

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ELCHE

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA



"REFORMA TÉCNICA DE UN VEHÍCULO
ELÉCTRICO"

TRABAJO FIN DE GRADO

Junio -2021

AUTOR: Cristian Canea

DIRECTOR: Fernando Verdú Bernabéu

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	6
1.1 PREÁMBULO.....	6
1.2 ANTECEDENTES	6
1.3 ALCANCE.....	7
1.4 PROBLEMÁTICA	7
1.4.1 VEHÍCULOS HÍBRIDOS.....	8
1.4.2 VEHÍCULOS ELÉCTRICOS	9
1.4.3 DIFERENCIAS ENTRE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS E HÍBRIDOS ..	10
1.4.4 AUTONOMÍA	10
1.5 CAPACIDAD DE REMOLQUE.....	11
1.5.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS PARA REMOLCAR	12
1.5.2 CONCLUSIÓN	14
1.6 ESTUDIO DE MERCADO DE SISTEMAS DE ENGANCHE.....	14
1.6.1 TIPOLOGÍA DE SISTEMAS DE ENGANCHE.....	15
1.6.2 PARTES DE UN SISTEMA DE ENGANCHE.....	19
1.7 SOLUCIÓN APORTADA	20
2 PROYECTO TÉCNICO DE REFORMA.....	21
2.1 MEMORIA	21
2.1.1 OBJETO	21
2.1.2 ANTECEDENTES	21
2.1.3 CARACTERÍSTICAS DEL VEHÍCULO ANTES Y DESPUÉS DE LA REFORMA.....	22
2.1.4 DESCRIPCIÓN DE LA REFORMA.....	23
2.2 CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	26
2.2.1 JUSTIFICACIÓN DEL REPARTO DE MASAS POR EJE	26
2.2.2 CÁLCULO DE TORNILLERÍA Y ANCLAJES.....	33
2.2.3 DINÁMICA LONGITUDINAL Y LATERAL	53

2.2.4	BASTIDOR Y CARROCERÍA	53
2.2.5	ANÁLISIS DE SEGURIDAD ACTIVA Y PASIVA O PROTECCIÓN AL MEDIO AMBIENTE	53
2.2.6	PROTECCIÓN AL MEDIO AMBIENTE	55
2.3	PLANIFICACIÓN	56
2.3.1	FASES DE INGENIERÍA	56
2.3.2	DISEÑO DEL SISTEMA DE ENGANCHE TIPO BOLA	56
2.3.3	FABRICACIÓN O CONSTRUCCIÓN	60
2.3.4	PUESTA EN SERVICIO DEL PROYECTO	61
3	PLANOS	62
3.1	PLANOS DEL SISTEMA DE ENGANCHE	62
4	PLIEGO DE CONDICIONES	66
4.1	OBJETO DEL PLIEGO	66
4.1.1	NORMAS DE REFERENCIA	66
4.2	ESPECIFICACIONES MATERIALES Y EQUIPOS	68
4.2.1	CALIDAD DE LOS MATERIALES EMPLEADOS	68
4.3	ESPECIFICACIÓN DE EJECUCIÓN	68
4.3.1	EQUIPO ELÉCTRICO	68
4.3.2	INSTALACIÓN DE CABLEADO	68
4.3.3	EQUIPAMIENTO ELÉCTRICO	68
4.3.4	PINTURA Y PROTECCIÓN CONTRA LA OXIDACIÓN	69
4.3.5	TRABAJOS DE SOLDADURA	69
4.3.6	CONDICIONES DE UTILIZACIÓN Y CONDUCCIÓN	69
5	PRESUPUESTO	71
6	ANEXOS	72
6.1	DOCUMENTACIÓN DEL VEHÍCULO	72
6.1.1	PERMISO DE CIRCULACIÓN	72

6.1.2	FICHA TÉCNICA DEL VEHÍCULO.....	73
6.2	ANÁLISIS DE TENSIONES EN INVENTOR	74
6.2.1	CÁLCULOS Y CARGAS EN LOS EJES	76
6.2.2	RESTRICCIONES	79
6.2.3	RESULTADOS DEL ANÁLISIS	79
6.2.4	ANÁLISIS DEL RESULTADO	84
6.2.5	POSIBLES MEJORAS	84
7	BIBLIOGRAFÍA	85
8	CONCLUSIONES	86



1. INTRODUCCIÓN

1.1 PREÁMBULO

Este TFG nace de la necesidad del titular del vehículo, objeto del proyecto, de la legalización de la instalación de un dispositivo de acoplamiento tipo bola para su Volkswagen eUP. El objetivo de este dispositivo de acoplamiento es el transporte de bicicletas mediante la utilización de un portabicicletas que se adapta a la bola y en ningún momento se plantea el arrastre de remolques.

1.2 ANTECEDENTES

La instalación de dispositivos de acoplamiento ya sea para remolcar o para instalar dispositivos portabicicletas en vehículos de combustión interna, es una práctica muy común. Normalmente, los dispositivos de acoplamiento permiten tanto el arrastre de remolques ligeros, el transporte de bicicletas, motocicletas, equipaje, etc. como para remolques no ligeros, para el remolque de caravanas, remolques de vehículos, remolques agrícolas, etc. Sin embargo, no es tan común ver un vehículo eléctrico arrastrando algún tipo de remolque o con dispositivos instalados en su bola de enganche (como por ejemplo portabicicletas o portaequipajes). Esto se debe a que la mayoría de los vehículos eléctricos fabricados hasta el momento no poseen capacidad técnica de remolque.

Un ejemplo concreto de esta carencia de capacidad de remolque es el vehículo objeto de este trabajo final de grado. En la ficha técnica del vehículo, más concretamente en la descripción de los códigos, encontramos el punto O.2.1 que trata acerca de la masa máxima remolcable. Dicho punto no posee ninguna entrada por lo que se entiende que este modelo no posee capacidad de arrastre, por lo que los fabricantes de enganches no ofrecen ningún dispositivo para este modelo de vehículo y este es el punto de partida para el desarrollo del presente trabajo final de grado.

1.3 ALCANCE

El presente trabajo final de grado tendrá el siguiente alcance:

- Diseño y cálculo de un dispositivo de acoplamiento para instalación en un WV eUp.
- Desarrollo del proyecto de reforma para legalización del dispositivo de acoplamiento.

1.4 PROBLEMÁTICA

Realizar la reforma técnica del vehículo, instalando un dispositivo de enganche, no supondría ningún problema si el vehículo no fuera eléctrico, pues para cualquier vehículo, propulsado por fuentes de energía no renovables, podemos encontrar un amplio abanico de marcas con diferentes modelos que ofrecen este tipo de enganches.

Ahora bien, al tratarse de un vehículo eléctrico nos encontramos con la siguiente problemática: ausencia de mercado que ofrezca sistemas de enganche para vehículos eléctricos, debido a que la mayoría de estos vehículos no disponen de capacidad técnica de arrastre en sus fichas de homologación, tal y como se ha comentado anteriormente.

Para poder entender el motivo de la ausencia de mercado de dispositivos de enganche en vehículos eléctricos, en primer lugar, se debe entender para que han sido concebidos y qué aspectos se han priorizado en el diseño de estos.

El principio rector más importante en el diseño de los vehículos eléctricos es la eficiencia. Realizar un trabajo con el menor gasto de energía posible. La mayoría de los vehículos eléctricos fabricados hasta el momento han sido diseñados para trayectos o recorridos cortos en ciudad y alrededores, por lo que la capacidad de remolque no había sido una prioridad. Esta dinámica está cambiando debido a la gran evolución de la tecnología en el ámbito del vehículo eléctrico, dando lugar a la nueva generación de vehículos eléctricos capaces de realizar este tipo de funciones.

Por otro lado, este problema no se extrapola a los vehículos híbridos, en la actualidad para este otro tipo de automóviles sí que existe mercado de dispositivos de enganche. Un ejemplo de ello podría ser el Toyota Prius, un referente dentro de los coches híbridos que dispone de variedad de opciones, de diferentes marcas, para este tipo de dispositivos.

No es un caso aislado pues encontramos sistemas de enganche para otros fabricantes de coches híbridos como pueden ser Kia con su modelo Niro Hybrid o Volvo con su modelo XC40 Recharge Plug-in Hybrid.

Pero ¿cuáles son las diferencias que determinan que para los vehículos híbridos exista mercado para estos dispositivos y para los vehículos eléctricos sea casi nulo?

Para poder exponer las diferencias entre los dos tipos de vehículos debemos en primer lugar definir qué es cada uno y cómo funciona.

1.4.1 VEHÍCULOS HÍBRIDOS

Un coche híbrido es aquel que es impulsado por dos motores de distinta naturaleza, un motor de combustión interna (convencional) y un motor eléctrico, alimentado por baterías. Existen 3 tipos de híbridos que se pueden clasificar atendiendo a su principio de funcionamiento. Estos son:

- *Mild Hybrid* o microhíbridos (**Mild Hybrid Electric Vehicle**) este tipo de coches emplean un batería de un voltaje inferior a 60 voltios, por lo general 12 o 48 voltios, cuya función es la de asistir al motor de combustión. Dicho motor eléctrico da un extra de potencia al acelerar y suaviza el arranque. Algunas versiones permiten incluso la marcha por inercia, es decir, al levantar el pie del acelerador si el vehículo se halla entre un rango de velocidades concreto el sistema start-stop apaga el motor y el coche es capaz de circular con el motor apagado un tiempo establecido. Al volver a accionarse el acelerador el motor de combustión vuelve arrancar de manera casi imperceptible y el alternador se encarga de aumentar las revoluciones del motor hasta que alcance la velocidad a la que se circula.

Esta batería se recarga en movimiento con la energía cinética que se produce en la frenada regenerativa.

- Híbrido combinado (**Hybrid Electric Vehicle**), también son conocidos como híbridos puros. Al igual que los *Mild Hybrid* disponen de un motor de combustión y de un motor eléctrico, pero la diferencia está en que el motor eléctrico dispone de una potencia mayor pues las baterías son de mayor tamaño. Este motor eléctrico permite recorrer distancias cortas a baja velocidad sin ayuda del motor de combustión, por lo que su uso es óptimo en ambientes urbanos.

Las baterías de los híbridos combinados se recargan con la energía que se obtiene a través de la frenada regenerativa o del sistema de recuperación de calor del escape del motor térmico.

- *Plug-in Hybrid* o híbrido enchufables (**Plug-in Hybrid Electric Vehicle**). Este tipo como su propio nombre indica son enchufables, es decir, pueden ser conectados a la red de corriente eléctrica para poder ser cargados, siendo esta la principal diferencia con los híbridos normales. Otra diferencia es el tamaño de la batería, posee un mayor tamaño y potencia lo que se traduce en una mayor autonomía en modo completamente eléctrico. De esta forma los híbridos enchufables pueden funcionar en modo eléctrico alrededor de 40-50 km y hasta una velocidad de 120 km/h. La batería se recarga mediante frenada regenerativa y a través del motor térmico, pero no es lo más recomendable, por lo que es necesario conectarlos a una estación de carga.

1.4.2 VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Por otro lado, los vehículos eléctricos son aquellos que son impulsados por uno o varios motores alimentados por una fuente de energía eléctrica. Podemos encontrar diferentes tipos que se clasifican en función del grado de electrificación, estos son:

- Vehículos eléctricos a baterías (**Battery Electric Vehicle**). Son impulsados únicamente por uno o varios motores eléctricos alimentados por una batería que se recarga a través de la red. También poseen sistemas de recuperación de energía durante la frenada o deceleración.
- Vehículos eléctricos de pila de hidrógeno (**Full Cell Electric Vehicle**). La energía proporcionada al motor eléctrico no proviene de una batería sino de una reacción química que se produce en el interior de su pila de combustible. El hidrógeno se oxida perdiendo los electrones que son capturados para generar corriente eléctrica.
- Vehículos eléctricos de batería extendida (**Extended-Range Electric Vehicle**). Estos vehículos eléctricos cuentan además con un motor de combustión de gasolina. Este motor funcionará como generador de energía eléctrica y se encargará de recargar la batería que proporciona energía al motor eléctrico. Este tipo de vehículo eléctrico puede recargar su batería a través de una toma de corriente o a través del motor de combustión cuando sea necesario.

1.4.3 DIFERENCIAS ENTRE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS E HÍBRIDOS

Una vez definidos ambos tipos de vehículos y sabiendo cómo funcionan podemos resumir las diferencias más importantes entre ambos:

1. Autonomía:

Es con diferencia el aspecto más importante de todos, pues los vehículos híbridos gracias a su motor de combustión ofrecen un rango de autonomía aún inalcanzable en comparación con cualquier eléctrico.

2. Recarga:

Dentro de este punto se pueden diferenciar dos aspectos a su vez:

- El tiempo de carga: En un vehículo híbrido el depósito del motor de combustión se alimenta en pocos minutos, además no se requiere de conexión a la red eléctrica, salvo en el tipo *Plug-in Hybrid*. Aun así, el tiempo es mucho menor que en un eléctrico pues su batería es también de menor tamaño. Por lo que el tiempo de recarga es mucho menor en un vehículo híbrido.
- Los puntos de recarga: A pesar de que el número de puntos de recarga públicos es cada vez mayor, lo cierto es que la mayoría de ellos están concentrados en el entorno de grandes ciudades como Madrid, Barcelona o Valencia, no cubriendo la totalidad del territorio.

La autonomía es el factor principal que determina la ausencia de mercado para este tipo de vehículos. Los vehículos híbridos respaldan su motor eléctrico con un motor térmico, permitiendo aprovechar su autonomía eléctrica en trayectos cortos y la autonomía del motor térmico para trabajos de más exigencia como puede ser el transporte de cargas adicionales en la parte posterior del vehículo.

1.4.4 AUTONOMÍA

Como ya se ha mencionado anteriormente, la autonomía es el principal problema al que se enfrentan los vehículos eléctricos en cuanto al transporte de una carga externa se refiere, pero ¿a qué se debe esto?

Las baterías eléctricas, que proporcionan y almacenan la energía eléctrica para la propulsión del vehículo, tienen una determinada densidad eléctrica. Esta densidad es una magnitud que relaciona la cantidad de energía acumulada en una batería con su masa o

volumen, y se expresa en Wh/kg. Dicho de otra forma, cuanto más densidad de energía posea una batería mayor carga por unidad de peso y volumen permitirá acumular.

Uno de los problemas actuales de los vehículos eléctricos es la baja densidad eléctrica que poseen sus baterías, puesto que la cantidad de energía que son capaces de almacenar en comparación con su masa es muy poca. Para tener una referencia de magnitudes, un Tesla Model 3 está equipado con una batería que tiene una densidad energética de 260 Wh/kg, por lo tanto, para 100 kWh tendríamos un peso total de la batería de 384 kg. Diez litros de gasolina, que son aproximadamente 6,8 kg, equivalen a 100 kWh. Contrastando estos datos se puede apreciar de forma clara que la gasolina posee mucha más densidad energética en comparación con una batería eléctrica actual.

Sin embargo, un vehículo eléctrico con la misma cantidad de energía que un vehículo convencional puede recorrer una distancia mayor gracias a su eficiencia, que puede llegar hasta a un 90%. Un motor de gasolina de ciclo Otto tiene un rendimiento de entre el 20-30%, inferior al de un motor diésel que oscila entre el 30-45%.

Ahora bien, los vehículos convencionales, aun teniendo un rendimiento muy por debajo al de un vehículo eléctrico, gracias a que son capaces de almacenar gran cantidad de combustible en sus depósitos, y gracias a la gran densidad energética de ese combustible consiguen una autonomía aun inalcanzable para los vehículos eléctricos.

El gasto de energía incrementará de manera considerable si el vehículo se le añade una carga adicional en su parte posterior. Este aumento en el gasto de energía, provocado por el incremento del coeficiente aerodinámico, de la resistencia a la rodadura y del peso, en un vehículo eléctrico, se traducirá en un descenso de la autonomía.

1.5 CAPACIDAD DE REMOLQUE

La capacidad de remolque es una de las características más importantes que se tienen en cuenta a la hora de montar cualquier tipo de dispositivo para el transporte de cargas externas. A pesar de que el portabicicletas instalado no sea de tipo remolque y no se requiera de capacidad de remolque como tal se ha considerado importante el desarrollo de esta característica pues está estrechamente relacionada como el transporte de cargas adicionales.

Técnicamente, a excepción de algunos modelos de nueva generación, la mayoría de los vehículos eléctricos no están homologados para el arrastre de remolque, un ejemplo de

ello es el vehículo objeto de este trabajo final de grado. Este hecho se podría entender como que este tipo de vehículos no poseen las características técnicas necesarias para poder desempeñar este trabajo.

1.5.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS PARA REMOLCAR

Cuando se quiere utilizar un vehículo para el arrastre de un remolque se deben tener en cuenta varios parámetros que afectan directamente al correcto desempeño de este trabajo. Algunos de los aspectos más importantes son: el par motor, el peso o la potencia.

