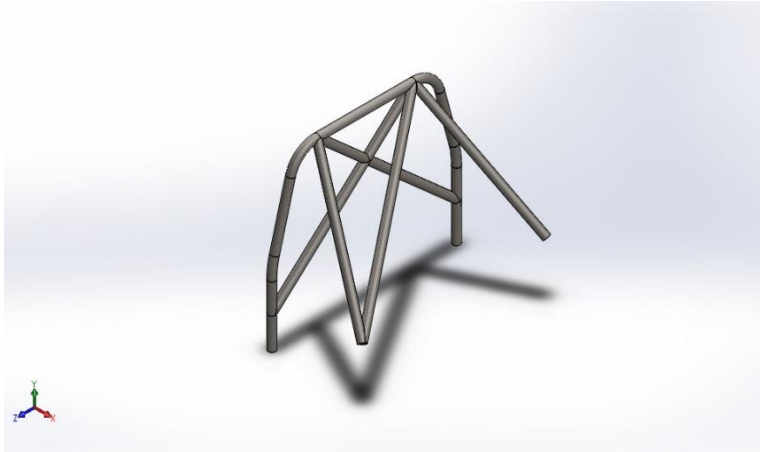
En el caso de tener un tren de engranajes doble, como el de la figura anterior, si se quiere obtener la relación de transmisión se debe realizar de forma análoga, sin embargo, se deben tener en cuenta que como todas las ruedas dentadas intervienen en la relación de transmisión las velocidades, esta será el resultado del producto de todas las velocidades de todas las ruedas conductoras dividido por el producto de todas las velocidades de las ruedas conducidas. Y al igual que en el caso del tren de engranajes simple, también se puede obtener a partir del número de dientes.

$$i = \frac{\prod_{i=1}^n n_i \text{ruedas conductoras}}{\prod_{i=1}^n n_i \text{ruedas conducidas}} = \frac{\prod_{i=1}^n Z_i \text{ruedas conducidas}}{\prod_{i=1}^n Z_i \text{ruedas conductoras}}$$

(Baselga, 2018)³⁴.

Anexo 8: Cálculo de tensiones y desplazamientos de la jaula antivuelco mediante SolidWorks

8.1.- Carga de 28 KN sobre el miembro superior de la estructura.



Simulación de barras antivuelco

Fecha: jueves, 26 de agosto de 2021

Diseñador: Juan Pedro Hernández León

Nombre de estudio: Análisis estático carga superior

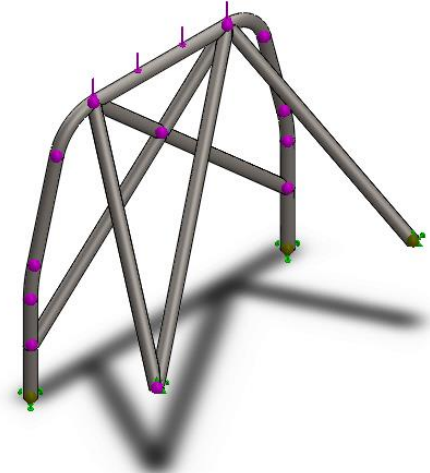
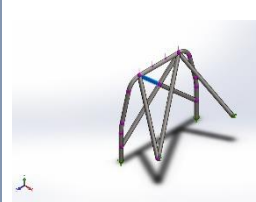
Tipo de análisis: Análisis estático

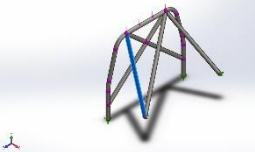
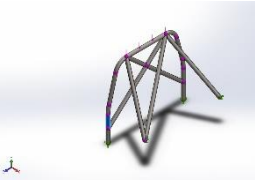
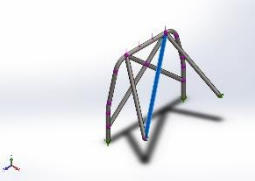
8.1.1.- Descripción

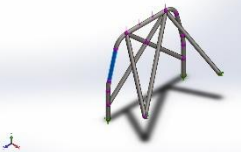
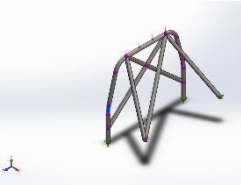
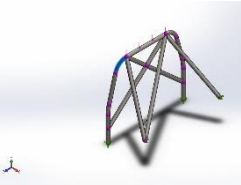
Análisis de la jaula antivuelco cuando se ve sometida a una carga distribuida de 28 KN sobre su miembro superior

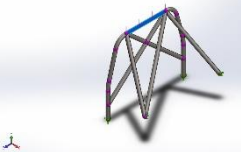
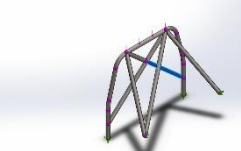
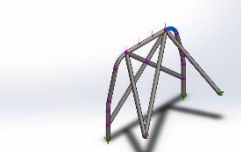


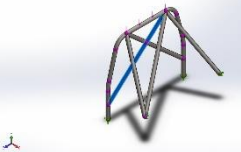
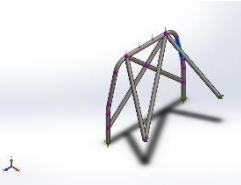
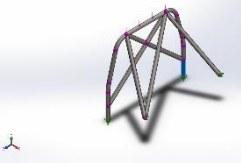
8.1.2.- Información de modelo

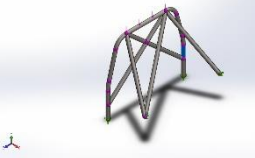
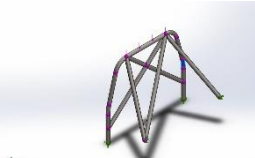
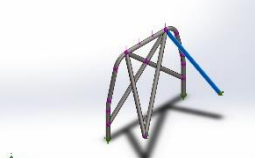
			
<p>Nombre del modelo: Barras sin bases</p> <p>Configuración actual: Predeterminado<Como mecanizada></p>			
Sólidos de viga:			
Nombre de documento y referencia	Formulación	Propiedades	Ruta al documento/Fecha de modificación
<p>Viga-1(Recortar/Extender11)</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-iso/Personalizado/Perfil tubular 48x3,5</p> <p>Área de sección: 0,000489303m²</p> <p>Longitud:415,353mm</p> <p>Volumen:0,000188462m³</p> <p>Densidad:7.850kg/m³</p> <p>Masa:1,47942kg</p> <p>Peso:14,4984N</p>	<p>C:\Users\Juanpe\Documents\TFG\TFG\Barras antivuelco\Barras sin bases.SLDPRT</p> <p>Aug 26 19:05:17 2021</p>
<p>Viga-2(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[15])</p>	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-iso/Personalizado/Perfil tubular 48x3,5</p> <p>Área de sección: 0,000489303m²</p>	<p>C:\Users\Juanpe\Documents\TFG\TFG\Barras antivuelco\Barras sin bases.SLDPRT</p> <p>Aug 26 19:05:17 2021</p>

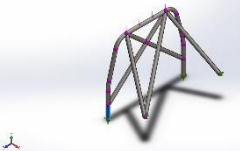
		<p>Longitud:986,027mm</p> <p>Volumen:0,000475773m³</p> <p>Densidad:7.850kg/m³</p> <p>Masa:3,73482kg</p> <p>Peso:36,6012N</p>	
<p>Viga-3(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[2])</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-iso/Personalizado/Perfil tubular 48x3,5</p> <p>Área de sección: 0,000489303m²</p> <p>Longitud:194,462mm</p> <p>Volumen:9,5151e-05m³</p> <p>Densidad:7.850kg/m³</p> <p>Masa:0,746935kg</p> <p>Peso:7,31997N</p>	<p>C:\Users\Juanpe\Documents\TFG\TFG\Barras antivuelco\Barras sin bases.SLDPRT</p> <p>Aug 26 19:05:17 2021</p>
<p>Viga-4(Recortar/Extender7)</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-iso/Personalizado/Perfil tubular 48x3,5</p> <p>Área de sección: 0,000489303m²</p> <p>Longitud:1.325,06mm</p> <p>Volumen:0,000609753m³</p> <p>Densidad:7.850kg/m³</p> <p>Masa:4,78656kg</p> <p>Peso:46,9083N</p>	<p>C:\Users\Juanpe\Documents\TFG\TFG\Barras antivuelco\Barras sin bases.SLDPRT</p> <p>Aug 26 19:05:17 2021</p>
<p>Viga-5(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[4])</p>	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-iso/Personalizado/Perfil tubular 48x3,5</p> <p>Área de sección: 0,000489303m²</p>	<p>C:\Users\Juanpe\Documents\TFG\TFG\Barras antivuelco\Barras sin bases.SLDPRT</p> <p>Aug 26 19:05:17 2021</p>

		<p>Longitud:411,904mm</p> <p>Volumen:0,000201546m³</p> <p>Densidad:7.850kg/m³</p> <p>Masa:1,58213kg</p> <p>Peso:15,5049N</p>	
<p>Viga-6(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[3])</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-iso/Personalizado/Perfil tubular 48x3,5</p> <p>Área de sección: 0,000489303m²</p> <p>Longitud:134,207mm</p> <p>Volumen:6,57149e-05m³</p> <p>Densidad:7.850kg/m³</p> <p>Masa:0,515862kg</p> <p>Peso:5,05545N</p>	<p>C:\Users\Juanpe\Documents\TFG\TFG\Barras antivuelco\Barras sin bases.SLDPRT</p> <p>Aug 26 19:05:17 2021</p>
<p>Viga-7(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[5])</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-iso/Personalizado/Perfil tubular 48x3,5</p> <p>Área de sección: 0,000489303m²</p> <p>Longitud:237,972mm</p> <p>Volumen:0,00011657m³</p> <p>Densidad:7.850kg/m³</p> <p>Masa:0,915077kg</p> <p>Peso:8,96775N</p>	<p>C:\Users\Juanpe\Documents\TFG\TFG\Barras antivuelco\Barras sin bases.SLDPRT</p> <p>Aug 26 19:05:17 2021</p>
<p>Viga-8(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[6])</p>	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-iso/Personalizado/Perfil tubular 48x3,5</p> <p>Área de sección: 0,000489303m²</p>	<p>C:\Users\Juanpe\Documents\TFG\TFG\Barras antivuelco\Barras sin bases.SLDPRT</p> <p>Aug 26 19:05:17 2021</p>

		<p>Longitud:639,352mm</p> <p>Volumen:0,000312837m³</p> <p>Densidad:7.850kg/m³</p> <p>Masa:2,45577kg</p> <p>Peso:24,0665N</p>	
<p>Viga-9(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[13])</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-iso/Personalizado/Perfil tubular 48x3,5</p> <p>Área de sección: 0,000489303m²</p> <p>Longitud:783,061mm</p> <p>Volumen:0,000373378m³</p> <p>Densidad:7.850kg/m³</p> <p>Masa:2,93102kg</p> <p>Peso:28,724N</p>	<p>C:\Users\Juanpe\Documents\TFG\TFG\Barras antivuelco\Barras sin bases.SLDPRT</p> <p>Aug 26 19:05:17 2021</p>
<p>Viga-10(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[7])</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-iso/Personalizado/Perfil tubular 48x3,5</p> <p>Área de sección: 0,000489303m²</p> <p>Longitud:237,972mm</p> <p>Volumen:0,00011657m³</p> <p>Densidad:7.850kg/m³</p> <p>Masa:0,915077kg</p> <p>Peso:8,96775N</p>	<p>C:\Users\Juanpe\Documents\TFG\TFG\Barras antivuelco\Barras sin bases.SLDPRT</p> <p>Aug 26 19:05:17 2021</p>
<p>Viga-11(Recortar/Extender 10)</p>	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-iso/Personalizado/Perfil tubular 48x3,5</p> <p>Área de sección: 0,000489303m²</p>	<p>C:\Users\Juanpe\Documents\TFG\TFG\Barras antivuelco\Barras sin bases.SLDPRT</p> <p>Aug 26 19:05:17 2021</p>

		<p>Longitud:1.261,47mm</p> <p>Volumen:0,000588205m³</p> <p>Densidad:7.850kg/m³</p> <p>Masa:4,61741kg</p> <p>Peso:45,2506N</p>	
<p>Viga-12(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[8])</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-iso/Personalizado/Perfil tubular 48x3,5</p> <p>Área de sección: 0,000489303m²</p> <p>Longitud:368,917mm</p> <p>Volumen:0,000180512m³</p> <p>Densidad:7.850kg/m³</p> <p>Masa:1,41702kg</p> <p>Peso:13,8868N</p>	<p>C:\Users\Juanpe\Documents\TFG\TFG\Barras antivuelco\Barras sin bases.SLDPRT</p> <p>Aug 26 19:05:17 2021</p>
<p>Viga-13(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[11])</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-iso/Personalizado/Perfil tubular 48x3,5</p> <p>Área de sección: 0,000489303m²</p> <p>Longitud:251,522mm</p> <p>Volumen:0,000123071m³</p> <p>Densidad:7.850kg/m³</p> <p>Masa:0,966104kg</p> <p>Peso:9,46782N</p>	<p>C:\Users\Juanpe\Documents\TFG\TFG\Barras antivuelco\Barras sin bases.SLDPRT</p> <p>Aug 26 19:05:17 2021</p>
<p>Viga-14(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[10])</p>	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-iso/Personalizado/Perfil tubular 48x3,5</p>	<p>C:\Users\Juanpe\Documents\TFG\TFG\Barras antivuelco\Barras sin bases.SLDPRT</p>

		<p>Área de sección: 0,000489303m²</p> <p>Longitud:194,462mm</p> <p>Volumen:9,5151e-05m³</p> <p>Densidad:7.850kg/m³</p> <p>Masa:0,746935kg</p> <p>Peso:7,31997N</p>	<p>Aug 26 19:05:17 2021</p>
<p>Viga-15(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[9])</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección- iso/Personalizado/Perfil tubular 48x3,5</p> <p>Área de sección: 0,000489303m²</p> <p>Longitud:134,207mm</p> <p>Volumen:6,57149e- 05m³</p> <p>Densidad:7.850kg/m³</p> <p>Masa:0,515862kg</p> <p>Peso:5,05545N</p>	<p>C:\Users\Juanpe\Doc uments\TFG\TFG\Bar ras antivuelco\Barras sin bases.SLDprt</p> <p>Aug 26 19:05:17 2021</p>
<p>Viga- 16(Recortar/Extender 8)</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección- iso/Personalizado/Perfil tubular 48x3,5</p> <p>Área de sección: 0,000489303m²</p> <p>Longitud:981,71mm</p> <p>Volumen:0,000472434m³</p> <p>Densidad:7.850kg/m³</p> <p>Masa:3,7086kg</p> <p>Peso:36,3443N</p>	<p>C:\Users\Juanpe\Doc uments\TFG\TFG\Bar ras antivuelco\Barras sin bases.SLDprt</p> <p>Aug 26 19:05:17 2021</p>
<p>Viga-17(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[1])</p>	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección- iso/Personalizado/Perfil tubular 48x3,5</p>	<p>C:\Users\Juanpe\Doc uments\TFG\TFG\Bar</p>

		<p>Área de sección: 0,000489303m²</p> <p>Longitud:210mm</p> <p>Volumen:0,000102754m³</p> <p>Densidad:7.850kg/m³</p> <p>Masa:0,806616kg</p> <p>Peso:7,90484N</p>	<p>ras antivuelco\Barras sin bases.SLDPRT</p> <p>Aug 26 19:05:17 2021</p>
---	--	---	---

8.1.3.- Propiedades de estudio

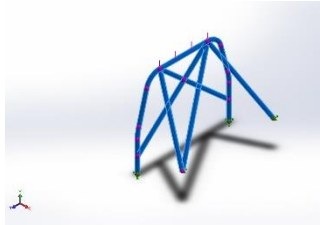
Nombre de estudio	Análisis estático carga superior
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla de viga
Tipo de solver	Direct sparse solver
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\Juanpe\Documents\TFG\TFG\Barras antivuelco)



8.1.4.- Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

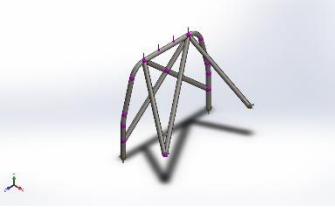
8.1.5.- Propiedades de material

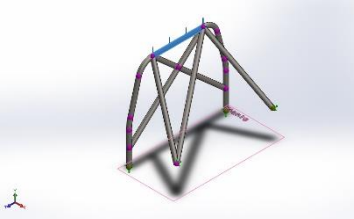
Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: AISI 4340 Acero normalizado	Sólido 1(Recortar/Extender11)(Barras sin bases),
	Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal	Sólido 2(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[15])(Barras sin bases),
	Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx.	Sólido 3(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[2])(Barras sin bases),
	Límite elástico: 7,1e+08 N/m ²	Sólido 4(Recortar/Extender7)(Barras sin bases),
	Límite de tracción: 1,11e+09 N/m ²	Sólido 5(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[4])(Barras sin bases),
	Módulo elástico: 2,05e+11 N/m ²	Sólido 6(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[3])(Barras sin bases),
	Coefficiente de Poisson: 0,32	Sólido 7(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[5])(Barras sin bases),
	Densidad: 7.850 kg/m ³	Sólido 8(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[6])(Barras sin bases),
	Módulo cortante: 8e+10 N/m ²	Sólido 9(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[13])(Barras sin bases),
	Coefficiente de dilatación térmica: 1,23e-05 /Kelvin	Sólido 10(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[7])(Barras sin bases),