1.5.1.1 PAR MOTOR

Uno de los conceptos más importantes a la hora de utilizar un vehículo para el remolque es el par motor. El par motor, también conocido como torque, es una magnitud física que mide el momento de fuerza que se ha de aplicar a un eje que gira sobre sí mismo a una determinada velocidad. Es decir, es la fuerza necesaria para que el motor, a través de los diferentes sistemas mecánicos que transfieren el movimiento que él genera a las ruedas, sea capaz de mover el vehículo venciendo las fuerzas que se oponen a dicho movimiento. Por lo tanto, cuanto más par motor pueda desarrollar el motor más masa será capaz de mover.

Los motores eléctricos destacan por la forma en la que entregan su máximo par, de forma instantánea, mientras que los motores de combustión ofrecerán su par máximo en un rango de revoluciones del motor determinadas. Al no depender de la velocidad del motor, y ofrecer el par máximo desde parado lo hacen perfecto para el remolque de cargas pues el motor podrá ofrecer su máxima fuerza desde parado siendo este el momento donde más fuerza se debe vencer.

1.5.1.2 PESO

Durante el trayecto el remolque puede experimentar movimientos oscilatorios como consecuencia de las condiciones climatológicas o del reparto de pesos en el mismo. Estos movimientos serán transmitidos a través del dispositivo de acoplamiento al vehículo tractor, que tendrá que absorberlos para mantener la estabilidad del conjunto. La masa del vehículo y la relación de peso entre el remolque y el vehículo serán los factores que determinarán la capacidad del vehículo. Cuanto mayor sea el peso del vehículo mayor será la carga que podrá transportar, pues será capaz de mantener la estabilidad del conjunto.

Las versiones eléctricas de los vehículos son más pesadas que las versiones diésel o gasolina. Un ejemplo de esto es la versión de gasolina del vehículo objeto de reforma, Volkswagen Up 5 puertas 1000 cc, el cual tiene una masa en orden de marcha de 932 kg, mientras que la versión eléctrica tiene una masa en orden de marcha de 1.214 kg. Por tanto, presentará mayor aplomo en el transporte de un remolque, en comparación con su versión de gasolina o diésel, aunque se deberá tener en cuenta que el aumento de peso afectará las prestaciones del sistema de frenado.



Ilustración 1: Chasis de WV eUp (fuente: www.auto10.com)

Además, estas baterías por lo general están situadas entre los ejes del vehículo, debajo del suelo del habitáculo, lo que favorece que el vehículo tenga un centro de gravedad bajo y un buen reparto de pesos, siendo el ideal 50/50.

Sin embargo, el peso adicional puede causar problemas en el sistema de frenado o en el tren motriz. El sistema de frenado regenerativo, que ralentiza el coche rápidamente al levantar el pie del acelerador y transforma la energía cinética en energía eléctrica cargando las baterías, se calibra según la fuerza de frenado necesaria para el vehículo en sí. Cualquier fuerza de frenado adicional agregada por el remolque podría complicar la electrónica a bordo. Pero no es un problema insuperable pues ya varios fabricantes han conseguido superarlo.

1.5.1.3 POTENCIA

La potencia es la cantidad de trabajo realizado por unidad de tiempo, medida en caballos de vapor (CV) o kilovatios (kW). Esta medida se obtiene de la multiplicación del par

motor por el número de revoluciones del motor. Una mayor potencia ofrecerá mayor capacidad para aumentar la velocidad más rápidamente.

Tanto el par como la potencia son dos magnitudes estrechamente relacionadas, pues cuanto más par tenga un vehículo más potencia tendrá para un mismo rango de revoluciones. Por lo tanto, tendrá también especial importancia en relación con la capacidad de arrastre de un vehículo.

1.5.2 CONCLUSIÓN

Como se ha expuesto en los apartados anteriores, los vehículos eléctricos poseen algunas de las características técnicas necesarias para ser capaces de remolcar, pero no todas las necesarias. Sus sistemas de propulsión desarrollan la fuerza necesaria para poder mover el peso extra al que se someterá el vehículo.

Sin embargo, no es suficiente para que ellos puedan ser homologados para este uso, pues el peso extra puede suponer problemas en el sistema de frenado regenerativo, en los neumáticos, en el sistema de suspensión e incluso en la unidad motriz. Por lo tanto, a pesar de que los vehículos eléctricos tengan capacidad para remolcar, si no están homologados para esta función no se deberían utilizar para este uso, pues alguno de los sistemas está sub-dimensionados y presentarán problemas.

Ahora bien, como el sistema de enganche se va a utilizar con el fin de la instalación, encima de la bola de remolque, de un portabicicletas no existirán los problemas de arrastre de cargas comentado, pero sí se requiere de la homologación de la reforma.

1.6 ESTUDIO DE MERCADO DE SISTEMAS DE ENGANCHE

La mayoría de las marcas que ofrecen vehículos eléctricos con capacidad de remolque, ofrecen su propio sistema de enganche, diseñado específicamente para el vehículo. El resto de los fabricantes al no dotar sus vehículos de capacidad de remolque técnicamente no ofrecen dispositivos de acoplamiento para el arrastre de remolques ni para instalar portabicicletas, como es el objeto del presente trabajo final de grado. Un sistema de portabicicletas no requiere necesidad de capacidad técnica de masa técnica remolcable, pero sí que requiere la homologación del dispositivo de acoplamiento como reforma de importancia.

El fabricante del vehículo objeto de reforma no ofrece ningún kit de enganche para este modelo. Tampoco lo ofrecen ninguna de las empresas que se dedican a la fabricación y venta de kit de enganches.

1.6.1 TIPOLOGÍA DE SISTEMAS DE ENGANCHE

La elección del sistema de enganche adecuado, que se ajuste a las necesidades de utilización y a las características del vehículo, es un aspecto de vital importancia que permitirá circular con total seguridad.

Existen diferentes tipos de enganche en función del uso, de su frecuencia de utilización y características del vehículo tractor.

1.6.1.1 ENGANCHES FIJOS

Este tipo de enganche, como su propio nombre indica, es un dispositivo fijo que necesita para su montaje y desmontaje herramientas específicas por lo que tendrá que ser instalado en un taller especializado que disponga de dichas herramientas. Está pensado para un uso continuo o muy frecuente durante largos periodos de tiempo. Estos dispositivos tienen un precio más económico debido a su tecnología tradicional. Dentro de este tipo existen 3 variantes:

- Enganche de fijación clásica: Se trata de un dispositivo en el cual la bola de enganche va colocada fija sobre el paragolpes del coche. La principal ventaja es que ofrece mayor capacidad de arrastre de cargas pesadas.



Ilustración 2: Enganche de fijación clásica (fuente: www.enganchesaragon.es)

- Bola de cuello de cisne: Dispositivo utilizado en la mayoría de los turismos, diseñado para un uso habitual, sencillo y funcional.



Ilustración 3: Enganche bola de cuello de cisne (fuente: www.bosal.com)

- Enganche mixto: Dispositivo en el cual el soporte está permanentemente instalado mientras que la bola se puede quitar fácilmente debido a que va sujeta al soporte a través de una unión atornillada.



Ilustración 4: Enganche mixto (fuente: www.bosal.com)

1.6.1.2 ENGANCHES MÓVILES O RETRÁCTILES

A diferencia de los enganches fijos, este otro tipo de enganche está pensado para dar solución a aquellos conductores cuya frecuencia de uso es baja, utilizándolos en momentos concretos, y quieren desmontarlo cuando no se esté utilizando.

El proceso de montaje y desmontaje es rápido y sencillo por lo que se puede realizar de forma autónoma pues el proceso no requiere de herramientas especiales. Las principales variantes de este tipo de dispositivos son:

- Enganche desmontable semiautomático u horizontal: Este dispositivo se caracteriza por tener una unión, entre la bola y el soporte, dispuesta horizontalmente, en la que una parte de la bola se introduce en el soporte. Permite la fácil instalación o desinstalación de la bola, a través de una cerradura de seguridad encargada de asegurar la unión, sin necesidad de herramientas y de forma muy rápida.



Ilustración 5: Enganche desmontable horizontal (fuente: www.bosal.com)

- Enganche desmontable vertical y automático: Este dispositivo se caracteriza por tener una unión, entre la bola y el soporte, dispuesta verticalmente, en la que una parte de la bola se introduce en el soporte. Al desinstalarse el dispositivo de enganche queda oculto detrás del parachoques del vehículo por lo que se conserva totalmente la estética de vehículo.



Ilustración 6: Enganche desmontable vertical (fuente: www.bosal.com)

- Gancho retráctil: Este tipo de enganche permite a través de un sistema mecánico esconder la bola de enganche detrás del parachoques del vehículo, sin necesidad de desmontarla como en los tipos anteriores. Es el dispositivo más caro de todos, pero el más rápido y cómodo de manejar.



Ilustración 7: Gancho retráctil (fuente: www.bosal.com)

1.6.2 PARTES DE UN SISTEMA DE ENGANCHE

A pesar de la existencia de diferentes variantes de enganche, todos los dispositivos de acoplamiento para vehículos están formados por los mismos componentes estructurales, pero con diferentes diseños. Estos componentes son:

1. Travesaño: Barra transversal, a la cual van unidas las pletinas que soportan la bola de enganche, encargada de transmitir los esfuerzos de las cargas externas que actúen sobre la bola a los anclajes al vehículo.
2. Pletinas de unión entre los anclajes del vehículo y el travesaño.
3. Bola de remolque, sobre la cual actuará la carga.
4. Enganche móvil o fijo.
5. Kit eléctrico para el enganche.
6. Tornillería.

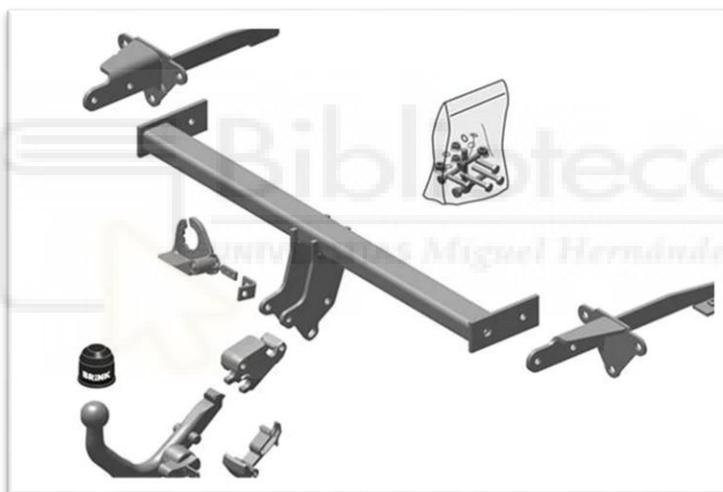


Ilustración 8: Partes de un sistema de enganche (fuente: www.oscaro.es)

Debido al uso que se le va a dar al dispositivo de acoplamiento que se ha instalado en el vehículo objeto del proyecto de reforma, se decidió que el tipo de enganche más adecuado es un enganche fijo, pues se va a utilizar con mucha frecuencia a lo largo de todo el año y solo se va a desinstalar durante el invierno. Además, la bola que se instaló es una bola de cuello de cisne pues es la más habitual en los sistemas de enganche para turismos por su sencillez y funcionalidad.

1.7 SOLUCIÓN APORTADA

Dada la ausencia de mercado que ofreciera un kit de enganche se ha optado por la fabricación artesanal de un kit propio, específico para el vehículo objeto del trabajo final de grado. Antes de pasar a la fase de diseño se estableció el peso que debería tener el conjunto de enganche y la carga a suspender sobre este, para determinar si era viable el uso del vehículo para este fin.

Dado que solo se quería montar encima de la bola de remolque un dispositivo portabicicletas, cargado con 3 bicicletas, durante un trayecto relativamente corto, se consideró que a pesar de que el coche no poseía capacidad de remolque, sería capaz de realizar la función debido al poco peso que se tenía que transportar.

Para el desarrollo de la solución artesanal y exclusiva para este vehículo se han seguido los siguientes pasos:

- Obtención de datos del vehículo donde se instalará el dispositivo de enganche.
- Estudio de la mejor opción para sujeción del dispositivo de enganche a la carrocería autoportante del vehículo.
- Estudio de la existencia de equipos homologados en el mercado que permitan su aprovechamiento para el desarrollo del dispositivo.
- Diseño del dispositivo de enganche en un software técnico para analizar los esfuerzos y comprobar su resistencia y viabilidad.
- Fabricación del dispositivo de enganche conforme los resultados del análisis de esfuerzo e instalación el vehículo.
- Desarrollo del proyecto de reforma para la legalización del dispositivo.

2 PROYECTO TÉCNICO DE REFORMA

2.1 MEMORIA

2.1.1 OBJETO

El objeto del presente Proyecto es dar solución constructiva y efectuar el estudio de las condiciones de seguridad que debe reunir el vehículo sometido a transformación para justificar el cumplimiento de la normativa vigente, con el fin de garantizar que tras la reforma se siguen cumpliendo los requisitos técnicos exigidos para la circulación por las vías públicas del vehículo reformado.

El vehículo sobre el cual se ha realizado la reforma es de categoría **M1**, marca **VOLKSWAGEN**, tipo **AA**, variante **ABEABA**, versión **FA1FA1CZ0020GAVR0N1EVW**, cuya denominación comercial es UP, número de bastidor **WVWZZZAAZFD903819**, contraseña de homologación **e13*2007/46*1167*12** y matrícula **3986 KPG** al que se le desea instalar un sistema de enganche de remolque.

2.1.2 ANTECEDENTES

El vehículo objeto de la reforma es un vehículo eléctrico, que no dispone de capacidad de arrastre. El propietario del vehículo tiene la necesidad de transportar bicicletas para lo que requiere instalar un portabicicletas en la parte trasera que permita el transporte de hasta 3 bicicletas de forma conjunta.

Al tratarse de un vehículo eléctrico, no existen dispositivos de enganche homologados para instalar sobre el vehículo objeto de la reforma.

La instalación de un dispositivo de enganche que permita la instalación de un portabicicletas es una reforma de importancia que se encuentra tipificada y reglamentada en el Real Decreto 866/2010 de 2 de Julio, por el que se regula la tramitación de la reforma de vehículos.

Las modificaciones necesarias para llevar a cabo la Reforma afectan algunos de los códigos de reforma pertenecientes al Manual de Reformas de vehículos. Estos son:

- Código de Reforma 8.52- modificación, incorporación o desinstalación en el exterior del vehículo.

Los Actos Reglamentarios que se deben realizar son los siguientes:

Sistema afectado	Referencia	Aplicable a
Dispositivos de protección trasera	70/221/CEE	2
Cerraduras y bisagras de las puertas	70/387/CEE	2
Sistemas exteriores	74/483/CEE	2
Parásitos radioeléctricos (compatibilidad electromagnética)	72/245/CEE	2
Instalación de los dispositivos de alumbrado y señalización luminosa	76/756/CEE	2
Dispositivos de remolcado	77/389/CEE	2
Campo de visión delantera	77/649/CEE	2
Lava/limpiaparabrisas	78/318/CEE	2
Guardabarros	78/549/CEE	2
Masas y dimensiones (automóviles)	92/21/CEE	1
Cristales de seguridad	92/22/CEE	2
Colisión frontal	96/79/CE	2
Colisión lateral	96/27/CE	2
Dispositivo de visión indirecta	2003/97/CE	2
Dispositivo de protección delantera	2005/66/CE	2
Protección de los peatones	2003/102/CE	2

2.1.3 CARACTERÍSTICAS DEL VEHÍCULO ANTES Y DESPUÉS DE LA REFORMA

La modificación a la que se ha sometido el vehículo no implica expresamente la variación de ninguna de sus características iniciales, por lo que, tanto antes como después de la reforma las características del vehículo serán las mismas. Dichas características las encontramos en la ficha técnica del vehículo, de las cuales destacamos las medidas y pesos pues es lo único que podría variar con este tipo de reforma:

CODIGO	NOMBRE	MEDIDA
G	Masa en orden de marcha (MOM)	1.214 kg
F.1	Masa máxima en carga técnicamente admisible (MMTA)	1.500 kg
F.2	Masa máxima en carga admisible del vehículo en circulación (MMA)	1.500 kg
F.2.1	MMA autorizada en cada eje 1º/2º/3º...	780/750 kg
F.1.1	MMTA en cada eje 1º/2º/3º/...	780/750 kg
F.3	Masa máxima técnicamente admisible del conjunto (MMTAC)	-
F.4	Altura total	1.481 mm
F.5	Anchura total	1.645 mm
F.6	Longitud total	3.540 mm
F.7	Vía anterior	1.412 mm
F.7.1	Vía posterior	1.408 mm
F.8	Voladizo posterior	-
M.1	Distancia entre ejes	2.417 mm

2.1.4 DESCRIPCIÓN DE LA REFORMA

2.1.4.1 RESUMEN DE LAS REFORMAS REALIZADAS

La reforma realizada sobre el vehículo consiste en la instalación de un sistema de enganche tipo bola, para la instalación de un dispositivo portabicicletas, en el bajo trasero del vehículo.

Dicho sistema se ha diseñado desde cero de forma específica para el vehículo pues el mercado actual no ofrece ningún kit de soporte y enganche de bola para el Volkswagen eUP.

A esta reforma se le asocia el código de reforma 8.52

2.1.4.2 DESMONTAJES REALIZADOS

Al tratarse de un sistema de enganche totalmente artesanal y hecho a medida se ha tenido que desmontar el parachoques trasero. Tanto para tomar medidas como para hacer las variaciones necesarias en la carrocería autoportante, pues el fabricante del vehículo no predispuso anclajes roscados para la instalación de soportes o enganches.

2.1.4.3 VARIACIONES Y SUSTITUCIONES

Para la instalación la única variación que se le ha realizado al vehículo ha sido la realización de anclajes roscados en la carrocería autoportante para poder ser utilizados como punto de unión entre el soporte y el vehículo. Para realizarlos se taladró la pletina inferior de la carrocería autoportante.

2.1.4.4 MATERIALES EMPLEADOS

Para todos los elementos que componen el sistema se ha utilizado acero.

2.1.4.5 MONTAJES REALIZADOS

Una vez realizados los anclajes roscados a la carrocería autoportante se le instaló el sistema de enganche tipo bola en el bajo trasero del vehículo.

Para ello se utilizaron dos tornillos, de métrica 10 con cabeza hexagonal, para cada lado del soporte con sus correspondientes tuercas y arandelas.



Ilustración 9: Pletinas de unión (fuente: foto propia)



Ilustración 10: Barra transversal del enganche (fuente: foto propia)



Ilustración 11: Pletinas de unión (fuente: foto propia)

2.2 CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

2.2.1 JUSTIFICACIÓN DEL REPARTO DE MASAS POR EJE

El enganche tipo bola se fabricó para ser capaz de aguantar una carga vertical de al menos 100 kg, pues el conjunto, compuesto por el propio soporte portabicicletas y las bicicletas, que se pretenden transportar sobre la bola del enganche tiene una masa de 40 kg.

La masa del soporte es de 19,15 kg que supone un 1,58 % de la masa del vehículo. La realización del reparto de masas por eje no será necesaria pues el incremento de la masa no será lo suficientemente significativo como para tener que hacerlo. Al ser la variación de masa inferior al +/- 3%, siendo esta la tolerancia de fabricación admitida por la directiva de masas y dimensiones, pudiendo tenerse en cuenta para no realizar dicho reparto.

Encontramos esta tolerancia en el apéndice 2 punto 2.2 del Reglamento (UE) N.º 1230/2012 de la comisión de 12 de diciembre de 2012. Este punto trata acerca de, la masa en orden de marcha determinada conforme a lo establecido en el punto 2.1 podrá diferir del valor nominal indicado en el punto 2.6, letra b), del anexo I o en la parte I, sección A o B, del anexo III de la directiva 2007/46/CE o en el punto pertinente del certificado de conformidad en no más del 3% como tolerancia inferior y superior (la tolerancia negativa y positiva respecto del valor declarado) en los vehículos de las categorías M, N u O, a excepción de los vehículos especiales.

A pesar de ello se procederá al cálculo del reparto de masas tras la realización de la reforma con el objetivo de comprobar que el vehículo sigue cumpliendo las normas y limitaciones impuestas por la legislación vigente.

2.2.1.1 HIPOTESIS 1: SIN CARGA VERTICAL EN EL DISPOSITIVO DE ACOPLAMIENTO

Los cálculos se han realizado considerando los ejes en posición de marcha y con la carga total que deberán soportar. Esta carga se deberá al peso propio del vehículo, que incluirá el peso del dispositivo de acoplamiento, el peso del conductor y de los acompañantes y el peso de la carga que se podrá transportar en el maletero.

En cuanto al peso de los ocupantes, se han seguido los criterios establecidos en el apéndice de “métodos de comprobación de las masas de los vehículos automóviles de la

categoría M1” de la normativa 92/21/CEE. Esta normativa considera una masa global de cada ocupante de 75 kg (68 + 7 kg de equipaje).

El vehículo posee 4 de plazas de asiento, repartidas en 2 plazas en la primera fila de asientos y 2 en la segunda fila de asientos. Por lo que, aparte del peso del conductor, que está incluido en la masa en orden de marcha del vehículo, el peso de los ocupantes del vehículo será de 225 kg.

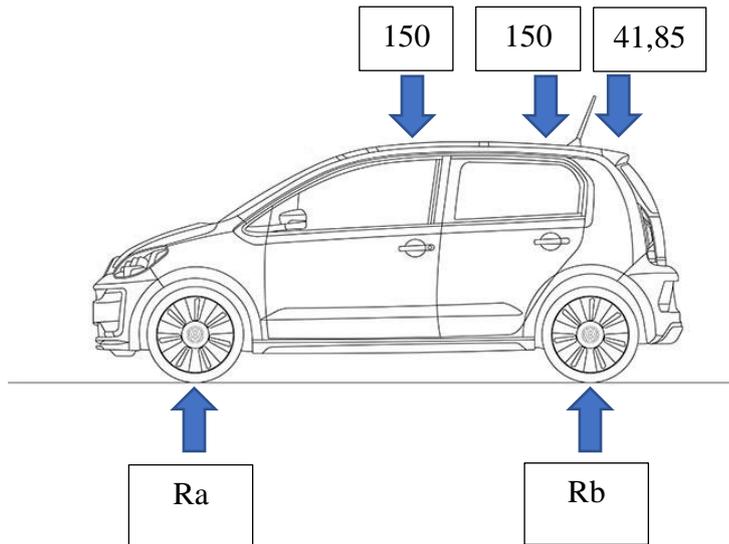
Respecto al peso del vehículo por ejes, se ha utilizado la masa en orden de marcha del vehículo, 1.214 kg, a la que se le ha restado la masa del conductor de 75 kg que va incluida en la masa en orden de marcha del vehículo por normativa, resultando un total de 1.139 kg. A la masa resultante se le añade la masa del dispositivo de acoplamiento cuyo valor es 19,15 kg obteniendo como resultado el peso del vehículo que será de 1.158,15 kg repartiéndose entre el eje delantero y el trasero.

Tras realizar la reforma se subió el vehículo a una báscula para obtener el peso de cada uno de los ejes. El eje delantero tiene una masa de 636,98 kg y el eje trasero una de 521,16 kg lo que se corresponde con una distribución de las masas de 55/45, 55% del peso total sobre el eje delantero y 45% sobre el eje trasero.

Conocido el peso del vehículo, con el dispositivo de acoplamiento instalado, y el peso de los 4 pasajeros, se podrá obtener el peso de la carga que el vehículo será capaz de transportar, pues será la diferencia de pesos entre su masa máxima en carga técnicamente admisible (1.500 kg) y la suma de los pesos anteriores (1.158,15 kg + 4*75). Por tanto el peso de la carga del maletero es de:

$$P_M = 1.500 - (1.158,15 + 300) = 41,85 \text{ kg}$$

En cuanto a la distancia de los pasajeros al eje delantero, la primera fila de asientos se sitúa a una distancia de 1.000 mm, mientras que la fila de asientos traseros se sitúa a 1.900 mm. Por otro lado, la carga del maletero se sitúa a una distancia de 2.450 mm del eje delantero.

Ilustración 12: Lateral de VW (fuente: www.auto10.com)

Aplicando las ecuaciones se obtiene:

$$R_A + R_B = 150 + 150 + 41,85$$

Sumatorio de fuerzas en el apoyo A:

$$\sum M_A = 0$$

$$-1.000 * 150 - 1.900 * 150 + 2.417 * R_B - 41,85 * 2.450 = 0$$

$$2.417 * R_B = 1.000 * 150 + 1.900 * 150 + 41,85 * 2.450$$

$$R_B = 222,4 \text{ kg}$$

Sumatorio de fuerzas en el apoyo B:

$$\sum M_B = 0$$

$$-2.417 * R_A + 150 * 1.417 + 150 * 517 - 41,85 * 33 = 0$$

$$2.417 * R_A = 150 * 1.417 + 150 * 517 - 41,85 * 33$$

$$R_A = 119,45 \text{ kg}$$

DEBIDO A	EJE DELANTERO (kg)	EJE TRASERO (kg)	TOTAL (kg)
TARA	636,98	521,16	1.158,15
OCUPANTES + CARGAS ADICIONALES	119,45	222,4	341,85
TOTAL	756,43	743,56	1.500
TOTAL MMA	780	750	1.500

2.2.1.2 HIPOTESIS 2: CON CARGA VERTICAL EN EL DISPOSITIVO DE ACOPLAMIENTO

Para el cálculo de reparto de masas con carga vertical en el dispositivo de acoplamiento se han utilizado los siguientes datos:

- Peso del vehículo: 1.158,15 kg.
- Tara del primer eje: 636,98 kg.
- Tara del segundo eje: 521,16 kg.
- Peso de los pasajeros: $4 \cdot 75 = 300$ kg.
- Carga vertical en el punto de acoplamiento: 40kg.
- Peso de la carga transportada en el maletero, que será la diferencia entre la masa máxima técnicamente admisible del vehículo (1.500 kg) y la suma de los pesos anteriores ($1.158,15 + 300 + 40 = 1.498,15$ kg), cuyo valor es:

$$P_M = 1.500 - (1.498,15) = 1,85 \text{ kg}$$

- Distancia entre la primera fila de asientos y el eje delantero: 1.000 mm.
- Distancia entre la segunda fila de asientos y el eje delantero: 1.900 mm.
- Distancia entre la carga del maletero y el eje delantero: 2.450 mm.
- Distancia entre el punto de acoplamiento y el eje delantero: 2.567 mm.

Aplicando las ecuaciones se obtiene:

$$R_A + R_B = 150 + 150 + 40 + 1,85$$

Sumatorio de fuerzas en el apoyo A:

$$\sum M_A = 0$$

$$-1.000 * 150 - 1.900 * 150 + 2.417 * R_B - 1,85 * 2.450 - 40 * 2.567 = 0$$

$$2.417 * R_B = 1.000 * 150 + 1.900 * 150 + 1,85 * 2.450 + 40 * 2.567$$

$$R_B = 224,33 \text{ kg}$$

Sumatorio de fuerzas en el apoyo B:

$$\sum M_B = 0$$

$$-2.417 * R_A + 150 * 1.417 + 150 * 517 - 1,85 * 33 - 40 * 150 = 0$$

$$2.417 * R_A = 150 * 1.417 + 150 * 517 - 1,85 * 33 - 40 * 150$$

$$R_A = 117,52 \text{ kg}$$

DEBIDO A	EJE DELANTERO (kg)	EJE TRASERO (kg)	TOTAL (kg)
TARA	636,98	521,16	1.158,15
OCUPANTES + CARGAS ADICIONALES	117,52	224,33	341,85
TOTAL	754,5	745,5	1.500
TOTAL MMA	780	750	1.500

2.2.1.3 COMPROBACIONES SEGÚN REGLAMENTO

Según el reglamento de masas y dimensiones se deben realizar las siguientes comprobaciones para verificar que la distribución de masas por ejes es correcta:

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

Masa máxima técnicamente admisible sobre el eje delantero: 780 kg

Masa máxima técnicamente admisible sobre el eje trasero: 750 kg

Suma de ambas: 1530 kg

Masa máxima de carga en carga técnicamente admisible del vehículo: 1.500 kg

$$\sum MMTA_{ejes} = 1.530 \text{ kg} > MTMA = 1.500 \text{ kg}$$

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

Masa en orden de marcha: 1.214 kg

Masa de pasajeros: $3 * 75 \text{ kg} = 225 \text{ kg}$

Masa del dispositivo de acoplamiento: 19,15 kg

$$\sum MOM + cargas = 1.458,15$$

$$MMTA = 1.500 \text{ kg} > \sum MOM + cargas = 1.458,15$$

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

$$MMTA_{eje\ delantero} = 780 \text{ kg} > Masa_{\max\ eje\ delantero} = 756,43 \text{ kg}$$

$$MMTA_{eje\ trasero} = 750 \text{ kg} > Masa_{\max\ eje\ trasero} = 743,56 \text{ kg}$$

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

$$Masa_{\max\ eje\ delantero} = 754,43 \text{ kg} > 20\% MTMA = 300 \text{ kg}$$

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

Masa máxima en carga técnicamente admisible (sin dispositivo de acoplamiento)
 $= 636,98 + RA = 636,98 + 119,56 = 756,54$

$$MMTA_{eje\ delantero} = 756,54 > 30\% MTMA = 450\ kg$$

6. Sin perjuicio de los requisitos del punto 5 la masa máxima técnicamente admisible sobre el eje o ejes traseros podrá superarse en no más del 15 %.

MMTA del eje trasero con dispositivo de acoplamiento = 745,5 kg

MMTA eje trasero + 15 % = 862,5 kg.

$$MMTA_{eje\ trasero} = 862,5\ kg > Masa_{max\ eje\ trasero} = 745,5\ kg$$

7. En los Estados miembros donde la legislación sobre el tráfico rodado lo permita, el fabricante podrá indicar en un documento de apoyo apropiado, como el manual de instrucciones o la guía de mantenimiento, que la masa máxima en carga técnicamente admisible del vehículo puede superarse en no más del 10 % o de 100 kg, atendiendo a la menor de estas cifras.

MMTA + 10 % = 1.500 + 100 = 1.600 kg

$$MMTA = 1.600\ kg > \sum MOM + cargas = 1.500$$

8. La masa máxima técnicamente admisible en el punto de acoplamiento no será inferior al 4 % de la masa remolcable máxima técnicamente admisible, ni inferior a 25 kg.

$$Masa\ en\ el\ punto\ de\ acoplamiento = 40\ kg > 25\ kg$$

Se cumplen todas las comprobaciones por lo que el reparto de masas por eje es correcto.

2.2.2 CÁLCULO DE TORNILLERÍA Y ANCLAJES

2.2.2.1 CÁLCULO DE LA UNIÓN ENTRE EL SOPORTE Y LA CARROCERÍA AUTOPORTANTE

Para el anclaje del soporte a la carrocería autoportante del vehículo se han utilizado 4 tornillos de métrica M10 calidad 4,8 con sus correspondientes tuercas y arandelas. Estos tornillos presentan las siguientes características:

- Resistencia última del acero del tornillo (MPa): 400
- Límite elástico mínimo (MPa): 320
- Material: Acero

Dicha unión atornillada sin pretensar está sometida tanto a tracción como a doble cortadura. A tracción debido a que estos 4 tornillos soportan la masa tanto del dispositivo de acoplamiento como de la carga vertical que aplicará el portabicicletas sobre la bola.

El esfuerzo de doble cortadura se producirá una vez iniciada la marcha del vehículo instalado el dispositivo portabicicletas. Se alcanzará el valor máximo de cortante durante la aceleración y la deceleración máximas a causa de la inercia que producirá el sistema de enganche en el vehículo.

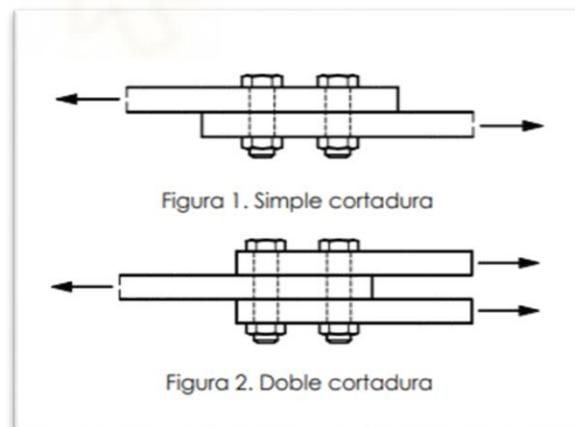


Ilustración 13: Tipo de cortadura

(fuente: Diseño de estructuras y construcciones industriales)

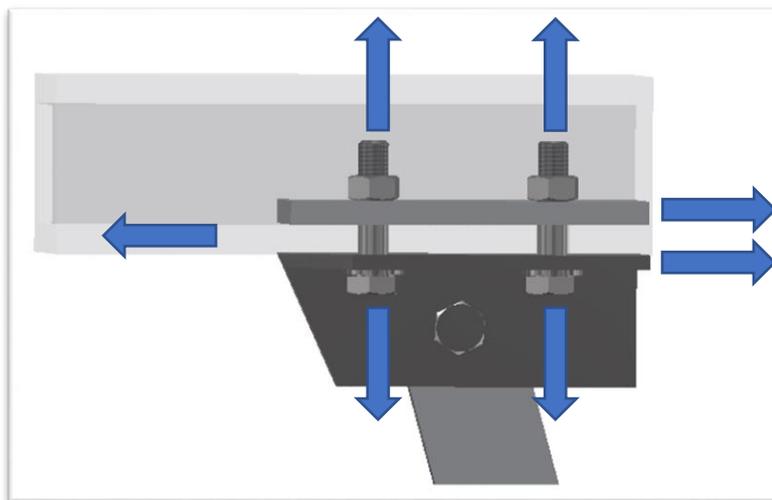


Ilustración 14: Unión de la pletina al vehículo (fuente: Inventor)

Al tratarse de una unión cuyos tornillos están solicitados simultáneamente a tracción y a esfuerzo cortante, en primer lugar, se comprobará que es capaz de soportar dichos esfuerzos por separado.