		<p>Sólido 11(Recortar/Extender10) (Barras sin bases),</p> <p>Sólido 12(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[8])(Barras sin bases),</p> <p>Sólido 13(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[11])(Barras sin bases),</p> <p>Sólido 14(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[10])(Barras sin bases),</p> <p>Sólido 15(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[9])(Barras sin bases),</p> <p>Sólido 16(Recortar/Extender8)(Barras sin bases),</p> <p>Sólido 17(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[1])(Barras sin bases)</p>
Datos de curva:N/A		

8.1.6.- Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Fijo-1		Entidades: 4 Joint(s) Tipo: Geometría fija

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		Entidades: 1 plano(s), 1 Viga(s) Referencia: Planta Tipo: Aplicar fuerza Valores: ---; ---; -28.000 N Momentos: ---; ---; --- N.m

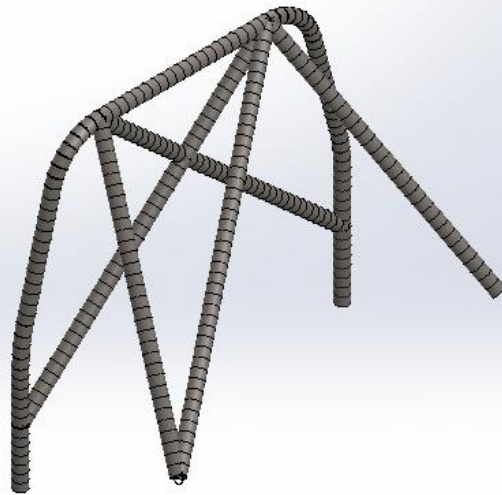
8.1.7.- Información de malla

Tipo de malla	Malla de viga
---------------	---------------

8.1.7.1.- Información de malla - Detalles

Número total de nodos	322
Número total de elementos	288
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:02
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Barras sin bases
Nombre de estudio: Análisis estático_carga superior{-Predeterminado-<Como mecanizada>-}
Tipo de malla:





8.1.8.- Fuerzas resultantes

8.1.8.1.- Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-3,05176e-05	28.000	0,000976562	28.000

8.1.8.2.- Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	26,8737	-15,8199	-549,174	550,058

8.1.9.- Vigas

8.1.9.1- Fuerzas de viga

Nombre de viga	Juntas	Axial(N)	Corte1(N)	Corte2(N)	Momento1(N.m)	Momento2(N.m)	Torsión(N.m)
Viga-1(Recortar/Extender11)	1	8.730,43	- 3.850,31	- 125,579	62,146	-1.131	-34,5931
	2	- 8.730,43	3.850,31	125,579	-7,61565	-540,924	34,5931
Viga-2(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[15])	1	612,77	- 123,406	484,92	-323,718	15,6495	-57,4127
	2	- 612,77	123,409	- 484,919	-157,28	-138,058	57,4126
Viga-3(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[2])	1	4.649,56	- 1.155,63	- 18,6497	-37,0046	-247,225	-13,7296
	2	- 4.649,56	1.155,63	18,6497	40,5487	27,6159	13,7296
Viga-4(Recortar/Extender7)	1	2.038,34	- 357,475	140,509	105,445	183,841	-60,4501
	2	- 2.038,33	357,476	- 140,514	81,5056	291,78	60,4499
Viga-5(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[4])	1	- 4.790,23	-87,138	18,6497	36,821	319,388	4,01024
	2	4.790,23	87,1392	- 18,6497	-29,1391	-283,495	-4,01023
Viga-6(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[3])	1	- 4.684,88	- 1.002,88	- 18,6497	-37,434	-247,225	12,5115
	2	4.790,51	69,6396	18,6497	36,6701	319,388	-5,21284

Viga-7(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[5])	1	1.531,73	- 4.539,57	18,6497	10,1193	-378,001	23,8454
	2	- 4.767,08	478,313	- 18,6497	-29,3694	-283,495	1,61552
Viga-8(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[6])	1	2.199,55	- 13.730,5	-37,841	-80,8268	1.041,48	-7,1797
	2	- 2.199,55	- 14.269,5	37,841	56,6331	-1.213,8	7,1797
Viga-9(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[13])	1	11.160,6	- 1.382,5	- 34,4325	-6,79896	-456,854	-23,3794
	2	- 11.160,6	1.382,49	34,4325	34,4561	-653,6	23,3794
Viga-10(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[7])	1	- 1.169,6	3.837,16	26,8422	26,2683	-334,484	48,388
	2	3.977,83	- 518,281	- 26,8422	-49,917	-239,684	0,733538
Viga-11(Recortar/Extender10)	1	- 10.801,3	- 3.530,58	- 32,8548	-24,0643	397,285	-38,5422
	2	- 13.513,9	- 1.377,02	58,2919	36,683	665,703	-25,4037
	3	10.801,3	3.530,55	32,8548	11,0892	997,011	38,5422
Viga-12(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[8])	1	- 4.006,88	191,462	26,8422	49,6901	239,684	-4,81052
	2	4.006,88	- 191,462	- 26,8422	-39,7876	-310,319	4,81051
Viga-13(Personalizado)	1	12.338,7	8.308,36	7,59029	-70,637	1.336,14	24,8542

PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[11])	2	- 12.33 8,7	- 8.308,3 6	- 7,5902 9	68,7279	753,596	-24,8542
Viga- 14(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[10])	1	3.919 ,91	852,11 5	- 26,842 2	-28,4031	-99,9966	14,4751
	2	- 3.919 ,91	- 852,11 5	26,842 2	33,6229	265,701	-14,4751
Viga- 15(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[9])	1	- 4.011	60,270 8	26,842 2	39,6089	310,319	-6,10962
	2	3.945 ,69	723,4	- 26,842 2	-34,0785	-265,701	13,3672
Viga- 16(Recortar/Exte nder8)	1	1.771 ,21	- 61,275 5	- 433,95 1	286,026	50,3054	53,8851
	2	- 1.771 ,21	61,284 3	433,95 6	144,423	-111,089	-53,8854
Viga- 17(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[1])	1	14.79 1,3	- 10.192, 7	- 76,941 6	-84,398	-697,232	-23,911
	2	- 14.79 1,3	10.192, 7	76,941 6	100,556	-1.443,23	23,911

8.1.9.2.- Tensiones de viga

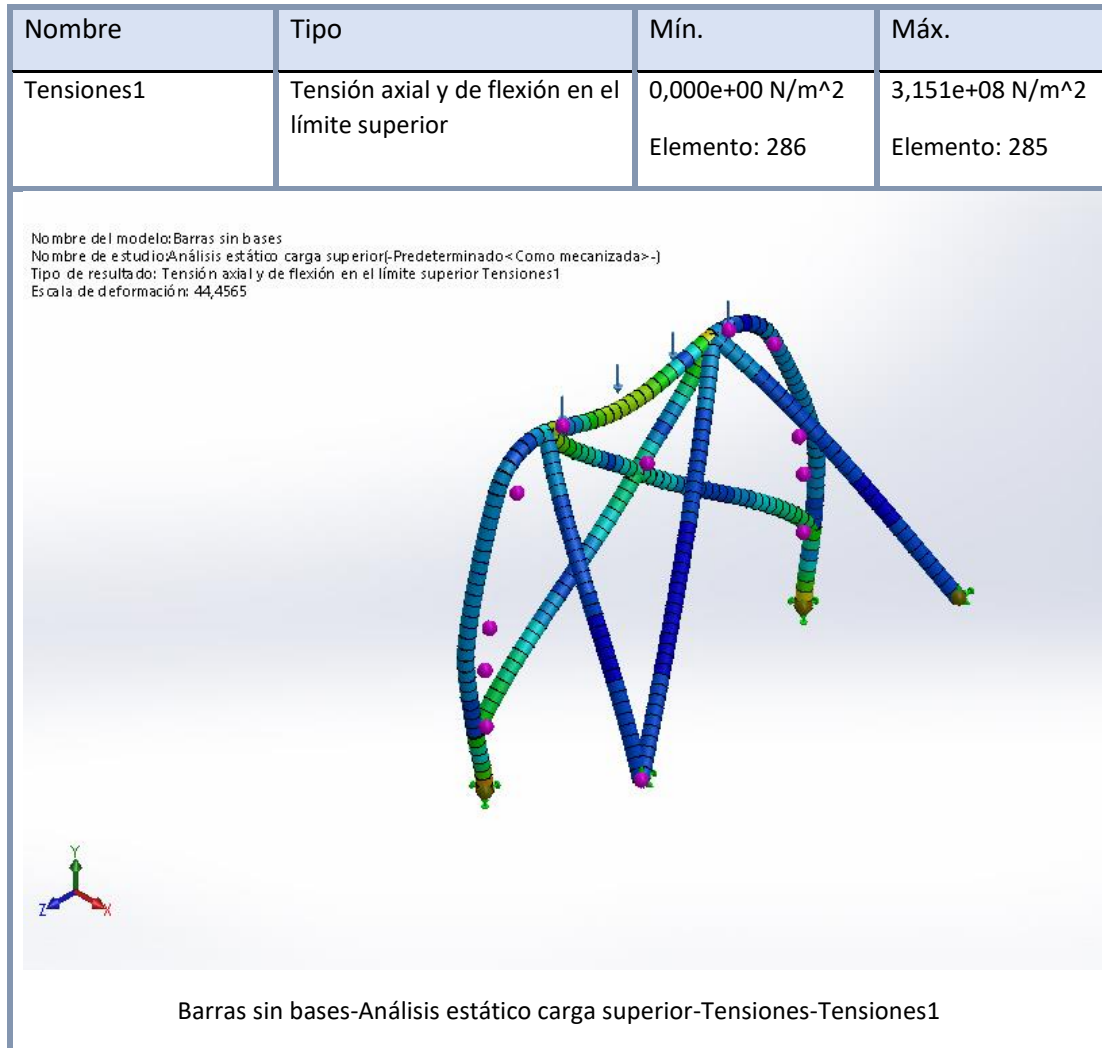
Nombre de viga	Juntas	Axial(N/ m ²)	Dir. de pliegue1(N/ m ²)	Dir. de pliegue2(N/ m ²)	Torsion al (N/m ²)	Tensión axial y de flexión en el límite superior(N/ m ²)
Viga- 1(Recortar/Exten der11)	1	- 1,78426e +07	- 1,22388e+07	- 2,22735e+08	- 3,40632e +06	2,40913e+08
	2	- 1,78426e +07	-1,4998e+06	1,06527e+08	3,40631e +06	1,24381e+08

Viga-2(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[15])	1	- 1,25233e+06	6,37517e+07	3,08195e+06	- 5,65331e+06	6,50785e+07
	2	- 1,25233e+06	- 3,09741e+07	2,71886e+07	5,6533e+06	4,24666e+07
Viga-3(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[2])	1	- 9,50241e+06	7,28754e+06	- 4,86874e+07	- 1,35192e+06	5,87322e+07
	2	- 9,50241e+06	7,9855e+06	- 5,43857e+06	1,35192e+06	1,9164e+07
Viga-4(Recortar/Extender7)	1	4,16579e+06	2,0766e+07	-3,6205e+07	5,95239e+06	4,59034e+07
	2	4,16579e+06	- 1,60514e+07	5,7462e+07	5,95238e+06	6,38276e+07
Viga-5(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[4])	1	- 9,7899e+06	7,25138e+06	-6,2899e+07	394.881	7,31056e+07
	2	- 9,7899e+06	5,73854e+06	- 5,58304e+07	-394.880	6,59145e+07
Viga-6(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[3])	1	- 9,5746e+06	- 7,37211e+06	4,86874e+07	1,23198e+06	5,8817e+07
	2	- 9,79049e+06	- 7,22166e+06	6,2899e+07	-513.298	7,31027e+07
Viga-7(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[5])	1	- 3,13044e+06	- 1,99285e+06	-7,4442e+07	2,348e+06	7,75991e+07
	2	- 9,7426e+06	- 5,78389e+06	5,58304e+07	159.077	6,58718e+07
Viga-8(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[6])	1	4,49528e+06	- 1,59177e+07	- 2,05105e+08	-706.970	2,10217e+08
	2	4,49528e+06	- 1,11531e+07	- 2,39041e+08	706.970	2,43796e+08

Viga-9(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[13])	1	- 2,28092e+07	1,33896e+06	- 8,99709e+07	- 2,30212e+06	1,1279e+08
	2	- 2,28092e+07	6,78564e+06	1,28717e+08	2,30212e+06	1,51705e+08
Viga-10(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[7])	1	- 2,39035e+06	5,17317e+06	6,58719e+07	4,76467e+06	6,84651e+07
	2	- 8,12959e+06	9,83046e+06	- 4,72024e+07	72.230	5,63447e+07
Viga-11(Recortar/Extender10)	1	- 2,20749e+07	- 4,73913e+06	- 7,82396e+07	- 3,79517e+06	1,00458e+08
	2	- 2,76187e+07	7,22419e+06	- 1,31101e+08	- 2,50145e+06	1,58918e+08
	3	- 2,20749e+07	- 2,18386e+06	1,96347e+08	3,79517e+06	2,18434e+08
Viga-12(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[8])	1	- 8,18896e+06	9,78577e+06	- 4,72024e+07	-473.682	5,6395e+07
	2	- 8,18896e+06	7,8356e+06	-6,1113e+07	473.681	6,98022e+07
Viga-13(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[11])	1	- 2,52168e+07	1,3911e+07	2,63134e+08	2,44734e+06	2,88718e+08
	2	- 2,52168e+07	1,3535e+07	-1,4841e+08	- 2,44734e+06	1,74243e+08
Viga-14(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[10])	1	- 8,0112e+06	5,59359e+06	- 1,96929e+07	1,42534e+06	2,84831e+07
	2	- 8,0112e+06	6,62155e+06	-5,2326e+07	- 1,42534e+06	6,07545e+07

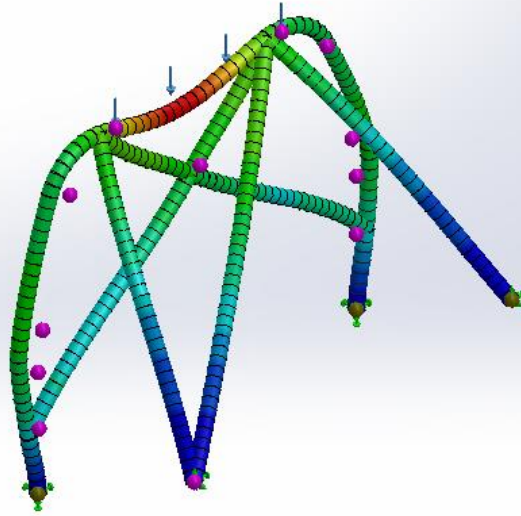
Viga-15(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[9])	1	- 8,19738e+06	7,80042e+06	-6,1113e+07	-601.602	6,98062e+07
	2	- 8,0639e+06	6,71128e+06	-5,2326e+07	1,31625e+06	6,08186e+07
Viga-16(Recortar/Extender8)	1	- 3,61987e+06	- 5,63288e+07	9,90694e+06	5,30596e+06	6,08132e+07
	2	- 3,61986e+06	2,84421e+07	2,18774e+07	- 5,30599e+06	3,95026e+07
Viga-17(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[1])	1	- 3,02292e+07	1,6621e+07	-1,3731e+08	- 2,35446e+06	1,68542e+08
	2	- 3,02292e+07	1,9803e+07	2,84224e+08	2,35446e+06	3,15142e+08

8.1.10.- Resultados del estudio



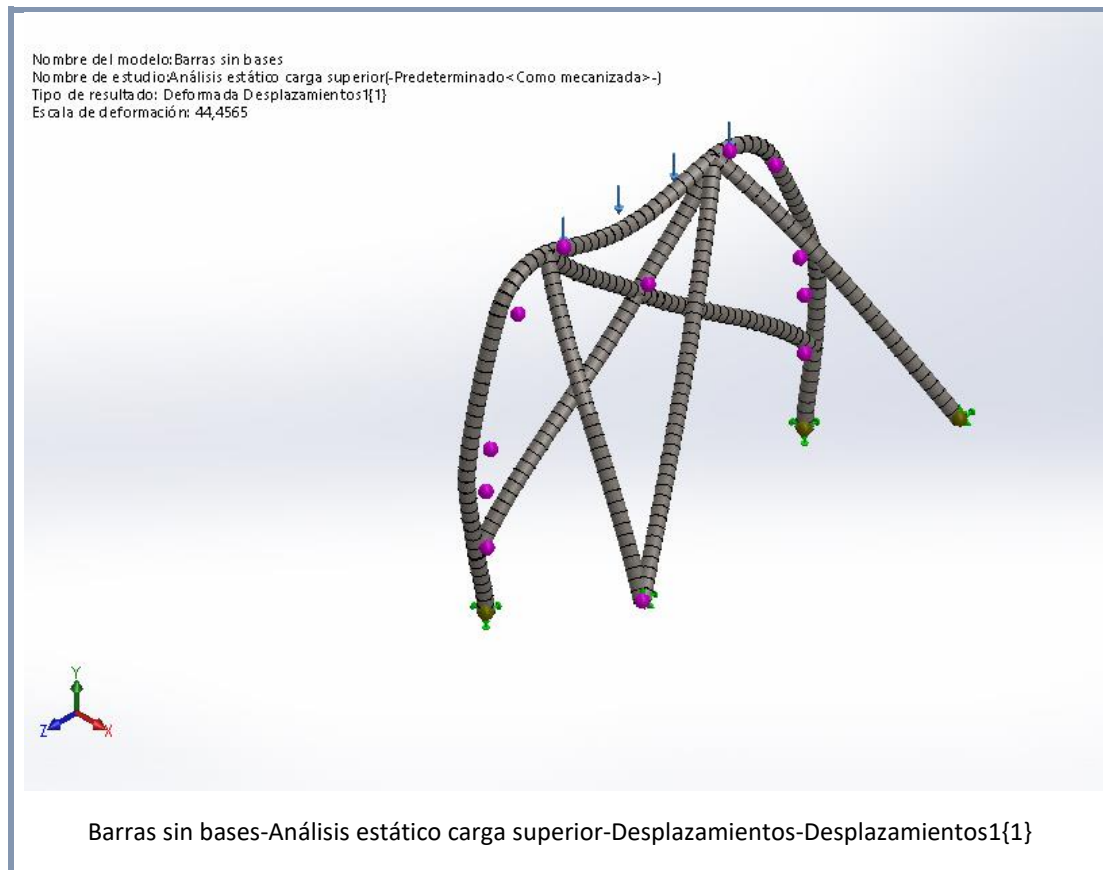
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 98	3,215e+00 mm Nodo: 133