2.2.2.1.1 RESISTENCIA A TRACCIÓN

Para comprobar que los tornillos de la unión resisten al esfuerzo de tracción calcularemos, en primer lugar, el área resistente del tornillo A_s .

$$A_s = (\pi * d_r^2)/4$$

Donde:

d_r = Diámetro de la rosca en mm ;

A_s = Área resistente del tornillo en mm^2 .

$$d_r = d - 1,226896 * p$$

Donde:

p = Paso = 1,5 mm;

d = Diámetro exterior = 10 mm;

Sustituyendo los valores en las ecuaciones se obtiene:

$$d_r = 8,16 \text{ mm};$$

$$A_s = 52,29 \text{ mm}^2.$$

El área obtenida es el área resistente a un solo tornillo, la unión consta de 4 tornillos por los que el área resistente de la unión será:

$$A = 52,29 \text{ mm}^2 * 4 = 209,16 \text{ mm}^2$$

Una vez calculada el área resistente del tornillo se calcula la resistencia de cálculo a tracción del vástago $F_{t,Rd}$:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 * f_{ub} * A_s}{\gamma_{M2}}$$

Donde:

$F_{t,Rd}$ = Resistencia de cálculo en tracción;

f_{ub} = Resistencia última del acero del tornillo;

γ_{M2} = Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión;

A_s = Área resistente del tornillo en mm^2 .

Sustituyendo en la ecuación los siguientes valores, obtenemos $F_{t,Rd}$:

$$f_{ub} = 320 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2};$$

$$\gamma_{M2} = 1,25;$$

$$A_s = 52,29 \text{ mm}^2.$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 * 320 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 52,29 \text{ mm}^2}{1,25} = 12.047,616 \text{ N}$$

Esta será la resistencia de un solo tornillo, la unión tiene 4 tornillos por lo que la resistencia total de la unión a tracción será 48.190,45 N.

El esfuerzo a tracción se calculará de la siguiente forma:

$$F_{t,Ed} = (M_k + M_p + M_b)kg * 9,8 \frac{N}{kg}$$

Siendo:

$F_{t,Ed}$ = Esfuerzo axil de cálculo por tornillo al que en su caso se añadirán las tracciones debidas al efecto palanca;

M_k = Masa del kit de enganche = 19,15 kg;

M_p = Masa soporte portabicicletas = 18,7 kg;

M_b = Masa de la bicicleta = 21,3 kg.

Obteniendo como resultado:

$$F_{t,Ed} = 59,15 kg * 9,8 \frac{N}{kg} = 579,67 N$$

Dicho esfuerzo axil es el total aplicado sobre la unión, se debe dividir entre 4 para obtener el esfuerzo axil por tornillo, resultando: 144,92 N.

Por lo tanto, la unión resistirá a los esfuerzos a tracción a los que estará sometido puesto que:

$$F_{t,Rd} = 48.190,45 N > F_{t,Ed} = 579,67 N$$

2.2.2.1.2 RESISTENCIA A CORTANTE

En primer lugar, se obtiene la resistencia de cálculo frente a cortadura del vástago $F_{v,Rd}$:

$$F_{v,Rd} = n * \frac{0,5 * f_{ub} * A_s}{\gamma_{M2}}$$

Donde:

n = Numero de planos de corte;

f_{ub} = Resistencia última del acero del tornillo;

γ_{M2} = Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión;

A_s = Área resistente del tornillo en mm^2 .

Sustituyendo en la ecuación los siguientes valores, obtenemos $F_{v,Rd}$:

$n = 2$, debido a que la sollicitación es a doble cortadura;

$$f_{ub} = 320 \frac{N}{mm^2};$$

$$\gamma_{M2} = 1,25;$$

$$A_s = 52,29 \text{ mm}^2.$$

$$F_{v,Rd} = 2 * \frac{0,5 * 320 \frac{N}{mm^2} * 52,29 \text{ mm}^2}{1,25} = 13.386,24 \text{ N}$$

En segundo lugar, se calculará el esfuerzo perpendicular al eje del tornillo $F_{v,Ed}$. Esta sollicitación alcanzará su valor más alto durante la frenada máxima cuando el vehículo este circulando a la velocidad máxima que puede alcanzar. Esto es debido a la inercia que se creará debido a la deceleración de la masa (dispositivo portabicicletas cargado).

Antes de calcular el esfuerzo cortante se debe hallar el valor de la deceleración a la que se someterá el vehículo. Un vehículo convencional, es decir, que no está preparado para la competición y por tanto no posee elementos que generen carga aerodinámica, puede frenar como máximo con una deceleración de 1 g. Por lo que se ha considerado que este valor de deceleración para realizar los cálculos. 1 g equivale a $9,8 \frac{m}{s^2}$.

Una vez establecido el valor de deceleración que se va a utilizar se calcula el valor de la fuerza de inercia:

$$F_i = m_{vc} * a$$

Siendo:

$$F_i = \text{Fuerza de inercia} = F_{v,Ed};$$

m_{vc} = Masa del sistema de enganche y del portabicicletas cargado;

$$m_{vc} = 19,15 \text{ kg} + 40 \text{ kg} = 59,15 \text{ kg}.$$

$$F_i = 59,15 \text{ kg} * 9,8 \frac{m}{s^2} = 579,67 \frac{\text{kg} * m}{s^2} = 579,67 \text{ N}$$

El valor obtenido es el valor que se le aplicarán a los 4 tornillos conjuntamente por lo que lo tenemos que dividir entre 4 para obtener el esfuerzo transmitido a cada uno individualmente. Se obtiene que cada tornillo está sometido a un esfuerzo cortante de $F_{i_1} = 144,92 \text{ N}$, teniendo en cuenta que $F_{v,Rd} = 13.386,24 \text{ N}$ se verifica que la unión atornillada será capaz de aguantar el esfuerzo cortante provocado por la inercia creada por el conjunto del remolque.

En segundo lugar, además de cumplir separadamente las condiciones para cortadura y tracción, debe verificar la condición de interacción siguiente:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 * F_{t,Rd}} \leq 1$$

Siendo:

$F_{v,Rd}$ = Resistencia de cálculo frente a la cortadura del vástago;

$F_{v,Ed}$ = Esfuerzo de cálculo perpendicular al eje del tornillo;

$F_{t,Rd}$ = Resistencia de cálculo en tracción;

$F_{t,Ed}$ = Esfuerzo axil de cálculo por tornillo al que en su caso se añadirán las tracciones debidas al efecto palanca.

Sustituyendo en la expresión los valores obtenidos en los apartados anteriores:

$$F_{v,Rd} = 13.386,24 \text{ N};$$

$$F_{v,Ed} = 144,92 \text{ N};$$

$$F_{t,Rd} = 12.047,616 \text{ N};$$

$$F_{t,Ed} = 144,92 \text{ N}.$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 * F_{t,Rd}} \leq 1$$

Conclusión:

$$\frac{144,92}{13.386,24} + \frac{144,92}{1,4 * 12.047,61} \leq 1$$

$$0,011 + 0,0129 = 0,0239 \leq 1$$

También se verifica la condición de interacción combinada, por lo tanto, esta unión atornillada es capaz de soportar los esfuerzos a los que se verá sometida.

2.2.2.1.3 RESISTENCIA A APLASTAMIENTO DE LA PLETINA

Además del cálculo a cortante en la sección transversal del tornillo se debe calcular la resistencia a aplastamiento de las pletinas que se unen. Esto se hará con la siguiente fórmula:

$$F_{t,Rd} = \frac{2,5 * \alpha * f_u * d * t}{\gamma_{M2}}$$

Siendo:

d = Diámetro del vástago del tornillo;

t = Menor espesor de las chapas que se unen;

f_u = Resistencia última del acero de las chapas que se unen;

α = es el menor de:

$$\frac{e_1}{3 * d_0}; \frac{p_1}{3 * d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0$$

Donde:

e_1 = Distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite;

p_1 = Separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite;

d_0 = Diámetro del agujero.

Datos:

$$f_u = 410 \text{ N/mm}^2;$$

$$d = 10 \text{ mm}; d_0 = d + h = 10 + 1 = 11 \text{ mm};$$

$$t = \min(t_{pletina-union}, t_{pletina-carrocería}) = \min(5, 8) = 5 \text{ mm};$$

$$\gamma_{M2} = 1,25;$$

$$e_1 = 30 \text{ mm};$$

$$p_1 = 60 \text{ mm.}$$

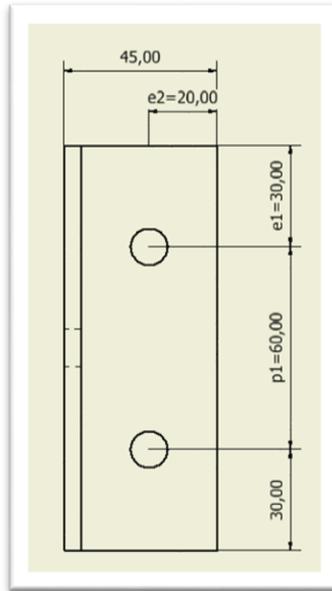


Ilustración 15: Pletina de unión al vehículo (fuente: Inventor)

Sustituyendo los datos en la ecuación se obtiene:

$$\frac{30}{3 * 11}; \frac{60}{3 * 11} - \frac{1}{4}; \frac{320}{410}; 1,0 = 0,9; 1,57; 0,78; 1$$

Por tanto $\alpha = 0,78$.

$$F_{t,Rd} = \frac{2,5 * 0,78 * 410 \frac{N}{mm^2} * 10 \text{ mm} * 5 \text{ mm}}{1,25} = 31.980 \text{ N}$$

Verificamos que la unión es capaz de transmitir la fuerza para la que ha sido diseñada:

$$F_{t,Rd} = 31.980 \text{ N} > F_{i_1} = 144,92 \text{ N}$$

2.2.2.2 CÁLCULO DE LA UNIÓN ENTRE LA PLETINA DE UNIÓN Y LA PLETINA SOPORTE

Para la unión entre la pletina se sujeción, a través de la cual se une el soporte a la carrocería autoportante del coche, y la pletina soporte se han utilizado 2 tornillos de M10 y calidad 4,8 con sus correspondientes tuercas y arandelas. Como se puede apreciar, tanto en la ilustración 16 como en la ilustración 17, esta unión atornillada estará sometida a un esfuerzo de simple cortadura tanto en el eje X como en el eje Y, perpendiculares al eje del tornillo.

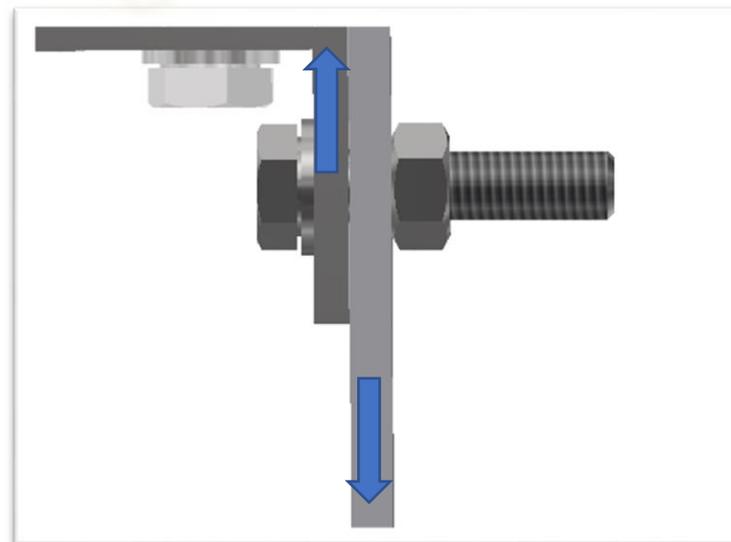
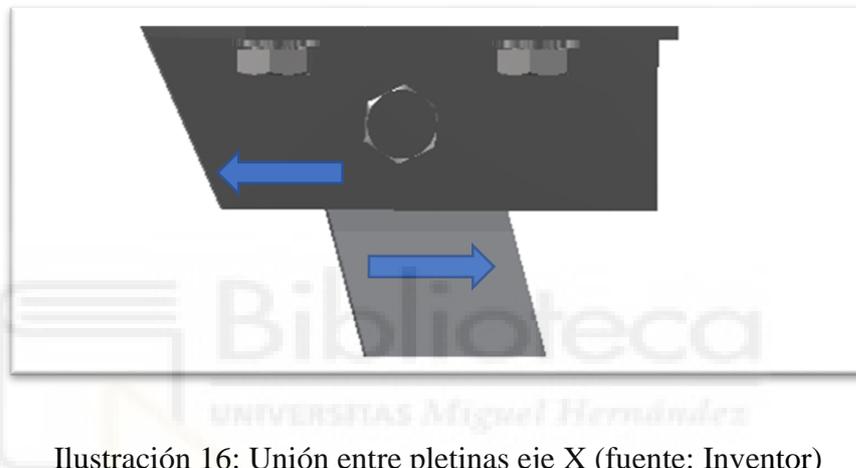


Ilustración 17: Unión entre pletinas eje Y (fuente: Inventor)

2.2.2.2.1 RESISTENCIA A CORTANTE EN EJE X

Para comprobar que la unión resiste a los esfuerzos sometidos calcularemos, en primer lugar, el área resistente del tornillo A_s .

$$A_s = (\pi * d_r^2)/4$$

Donde:

d_r = Diámetro de la rosca en mm ;

A_s = Área resistente del tornillo en mm^2 .

$$d_r = d - 1,226896 * p$$

Donde:

p = Paso = 1,5 mm;

d = Diámetro exterior = 10 mm.

Sustituyendo los valores en las ecuaciones se obtiene:

$d_r = 8,16 mm$;

$A_s = 52,29 mm^2$.

El área obtenida es el área resistente a un solo tornillo, la unión consta de 2 tornillos por los que el área resistente de la unión será:

$$A_s = 52,29 mm^2 * 2 = 104,58 mm^2$$

Una vez calculada el área resistente del tornillo se calcula la resistencia de cálculo a cortadura simple del vástago $F_{v,Rd}$:

$$F_{v,Rd} = n * \frac{0,5 * f_{ub} * A_s}{\gamma_{M2}}$$

Donde:

n = Numero de planos de corte;

f_{ub} = Resistencia última del acero del tornillo;

γ_{M2} = Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión;

A_s = Área resistente del tornillo en mm^2 .

Sustituyendo en la ecuación los siguientes valores, obtenemos $F_{v,Rd}$:

$n = 1$, debido a que la sollicitación es cortadura simple;

$$f_{ub} = 320 \frac{N}{mm^2};$$

$$\gamma_{M2} = 1,25;$$

$$A_s = 52,29 mm^2.$$

$$F_{v,Rd} = \frac{0,5 * 320 \frac{N}{mm^2} * 52,29 mm^2}{1,25} = 6.696,12 N$$

El esfuerzo perpendicular al eje del tornillo $F_{v,Ed}$ será el mismo que en el apartado anterior (2.2.2.1.2), pues el esfuerzo cortante que se le aplicará al tornillo en el eje X en el caso más desfavorable en su funcionamiento será a causa de la inercia del remolque en caso de frenada máxima. Por lo que $F_{v,Ed} = 579,67 N$. Este valor es el valor total del esfuerzo cortante que se divide entre los dos tornillos de la unión, entonces $F_i = 289,835 N$ para cada tornillo.

Por lo que se verifica la resistencia de la unión pues el esfuerzo capaz de resistir cada tornillo es mayor que el esfuerzo que actuará sobre cada uno:

$$F_{v,Rd} = 6.696,12 N > F_i = 289,835 N$$

2.2.2.2.2 RESISTENCIA A CORTANTE EN EJE Y

La resistencia de cálculo a cortante simple del vástago $F_{v,Rd}$ será la misma que en el apartado anterior pues las características del tornillo y del tipo de cortadura no cambian, es decir, $F_{v,Rd} = 6.696,12 N$.

Y el esfuerzo perpendicular al eje del tornillo en el eje Y, $F_{v,Ed}$ tendrá el siguiente valor:

$$F_{v,Ed} = m_{se} * a$$

Siendo:

$F_{v,Ed}$ = Fuerza de inercia;

m_{se} = Masa del sistema de enganche y del portabicicletas cargado;

$m_{se} = (19,15 \text{ kg} - 2 \text{ kg pletinas de union}) + 40 \text{ kg} = 57,15 \text{ kg}$.

$$F_{v,Ed} = 57,15 \text{ kg} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 560,07 \frac{\text{kg} * \text{m}}{\text{s}^2} = 560,07 \text{ N}$$

El valor obtenido es el valor que se le aplicarán a los 2 tornillos conjuntamente por lo que lo tenemos que dividir entre 2 para obtener el esfuerzo transmitido a cada uno individualmente. Se obtiene que cada tornillo está sometido a un esfuerzo cortante de $F_{v,Ed} = 280,035 \text{ N}$.

En conclusión, esta unión también será capaz de soportar los esfuerzos a los que se verá sometida pues:

$$F_{v,Rd} = 6.696,12 \text{ N} > F_{v,Ed} = 280,035 \text{ N}$$

2.2.2.3 CÁLCULO DE LA UNIÓN PLETINA –TRAVESAÑO

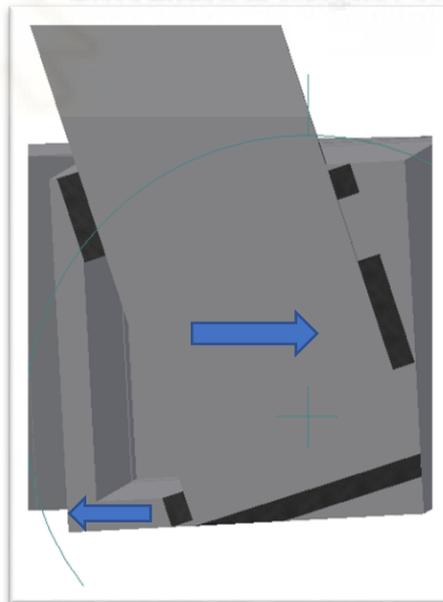


Ilustración 18: Unión de pletina soporte a travesaño (fuente: Inventor)

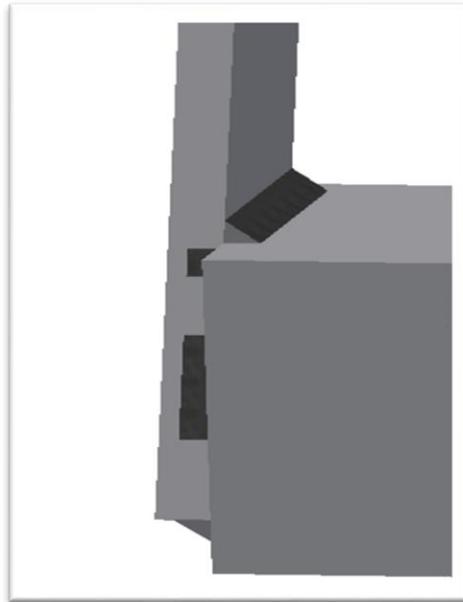


Ilustración 19: Unión de pletina soporte a travesaño (fuente: Inventor)

Los elementos soldados tienen que ser capaces de soportar el esfuerzo que producirá la inercia del remolque en una frenada máxima pues es la condición más restrictiva. En dicha situación se producirá un esfuerzo cortante en la soldadura.

$$F_i = m_{se} * a$$

Siendo:

$$F_i = \text{Fuerza de inercia} = F_{v,Ed};$$

m_{se} = Masa del sistema de enganche (menos el valor de las pletinas de unión y las pletinas soporte) y del portabicicletas cargado.

$$m_{se} = (15,15 \text{ kg}) + 40 \text{ kg} = 55,15 \text{ kg}.$$

$$F_i = 55,15 \text{ kg} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 540,57 \frac{\text{kg} * \text{m}}{\text{s}^2} = 540,47 \text{ N}$$

Es decir, tendrán que soportar el esfuerzo de $F_{v,Ed} = 540,047 \text{ N}$, este valor es el valor total, que se dividirá entre ambos lados del sistema de enganche $F_{v,Ed} = 270,235 \text{ N}$.

Datos de la soldadura:

$$F_{W,Rd} = a * f_{vW,d}$$

Siendo:

$f_{vW,d} = \frac{f_u}{\beta_W \gamma_{M2} \sqrt{3}}$ tensión tangencial de cálculo resistida por la soldadura en cualquier dirección;

f_u = Tensión de rotura de la chapa de menor resistencia de la unión;

β_W = Coeficiente de correlación en función del tipo de acero;

a = Espesor del cordón de soldadura.

Datos:

$f_u = 510 \text{ N/mm}^2$;

$\beta_W = 0,9$;

$a = 4 \text{ mm}$;

$\gamma_{M2} = 1,25$.

$$F_{W,Rd} = 4 \text{ mm} * \frac{510 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{0,9 * 1,25 * \sqrt{3}} = 1.046,93 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

La unión soldada está formada por dos cordones de soldadura con una longitud de 4 cm cada uno por lo que la resistencia total de la unión será:

$$V_{Rd_union} = n * F_{W,Rd} * L_w$$

Siendo:

n = Numero de cordones;

L_w = Longitud del cordón de soldadura.

Datos:

$n = 2$;

$L_w = 40 \text{ mm}$.

$$V_{Rd_union} = 2 * 40 \text{ mm} * 1.046,93 \frac{\text{N}}{\text{mm}} = 83.754,27 \text{ N}$$

Este valor corresponde solo a uno de los lados del soporte, por lo que la resistencia total del conjunto es de 167.508,55 N. Se verifica que la unión es capaz de soportar los esfuerzos a los que estará sometida puesto que:

$$V_{Rd_union} = 83.754,27 N > F_{v,Ed} = 270,235 N$$

2.2.2.4 CÁLCULO DE LA UNIÓN PLETINA – BOLA

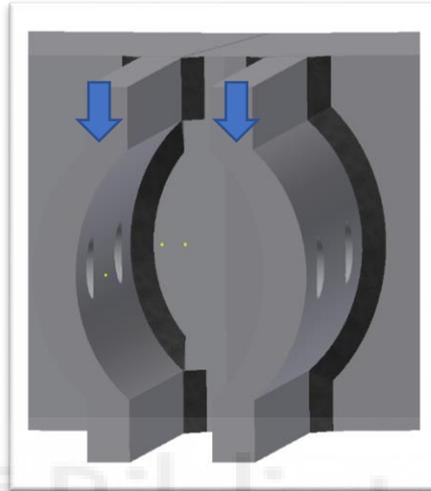


Ilustración 20: Pletinas de unión con la bola, eje Y (fuente: Inventor)

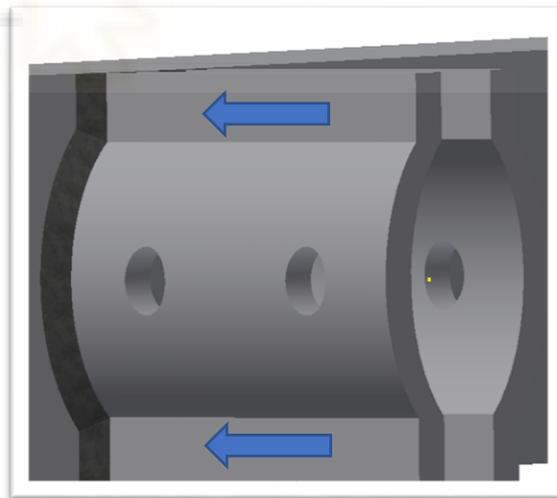


Ilustración 21: Pletinas de unión con la bola, eje X (fuente: Inventor)

Las pletinas soldadas al travesaño van a experimentar dos esfuerzos principalmente. Un esfuerzo producido por la carga vertical, del remolque, aplicada a la bola. Y otro esfuerzo producido por la inercia del remolque en una deceleración máxima, pues en ese instante la soldadura va a estar sometida a un esfuerzo de compresión.

El esfuerzo producido por la carga vertical equivale a:

$$F_{t,Ed} = (C_V)kg * 9,8 \frac{N}{kg}$$

Siendo:

$F_{t,Ed}$ = Esfuerzo cortante que actuará debido a la carga vertical;

C_V = Carga vertical;

C_V = Masa soporte portabicicletas (18,7 kg) + Masa de la bicicleta (21,3) kg = 40 kg.

Obteniendo como resultado:

$$F_{t,Ed} = 40 kg * 9,8 \frac{N}{kg} = 392 N$$

La fuerza de inercia producida por la deceleración será:

$$F_i = m_{vc} * a$$

Siendo:

F_i = Fuerza de inercia = $F_{v,Ed}$;

m_{se} = Masa del sistema de enganche (pletinas de unión y bola de enganche) + carga vertical;

$m_{se} = 5 kg + 40 kg = 45 kg$.

$$F_i = 45 kg * 9,8 \frac{m}{s^2} = 441 \frac{kg * m}{s^2} = 441 N$$

Por tanto, el esfuerzo debido a la inercia producida en la frenada máxima es el más restrictivo. Las pletinas soldadas tienen que ser capaces de soportar $F_{v,Ed} = 441 N$.

Datos de la soldadura:

$$F_{W,Rd} = a * f_{vW,d}$$

Siendo:

$f_{vW,d} = \frac{f_u}{\beta_W * \gamma_{M2} \sqrt{3}}$ tensión tangencial de cálculo resistida por la soldadura en cualquier dirección;

f_u = Tensión de rotura de la chapa de menor resistencia de la unión;

β_W = Coeficiente de correlación en función del tipo de acero;

a = Espesor del cordón de soldadura.

Datos:

$$f_u = 510 \text{ N/mm}^2;$$

$$\beta_W = 0,9;$$

$$a = 4 \text{ mm};$$

$$\gamma_{M2} = 1,25;$$

$$F_{W,Rd} = 4 \text{ mm} * \frac{510 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{0,9 * 1,25 \sqrt{3}} = 1.046,93 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

La unión soldada está formada por dos cordones de soldadura en cada pletina con una longitud de 4 cm cada uno por lo que la resistencia total de la unión será:

$$V_{Rd_union} = n * F_{W,Rd} * L_w$$

Siendo:

n = Numero de cordones;

L_w = Longitud del cordón de soldadura.

Datos:

$$n = 2;$$

$$L_w = 60 \text{ mm}.$$

$$V_{Rd_union} = 2 * 60 \text{ mm} * 1.046,93 \frac{N}{\text{mm}} = 125.631,6 \text{ N}$$

Este valor corresponde solo a una de las pletinas, por lo que la resistencia total del conjunto es de 251.263,2 N. Se verifica que la unión es capaz de soportar los esfuerzos a los que estará sometida puesto que:

$$V_{Rd_union} = 251.263,2 \text{ N} > F_{v,Ed} = 441 \text{ N}$$

2.2.2.5 CÁLCULO DE LA UNIÓN ENTRE PLETINAS Y BOLA

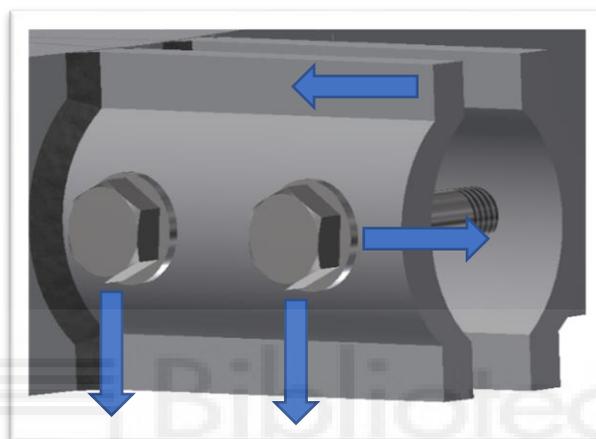


Ilustración 22: Unión atornillada bola – pletinas (fuente: Inventor)

La unión atornillada a través de la cual se une la bola al soporte del enganche estará sometida a dos esfuerzos. Por un lado, estará sometida a un esfuerzo de cortante vertical producido entre la bola de enganche y la pletina, en el eje Y. Y por otro lado un esfuerzo cortante producido por la inercia del remolque y la pletina, en el eje X.

2.2.2.5.1 RESISTENCIA A CORTANTE EN EL EJE Y

Para la unión entre las pletinas y la bola de enganche se han utilizado 2 tornillos de M10 y calidad 4,8 con sus correspondientes tuercas y arandelas. La unión está sometida a un esfuerzo de simple cortadura.

En primer lugar, se debe obtener la resistencia de cálculo a cortadura simple del vástago

$F_{v,Rd}$:

$$F_{v,Rd} = n * \frac{0,5 * f_{ub} * A_s}{\gamma_{M2}}$$

Donde:

n = Numero de planos de corte;

f_{ub} = Resistencia última del acero del tornillo;

γ_{M2} = Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión;

A_s = Área resistente del tornillo en mm^2 .

Sustituyendo en la ecuación los siguientes valores, obtenemos $F_{v,Rd}$:

$n = 1$, debido a que la sollicitación es cortadura simple;

$$f_{ub} = 320 \frac{N}{mm^2};$$

$$\gamma_{M2} = 1,25;$$

$$A_s = 52,29 mm^2;$$

$$F_{v,Rd} = \frac{0,5 * 320 \frac{N}{mm^2} * 52,29 mm^2}{1,25} = 6.696,12 N$$

Una vez obtenida la resistencia de cálculo de la unión, se calcula el valor del esfuerzo al que será sometida la unión. El esfuerzo perpendicular al eje del tornillo $F_{v,Ed}$ en el eje Y se debe a la carga vertical aplicada por el remolque sobre la bola de enganche. Esta carga tiene un valor de:

$$F_{t,Ed} = (C_V)kg * 9,8 \frac{N}{kg}$$

Siendo:

$F_{t,Ed}$ = Esfuerzo cortante que actuará debido a la carga vertical;

C_V = Carga vertical;

$C_v = \text{Masa soporte portabicicletas (18,7 kg)} + \text{Masa de la bicicleta (21,3) kg} = 40 \text{ kg.}$

Obteniendo como resultado:

$$F_{v,Ed} = 40 \text{ kg} * 9,8 \frac{N}{kg} = 392 \text{ N}$$

Cada tornillo estará sometido a un esfuerzo de $F_{v,Ed} = 196 \text{ N}$, resultado de la división del esfuerzo total entre los 2 tornillos que forman la unión. Como la resistencia de cálculo de la unión es superior al esfuerzo al que se verá sometida se verifica la resistencia de la unión.

$$F_{v,Rd} = 6.696,12 \text{ N} > F_{v,Ed} = 196 \text{ N}$$

2.2.2.5.1 RESISTENCIA A CORTANTE EN EL EJE X

Como se ha calculo en el apartado anterior, la resistencia de cálculo de la unión atornillada es de $F_{v,Rd} = 6.696,12 \text{ N}$. El esfuerzo perpendicular en el eje X, $F_{v,Ed}$, será el mismo que en el apartado anterior (2.2.2.4), pues el esfuerzo cortante que se le aplicará al tornillo en el eje x en el caso más desfavorable en su funcionamiento será a causa de la inercia del remolque en caso de frenada máxima. Por lo que $F_{v,Ed} = 441 \text{ N}$. Este valor es el valor total del esfuerzo cortante que se divide entre los dos tornillos de la unión, entonces $F_i = 220,5 \text{ N}$ para cada tornillo.

Por lo que se verifica la resistencia de la unión pues el esfuerzo capaz de resistir cada tornillo es mayor que el esfuerzo que actuara sobre cada uno:

$$F_{v,Rd} = 6696,12 \text{ N} > F_i = 220,5 \text{ N}$$

2.2.3 DINÁMICA LONGITUDINAL Y LATERAL

Se ha considerado que la instalación del soporte no conlleva ningún cambio en el comportamiento dinámico del vehículo que sea necesario analizar.

2.2.4 BASTIDOR Y CARROCERÍA

Dado que el peso del kit de enganche instalado supone únicamente un 1,58% de la masa total del vehículo se ha considerado que los esfuerzos transmitidos al bastidor son prácticamente los mismos a los de origen conservándose las magnitudes y direcciones de los esfuerzos sobre este. Por lo que no se ha procedido al cálculo de los esfuerzos cortantes y momentos flectores en el bastidor.

No se ha modificado la carrocería autoportante del vehículo a excepción de los 4 agujeros de 11 mm de diámetro realizados para la unión del kit de enganche. Estos agujeros no se ha considerado que afecten a la resistencia de la carrocería del vehículo.

2.2.5 ANÁLISIS DE SEGURIDAD ACTIVA Y PASIVA O PROTECCIÓN AL MEDIO AMBIENTE

2.2.5.1 SEGURIDAD ACTIVA

La seguridad activa es el conjunto de todos aquellos elementos que contribuyen a una mayor eficacia y estabilidad al vehículo en marcha, y en la medida de lo posible, evitar un accidente.

2.2.5.1.1 SISTEMAS DE DIRECCIÓN

El sistema de dirección permite el control de la trayectoria del vehículo. Por tanto, la reforma no afecta al sistema de dirección.

2.2.5.1.2 SISTEMAS DE FRENADO

El sistema de frenado desempeña una función vital en la circulación de un vehículo pues es el encargado de reducir o parar la inercia de las partes móviles, es decir, las ruedas, y por tanto detener el vehículo. La reforma aplicada no modifica el sistema de frenado.

2.2.5.1.3 SISTEMAS DE SUSPENSIÓN

El sistema de suspensión es el encargado de mantener las ruedas en contacto con el suelo, absorbiendo las vibraciones y movimientos provocados por la carretera y transmitidas al bastidor a través de las ruedas. La reforma no modifica el sistema de frenado.

2.2.5.1.4 NEUMÁTICO Y ADHERENCIA AL SUELO

El neumático es el encargado de transmitir la fuerza propulsora o fuerza de frenado al suelo. Su estado deberá ser óptimo para la máxima adherencia con el suelo. La reforma no modifica los neumáticos.

2.2.5.1.5 SISTEMAS DE CONTROL DE ESTABILIDAD

Sistema dotado de sensores que detectan la velocidad de cada una de las llantas, la posición del volante y la posición del pedal de aceleración y en caso de sobreviraje o subviraje actúa sobre cada una de las llantas frenándolas según la necesidad que se considere necesaria para mantener el vehículo estable. La reforma no modifica los sistemas de estabilidad.