Nombre del modelo: Barras sin bases
 Nombre de estudio: Análisis estático carga superior-(Predeterminado-< Como mecanizada->)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 44,4565

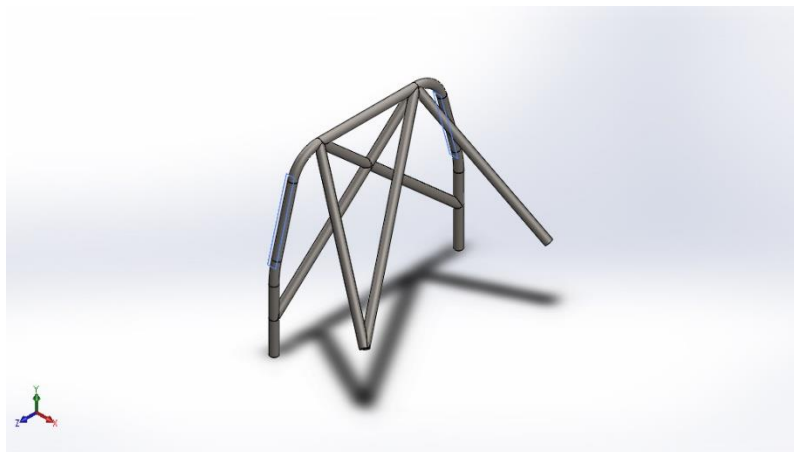


Barras sin bases-Análisis estático carga superior-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo
Desplazamientos1{1}	Deformada



8.2.- Carga de 28 KN sobre el lateral izquierdo superior de la estructura.



Simulación de barras antivuelco

Fecha: jueves, 26 de agosto de 2021

Diseñador: Juan Pedro Hernández León

Nombre de estudio: Análisis estático carga diagonal izquierda

Tipo de análisis: Análisis estático

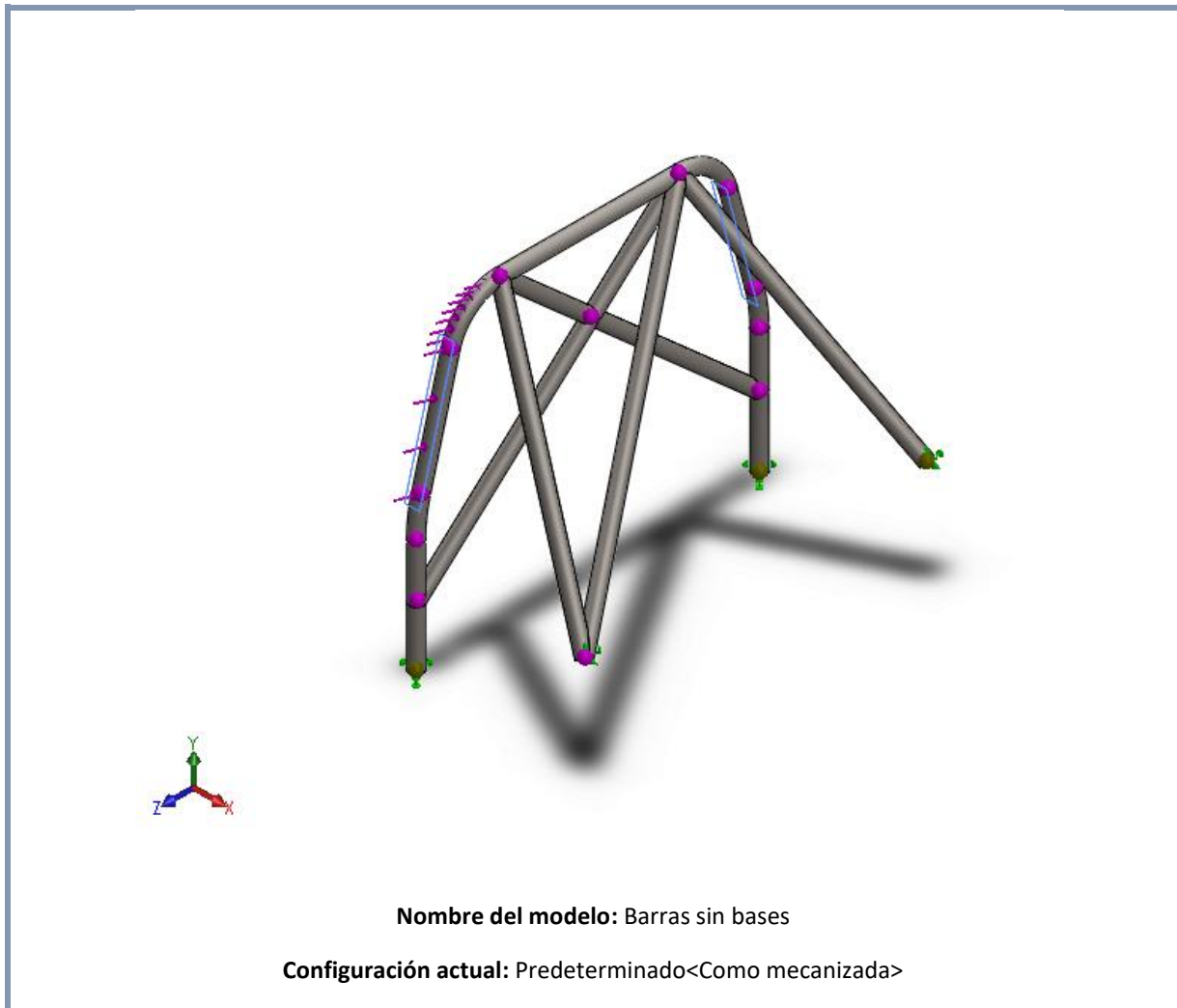


8.2.1.- Descripción

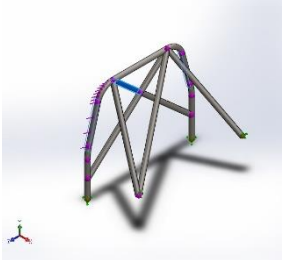
Análisis de la jaula antivuelco cuando se ve sometida a una carga distribuida de 28 KN sobre su lateral izquierdo

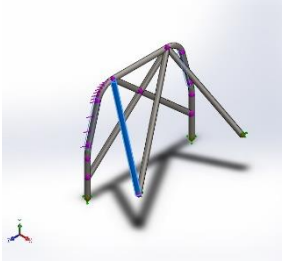
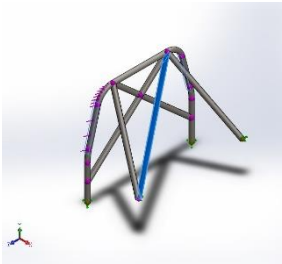


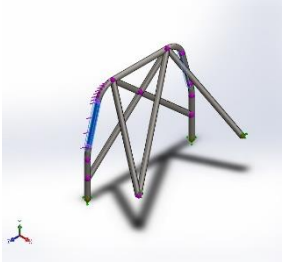
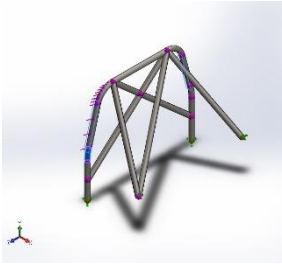
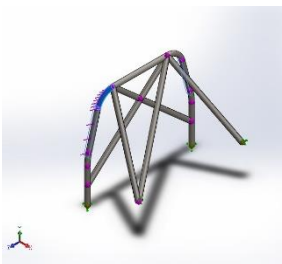
8.2.2.- Información de modelo

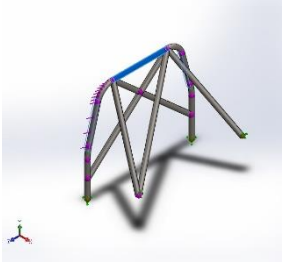
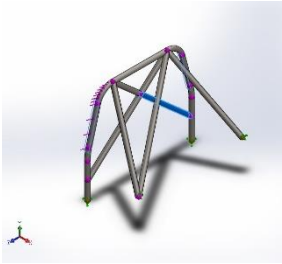
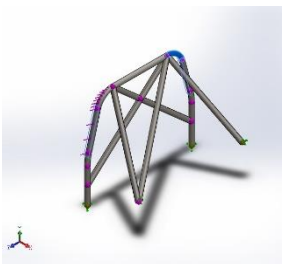


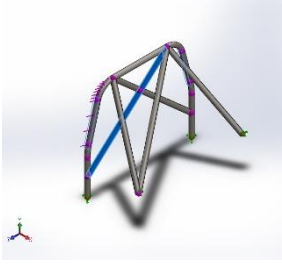
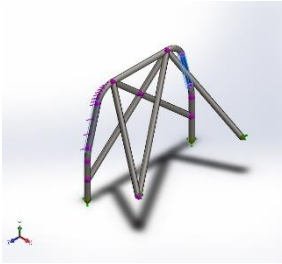
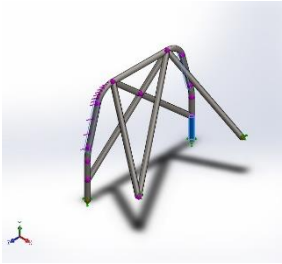
Sólidos de viga:

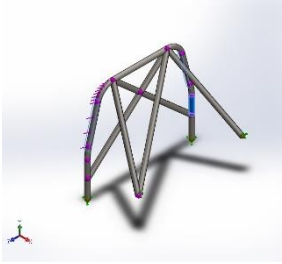
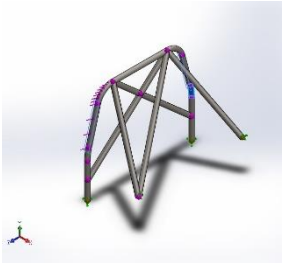
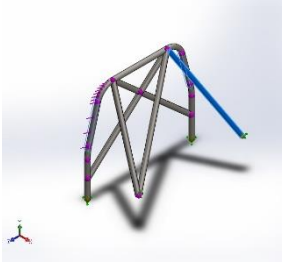
Nombre de documento y referencia	Formulación	Propiedades	Ruta al documento/Fecha de modificación
<p style="text-align: center;">Viga-1(Recortar/Extender11)</p> 	<p style="text-align: center;">Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p style="text-align: center;">Estándar de sección-iso/Personalizado/Perfil tubular 48x3,5</p> <p style="text-align: center;">Área de sección: 0,000489303m²</p> <p style="text-align: center;">Longitud:415,353mm</p> <p style="text-align: center;">Volumen:0,000188462m³</p> <p style="text-align: center;">Densidad:7.850kg/m³</p> <p style="text-align: center;">Masa:1,47942kg</p> <p style="text-align: center;">Peso:14,4984N</p>	<p style="text-align: center;">C:\Users\Juanpe\Documents\TFG\TFG\Barras antivuelco\Barras sin bases.SLDprt</p> <p style="text-align: center;">Aug 26 19:43:53 2021</p>

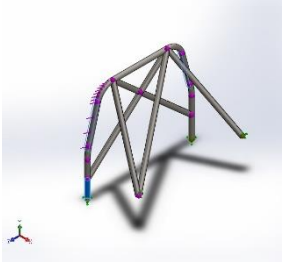
<p>Viga-2(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[15])</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-iso/Personalizado/Perfil tubular 48x3,5</p> <p>Área de sección: 0,000489303m²</p> <p>Longitud:986,027mm</p> <p>Volumen:0,000475773m³</p> <p>Densidad:7.850kg/m³</p> <p>Masa:3,73482kg</p> <p>Peso:36,6012N</p>	<p>C:\Users\Juanpe\Documents\TFG\TFG\Barras antivuelco\Barras sin bases.SLDPRT</p> <p>Aug 26 19:43:53 2021</p>
<p>Viga-3(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[2])</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-iso/Personalizado/Perfil tubular 48x3,5</p> <p>Área de sección: 0,000489303m²</p> <p>Longitud:194,462mm</p> <p>Volumen:9,5151e-05m³</p> <p>Densidad:7.850kg/m³</p> <p>Masa:0,746935kg</p> <p>Peso:7,31997N</p>	<p>C:\Users\Juanpe\Documents\TFG\TFG\Barras antivuelco\Barras sin bases.SLDPRT</p> <p>Aug 26 19:43:53 2021</p>
<p>Viga-4(Recortar/Extender7)</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-iso/Personalizado/Perfil tubular 48x3,5</p> <p>Área de sección: 0,000489303m²</p> <p>Longitud:1.325,06mm</p> <p>Volumen:0,000609753m³</p> <p>Densidad:7.850kg/m³</p> <p>Masa:4,78656kg</p> <p>Peso:46,9083N</p>	<p>C:\Users\Juanpe\Documents\TFG\TFG\Barras antivuelco\Barras sin bases.SLDPRT</p> <p>Aug 26 19:43:53 2021</p>

<p>Viga-5(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[4])</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección- iso/Personalizado/Perfil tubular 48x3,5</p> <p>Área de sección: 0,000489303m²</p> <p>Longitud:411,904mm</p> <p>Volumen:0,000201546m³</p> <p>Densidad:7.850kg/m³</p> <p>Masa:1,58213kg</p> <p>Peso:15,5049N</p>	<p>C:\Users\Juanpe\Documents\TFG\TFG\Barras antivuelco\Barras sin bases.SLDPRT</p> <p>Aug 26 19:43:53 2021</p>
<p>Viga-6(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[3])</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección- iso/Personalizado/Perfil tubular 48x3,5</p> <p>Área de sección: 0,000489303m²</p> <p>Longitud:134,207mm</p> <p>Volumen:6,57149e-05m³</p> <p>Densidad:7.850kg/m³</p> <p>Masa:0,515862kg</p> <p>Peso:5,05545N</p>	<p>C:\Users\Juanpe\Documents\TFG\TFG\Barras antivuelco\Barras sin bases.SLDPRT</p> <p>Aug 26 19:43:53 2021</p>
<p>Viga-7(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[5])</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección- iso/Personalizado/Perfil tubular 48x3,5</p> <p>Área de sección: 0,000489303m²</p> <p>Longitud:237,972mm</p> <p>Volumen:0,00011657m³</p> <p>Densidad:7.850kg/m³</p> <p>Masa:0,915077kg</p> <p>Peso:8,96775N</p>	<p>C:\Users\Juanpe\Documents\TFG\TFG\Barras antivuelco\Barras sin bases.SLDPRT</p> <p>Aug 26 19:43:53 2021</p>

<p>Viga-8(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[6])</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección- iso/Personalizado/Perfil tubular 48x3,5</p> <p>Área de sección: 0,000489303m²</p> <p>Longitud:639,352mm</p> <p>Volumen:0,000312837m³</p> <p>Densidad:7.850kg/m³</p> <p>Masa:2,45577kg</p> <p>Peso:24,0665N</p>	<p>C:\Users\Juanpe\Documents\TFG\TFG\Barras antivuelco\Barras sin bases.SLDPRT</p> <p>Aug 26 19:43:53 2021</p>
<p>Viga-9(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[13])</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección- iso/Personalizado/Perfil tubular 48x3,5</p> <p>Área de sección: 0,000489303m²</p> <p>Longitud:783,061mm</p> <p>Volumen:0,000373378m³</p> <p>Densidad:7.850kg/m³</p> <p>Masa:2,93102kg</p> <p>Peso:28,724N</p>	<p>C:\Users\Juanpe\Documents\TFG\TFG\Barras antivuelco\Barras sin bases.SLDPRT</p> <p>Aug 26 19:43:53 2021</p>
<p>Viga-10(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[7])</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección- iso/Personalizado/Perfil tubular 48x3,5</p> <p>Área de sección: 0,000489303m²</p> <p>Longitud:237,972mm</p> <p>Volumen:0,00011657m³</p> <p>Densidad:7.850kg/m³</p> <p>Masa:0,915077kg</p> <p>Peso:8,96775N</p>	<p>C:\Users\Juanpe\Documents\TFG\TFG\Barras antivuelco\Barras sin bases.SLDPRT</p> <p>Aug 26 19:43:53 2021</p>