2.2.5.1.6 SISTEMAS DE ILUMINACIÓN

Sistema encargado de proporcionar la iluminación necesaria tanto para ver como para ser visto con claridad en la carretera. La reforma no modifica el sistema de iluminación, solamente utiliza las señales enviadas a los pilotos trasero para replicarlas en el sistema de iluminación de la parte trasera del portabicicletas montado.

2.2.5.2 SEGURIDAD PASIVA

La seguridad pasiva la componen todos los elementos que reducen al mínimo los daños que se producen en un accidente.

2.2.5.2.1 CHASIS Y CARROCERÍA

Sistemas cuya función es la de proteger el habitáculo sin deformaciones absorbiendo la mayor cantidad de energía posible, restando así estrés al cuerpo de los pasajeros.

La reforma modifica la carrocería autoportante del vehículo, pues para el montaje del sistema de enganche es necesario hacer unos agujeros en ella que servirán como punto de unión.

Debido al reducido peso del dispositivo de acoplamiento, se considera que los esfuerzos transmitidos al bastidor son muy similares a los de origen conservándose las magnitudes y direcciones sobre este. No se actúa sobre el chasis del vehículo por lo que se puede decir que no se varía la eficacia del sistema original.

2.2.5.2.2 AIRBAGS

Dispositivo que consta de unas bolsas que se inflan como consecuencia de la señal que envía un pequeño sensor cinemático al detectar el choque. Esta señal, en forma de pequeña descarga eléctrica, detona el compuesto químico sólido que se halla en el interior de la bolsa haciendo que esta se infle en cuestión de milisegundos. Su misión es impedir que los ocupantes se golpeen directamente con alguna parte del vehículo durante el choque. La reforma no modifica este sistema.

2.2.5.2.3 CINTURONES DE SEGURIDAD

Elemento indispensable en la seguridad pasiva del vehículo. Su misión es impedir que el pasajero salga despedido como consecuencia de la inercia del movimiento, tensándose inmediatamente tras detectarse la colisión, reteniendo el cuerpo del pasajero pegado al asiento. La reforma no ha modificado este dispositivo.

2.2.5.2.4 CRISTALES

El parabrisas está diseñado con un compuesto que no genera astillas que puedan dañar a los integrantes del vehículo en caso de choque. El resto de los cristales son más débiles y se pueden romper para poder ser utilizados como vía de salida en caso de vuelco del vehículo. Estos elementos no se han modificado durante la reforma.

2.2.5.2.5 REPOSACABEZAS

Elemento encargado de evitar el latigazo cervical que experimentarán los ocupantes del vehículo en caso de colisión. La reforma realizada no ha modificado este sistema de seguridad pasiva.

2.2.6 PROTECCIÓN AL MEDIO AMBIENTE

Los elementos instalados en la reforma no presentan ningún comportamiento perjudicial para el medio ambiente.

2.3 PLANIFICACIÓN

2.3.1 FASES DE INGENIERÍA

El proyecto de fabricación e instalación del sistema de enganche se ha desarrollado mediante el proceso de ingeniería inversa. Es decir, en primer lugar, se fabricó el sistema de enganche en la realidad, previo diseño y cálculos aproximados del conjunto, y después se comprobó su funcionamiento para analizar si era capaz de cumplir con su objetivo. Por último, se replicó el diseño en un software de diseño mecánico para obtener la mayor cantidad de información técnica posible del conjunto, para analizar y comprender el funcionamiento de cada parte y para comprobar su seguridad.

2.3.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE ENGANCHE TIPO BOLA

Como se ha mencionado en el apartado 1.3, no existe ningún fabricante que ofrezca un kit de enganche tipo bola para el vehículo de la reforma por lo que se optó por la fabricación de un kit artesanal.

En primer lugar, se realizó una inspección del vehículo para ver dónde se podían instalar los soportes del sistema de enganche, pues el fabricante no dispuso anclajes roscados para la instalación de este tipo de enganches.

Se decidió disponer estos anclajes roscados en la parte trasera de la carrocería autoportante del vehículo. Una vez determinada la ubicación de las pletinas de unión al vehículo se tomaron las medidas necesarias de la ubicación de los elementos restantes, para cumplir con la normativa que establece que la bola de enganche no debe dificultar la lectura de la matrícula cuando este instalada y no se esté utilizando el portabicicletas. Quedando el sistema de la siguiente forma:

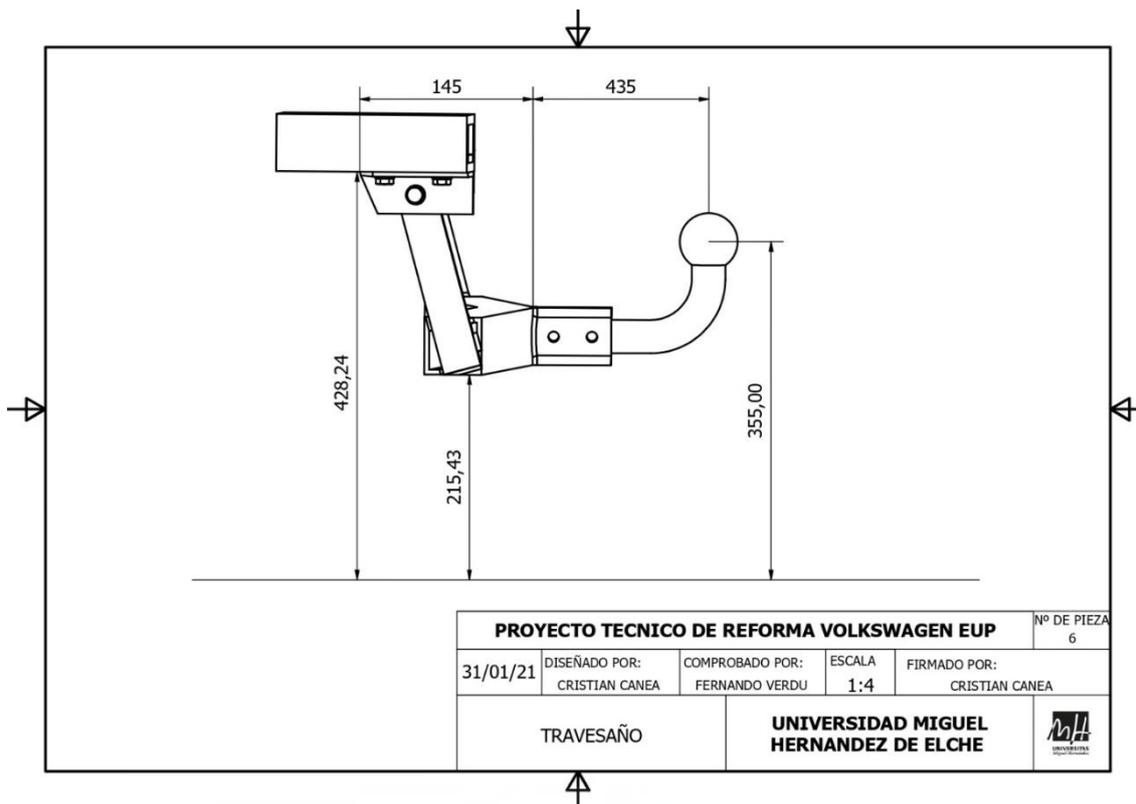


Ilustración 23: Plano del lateral del travesaño (fuente: Inventor)

Una vez terminada la fase de medición, se pasó al diseño. Los únicos elementos que han sido diseñados son las pletinas, tanto la pletina que se encuentra en el interior de la carrocería autoportante, como la pletina de unión entre el sistema de enganche y el vehículo, y la pletina de soporte que conecta el travesaño con la pletina de unión. Con las medidas que debían tener los elementos y con un boceto del conjunto donde se establecía la forma y posición de cada elemento, se pasó a la búsqueda de los materiales necesarios para llevar a cabo el diseño.

Por otro lado, tanto el travesaño como la bola fija de enganche pertenecen a un kit de enganche de un vehículo de la misma marca, Volkswagen Golf, diseñado y fabricado por Enganches Aragón.

2.3.2.1 COMPONENTES

El kit de enganche tipo bola fabricado está compuesto por las siguientes partes:

1. Kit eléctrico de 13 polos para enganche de remolque fabricado por Enganches Aragón, modelo Aragón 513, Ref.: KAJ13BO
2. Bola fija, fabricada por Enganches Aragón, tipo A.
3. Travesaño. Este componente pertenece a un kit de enganche de Enganches Aragón para un Volkswagen Golf.
4. Pletinas de unión entre soporte y carrocería autoportante.
5. Pletinas soporte.
6. Tuercas hexagonales.
7. Arandelas.
8. Tornillo con cabeza hexagonal.
9. Pletinas de unión entre el soporte y la bola de enganche.

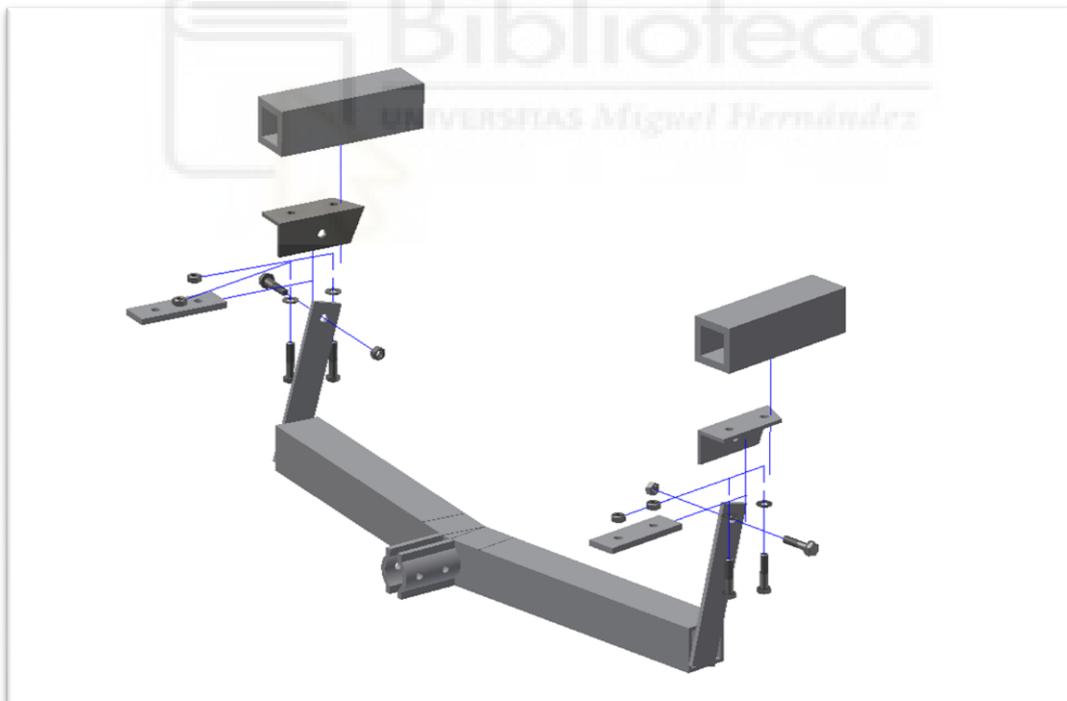


Ilustración 24: Vista explosionada del sistema de enganche (fuente: Inventor)

2.3.2.2 MATERIALES

Una vez diseñados los componentes del kit de enganche se buscaron los materiales que se mecanizarían para conseguir las piezas necesarias para el sistema. Para las pletinas se utilizaron planchas de acero SJ355J2 debido a su gran tenacidad, buena soldabilidad, a ofrecer buenas condiciones para el conformado en frío y mecanización. Siendo la lista de materiales la siguiente:

- Pletina de unión: Acero SJ355J2
Tensión de límite elástico $\left(\frac{N}{mm^2}\right)$: 355
Tensión de rotura $\left(\frac{N}{mm^2}\right)$: 470
- Pletina soporte: Acero SJ355J2
Tensión de límite elástico $\left(\frac{N}{mm^2}\right)$: 355
Tensión de rotura $\left(\frac{N}{mm^2}\right)$: 470
- Tuercas hexagonales: M10 ISO 4032
Material: Acero Inoxidable
Tensión de límite elástico $f_y \left(\frac{N}{mm^2}\right) = 320$
Tensión de rotura $f_u \left(\frac{N}{mm^2}\right) = 400$
- Arandelas: Arandela plana ISO 7089
Material: Acero inoxidable
- Tornillo de cabeza hexagonal: M10 x 1,5 x 45 4,8
Tensión de límite elástico $f_y \left(\frac{N}{mm^2}\right) = 320$
Tensión de rotura $f_u \left(\frac{N}{mm^2}\right) = 400$

2.3.3 FABRICACIÓN O CONSTRUCCIÓN

Seleccionados los materiales, se llevaron junto con los planos de cada pieza al taller encargado de la realización de la reforma que se encargó de fabricarlas según lo indicado. Para la unión de los diferentes componentes del kit de enganche se ha utilizado tanto uniones atornilladas como soldaduras. En primer lugar, se unieron las pletinas soporte al travesaño a través de dos cordones de soldadura de 40 mm de longitud y un espesor de 4 mm. El material del cordón de soldadura es el acero. Además de los cordones de soldadura se hicieron varios puntos de soldadura que no se incluyen en el cálculo porque no se pueden considerar cordones al medir menos de 40 mm o seis veces el ancho de la garganta, pero aportan rigidez.

También se unieron al travesaño mediante soldadura las pletinas de acero utilizadas para la sujeción de la bola del kit de enganche. Se realizaron 4 cordones de soldadura, de 4 mm de espesor en el contorno de ambas caras de las pletinas.

Después se unió la pletina soporte a la pletina de unión, entre el soporte y la carrocería autoportante, a través de una unión atornillada compuesta por un tornillo de métrica 10 a cada lado del soporte. Estas uniones se apretaron con un par de apriete muy superior al resto, pues, como consecuencia de la continua actuación de la inercia del remolque las uniones podrían aflojarse y hacer que el sistema girara con un movimiento pendular.

Y por último se unió la pletina de unión a la carrocería autoportante, a través de cuatro tornillos de métrica 10 con cabeza hexagonal. Además, se introdujo una pletina de 8 milímetros con agujeros roscados, para tener una mayor superficie roscada que aguantara los esfuerzos, en el interior de la carrocería autoportante a través del extremo final de esta. Se colocó la pletina de tal manera que coincidieran los agujeros con los tornillos y se introdujeron los tornillos.

Una vez ensamblado el kit, se instaló en la parte izquierda del travesaño la toma de corriente del kit eléctrico.

2.3.3.1 INSTALACIÓN DEL KIT ELÉCTRICO

Para la instalación del kit eléctrico, en primer lugar, se le hicieron tres agujeros de 30 mm al travesaño y mediante tres tornillos proporcionados por el fabricante del kit, con sus respectivas arandelas y tuercas, se instaló el soporte de plástico que contiene dentro la conexión de la base. Se introdujo el cableado por el interior del travesaño y se llevó al maletero del vehículo con la adecuada sujeción del cable a las pletinas a través de bridas.

Se desmontó la cubierta lateral del interior del maletero para poder acceder al cableado de los pilotos traseros. Una vez que el cableado del kit eléctrico se encontraba en la ubicación donde se iba a instalar, se conectaron los cables al módulo de control, el cual se pegó al chasis del vehículo, en posición vertical, a través de una cinta adhesiva de doble cara también proporcionada por el fabricante. Además, se conectó la toma de tierra al chasis del vehículo.

Después, utilizando un detector de voltaje y accionando los diferentes instrumentos del habitáculo para encender las diferentes partes del piloto trasero, se localizaron los cables y se clasificaron las funciones de cada uno. Se conectaron los cables del kit a los del coche en base a los códigos de colores de las instrucciones.

A continuación, se llevaron los cables de corriente a corriente directa o paso de llave y tras colocar los portafusibles se conectaron los cables a la batería. Por último, se conectaron los fusibles.

2.3.4 PUESTA EN SERVICIO DEL PROYECTO

Tras el montaje del sistema de enganche, en un recinto privado de gran amplitud se instaló sobre la bola de remolque el portabicicletas para comprobar la funcionalidad del sistema de enganche siendo el resultado de la prueba uno satisfactorio. Después de la prueba se compró el estado de cada uno de los componentes, los cuales no presentaban ningún problema. Por lo que se verificó la resistencia en orden de marcha.

3 PLANOS

3.1 PLANOS DEL SISTEMA DE ENGANCHE

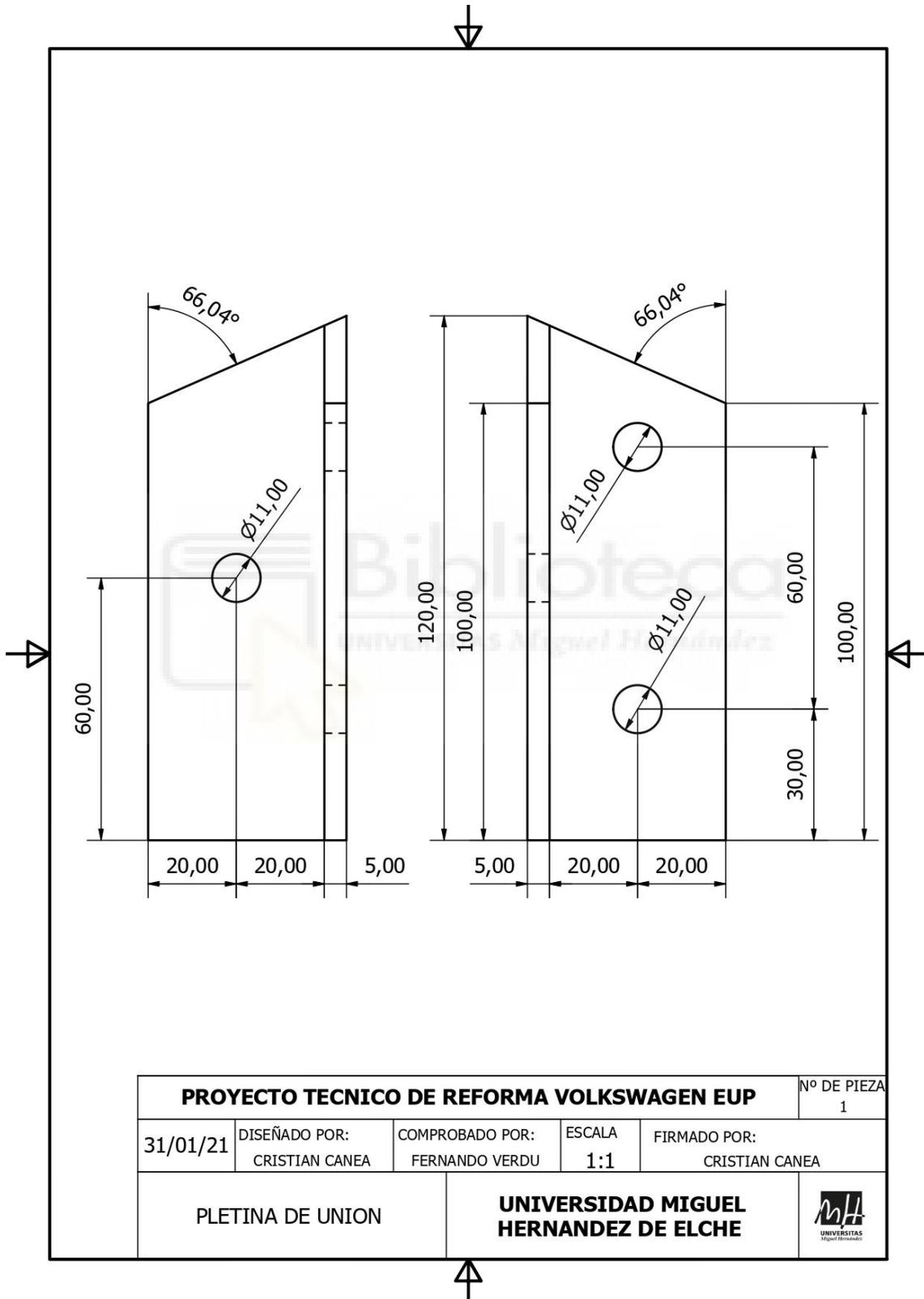


Ilustración 25: Plano de la pletina de unión (fuente: Inventor)

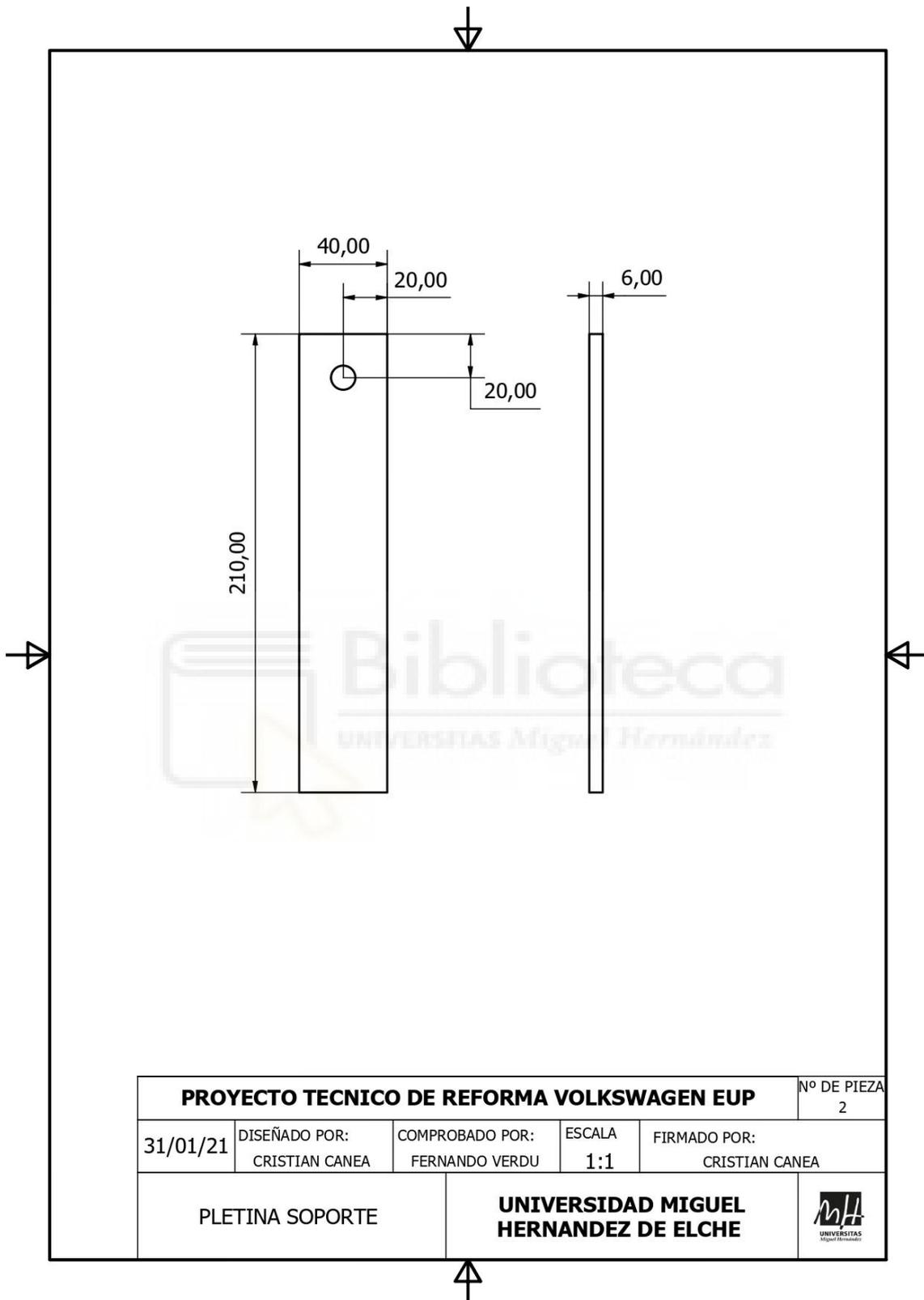


Ilustración 26: Plano de la pletina soporte (fuente: Inventor)

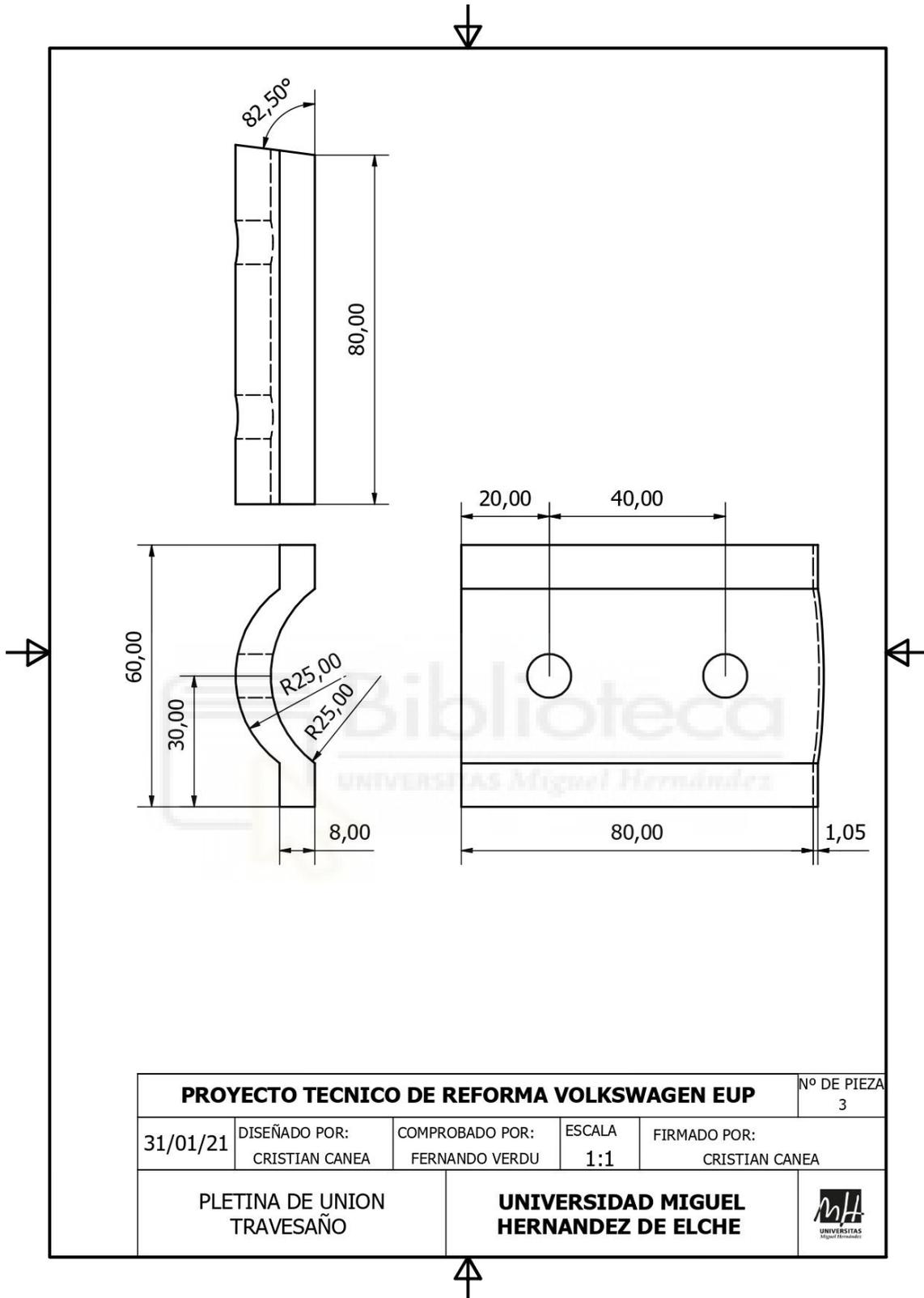


Ilustración 27: Plano de la pletina de unión al travesaño (fuente: Inventor)

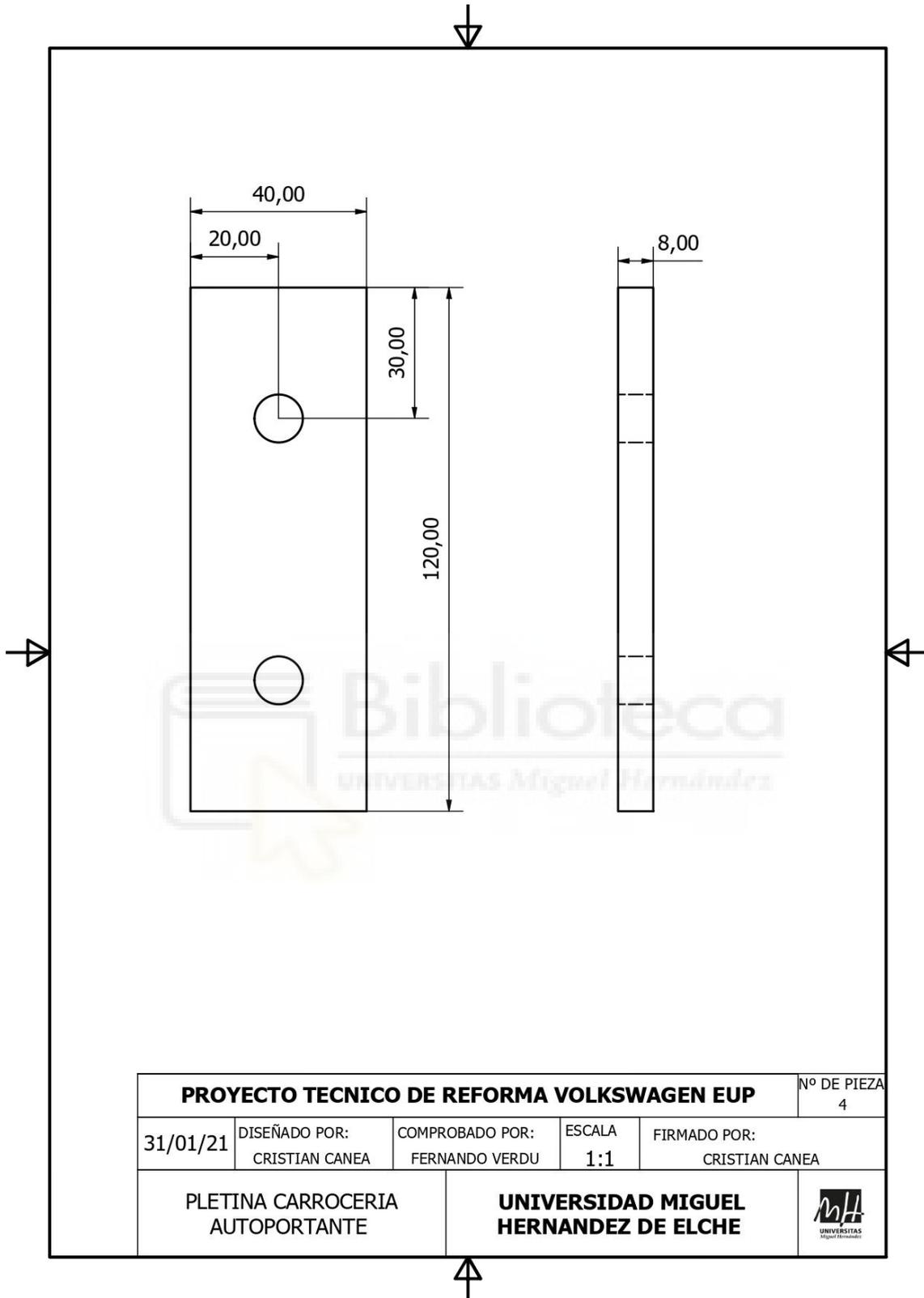


Ilustración 28: Plano de la pletina del interior de la carrocería autoportante
(fuente: Inventor)

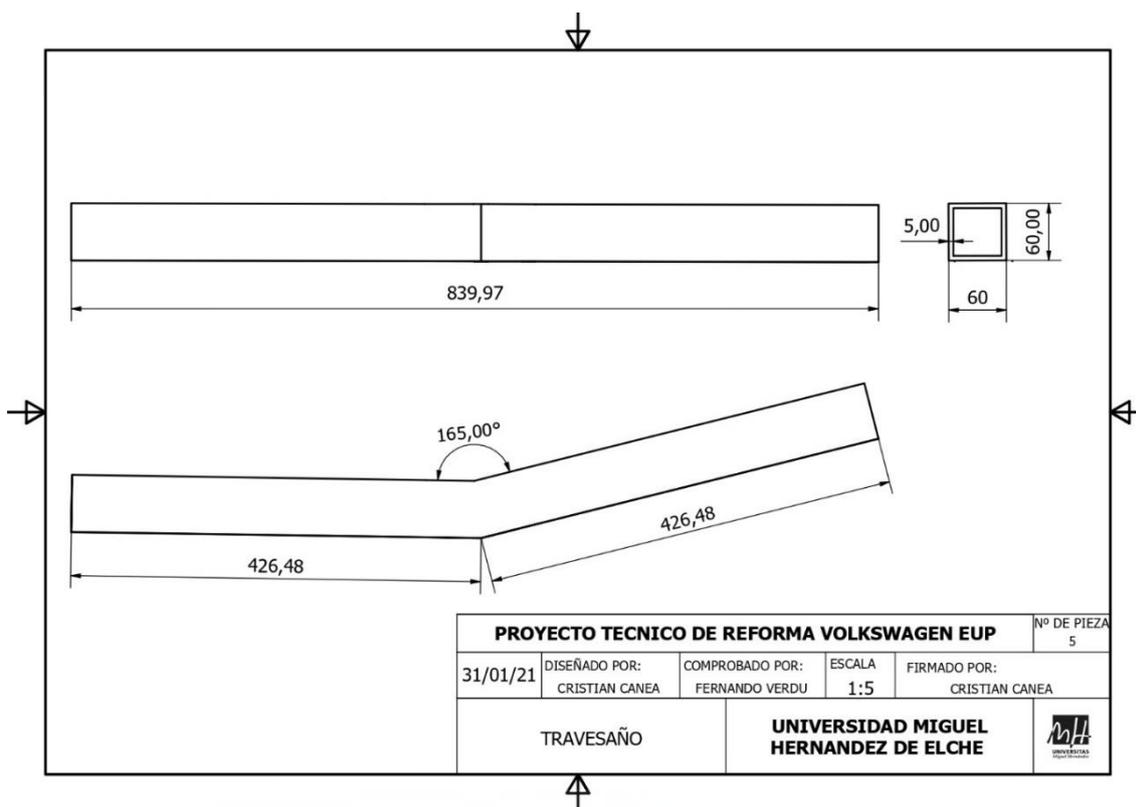


Ilustración 29: Plano del travesañ (fuente: Inventor)

4 PLIEGO DE CONDICIONES

4.1 OBJETO DEL PLIEGO

El presente pliego de condiciones técnicas tiene como objetivo establecer el conjunto de normas generales que han sido utilizadas por el taller que ha realizado la reforma con la finalidad de la correcta ejecución de esta.