<p>Viga-11(Recortar/Extender10)</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-iso/Personalizado/Perfil tubular 48x3,5</p> <p>Área de sección: 0,000489303m²</p> <p>Longitud:1.261,47mm</p> <p>Volumen:0,000588205m³</p> <p>Densidad:7.850kg/m³</p> <p>Masa:4,61741kg</p> <p>Peso:45,2506N</p>	<p>C:\Users\Juanpe\Documents\TFG\TFG\Barras antivuelco\Barras sin bases.SLDPRT</p> <p>Aug 26 19:43:53 2021</p>
<p>Viga-12(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[8])</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-iso/Personalizado/Perfil tubular 48x3,5</p> <p>Área de sección: 0,000489303m²</p> <p>Longitud:368,917mm</p> <p>Volumen:0,000180512m³</p> <p>Densidad:7.850kg/m³</p> <p>Masa:1,41702kg</p> <p>Peso:13,8868N</p>	<p>C:\Users\Juanpe\Documents\TFG\TFG\Barras antivuelco\Barras sin bases.SLDPRT</p> <p>Aug 26 19:43:53 2021</p>
<p>Viga-13(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[11])</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-iso/Personalizado/Perfil tubular 48x3,5</p> <p>Área de sección: 0,000489303m²</p> <p>Longitud:251,522mm</p> <p>Volumen:0,000123071m³</p> <p>Densidad:7.850kg/m³</p> <p>Masa:0,966104kg</p> <p>Peso:9,46782N</p>	<p>C:\Users\Juanpe\Documents\TFG\TFG\Barras antivuelco\Barras sin bases.SLDPRT</p> <p>Aug 26 19:43:53 2021</p>

<p>Viga-14(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[10])</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección- iso/Personalizado/Perfil tubular 48x3,5</p> <p>Área de sección: 0,000489303m²</p> <p>Longitud:194,462mm</p> <p>Volumen:9,5151e-05m³</p> <p>Densidad:7.850kg/m³</p> <p>Masa:0,746935kg</p> <p>Peso:7,31997N</p>	<p>C:\Users\Juanpe\Documents\TFG\TFG\Barras antivuelco\Barras sin bases.SLDPRT</p> <p>Aug 26 19:43:53 2021</p>
<p>Viga-15(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[9])</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección- iso/Personalizado/Perfil tubular 48x3,5</p> <p>Área de sección: 0,000489303m²</p> <p>Longitud:134,207mm</p> <p>Volumen:6,57149e-05m³</p> <p>Densidad:7.850kg/m³</p> <p>Masa:0,515862kg</p> <p>Peso:5,05545N</p>	<p>C:\Users\Juanpe\Documents\TFG\TFG\Barras antivuelco\Barras sin bases.SLDPRT</p> <p>Aug 26 19:43:53 2021</p>
<p>Viga- 16(Recortar/Extender8)</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección- iso/Personalizado/Perfil tubular 48x3,5</p> <p>Área de sección: 0,000489303m²</p> <p>Longitud:981,71mm</p> <p>Volumen:0,000472434m³</p> <p>Densidad:7.850kg/m³</p> <p>Masa:3,7086kg</p> <p>Peso:36,3443N</p>	<p>C:\Users\Juanpe\Documents\TFG\TFG\Barras antivuelco\Barras sin bases.SLDPRT</p> <p>Aug 26 19:43:53 2021</p>

<p>Viga-17(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[1])</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-iso/Personalizado/Perfil tubular 48x3,5</p> <p>Área de sección: 0,000489303m²</p> <p>Longitud:210mm</p> <p>Volumen:0,000102754m³</p> <p>Densidad:7.850kg/m³</p> <p>Masa:0,806616kg</p> <p>Peso:7,90484N</p>	<p>C:\Users\Juanpe\Documents\TFG\TFG\Barras antivuelco\Barras sin bases.SLDPRT</p> <p>Aug 26 19:43:53 2021</p>
---	--	--	--

8.2.3.- Propiedades de estudio

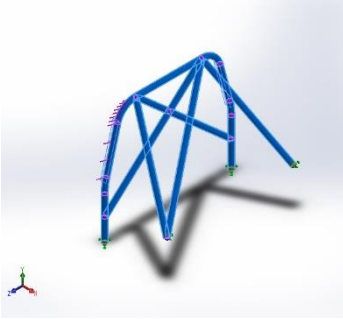
Nombre de estudio	Análisis estático carga diagonal izquierda
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla de viga
Tipo de solver	Direct sparse solver
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\Juanpe\Documents\TFG\TFG\Barras antivuelco)



8.2.4.- Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

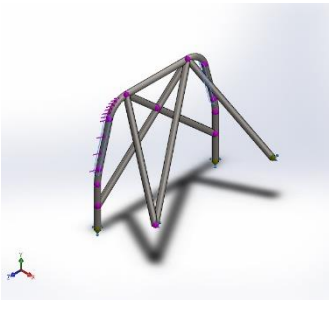
8.2.5.- Propiedades de material

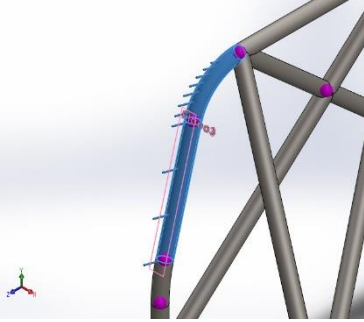
Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: AISI 4340 Acero normalizado</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx.</p> <p>Límite elástico: 7,1e+08 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 1,11e+09 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 2,05e+11 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0,32</p> <p>Densidad: 7.850 kg/m³</p> <p>Módulo cortante: 8e+10 N/m²</p> <p>Coefficiente de dilatación térmica: 1,23e-05 /Kelvin</p>	<p>Sólido 1(Recortar/Extender11)(Barras sin bases),</p> <p>Sólido 2(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[15])(Barras sin bases),</p> <p>Sólido 3(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[2])(Barras sin bases),</p> <p>Sólido 4(Recortar/Extender7)(Barras sin bases),</p> <p>Sólido 5(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[4])(Barras sin bases),</p> <p>Sólido 6(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[3])(Barras sin bases),</p> <p>Sólido 7(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[5])(Barras sin bases),</p> <p>Sólido 8(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[6])(Barras sin bases),</p> <p>Sólido 9(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[13])(Barras sin bases),</p> <p>Sólido 10(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[7])(Barras sin bases),</p>



		<p>Sólido 11(Recortar/Extender10)(Barras sin bases),</p> <p>Sólido 12(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[8])(Barras sin bases),</p> <p>Sólido 13(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[11])(Barras sin bases),</p> <p>Sólido 14(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[10])(Barras sin bases),</p> <p>Sólido 15(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[9])(Barras sin bases),</p> <p>Sólido 16(Recortar/Extender8)(Barras sin bases),</p> <p>Sólido 17(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[1])(Barras sin bases)</p>
Datos de curva:N/A		

8.2.6.- Cargas y sujeciones

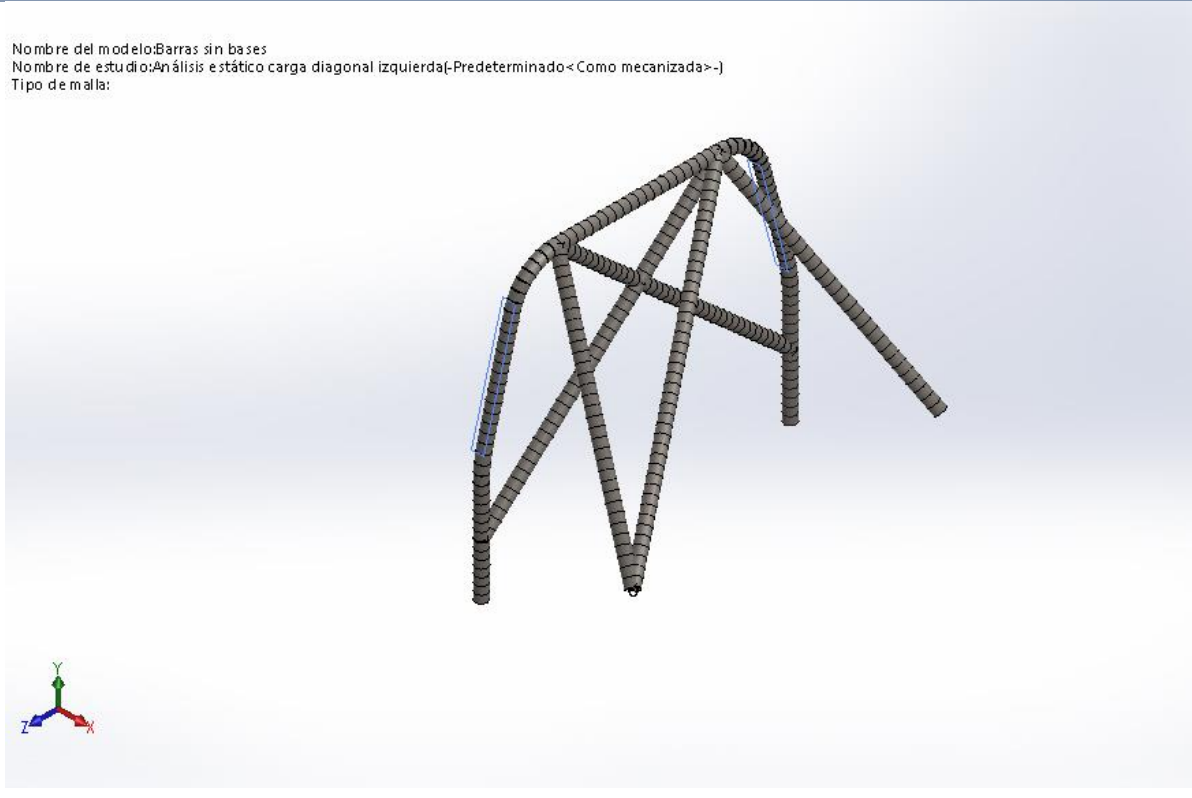
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Fijo-1		<p>Entidades: 4 Joint(s)</p> <p>Tipo: Geometría fija</p>

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		<p>Entidades: 1 plano(s), 2 Viga(s)</p> <p>Referencia: Plano3</p> <p>Tipo: Aplicar fuerza</p> <p>Valores: ---; ---; -28.000 N</p> <p>Momentos: ---; ---; --- N.m</p>

8.2.7.- Información de malla

Tipo de malla	Malla de viga
---------------	---------------

8.2.7.1.- Información de malla - Detalles

Número total de nodos	322
Número total de elementos	288
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:02
Nombre de computadora:	
<p>Nombre del modelo: Barras sin bases Nombre de estudio: Análisis estático carga diagonal izquierda[-Predeterminado<Como mecanizada>-] Tipo de malla:</p> 	



8.2.8.- Fuerzas resultantes

8.2.8.1.- Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	0,00112915	14.493,9	54.091,8	56.000

8.2.8.2.- Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	2.163,29	309,504	600,101	2.266,21

8.2.9.- Vigas

8.2.9.1.- Fuerzas de viga

Nombre de viga	Juntas	Axial(N)	Corte1(N)	Corte2(N)	Momento1(N.m)	Momento2(N.m)	Torsión(N.m)
Viga-1(Recortar/Extender11)	1	- 5.397 ,37	4.079,3 5	589,42 8	-69,8431	1.039,85	71,6383
	2	5.397 ,37	- 4.079,3 5	- 589,42 8	-186,104	731,528	-71,6382
Viga-2(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[15])	1	- 3.314 ,85	378,91 6	- 747,82 1	428,849	96,1437	-28,0524
	2	3.314 ,85	- 378,92 4	747,81 9	312,923	279,71	28,0525
Viga-3(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[2])	1	24.88 8,5	5.175,8 6	153,54 8	95,6488	-49,3107	-18,9175
	2	- 24.88 8,5	- 5.175,8 6	- 153,54 8	-124,828	1.032,9	18,9175
Viga-4(Recortar/Extender7)	1	46.88 2	24,467 4	- 209,27 8	-122,337	-3,33265	41,9079
	2	- 46.88 2	- 24,398 5	209,27 2	-156,139	-29,2287	-41,9082
Viga-5(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[4])	1	- 22.70 0,8	- 11.441, 1	- 153,54 8	-67,1062	-1.072,96	40,3445
	2	22.70 0,8	- 16.558, 9	153,54 8	3,85915	18,9448	-40,3446
Viga-6(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[3])	1	- 24.70 5,8	5.987,4 2	153,54 8	94,9786	-49,3107	22,0369
	2	23.06 3	- 10.692, 2	- 153,54 8	-68,3904	-1.072,96	-38,1273

Viga-7(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[5])	1	49.601,8	-6.362,38	-153,548	65,282	1.873,2	1,21241
	2	-23.978,1	-14.648,4	153,548	0,549222	18,9448	40,525
Viga-8(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[6])	1	-48.560,2	-1.247,71	820,388	279,222	536,049	-82,3492
	2	48.560,2	1.247,71	-820,388	245,295	261,676	82,3492
Viga-9(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[13])	1	-3.670,83	285,991	-142,219	134,682	91,4155	14,5324
	2	3.670,83	-285,986	142,219	-20,4475	138,297	-14,5322
Viga-10(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[7])	1	-579,455	1.301,6	-78,0126	-59,0838	-159,038	-57,1099
	2	1.424,72	-9,37679	78,0126	61,8751	-13,7843	-20,88
Viga-11(Recortar/Extender10)	1	5.858,06	284,239	559,673	141,073	-2,97584	-24,0129
	2	9.445,98	2.404,94	-171,974	-37,9686	-1.212,74	33,1989
	3	-5.858,06	-284,223	-559,673	79,9528	-109,276	24,0132
Viga-12(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[8])	1	-1.420,72	107,089	-78,0126	-59,9617	13,7843	25,8668
	2	1.420,72	107,089	78,0126	31,1816	25,7221	-25,8668
Viga-13(Personalizado)	1	-1.297,86	-2.092,88	220,232	-33,0737	-231,713	-37,4161

PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[11])	2	1.297,86	2.092,88	-220,232	-22,3195	-294,692	37,4161
Viga-14(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[10])	1	1.344,6	471,149	78,0126	-2,10424	156,395	-31,6921
	2	-1.344,6	-471,149	-78,0126	-13,0663	-64,7747	31,6921
Viga-15(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[9])	1	-1.416,46	-153,512	-78,0126	-30,3186	-25,7221	26,8731
	2	1.359,29	426,902	78,0126	14,0962	64,7747	-31,2476
Viga-16(Recortar/Extender8)	1	37.106,5	-57,798	251,931	121,156	-78,3804	-46,2843
	2	-37.106,5	57,8132	252,069	128,776	21,0461	46,2845
Viga-17(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[1])	1	16.735,8	10.518,5	325,522	176,396	172,693	-12,5021
	2	-16.735,8	-10.518,5	-325,522	-244,755	2.036,19	12,5021

8.2.9.2.- Tensiones de viga

Nombre de viga	Juntas	Axial(N/m ²)	Dir. de pliegue1(N/m ²)	Dir. de pliegue2(N/m ²)	Torsional (N/m ²)	Tensión axial y de flexión en el límite superior(N/m ²)
Viga-1(Recortar/Extender11)	1	1,10307e+07	1,37546e+07	2,04784e+08	7,05408e+06	2,16276e+08
	2	1,10307e+07	-3,66506e+07	-1,44064e+08	-7,05406e+06	1,59684e+08
Viga-2(Personalizado)	1	6,77463e+06	-8,44558e+07	1,89342e+07	-2,76226e+06	9,33268e+07

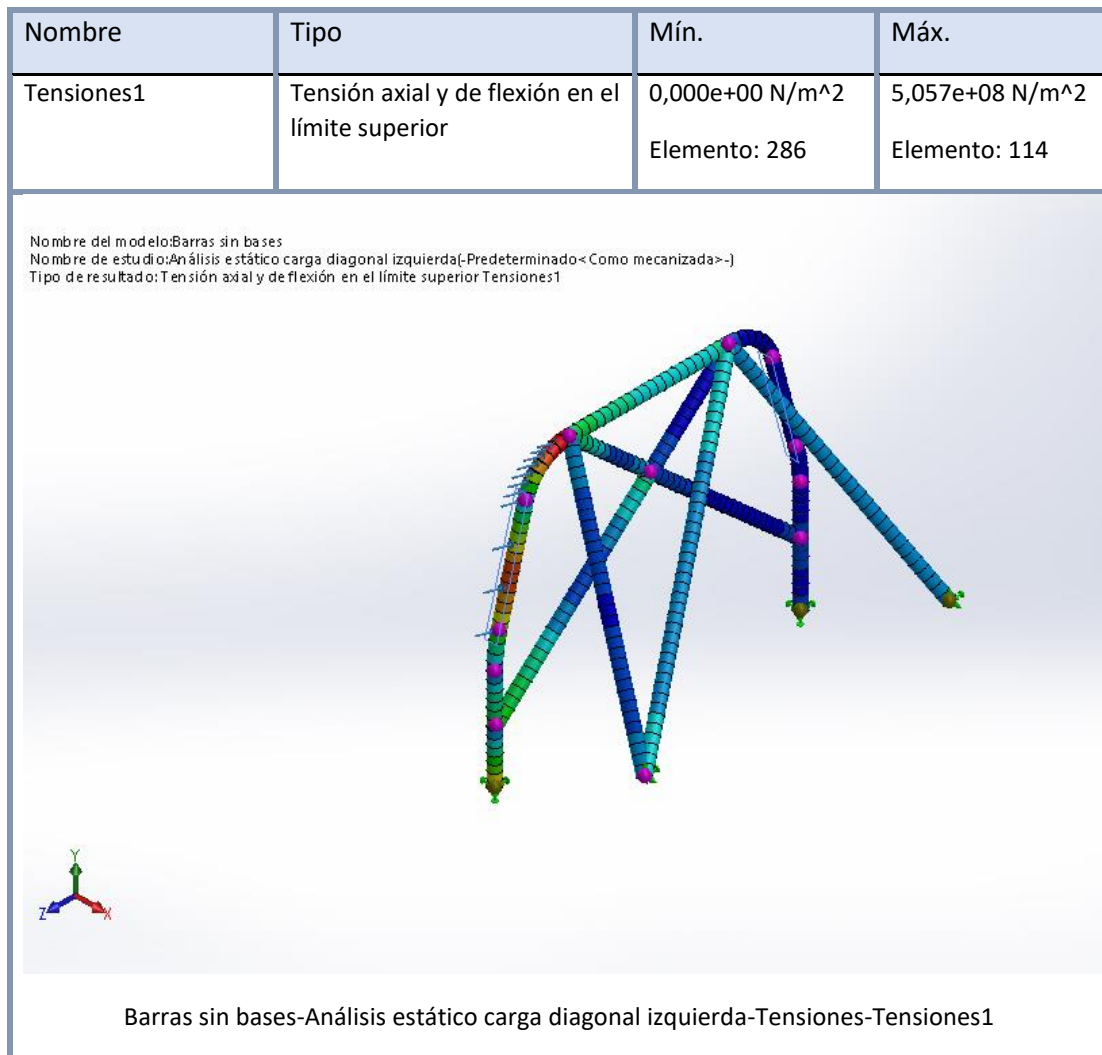
PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[15])	2	6,77463e +06	6,16257e+07	-5,5085e+07	2,76228e +06	8,94311e+07
Viga- 3(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[2])	1	- 5,08652e +07	- 1,88367e+07	- 9,71105e+06	- 1,86276e +06	7,20578e+07
	2	- 5,08652e +07	- 2,45831e+07	- 2,03415e+08	1,86276e +06	2,5576e+08
Viga- 4(Recortar/Exten der7)	1	9,58138e +07	- 2,40926e+07	656.319	4,12659e +06	1,19915e+08
	2	9,58138e +07	3,07495e+07	- 5,75618e+06	- 4,12661e +06	1,27097e+08
Viga- 5(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[4])	1	- 4,63942e +07	- 1,32156e+07	2,11305e+08	3,97264e +06	2,58112e+08
	2	- 4,63942e +07	-760.006	3,73092e+06	- 3,97265e +06	5,02017e+07
Viga- 6(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[3])	1	- 5,04919e +07	1,87047e+07	9,71105e+06	2,16993e +06	7,15672e+07
	2	- 4,71344e +07	1,34685e+07	- 2,11305e+08	- 3,75432e +06	2,58868e+08
Viga- 7(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[5])	1	- 1,01372e +08	- 1,28564e+07	3,689e+08	119.384	4,70496e+08
	2	- 4,90046e +07	108.162	- 3,73092e+06	3,99041e +06	5,27371e+07
Viga- 8(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[6])	1	- 9,92436e +07	5,49889e+07	- 1,05567e+08	- 8,10876e +06	2,18274e+08
	2	- 9,92436e +07	- 4,83073e+07	5,15333e+07	8,10876e +06	1,69878e+08
Viga- 9(Personalizado)	1	7,50216e +06	- 2,65237e+07	1,8003e+07	1,43097e +06	3,95586e+07

PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[13])	2	7,50216e +06	- 4,02684e+06	- 2,72356e+07	- 1,43096e +06	3,50338e+07
Viga- 10(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[7])	1	- 1,18425e +06	- 1,16357e+07	3,13204e+07	- 5,6235e+ 06	3,45962e+07
	2	- 2,91174e +06	- 1,21854e+07	- 2,71463e+06	- 2,05601e +06	1,53959e+07
Viga- 11(Recortar/Exte nder10)	1	1,19722e +07	2,77823e+07	586.050	- 2,3645e+ 06	3,97608e+07
	2	1,9305e+ 07	- 7,47739e+06	2,38832e+08	3,26903e +06	2,58254e+08
	3	1,19722e +07	- 1,57456e+07	- 2,15205e+07	2,36453e +06	3,86378e+07
Viga- 12(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[8])	1	- 2,90357e +06	- 1,18086e+07	- 2,71463e+06	2,54705e +06	1,50202e+07
	2	- 2,90357e +06	- 6,14077e+06	5,0656e+06	- 2,54705e +06	1,08641e+07
Viga- 13(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[11])	1	2,65246e +06	6,5134e+06	- 4,56326e+07	- 3,68429e +06	4,87476e+07
	2	2,65246e +06	- 4,39551e+06	5,80354e+07	3,68429e +06	6,08541e+07
Viga- 14(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[10])	1	- 2,74799e +06	414.400	3,07999e+07	- 3,12065e +06	3,35506e+07
	2	- 2,74799e +06	- 2,57322e+06	1,27565e+07	3,12065e +06	1,57614e+07
Viga- 15(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[9])	1	- 2,89485e +06	- 5,97083e+06	5,0656e+06	2,64614e +06	1,0725e+07
	2	- 2,77802e +06	- 2,77605e+06	1,27565e+07	- 3,07689e +06	1,58331e+07



Viga-16(Recortar/Extender8)	1	- 7,58355e+07	-2,386e+07	- 1,54359e+07	- 4,55752e+06	1,04253e+08
	2	- 7,58355e+07	2,53607e+07	- 4,14472e+06	4,55754e+06	1,01533e+08
Viga-17(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[1])	1	- 3,42033e+07	- 3,47386e+07	3,40094e+07	- 1,23106e+06	8,28183e+07
	2	- 3,42033e+07	- 4,82011e+07	- 4,00999e+08	1,23106e+06	4,38089e+08

8.2.10.- Resultados del estudio



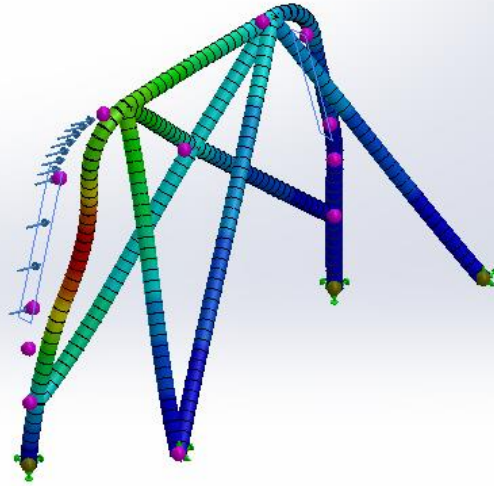
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 98	5,860e+00 mm Nodo: 107

Nombre del modelo: Barras sin bases

Nombre de estudio: Análisis estático carga diagonal izquierda [-Predeterminado <Como mecanizada>-]

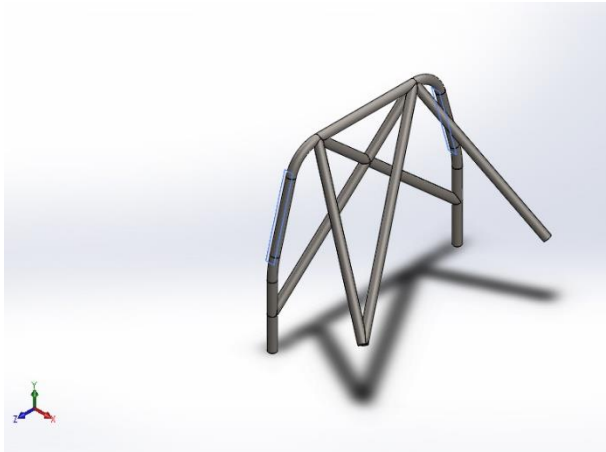
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1

Escala de deformación: 22,0782



Barras sin bases-Análisis estático carga diagonal izquierda-Desplazamientos-Desplazamientos1

8.3.- Carga de 28 KN sobre el lateral derecho superior de la estructura.



Simulación de barras antivuelco

Fecha: jueves, 26 de agosto de 2021

Diseñador: Solidworks

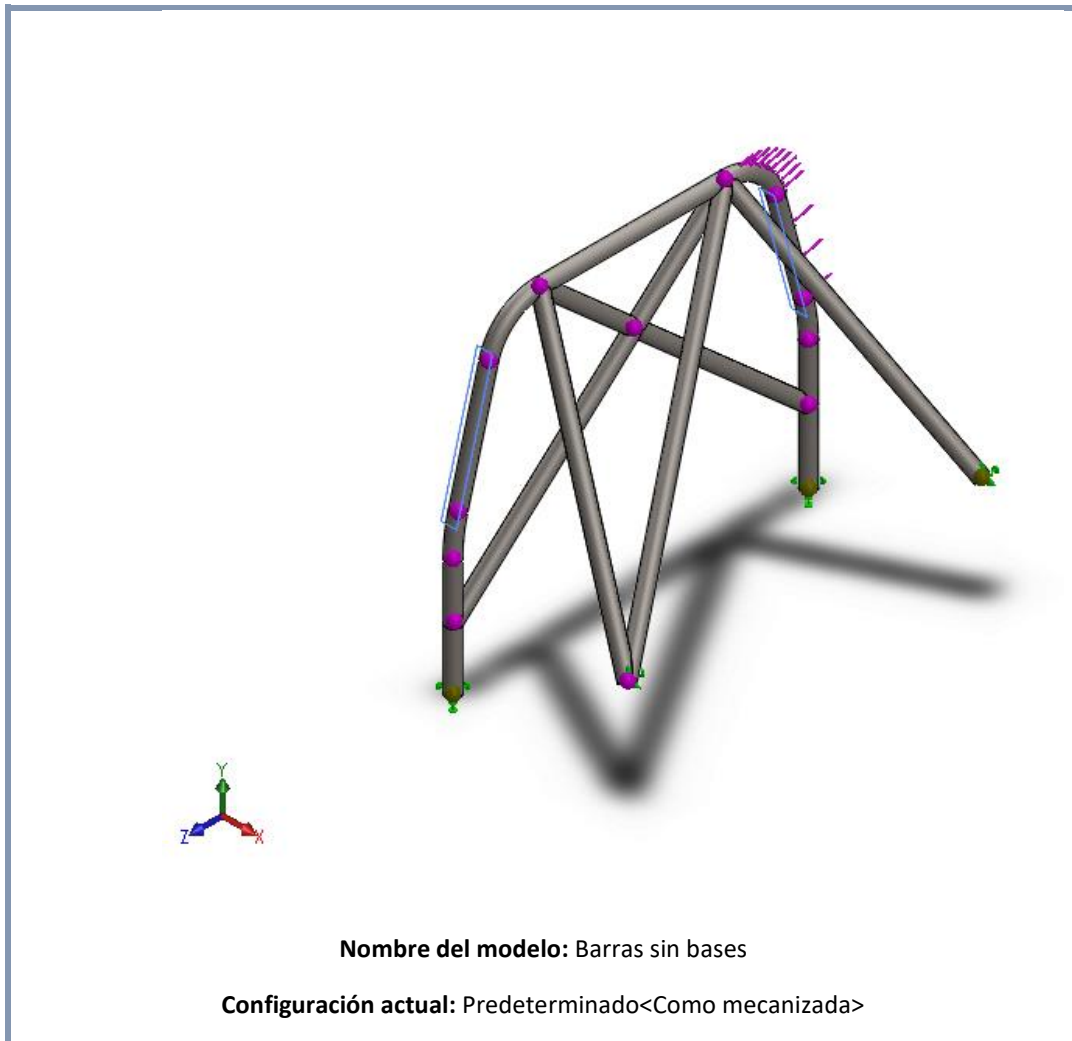
Nombre de estudio: Análisis estático carga
diagonal derecha

Tipo de análisis: Análisis estático

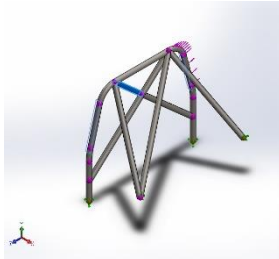
8.3.1.- Descripción

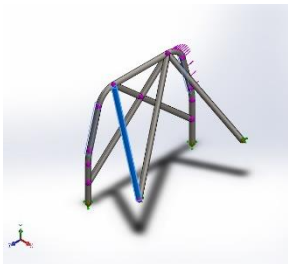
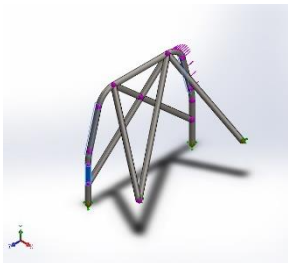
Análisis de la jaula antivuelco cuando se ve sometida a una carga distribuida de 28 KN sobre su lateral derecho

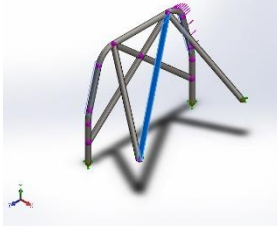
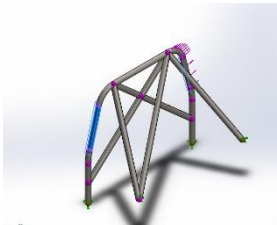
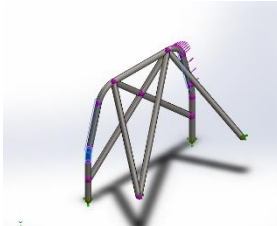
8.3.2.- Información de modelo

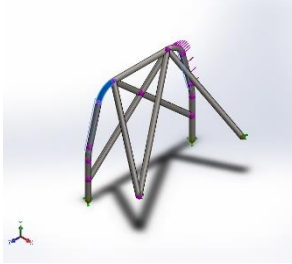
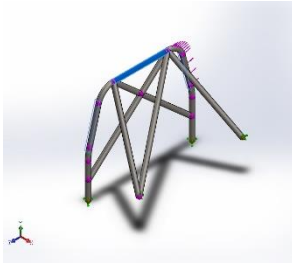


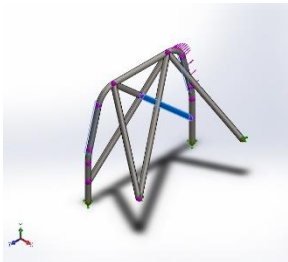
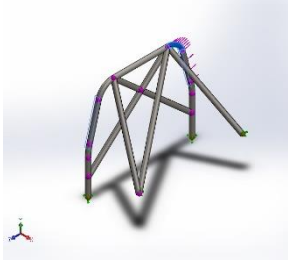
Sólidos de viga:

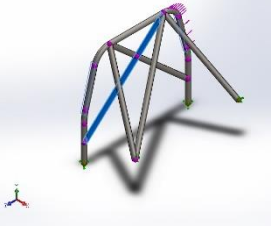
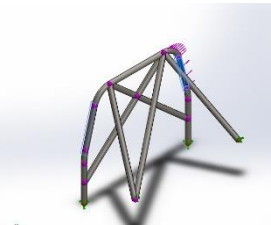
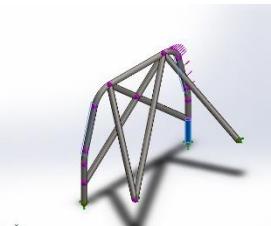
Nombre de documento y referencia	Formulación	Propiedades	Ruta al documento/Fecha de modificación
<p>Viga-1(Recortar/Extender11)</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-iso/Personalizado/Perfil tubular 48x3,5</p> <p>Área de sección: 0,000489303m²</p> <p>Longitud:415,353 mm</p> <p>Volumen:0,000188462m³</p> <p>Densidad:7.850kg/m³</p>	<p>C:\Users\Juanpe\Documents\TFG\TFG\Barras antivuelco\Barras sin bases.SLDPRT</p> <p>Aug 26 19:43:53 2021</p>

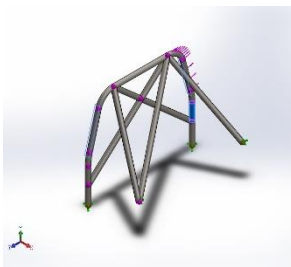
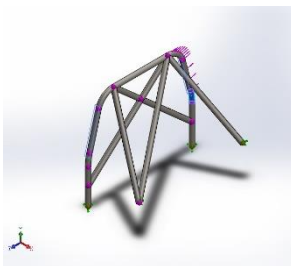
		<p>Masa:1,47942kg</p> <p>Peso:14,4984N</p>	
<p>Viga-2(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[15])</p> 	<p>Viga – Sección transver sal uniforme</p>	<p>Estándar de sección- iso/Personalizado/ Perfil tubular 48x3,5</p> <p>Área de sección: 0,000489303m²</p> <p>Longitud:986,027 mm</p> <p>Volumen:0,000475 773m³</p> <p>Densidad:7.850kg/ m³</p> <p>Masa:3,73482kg</p> <p>Peso:36,6012N</p>	<p>C:\Users\Juanpe\Documents\TF G\TFG\Barras antivuelco\Barras sin bases.SLDPRT</p> <p>Aug 26 19:43:53 2021</p>
<p>Viga-3(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[2])</p> 	<p>Viga – Sección transver sal uniforme</p>	<p>Estándar de sección- iso/Personalizado/ Perfil tubular 48x3,5</p> <p>Área de sección: 0,000489303m²</p> <p>Longitud:194,462 mm</p> <p>Volumen:9,5151e- 05m³</p> <p>Densidad:7.850kg/ m³</p> <p>Masa:0,746935kg</p> <p>Peso:7,31997N</p>	<p>C:\Users\Juanpe\Documents\TF G\TFG\Barras antivuelco\Barras sin bases.SLDPRT</p> <p>Aug 26 19:43:53 2021</p>
<p>Viga- 4(Recortar/Extender7)</p>	<p>Viga – Sección transver</p>	<p>Estándar de sección- iso/Personalizado/</p>	<p>C:\Users\Juanpe\Documents\TF G\TFG\Barras antivuelco\Barras sin bases.SLDPRT</p>

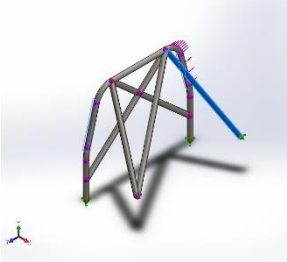
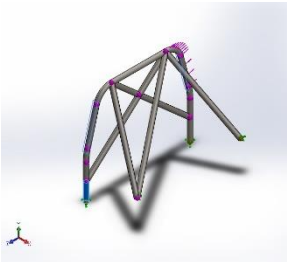
	<p>sal uniforme</p>	<p>Perfil tubular 48x3,5</p> <p>Área de sección: 0,000489303m²</p> <p>Longitud:1.325,06 mm</p> <p>Volumen:0,000609 753m³</p> <p>Densidad:7.850kg/ m³</p> <p>Masa:4,78656kg</p> <p>Peso:46,9083N</p>	<p>Aug 26 19:43:53 2021</p>
<p>Viga-5(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[4])</p> 	<p>Viga – Sección transver sal uniforme</p>	<p>Estándar de sección- iso/Personalizado/ Perfil tubular 48x3,5</p> <p>Área de sección: 0,000489303m²</p> <p>Longitud:411,904 mm</p> <p>Volumen:0,000201 546m³</p> <p>Densidad:7.850kg/ m³</p> <p>Masa:1,58213kg</p> <p>Peso:15,5049N</p>	<p>C:\Users\Juanpe\Documents\TF G\TFG\Barras antivuelco\Barras sin bases.SLDPRT</p> <p>Aug 26 19:43:53 2021</p>
<p>Viga-6(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[3])</p> 	<p>Viga – Sección transver sal uniforme</p>	<p>Estándar de sección- iso/Personalizado/ Perfil tubular 48x3,5</p> <p>Área de sección: 0,000489303m²</p> <p>Longitud:134,207 mm</p>	<p>C:\Users\Juanpe\Documents\TF G\TFG\Barras antivuelco\Barras sin bases.SLDPRT</p> <p>Aug 26 19:43:53 2021</p>

		<p>Volumen:6,57149e-05m³</p> <p>Densidad:7.850kg/m³</p> <p>Masa:0,515862kg</p> <p>Peso:5,05545N</p>	
<p>Viga-7(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[5])</p> 	<p>Viga – Sección transver sal uniforme</p>	<p>Estándar de sección- iso/Personalizado/ Perfil tubular 48x3,5</p> <p>Área de sección: 0,000489303m²</p> <p>Longitud:237,972 mm</p> <p>Volumen:0,000116 57m³</p> <p>Densidad:7.850kg/ m³</p> <p>Masa:0,915077kg</p> <p>Peso:8,96775N</p>	<p>C:\Users\Juanpe\Documents\TFG\TFG\Barras antivuelco\Barras sin bases.SLDPRT</p> <p>Aug 26 19:43:53 2021</p>
<p>Viga-8(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[6])</p> 	<p>Viga – Sección transver sal uniforme</p>	<p>Estándar de sección- iso/Personalizado/ Perfil tubular 48x3,5</p> <p>Área de sección: 0,000489303m²</p> <p>Longitud:639,352 mm</p> <p>Volumen:0,000312 837m³</p> <p>Densidad:7.850kg/ m³</p> <p>Masa:2,45577kg</p> <p>Peso:24,0665N</p>	<p>C:\Users\Juanpe\Documents\TFG\TFG\Barras antivuelco\Barras sin bases.SLDPRT</p> <p>Aug 26 19:43:53 2021</p>

<p>Viga-9(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[13])</p> 	<p>Viga – Sección transver sal uniforme</p>	<p>Estándar de sección- iso/Personalizado/ Perfil tubular 48x3,5</p> <p>Área de sección: 0,000489303m²</p> <p>Longitud:783,061 mm</p> <p>Volumen:0,000373 378m³</p> <p>Densidad:7.850kg/ m³</p> <p>Masa:2,93102kg</p> <p>Peso:28,724N</p>	<p>C:\Users\Juanpe\Documents\TF G\TFG\Barras antivuelco\Barras sin bases.SLDPRT</p> <p>Aug 26 19:43:53 2021</p>
<p>Viga-10(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[7])</p> 	<p>Viga – Sección transver sal uniforme</p>	<p>Estándar de sección- iso/Personalizado/ Perfil tubular 48x3,5</p> <p>Área de sección: 0,000489303m²</p> <p>Longitud:237,972 mm</p> <p>Volumen:0,000116 57m³</p> <p>Densidad:7.850kg/ m³</p> <p>Masa:0,915077kg</p> <p>Peso:8,96775N</p>	<p>C:\Users\Juanpe\Documents\TF G\TFG\Barras antivuelco\Barras sin bases.SLDPRT</p> <p>Aug 26 19:43:53 2021</p>
<p>Viga- 11(Recortar/Extender10)</p>	<p>Viga – Sección transver sal uniforme</p>	<p>Estándar de sección- iso/Personalizado/ Perfil tubular 48x3,5</p>	<p>C:\Users\Juanpe\Documents\TF G\TFG\Barras antivuelco\Barras sin bases.SLDPRT</p> <p>Aug 26 19:43:53 2021</p>

		<p>Área de sección: 0,000489303m²</p> <p>Longitud:1.261,47 mm</p> <p>Volumen:0,000588 205m³</p> <p>Densidad:7.850kg/ m³</p> <p>Masa:4,61741kg</p> <p>Peso:45,2506N</p>	
<p>Viga-12(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[8])</p> 	<p>Viga – Sección transver sal uniforme</p>	<p>Estándar de sección- iso/Personalizado/ Perfil tubular 48x3,5</p> <p>Área de sección: 0,000489303m²</p> <p>Longitud:368,917 mm</p> <p>Volumen:0,000180 512m³</p> <p>Densidad:7.850kg/ m³</p> <p>Masa:1,41702kg</p> <p>Peso:13,8868N</p>	<p>C:\Users\Juanpe\Documents\TFG\TFG\Barras antivuelco\Barras sin bases.SLDPRT</p> <p>Aug 26 19:43:53 2021</p>
<p>Viga-13(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[11])</p> 	<p>Viga – Sección transver sal uniforme</p>	<p>Estándar de sección- iso/Personalizado/ Perfil tubular 48x3,5</p> <p>Área de sección: 0,000489303m²</p> <p>Longitud:251,522 mm</p> <p>Volumen:0,000123 071m³</p>	<p>C:\Users\Juanpe\Documents\TFG\TFG\Barras antivuelco\Barras sin bases.SLDPRT</p> <p>Aug 26 19:43:53 2021</p>

		<p>Densidad:7.850kg/ m³</p> <p>Masa:0,966104kg</p> <p>Peso:9,46782N</p>	
<p>Viga-14(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[10])</p> 	<p>Viga – Sección transver sal uniforme</p>	<p>Estándar de sección- iso/Personalizado/ Perfil tubular 48x3,5</p> <p>Área de sección: 0,000489303m²</p> <p>Longitud:194,462 mm</p> <p>Volumen:9,5151e- 05m³</p> <p>Densidad:7.850kg/ m³</p> <p>Masa:0,746935kg</p> <p>Peso:7,31997N</p>	<p>C:\Users\Juanpe\Documents\TF G\TFG\Barras antivuelco\Barras sin bases.SLDPRT</p> <p>Aug 26 19:43:53 2021</p>
<p>Viga-15(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[9])</p> 	<p>Viga – Sección transver sal uniforme</p>	<p>Estándar de sección- iso/Personalizado/ Perfil tubular 48x3,5</p> <p>Área de sección: 0,000489303m²</p> <p>Longitud:134,207 mm</p> <p>Volumen:6,57149e -05m³</p> <p>Densidad:7.850kg/ m³</p> <p>Masa:0,515862kg</p> <p>Peso:5,05545N</p>	<p>C:\Users\Juanpe\Documents\TF G\TFG\Barras antivuelco\Barras sin bases.SLDPRT</p> <p>Aug 26 19:43:53 2021</p>

<p>Viga-16(Recortar/Extender8)</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-iso/Personalizado/Perfil tubular 48x3,5</p> <p>Área de sección: 0,000489303m²</p> <p>Longitud:981,71m</p> <p>Volumen:0,000472434m³</p> <p>Densidad:7.850kg/m³</p> <p>Masa:3,7086kg</p> <p>Peso:36,3443N</p>	<p>C:\Users\Juanpe\Documents\TFG\TFG\Barras antivuelco\Barras sin bases.SLDPRT</p> <p>Aug 26 19:43:53 2021</p>
<p>Viga-17(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[1])</p> 	<p>Viga – Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-iso/Personalizado/Perfil tubular 48x3,5</p> <p>Área de sección: 0,000489303m²</p> <p>Longitud:210mm</p> <p>Volumen:0,000102754m³</p> <p>Densidad:7.850kg/m³</p> <p>Masa:0,806616kg</p> <p>Peso:7,90484N</p>	<p>C:\Users\Juanpe\Documents\TFG\TFG\Barras antivuelco\Barras sin bases.SLDPRT</p> <p>Aug 26 19:43:53 2021</p>

8.3.3.- Propiedades de estudio

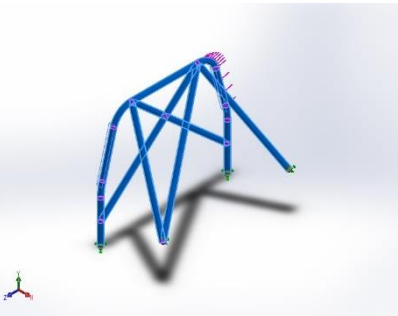
Nombre de estudio	Análisis estático carga diagonal derecha
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla de viga

Tipo de solver	Direct sparse solver
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\Juanpe\Documents\TFG\TFG\Barras antivuelco)

8.3.4.- Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

8.3.5.- Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componente
	<p>Nombre: AISI 4340 Acero normalizado</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx.</p>	<p>Sólido 1(Recortar/Extender11 sin bases),</p> <p>Sólido 2(Personalizado TUBULAR 48X3,5(1)[15 sin bases),</p> <p>Sólido 3(Personalizado TUBULAR 48X3,5(1)[2] sin bases),</p>

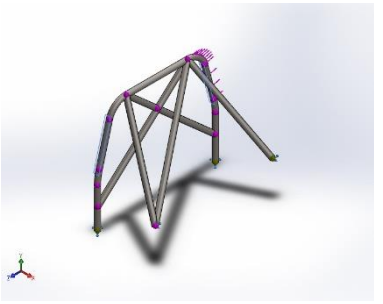


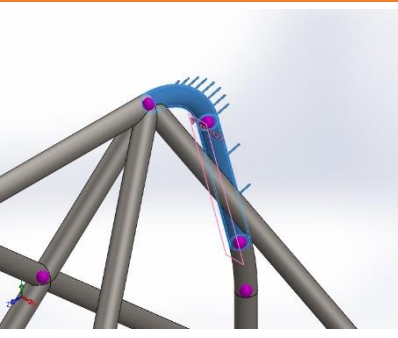
	<p>Límite elástico: 7,1e+08 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 1,11e+09 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 2,05e+11 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0,32</p> <p>Densidad: 7.850 kg/m³</p> <p>Módulo cortante: 8e+10 N/m²</p> <p>Coefficiente de dilatación térmica: 1,23e-05 /Kelvin</p>	<p>Sólido 4(Recortar/Extender7)(Barras sin bases),</p> <p>Sólido 5(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[4])(Barras sin bases),</p> <p>Sólido 6(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[3])(Barras sin bases),</p> <p>Sólido 7(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[5])(Barras sin bases),</p> <p>Sólido 8(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[6])(Barras sin bases),</p> <p>Sólido 9(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[13])(Barras sin bases),</p> <p>Sólido 10(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[7])(Barras sin bases),</p> <p>Sólido 11(Recortar/Extender10)(Barras sin bases),</p> <p>Sólido 12(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[8])(Barras sin bases),</p> <p>Sólido 13(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[11])(Barras sin bases),</p> <p>Sólido 14(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[10])(Barras sin bases),</p> <p>Sólido 15(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[9])(Barras sin bases),</p> <p>Sólido 16(Recortar/Extender8)(Barras sin bases),</p> <p>Sólido 17(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[1])(Barras sin bases)</p>
--	--	---



Datos de curva:N/A

8.3.6.- Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Fijo-1		Entidades: 4 Joint(s) Tipo: Geometría fija

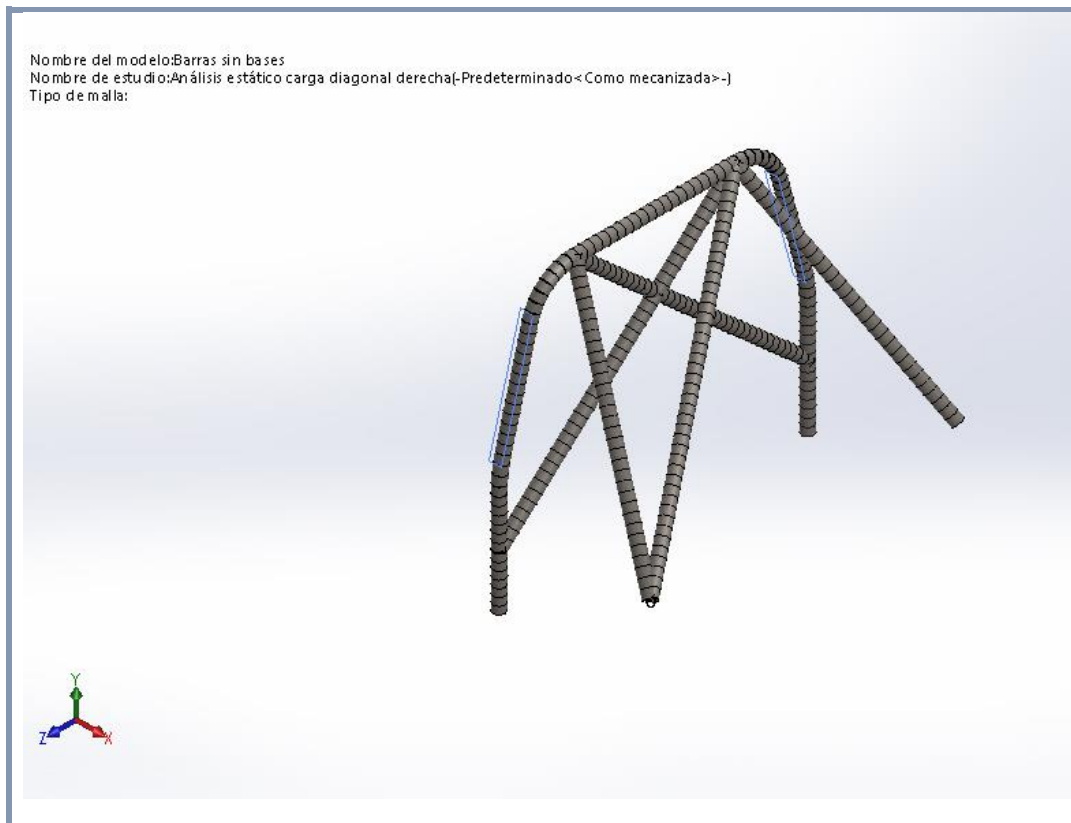
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		Entidades: 1 plano(s), 2 Viga(s) Referencia: Plano2 Tipo: Aplicar fuerza Valores: ---; ---; 28.000 N Momentos: ---; ---; --- N.m

8.3.7.- Información de malla

Tipo de malla	Malla de viga
---------------	---------------

8.3.7.1.- Información de malla - Detalles

Número total de nodos	322
Número total de elementos	288
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:02
Nombre de computadora:	



8.3.8.- Fuerzas resultantes

8.3.8.1.- Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-0,00250244	14.493,9	-54.091,9	56.000

8.3.8.2.- Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	-1.758,24	-231,675	431,051	1.825,07

8.3.9.- Vigas

8.3.9.1.- Fuerzas de viga

Nombre de viga	Juntas	Axial (N)	Corte 1(N)	Corte 2(N)	Momento1 (N.m)	Momento2 (N.m)	Torsión(N.m)
Viga-1(Recortar/Extender11)	1	- 5.216 ,23	14,152 8	- 387,62 8	20,4383	84,2893	-16,1702
	2	5.216 ,23	- 14,157	387,62 8	147,881	-78,1413	16,1701
Viga-2(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[15])	1	1.999 ,09	- 28,650 9	280,09 7	-130,749	-43,6536	54,0787
	2	- 1.999 ,09	28,655 2	- 280,09 7	-147,082	15,233	-54,0788
Viga-3(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[2])	1	1.136 ,58	- 496,00 7	- 88,902 5	-10,6477	108,353	30,4567
	2	- 1.136 ,58	496,00 7	88,902 5	27,5422	-202,611	-30,4567
Viga-4(Recortar/Extender7)	1	- 51.86 8,4	291,37 5	2,6623 2	-44,2324	-181,895	30,7646
	2	51.86 8,4	- 291,44 8	- 2,6515 1	47,8055	-205,772	-30,7643
Viga-5(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[4])	1	- 1.226 ,23	184,93 7	88,902 5	-9,40182	-62,3637	-30,6207
	2	1.226 ,23	- 184,93 6	- 88,902 5	46,0211	-13,8123	30,6207
Viga-6(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[3])	1	- 1.152 ,21	- 458,55 4	- 88,902 5	-9,64549	108,353	-30,7888
	2	1.219 ,53	224,95 9	88,902 5	-8,39492	-62,3637	30,9119
Viga-7(Personalizado)	1	587,2 31	- 1.092, 25	88,902 5	-60,8915	-119,089	-43,6903

PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[5])	2	- 1.237 ,24	- 84,108 1	- 88,902 5	48,3696	-13,8123	-26,7574
Viga- 8(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[6])	1	- 5.264 ,53	892,61	- 653,52	-163,83	-142,896	75,3762
	2	5.264 ,53	- 892,61	653,52	-253,999	-427,795	-75,3762
Viga- 9(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[13])	1	- 7.651 ,66	2.522, 22	149,64 6	-93,534	815,489	22,3393
	2	7.651 ,66	- 2.522, 21	- 149,64 6	-26,6658	1.210,42	-22,3394
Viga- 10(Personalizado o PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[7])	1	- 50.33 2,2	7.620, 06	70,460 5	31,7421	1.668,39	-13,5493
	2	25.42 5,1	14.794 ,6	- 70,460 5	12,3635	77,2378	26,0439
Viga- 11(Recortar/Ext ender10)	1	9.368 ,55	3.197, 57	- 442,51 5	-114,61	-451,6	67,0472
	2	7.134 ,13	508,89 6	94,759	-15,7977	-239,695	8,90762
	3	- 9.368 ,56	- 3.197, 55	442,51 5	-60,148	-811,185	-67,0475
Viga- 12(Personalizado o PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[8])	1	- 24.13 1	16.822 ,9	70,460 5	-14,4505	-77,2378	-24,9464
	2	24.13 1,1	- 11.177 ,1	- 70,460 5	40,4446	1.118,65	24,9463
Viga- 13(Personalizado o PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[11])	1	19.24 9	- 8.621, 32	- 220,10 7	158,334	-1.786,54	7,17286
	2	- 19.24 9	8.621, 32	220,10 7	-102,972	-381,91	-7,17286

Viga-14(Personalizada o PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[10])	1	26.20 1,6	- 4.550, 69	- 70,460 5	68,5803	-828,508	12,3969
	2	- 26.20 1,6	4.550, 69	70,460 5	-54,8784	-56,4292	-12,3969
Viga-15(Personalizada o PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[9])	1	- 24.48 3,8	10.381 ,6	70,460 5	-41,2391	-1.118,65	-23,6098
	2	26.03 8,7	- 5.405, 56	- 70,460 5	54,4434	56,4292	14,1859
Viga-16(Recortar/Extender8)	1	- 41.04 2,2	299,38 3	569,30 6	-326,944	80,2377	11,5278
	2	41.04 2,2	- 299,40 5	- 569,45 4	-237,802	216,734	-11,5274
Viga-17(Personalizada o PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[1])	1	- 4.056 ,5	4.421, 98	- 183,66 2	-11,1176	447,84	35,6342
	2	4.056 ,5	- 4.421, 98	183,66 2	49,6865	480,776	-35,6342

8.3.9.2.- Tensiones de viga

Nombre de viga	Juntas	Axial(N/m ²)	Dir. de pliegue1(N/m ²)	Dir. de pliegue2(N/m ²)	Torsional (N/m ²)	Tensión axial y de flexión en el límite superior(N/m ²)
Viga-1(Recortar/Extender11)	1	1,06605e+07	- 4,02504e+06	1,65996e+07	- 1,59224e+06	2,77412e+07
	2	1,06605e+07	2,91232e+07	1,53888e+07	1,59224e+06	4,35995e+07
Viga-2(Personalizado)	1	- 4,08559e+06	2,57492e+07	- 8,59696e+06	5,32502e+06	3,1232e+07

PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[15]	2	- 4,08559e +06	- 2,89658e+0 7	- 2,99992e+0 6	- 5,32503 e+06	3,32063e+0 7
Viga- 3(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[2])	1	- 2,32286e +06	2,09692e+0 6	2,13386e+0 7	2,99901 e+06	2,37643e+0 7
	2	- 2,32286e +06	5,42404e+0 6	3,99014e+0 7	- 2,99901 e+06	4,25912e+0 7
Viga- 4(Recortar/Exten der7)	1	- 1,06005e +08	- 8,71095e+0 6	3,58217e+0 7	3,02932 e+06	1,4287e+08
	2	- 1,06005e +08	- 9,41462e+0 6	- 4,05238e+0 7	- 3,0293e +06	1,47608e+0 8
Viga- 5(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[4])	1	- 2,50608e +06	- 1,85156e+0 6	1,22816e+0 7	- 3,01516 e+06	1,49265e+0 7
	2	- 2,50608e +06	- 9,06321e+0 6	- 2,72015e+0 6	3,01516 e+06	1,19687e+0 7
Viga- 6(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[3])	1	- 2,35479e +06	- 1,89954e+0 6	- 2,13386e+0 7	- 3,03171 e+06	2,37778e+0 7
	2	- 2,49237e +06	1,65326e+0 6	- 1,22816e+0 7	3,04383 e+06	1,48848e+0 7
Viga- 7(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[5])	1	- 1,20014e +06	1,19917e+0 7	- 2,34528e+0 7	- 4,30209 e+06	2,75409e+0 7
	2	- 2,52859e +06	9,52571e+0 6	2,72015e+0 6	- 2,63474 e+06	1,24351e+0 7
Viga- 8(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[6])	1	- 1,07592e +07	- 3,22639e+0 7	2,81414e+0 7	7,42215 e+06	5,35717e+0 7
	2	- 1,07592e +07	5,00216e+0 7	- 8,42483e+0 7	- 7,42215 e+06	1,08739e+0 8
Viga- 9(Personalizado)	1	1,56379e +07	1,84202e+0 7	1,60599e+0 8	2,19971 e+06	1,7729e+08

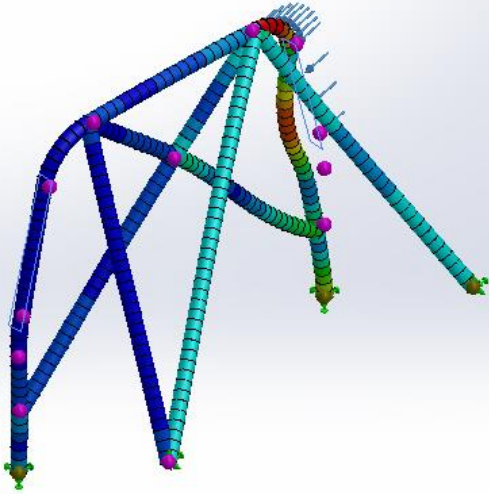
PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[13])	2	1,56379e +07	- 5,25145e+0 6	- 2,38375e+0 8	- 2,19972 e+06	2,5407e+08
Viga- 10(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[7])	1	- 1,02865e +08	6,25115e+0 6	- 3,28565e+0 8	- 1,33417 e+06	4,3149e+08
	2	- 5,1962e+ 07	- 2,43481e+0 6	1,52109e+0 7	2,56449 e+06	6,73665e+0 7
Viga- 11(Recortar/Exte nder10)	1	1,91467e +07	- 2,25707e+0 7	8,89364e+0 7	6,60201 e+06	1,10902e+0 8
	2	1,45802e +07	- 3,11113e+0 6	4,72045e+0 7	877.115	6,18871e+0 7
	3	1,91467e +07	1,18453e+0 7	- 1,59751e+0 8	- 6,60203 e+06	1,79337e+0 8
Viga- 12(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[8])	1	- 4,93171e +07	- 2,84583e+0 6	1,52109e+0 7	- 2,45642 e+06	6,4792e+07
	2	- 4,93172e +07	-7,965e+06	2,20303e+0 8	2,45642 e+06	2,69764e+0 8
Viga- 13(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[11])	1	- 3,93396e +07	- 3,11817e+0 7	- 3,51834e+0 8	706.297	3,92553e+0 8
	2	- 3,93396e +07	-2,0279e+07	7,52118e+0 7	-706.297	1,17237e+0 8
Viga- 14(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[10])	1	- 5,35489e +07	- 1,35059e+0 7	- 1,63163e+0 8	1,2207e +06	2,1727e+08
	2	- 5,35489e +07	- 1,08075e+0 7	1,11129e+0 7	- 1,2207e +06	6,90505e+0 7
Viga- 15(Personalizado)	1	- 5,00381e +07	- 8,12146e+0 6	2,20303e+0 8	- 2,32481 e+06	2,7049e+08

PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[9]]	2	- 5,32159e +07	- 1,07219e+0 7	1,11129e+0 7	1,39685 e+06	6,86579e+0 7
Viga- 16(Recortar/Exte nder8)	1	8,38789e +07	6,4387e+07	1,58017e+0 7	1,13512 e+06	1,50177e+0 8
	2	8,38789e +07	- 4,68318e+0 7	- 4,26827e+0 7	- 1,13508 e+06	1,47243e+0 8
Viga- 17(Personalizado PERFIL TUBULAR 48X3,5(1)[1])	1	8,29036e +06	2,18945e+0 6	8,81958e+0 7	3,50883 e+06	9,65133e+0 7
	2	8,29036e +06	9,78505e+0 6	- 9,46821e+0 7	- 3,50883 e+06	1,03477e+0 8

8.3.10.- Resultados del estudio

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	Tensión axial y de flexión en el límite superior	0,000e+00 N/m ² Elemento: 286	4,792e+08 N/m ² Elemento: 174

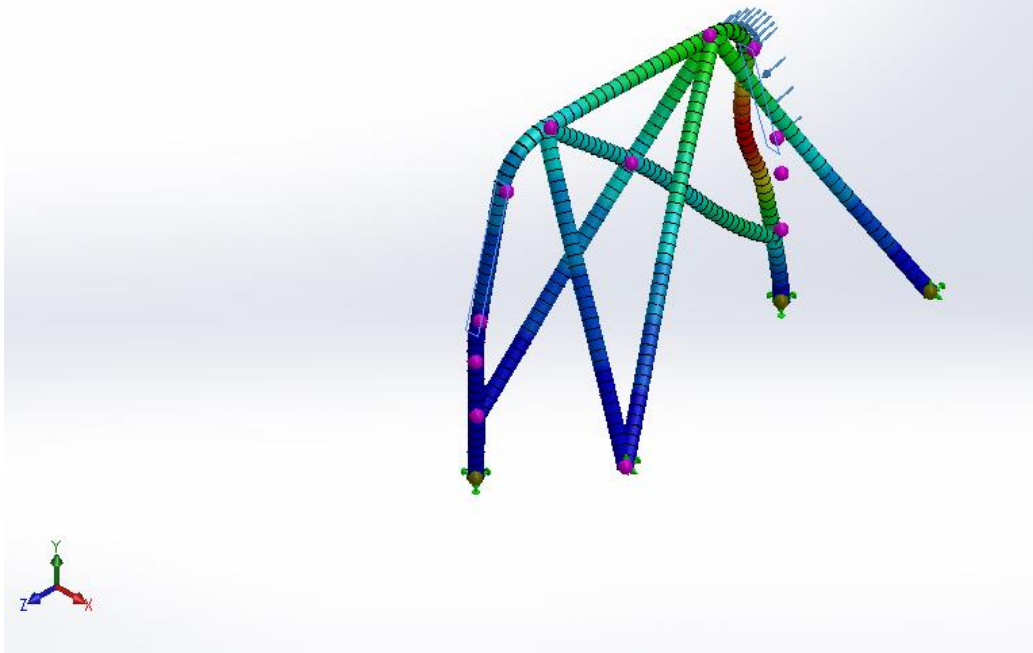
Nombre del modelo: Barras sin bases
 Nombre de estudio: Análisis estático carga diagonal derecha [-Predeterminado < Como mecanizada > -]
 Tipo de resultado: Tensión axial y de flexión en el límite superior Tensiones1
 Escala de deformación: 24,8632



Barras sin bases-Análisis estático carga diagonal derecha-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 98	5,126e+00 mm Nodo: 221

Nombre del modelo: Barras sin bases
 Nombre de estudio: Análisis estático carga diagonal derecha (Predeterminado < Como mecanizada > -)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 24,8632



Barras sin bases-Análisis estático carga diagonal derecha-Desplazamientos-Desplazamientos1

Anexo 9.- Pliego de condiciones.

9.1.- Observaciones.

Este documento recoge toda la normativa, cláusulas, instrucciones, verificaciones o pruebas de obligado cumplimiento que regulan y condicionan la exitosa ejecución del proyecto. Las mencionadas instrucciones se describirán con el adecuado detalle a lo largo del mismo, o se remitirá a los documentos que lo hagan.

Cabe destacar que las reformas, bien sean sustituciones, instalaciones o modificaciones, están supeditadas a lo recogido a lo largo de este proyecto, quedando invalidado en caso de alterarse algún elemento fundamental del vehículo que no se detalle en el mismo, o que se modifiquen fuera de lo previsto por el mismo proyecto.

El proceso de montaje y desmontaje de los elementos involucrados en la ejecución del presente proyecto, o en aquellos que sea necesario manipular, deberán acogerse al orden, parámetros e instrucciones que se detallan en los manuales de taller suministrados por el fabricante del vehículo correspondiente.

9.2.- Materiales empleados.

Los materiales empleados en la ejecución de la reforma poseen unas características que los hacen adecuados para las aplicaciones correspondientes. Esto se recoge y demuestra en el apartado de cálculos justificativos, por tanto, es de obligatorio cumplimiento y responsabilidad del contratista ajustarse a ellas. Siempre y cuando corra con los gastos derivados, posee el pleno derecho el peticionario de realizar los ensayos y pruebas que considere oportunos para asegurar la calidad de estos, siempre y cuando estas pruebas se rijan por la normativa UNE.

Los materiales metálicos utilizados a lo largo del proyecto deben ser aceros de la calidad y aleación especificadas, sin que tengan ningún tipo de defecto, deformación o rotura.

Los trabajos de soldadura de las estructuras metálicas y otras partes que dispongan de elementos soldados, como la estructura de seguridad antivuelco, serán realizados acorde a lo dispuesto en el proyecto por personal cualificado.

Las distintas piezas necesarias para ejecutar la reforma del vehículo descrita en el presente proyecto serán, siempre que sea posible, piezas nuevas. En caso de utilizar piezas usadas será necesario que el contratista compruebe y certifique que estas se encuentran en buen estado. La calidad de los materiales empleados debe poseer como mínimo la determinada por el fabricante en el momento de la comercialización del vehículo.

Los elementos que se instalen y que así lo requieran, deben incorporar la homologación europea correspondiente y el marcado CE.

Para la fijación de la estructura de seguridad antivuelco se requiere la realización de taladros. Estos taladros se realizarán en las zonas supeditadas por el diseño de dicha estructura, y se instalarán pletinas de refuerzo soldadas al chasis a las que irá atornillada

la estructura en sus cuatro puntos de fijación, de acuerdo a lo establecido en el Anexo J de Código Deportivo Internacional.

9.3.- Normas de ejecución.

Todos y cada uno de los trabajos a realizar para la ejecución de las distintas reformas descritas en este proyecto deberán acogerse a los cálculos justificativos recogidos en el mismo, a la normativa vigente, así como seguir las pautas dictadas por el fabricante del vehículo en su manual de taller, o bien en las instrucciones redactadas por el fabricante de los componentes.

Antes de la instalación de cualquier componente se debe proceder a la limpieza de las piezas y la preparación de las zonas de trabajo. Eliminando restos de grasa, óxido o pintura en mal estado, garantizando la pulcritud de la ejecución.

No podrá existir interferencia entre las partes móviles del vehículo después de la ejecución de la reforma.

No podrán existir aristas vivas en los elementos reformados añadidos a la carrocería, esto es, con un radio inferior a 2,5 cm.

Los elementos elásticos del sistema de suspensión se deben instalar en su emplazamiento original, respetando los anclajes y las instrucciones de montaje facilitadas por el fabricante.

La instalación de los componentes que se recogen en el presente proyecto no debe afectar ni modificar de manera alguna el monocasco del vehículo.

Los trabajos de pintura serán realizados cuando se considere pertinente, siempre y cuando se respete la protección anticorrosiva de las distintas partes, se garantice un correcto acabado y se emplee pintura con base al agua.

El taller encargado de realizar la reforma, o contratista, deberá contar con el pertinente certificado y homologación por parte del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

Se realizará tantas inspecciones y comprobaciones considere necesario el responsable del taller ejecutor de las reformas y trabajos realizados para cerciorarse de la correcta realización de estos, así como de la correspondencia con los parámetros y cálculos descritos a lo largo del proyecto.

En el caso de que fuera necesario ejecutar cualquier tipo de obra adicional que no quedase especificada en el presente proyecto, el taller encargado de realizar la reforma queda obligado a su ejecución, sin derecho a reclamación de ningún tipo.

La Dirección Facultativa, bajo su propio criterio, estará en pleno derecho de prescindir de aquellos materiales que no reúnan las condiciones que consideren pertinentes, obligando al taller a sustituirlos sin derecho a reclamación de ningún tipo.

Se deberá proceder a una inspección visual del vehículo antes de su utilización, asegurándose de que no existe un daño que impida circular con el mismo.

Semanalmente se realizará una inspección del nivel de aceite del motor, líquido refrigerante, líquido de frenos, líquido de dirección asistida y presión de los neumáticos.

Anualmente se realizará, si no se cumplen antes los intervalos kilométricos dictados por el fabricante, el cambio de líquido de frenos, líquido refrigerante y aceite de motor y caja de cambios, y cada dos años como máximo el cambio del líquido de dirección asistida.

9.4.- Certificados y autorizaciones.

Se debe asegurar el cumplimiento de los criterios estipulados por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio y reflejados en el Real Decreto 866/2010 y desarrollado en el Manual de Reformas de Vehículos en su 6ª Revisión de mayo de 2020. Este manual regula la forma en la que se tramitan las reformas realizadas en vehículos y que son objeto de este proyecto.

Según estos documentos, este proyecto, junto con su certificado de final de obra, se deberá acompañar de los pertinentes documentos autoritativos y certificaciones, entre los que se incluyen los certificados de conformidad emitidos por laboratorios u otro órgano competente, y certificado de montaje en taller debidamente cumplimentado y sellado por el taller ejecutor contratista. Presentándose, junto al propio vehículo para su verificación y comprobación, ante la institución administrativa pertinente en materia de inspección de vehículos (Estación ITV).

Anexo 10.- Presupuesto detallado.

10.1.- Presupuesto por capítulos.

CLIENTE:	EMAIL:
PROYECTO: Proyecto de homologación de las reformas efectuadas en motor, la suspensión, y la carrocería de un vehículo para utilización mixta del vehículo en uso ocasional y en pruebas de coches clásicos	FECHA: 27/08/2021

CAPITULO 1: UNIDAD MOTRIZ					
Nº	Descripción	Unidades	Parcial	Precio Unitario	Importe
1.01	Motor BMW 34-6E-B, con instalación eléctrica y accesorios	1	1	500,00 €	500,00 €
1.02	Caja de Cambios Getrag 265/5	1	1	350,00 €	350,00 €
1.03	Silencioso delantero (BMW 18121177233).	1	1	279,72 €	279,72 €
1.04	Silencioso trasero (BMW 18121177237).	1	1	303,79 €	303,79 €
1.05	Radiador de aluminio Mishimoto M3 E30.	1	1	515,09 €	515,09 €
1.06	Conjunto manguitos de refrigeración de silicona.	1	1	220,00 €	220,00 €
1.07	Disco de embrague, mecanismo y cojinete mecánico Sachs - 3000 034 010.	1	1	217,50 €	217,50 €
1.08	Grupo cónico diferencial autoblocante con relación 3,73 (BMW 33101210692)	1	1	250,00 €	250,00 €
1.09	Árbol de transmisión (26112226239)	1	1	268,97 €	268,97 €
1.10	Centralita BMW M535i Bosch Motronic (Bosch 0 261 200 059)	1	1	145,00 €	145,00 €
1.11	Adaptación y saneamiento del cableado del vehículo	1	1	95,00 €	95,00 €
1.12	Soportes de motor específicos para la instalación del motor en el chasis. Fabricante Epytec.	1	1	169,14 €	169,14 €
	TOTAL CAPITULO 1				3.314,21 €

CAPITULO 2: EJES Y RUEDAS					
Nº	Descripción	Unidades	Parcial	Precio Unitario	Importe
2.01	Llantas Japan Racing JR6. Medidas 17x8J, ET24. Anclaje 5x120.	4	4	183,00 €	732,00 €
2.02	Neumáticos Yokohama Advan Neova AD08RS. Medida 215/40 R17	4	4	140,29 €	561,16 €
2.03	Manguetas delanteras BMW (31212225362)	2	2	283,07 €	566,14 €
2.04	Brazo de suspensión delantero derecho. BMW (31121127726).	1	1	176,42 €	176,42 €
2.05	Brazo de suspensión delantero izquierdo. BMW (31121127725).	1	1	176,42 €	176,42 €
2.06	Brazos de suspensión trasero derecho. BMW (33321137642)	1	1	225,85 €	225,85 €
2.07	Brazos de suspensión trasero izquierdo. BMW (33321137641)	1	1	225,85 €	225,85 €
2.08	Semiejes de transmisión BMW (33211226901)	2	2	246,40 €	492,80 €
	TOTAL CAPITULO 2				3.156,64 €

CAPITULO 3: SUSPENSION					
Nº	Descripción	Unidades	Parcial	Precio Unitario	Importe
3.01	Muelles delanteros BMW (31331130043)	2	2	113,59 €	227,18 €
3.02	Muelles traseros BMW (33539061510)	2	2	163,02 €	326,04 €
3.03	Estabilizadora delantera BMW (31352225284)	1	1	68,15 €	68,15 €
3.04	estabilizadora trasera BMW (33551129194)	1	1	85,84 €	85,84 €
3.05	Amortiguador delantero BMW (31322225397)	2	2	175,09 €	350,18 €
3.06	Amortiguadores traseros BMW (33522225426)	2	2	159,45 €	318,90 €
	TOTAL CAPITULO 3				1.376,29 €

CAPITULO 4: FRENOS					
Nº	Descripción	Unidades	Parcial	Precio Unitario	Importe
4.01	Pareja de discos de freno delanteros. OTTO ZIMMERMANN GMBH - 150.1273.20	1	1	128,50 €	128,50 €
4.02	Pareja de discos de freno traseros. OTTO ZIMMERMANN GMBH - 150.1274.20	1	1	84,20 €	84,20 €
4.03	Pastillas de freno delanteras. Ferodo Racing DS2500 (FCP256H)	1	1	173,90 €	173,90 €
4.04	Pastillas de freno traseras. Ferodo Racing DS 2500 (FCP578H)	1	1	157,53 €	157,53 €
4.05	Pareja de pinzas de freno delanteras BMW (izq: 34112225403; der: 34112225404)	1	1	185,00 €	185,00 €
4.06	Pareja de pinzas de freno traseras BMW (izq: 34211160353; der: 34211160354)	1	1	60,00 €	60,00 €
4.07	Set de latiguillos de freno Goodridge (TBW0300-6)	1	1	115,34 €	115,34 €
TOTAL CAPITULO 4					904,47 €

CAPITULO 5: HABITACULO					
Nº	Descripción	Unidades	Parcial	Precio Unitario	Importe
5.01	Estructura de seguridad antivuelco. Formada por perfiles tubulares 48x3.5 soldados. Se incluye pintura.	1	1	547,00 €	547,00 €
5.02	Tornillo de cabeza hexagonal M8x40 Calidad 12.9. DIN 933	12	12	0,20 €	2,40 €
5.03	ARANDELA GROWER M8. DIN 127B	12	12	0,04 €	0,48 €
5.04	Tuerca autoblocante cincada M8. DIN 985	12	12	0,06 €	0,72 €
TOTAL CAPITULO 5					550,60 €

CAPITULO 6: DIRECCION					
Nº	Descripción	Unidades	Parcial	Precio Unitario	Importe



6.01	Cremallera de dirección BMW (32132225556)	1	1	163,00 €	163,00 €
6.02	Conjunto de rótula de dirección y rótula axial de dirección. Febi Bilstein 08572.	2	2	25,54 €	51,08 €
	TOTAL CAPITULO 6				214,08 €

CAPITULO 7: CARROCERIA

Nº	Descripción	Unidades	Parcial	Precio Unitario	Importe
6.01	Alerón BMW (51711903898)	1	1	40,00 €	40,00 €
6.02	Ensanche de carrocería	1	1	300,00 €	300,00 €
6.03	Reparación, saneamiento y pintura de la carrocería, brazos de suspensión y otros elementos. Incluye mano de obra	1	1	1.800,00 €	1.800,00 €
	TOTAL CAPITULO 7				2.140,00 €

CAPITULO 8: IMPLEMENTACION DE REFORMA

Nº	Descripción	Unidades	Parcial	Precio Unitario	Importe
7.01	Proyecto técnico de las reformas realizadas visado por el Colegio de Ingenieros con Certificado de Final de Obra. Autor del proyecto: Juan Pedro Hernández León.	16	16	40,00 €	640,00 €
7.02	Ejecución de las reformas. Taller_____. Dirección_____. NIF:_____, Tlf:_____. Se deben cumplir con el montaje de todos los materiales descritos a lo largo del proyecto, cumpliendo con los requisitos especificados en el Pliego de Condiciones que le acompaña.	45	45	48,00 €	2.160,00 €
7.03	Ensayo de frenado según reglamento 13H, medición de la	1	1	300,00 €	300,00 €



	distancia de detención de laboratorio e instalación de dinamómetro en el pedal de freno.				
7.04	Inspección ordinaria en estación ITV	1	1	37,07 €	37,07 €
7.05	Inspección extraordinaria en estación ITV	1	1	71,47 €	71,47 €
	TOTAL CAPITULO 8				3.208,54 €

10.2.- Resumen presupuestario.

RESUMEN POR CAPITULOS	
CAPITULOS	IMPORTE
CAPITULO 1: UNIDAD MOTRIZ	3.314,21 €
CAPITULO 2: EJES Y RUEDAS	3.156,64 €
CAPITULO 3: SUSPENSION	1.376,29 €
CAPITULO 4: FRENOS	904,47 €
CAPITULO 5: HABITACULO	550,60 €
CAPITULO 6: DIRECCION	214,08 €
CAPITULO 7: CARROCERIA	2.140,00 €
CAPITULO 8: IMPLEMENTACION DE REFORMA	3.208,54 €
TOTAL PRESUPUESTO	14.864,83 €
<p>Asciende el presente presupuesto del proyecto de homologación de las reformas a la expresada cantidad de CATORCE MIL QUINIENTOS SESENTA Y CUATRO euros con OCHENTA Y TRES céntimos de euro.</p>	



(AUTODOC, s.f.²⁰; Epytec GmbH, s.f.²¹; Grupo Oscaro, s.f.²²; Mishimoto. Radiadores, Intercoolers y piezas para competición, s.f.²³; RealOEM.com, s.f.²⁴; Recambio Verde, s.f.²⁵; Rodiauto Sport, s.f.²⁶; Suministros Industriales Entaban, s.f.²⁷; Wurth Group, s.f.²⁸).

Anexo 11.- Certificado de montaje en taller.

CERTIFICADO DE TALLER

D _____, expresamente autorizado por la Empresa _____, domiciliada en C/_____ provincia de _____, dedicada a la actividad de reparación de automóviles, con nº de Registro Industrial ___-___y nº de registro especial _____.

CERTIFICA

Que la mencionada empresa ha realizado la/s Reforma/s y asume la responsabilidad de la ejecución sobre el vehículo marca **BMW**, tipo **320-i**, variante, denominación comercial **BMW 320i**, matrícula **TF-2470-X**. Y nº de bastidor **WBAAA3100409773015**, de acuerdo con:

- La normativa vigente en materia de reformas de importancia en 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: (Debe especificar la identificación de los equipos o sistemas modificados)

- Instalación de Motor BMW 34-6E-B, procedentes de un vehículo marca BMW, modelo M535i y tipo E28, con contraseña de homologación B-0906:
 - Marca: BMW.
 - Tipo: 34-6E-B.
 - Nº de cilindros/cilindrada: 6/3430cc.
 - Potencia fiscal: 21,64 cvf.
 - Referencia de admisión: motor donante.
 - Referencia silenciosos de escape: Intermedio (BMW – 18121177233), final (BMW – 18121177237).
 - Procedencia: Vehículo donante BMW M535i (E28) con contraseña de homologación B – 0906.
- Instalación de caja de cambios:
 - Marca: Getrag.
 - Tipo: 265/5.
 - Procedencia: Vehículo donante del motor, BMW M535i (E28) con contraseña de homologación B – 0906.
 - Se reajusta el velocímetro de acuerdo a la nueva relación de transmisión.
- Elementos de transmisión situados después de la caja de cambios:
 - Grupo cónico diferencial 3.73 con autoblocante procedente de vehículo marca BMW, modelo M3, tipo E30, con contraseña de homologación B – 1293, y con referencia BMW – 26112226239.
 - Sustitución del árbol de transmisión procedente de vehículo marca BMW, modelo M3, tipo E30, con contraseña de homologación B – 1293, y con referencia BMW – 26112226239.
 - Sustitución de los semiejes procedentes de vehículo marca BMW, modelo M3, tipo E30, con contraseña de homologación B – 1293, y con referencia BMW – 33211226901.
- Elementos de dirección:

- Instalación de cremallera de dirección, procedente de un vehículo marca BMW, modelo M3, tipo E30, con contraseña de homologación B – 1293 y referencia BMW – 32132225556.
- Elementos del sistema de suspensión:
 - Sustitución del conjunto de muelle y amortiguador en los ejes delantero y trasero por otros de nueva manufactura correspondientes a uno de los vehículos donantes, marca BMW, modelo M3, tipo E30, con contraseña de homologación B – 1293 y referencias BMW – 31331130043 para los muelles delanteros y BMW – 33539061510 para los traseros.
 - Sustitución de las barras estabilizadoras delantera y trasera del vehículo por las del vehículo donante, marca BMW, modelo M3, tipo E30, con contraseña de homologación B – 1293, cuyo grosor es de 14,5 mm y referencia BMW – 33551129194 para la estabilizadora trasera, y 19 mm con referencia BMW – 31352225284 para la estabilizadora delantera.
- Elementos del sistema de frenado.
 - Sustitución de las pinzas delanteras por otras con referencias BMW - 34112225403 para la pinza izquierda y BMW – 34112225404 provenientes del vehículo, marca BMW, modelo M3, tipo E30, con contraseña de homologación B – 1293.
 - Sustitución de las pinzas traseras por otras con referencias BMW - 34211160353 para la pinza izquierda y BMW – 34211160354 provenientes del vehículo, marca BMW, modelo M3, tipo E30, con contraseña de homologación B – 1293.
 - Sustitución de los discos de freno delanteros por otros ventilados de dimensiones 280x25 mm procedentes del vehículo donante, marca BMW, modelo M3, tipo E30, con contraseña de homologación B – 1293.
 - Sustitución de los discos de freno traseros por otros macizos de dimensiones 282x12 procedentes del vehículo donante, marca BMW, modelo M3, tipo E30, con contraseña de homologación B – 1293.
- Características de los ejes:
 - Instalación de brazos de suspensión delanteros procedentes de vehículo, marca BMW, modelo M3, tipo E30, con contraseña de homologación B – 1293, con referencias BMW – 31121127725 en el lado izquierdo y BMW – 31121127726 en el lado derecho.
 - Nuevo ancho de vías: 1412 mm en el tren delantero.
 - Instalación de brazos de suspensión traseros procedentes de vehículo, marca BMW, modelo M3, tipo E30, con contraseña de homologación B – 1293, con referencias BMW – 33321137641 en el lado izquierdo y BMW – 33321137642 en el lado derecho.
 - Nuevo ancho de vías: 1433 mm en el tren trasero.
- Carrocería del vehículo:
 - Instalación de batería en el maletero.
 - Ensanche de carrocería: Nuevo ancho 1680 mm.
 - Desinstalación de asientos traseros:
 - Número de plazas del vehículo: 2.
 - Instalación de media jaula antivuelco.
 - Perfil tubular circular 48x3.5 mm.
 - Número de fijaciones al chasis: 4.
 - Tornillos por fijación: 3.
 - Métrica y calidad de la tornillería empleada: M8x40 12.9.



- Instalación de alerón trasero procedente de vehículo, marca BMW, modelo M535i, tipo E28, con contraseña de homologación B – 0906. El anclaje de este accesorio a la carrocería del vehículo se realiza mediante 4 tornillos M4 de calidad 4.8, y su referencia es BMW – 51711903898.

EL TALLER DECLARA QUE LAS PIEZAS USADAS EMPLEADAS EN LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO SE ENCUENTRAN EN BUEN ESTADO.

Garantizo que los equipos o sistemas modificados cumple/n lo previsto en el artículo 6 del reglamento

General de vehículos y, en su caso, en el artículo 5 del RD 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 el RD 455/2010, de 16 de abril, por el que se modifica el RD 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.

Santa Cruz de Tenerife a __ de _____ de 2021.

Firma y sello

Fdo.:

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

Cualquier equipo o sistema modificado, sustituido o incorporado, debe de ser identificado en el informe de conformidad, en el proyecto técnico y en el certificado de taller.