4.1.1 NORMAS DE REFERENCIA

Este proyecto se ha llevado a cabo según las siguientes normas de referencia:

Real Decreto 866/2010 de 2 de julio, por el que se regula la tramitación de la reforma de vehículos.

Manual de Reformas de Vehículos, 6º Revisión cuya aplicación se hizo efectiva a partir del 24 de agosto de 2020.

Real Decreto 2028/1986 de 6 de junio de 1986, por el que se dictan normas para la aplicación de determinadas Directivas de la CEE, relativas a la homologación de tipos de vehículos automóviles, remolques y semirremolques, así como de partes y piezas de dichos vehículos.

Real Decreto de 2822/98 de 23 de diciembre de 1998, por el que se aprueba el Reglamento General de Vehículos y las posteriores actualizaciones de sus anexos.

Real Decreto 2.042/1994 de 14 de diciembre, relativo a Inspección Técnica de Vehículos.

Vigente Código de Circulación y normas complementarias.

Real Decreto 750/2010 de 4 de junio, por el que se regulan los procedimientos de homologación de vehículos a motor y sus remolques, maquinas autopropulsadas o remolcadas, vehículos agrícolas, así como de sistemas, partes y piezas de dichos vehículos.

Real Decreto 455/2010 de 16 de abril, 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.

Norma UNE 26-192-87 relativa a Dimensiones de Vehículos.

Norma 26-086-85 relativa a Peso de Vehículos.

Norma 26-204 relativa a Exteriores para Auto Vehículos.

Norma DIN 1707 relativa a soldaduras en Carrocerías.

Reglamento de Seguridad e Higiene.

Normas UNE de obligado cumplimiento.

Reglamento (UE) nº1230/2012 de la Comisión, de 12 de diciembre de 2012

4.2 ESPECIFICACIONES MATERIALES Y EQUIPOS

4.2.1 CALIDAD DE LOS MATERIALES EMPLEADOS

Los materiales utilizados en la fabricación de las distintas partes que componen el kit de enganche tipo bola instalado, poseen las prestaciones y características necesarias para el cumplir con los esfuerzos a los que se van a ser sometidas. Esto se debe a que se han utilizado materiales que disponen del marcado CE.

4.3 ESPECIFICACIÓN DE EJECUCIÓN

4.3.1 EQUIPO ELÉCTRICO

Antes de realizar la conexión del cableado al piloto trasero se desconectará la batería y el alternador.

4.3.2 INSTALACIÓN DE CABLEADO

Para la instalación del cableado de conexión del kit eléctrico en el travesaño del vehículo se tuvo en cuenta la correcta protección del cableado mediante otros tubos de plástico, aparte de los originales. Cubriéndolos en su totalidad y creando un sello hermético sobre ellos, dada la gran exposición al medio ambiente al que estaba expuesto.

Tras la instalación del cableado se fijó firmemente a los elementos que componen parte del sistema de enganche y a otros elementos de carrocería autoportante mediante bridas y abrazaderas de plástico, para evitar cualquier posible contacto con los ocupantes durante su uso habitual. Se prestó especial atención a la ausencia de elementos que pudieran provocar roces o daños a lo largo del trayecto que realiza el cableado hasta su conector.

Una vez terminada la instalación se verificó el correcto funcionamiento de los elementos, comprobando los puntos de flexión del cableado donde el uso habitual pudiera producir la ruptura de los materiales.

4.3.3 EQUIPAMIENTO ELÉCTRICO

En la instalación del kit eléctrico del sistema de enganche se generó un circuito de alimentación de elementos nuevo, por lo que se procedió a la instalación de una línea independiente de alimentación protegida en su cabecera por un fusible, proporcionado por el suministrador del kit eléctrico.

4.3.4 PINTURA Y PROTECCIÓN CONTRA LA OXIDACIÓN

Las perforaciones realizadas en la carrocería autoportante recibieron un tratamiento superficial con el objetivo de evitar afloramientos de corrosión como consecuencia de la eliminación de la pintura e imprimación. Se les aplicó una imprimación anticorrosiva y posteriormente una pintura de acabado.

También recibieron dicho tratamiento todos los elementos del dispositivo de acoplamiento, a excepción de los tornillos, arandelas y tuercas. De este modo primero se procedió al tratamiento y pintura de los elementos por separado, y posteriormente se unieron a través de los diferentes tipos de uniones.

4.3.5 TRABAJOS DE SOLDADURA

Para la ejecución del trabajo de soldadura necesario en las uniones de las diferentes pletinas al travesaño del kit de enganche se tuvieron en cuenta las siguientes instrucciones:

- Realización del trabajo de soldadura por personal especializado que disponía de la formación necesaria.
- Uso de equipo de protección, ropa que protegía de chispas y metal fundido, guantes, protección de cabeza, gafas y máscara protectora contra gases nocivos.
- Realización de la soldadura previo al montaje del sistema a la carrocería autoportante.
- Soldado del enganche previo al montaje del kit eléctrico para evitar que el contacto de los tubos protectores de plástico con alguna salpicadura de la soldadura.
- Previa limpieza y eliminación de toda la pintura original de las pletinas y del travesaño.
- Conexión de la masa del soldador directamente en la pieza a soldar, y desconexión del borne negativo de la batería para la protección de los componentes eléctricos.

4.3.6 CONDICIONES DE UTILIZACIÓN Y CONDUCCIÓN

La reforma del vehículo no supone una variación en el comportamiento original del vehículo en carretera. Sí se debe tener en cuenta que cuando se instale el portabicicletas en la bola de remolque el comportamiento del coche podrá variar debido a las inercias que se generarán como consecuencia de la nueva carga.

El incremento de la inercia del conjunto se traducirá en una mayor distancia de frenado, un paso por curva más inestable y un cambio de las sensaciones transmitidas por la suspensión producidas por los desniveles de la calzada. Por estas razones el conductor tendrá que adaptar la conducción a las características del vehículo en el momento de conducir.



5 PRESUPUESTO

ELEMENTO	MARCA	CANTIDAD	COSTE	TOTAL
Kit eléctrico modelo Aragón 513	Enganches Aragón	1 unidad	115 euros/unidad	115
Bola enganche Volkswagen Golf VII	Enganches Aragón	1 unidad	177 euros/unidad	177
Tornillos	RS PRO	8 unidades	0,4824 euros/unidad	3,9
Arandelas	RS PRO	8 unidades	0,0300 euros/unidad	0,24
Tuercas	RS PRO	8 unidades	0,0338 euros/unidad	0,27
Pletinas	-	8 unidades	25 euros/unidad	200
Mecanizado del material	Taller	1 hora	50 euros/hora	50
Ensamblaje del sistema de enganche	Taller	1,5 horas	50 euros/hora	75
Montaje del sistema de enganche	Taller	0,5 horas	50 euros/hora	25
Informe de conformidad	-	-	200	200
Homologación del sistema de enganche	-	-	36	36
Portabicicletas	Thule	1 unidad	734,95 euros/unidad	734,95
TOTAL				1557,36 euros

6 ANEXOS

6.1 DOCUMENTACIÓN DEL VEHÍCULO

6.1.1 PERMISO DE CIRCULACIÓN

DESCRIPCIÓN DE LOS CÓDIGOS (DESCRIPCIÓ DELS CODIS)	
A	Número de matriculación
B	Fecha de primera matriculación
C.1.1	Apellidos o razón social
C.1.2	Nombre
C.1.3	Domicilio
C.4	(c) No está identificado en el permiso de circulación como propietario del vehículo
D.1	Marca
D.2	Tipo/Variante/Versión (si procede)
D.3	Denominación comercial
(D.4)	Servicio a que se destina
E	Número de identificación
F.1	Masa máxima en carga técnicamente admisible (en kg) (excepto para motocicletas)
F.2	Masa máxima en carga admisible del vehículo en circulación en España (en kg)
G	Masa del vehículo en servicio con carrocería, y con dispositivo de acoplamiento si se trata de un vehículo tractor de categoría distinta a la M1 (en kg)
H	Periodo de validez de la matriculación, si no es ilimitado
I	Fecha de matriculación a la que se refiere el presente permiso
(I.1)	Fecha de expedición
(I.2)	Lugar de expedición
K	Número de homologación (si procede)
P.1	Cilindrada (en cm ³)
P.2	Potencia neta máxima (en kW) (si procede)
P.3	Tipo de combustible o de fuente de energía
Q	Relación potencia/peso (en kW/kg) (únicamente para motocicletas)
S.1	Número de plazas de asiento, incluido el asiento del conductor
S.2	Número de plazas de pie (en su caso)



REINO DE ESPAÑA



MINISTERIO DEL INTERIOR
DIRECCIÓN GENERAL DE TRÁFICO

PERMISO DE CIRCULACIÓN

Свидетельство за управление	Registrazio liudžības
Ovvedění o registraci	Forgalmi engedély
Registrierungsschein	Certifikat sa Registracijom
Zulassungsbescheinigung	Kennzeichenbewijs
Registrierungsnummer	Dowód Rejestracyjny
Άδεια κυκλοφορίας	Certificado de matricula
Προσποιητικό Έγγραφο	Certificat de înmatriculare
Registration certificate	Ovvedění o evidenci
Tasas Clásificas	Prometno dovoljenje
Prometna dozvola	Reģistrācijotības
Carta di circolazione	Registrieringsbeviset
Registrijas apliecība	

COMUNIDAD EUROPEA

17-09890385

Ilustración 30: Permiso de circulación

A	3986KPG	E	WWZZZAAZFD903819
B	21-04-2015	F.1	1500
H	-----	F.2	1500
I	11-09-2018	G	1214
(I.1)	11-09-2018	K	-----
(I.2)	ALICANTE/ALACANT	P.1	-----
C.1.1		P.2	60.0
C.1.2		P.3	ELÉCTRICO - Batería (BEV)
C.1.3		Q	-----
C.4	c	S.1	4
D.1	VOLKSWAGEN	S.2	-----
D.2	AA / ABEABA / FA1FA1CZ0020GAVR0N1EVW		
D.3	UP		
(D.4)	PARTICULAR - SIN ESPECIFICAR		

OBSERVACIONES:
Documento válido si acompaña ITV en vigor
Próxima ITV: 11-09-2020
Kilometraje a fecha 11-09-2018: 17870
Consumo Wh/km: 0

Ilustración 31: Permiso de circulación

6.2 ANÁLISIS DE TENSIONES EN INVENTOR

Con el fin de comprobar la validez de los cálculos y el correcto funcionamiento del sistema de enganche, se ha utilizado el software de diseño mecánico Inventor. En él se ha modelizado el sistema de enganche a escala real y se ha realizado un análisis de elementos finitos.

La situación más desfavorable a la que se puede someter el enganche tipo bola es una frenada máxima cuando el vehículo esté tomando una curva y el sistema de enganche se encuentre montado y totalmente cargado. En esta situación el dispositivo de acoplamiento tendrá que hacer frente a tres fuerzas, por lo que se ha tomado esta situación como hipótesis para realizar el cálculo de las fuerzas que se han introducido en el programa para simular el funcionamiento del enganche tipo bola.

En la hipótesis previamente descrita, el sistema de enganche está sometido a una carga vertical en el eje Y producida por la masa del portabicicletas cargado, una carga longitudinal en el eje Z como consecuencia de una frenada máxima, y una carga en el eje transversal X como consecuencia de la aceleración centrípeta por estar tomando la curva.

Un vehículo normal, que no dispone de elementos aerodinámicos que ayuden a generar carga aerodinámica como por ejemplo los coches de Fórmula 1, son capaces de decelerar con una fuerza máxima de 1 g. En cuanto a su paso por curva, pueden soportar una fuerza de 0.3-0.4 g antes de alcanzar la velocidad límite de vuelco. Por último, verticalmente, las suspensiones como consecuencia de los desniveles y de la carga del vehículo podrán alcanzar valores de 1g.

Para simular el comportamiento del sistema de enganche se han tenido que calcular los valores de las fuerzas que actuarán sobre él. Para ello se han utilizado los valores descritos previamente, mayorando los valores de la fuerza lateral y vertical para estar del lado de la seguridad. La fuerza de frenada no se ha mayorado pues el vehículo no será capaz de ofrecer una fuerza de frenado mayor que ese valor. Estos valores son:

- Fuerza en X: 1 g.
- Fuerza en Y: 2 g.
- Fuerza en Z: 0,6 g.

Estas aceleraciones actúan sobre el centro de gravedad del dispositivo portabicicletas, y se transmiten a través de sus elementos estructurales a la bola del sistema de enganche.

El portabicicletas instalado sobre la bola pertenece a la marca Thule, y es el modelo VeloSpace XT 2. Este dispositivo presenta las siguientes características:

- Máx. número de bicicletas: 2 (3).
- Capacidad de carga: 60 kg.
- Peso máximo de la bicicleta: 30 kg.
- Dimensiones: 135 x 69 x 79 cm.
- Dimensiones plegado: 135 x 74 x 25 cm.
- Peso: 18,7 kg.

Conocidas las dimensiones del dispositivo portabicicletas se consideró que su centro de gravedad estaría aproximadamente en el punto ($X=34,5$, $Y=45$, $Z=67,5$) Estas medidas se han utilizado a la hora de calcular los momentos generados por las distintas fuerzas que actúan sobre el sistema de enganche.

Posee una fácil instalación, pues únicamente se tiene que colocar el dispositivo sobre la bola de enganche del vehículo de forma totalmente horizontal y bajar la manivela que ejercerá una presión repartida de forma proporcional en toda la superficie de la bola.

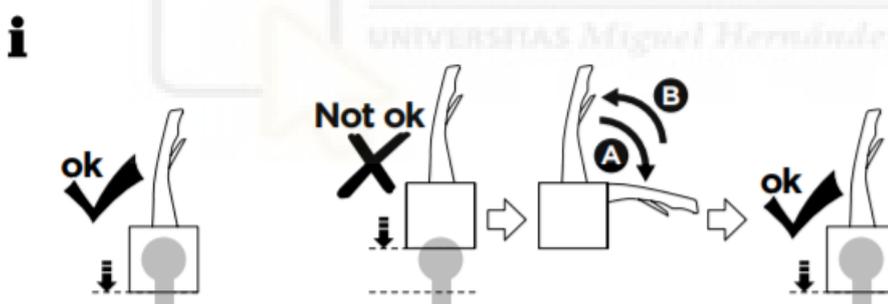


Ilustración 34: Cerradura del portabicicletas sobre la bola de enganche

(fuente: www.thule.com)

A la hora de cómo colocar las fuerzas en el software de diseño, como no se dispone del portabicicletas modelizado para poder colocar los diferentes esfuerzos sobre su centro de gravedad, se ha considerado que los esfuerzos actúan en los 3 ejes de la bola de enganche, pues es el punto de unión a través del cual se transmiten las inercias al sistema de enganche. Estos esfuerzos también producirán momentos, que se han calculado suponiendo que el centro de gravedad del dispositivo portabicicletas se encuentra en el punto ($X=34,5$, $Y=45$, $Z=67,5$).

6.2.1 CÁLCULOS Y CARGAS EN LOS EJES

6.2.1.1 EJE X

En el eje X, debido a que el vehículo en la hipótesis de partida está tomando una curva, se ha considerado una fuerza lateral en forma de aceleración centrípeta de 0,6 g. Sabiendo que el peso del portabicicletas cargado es de 40 kg:

$$a_x = 0,6 g = 9,8 \frac{m}{s^2} * 0,6 = 5,88 \frac{m}{s^2}$$

$$F_x = m * a_x = 40 kg * 5,88 \frac{m}{s^2} = 235,5 \frac{kg * m}{s^2} = 235,2 N$$

Esta aceleración tangencial también generará un momento debido a que la fuerza no se aplica directamente en los ejes del centro de gravedad de la bola de enganche, sino que se aplica en el centro de gravedad del portabicicletas que está a una distancia de 67,5 cm. Por lo tanto:

$$M_x = F_x * d = 235,2 N * 0,675 m = 158,76 N * m$$

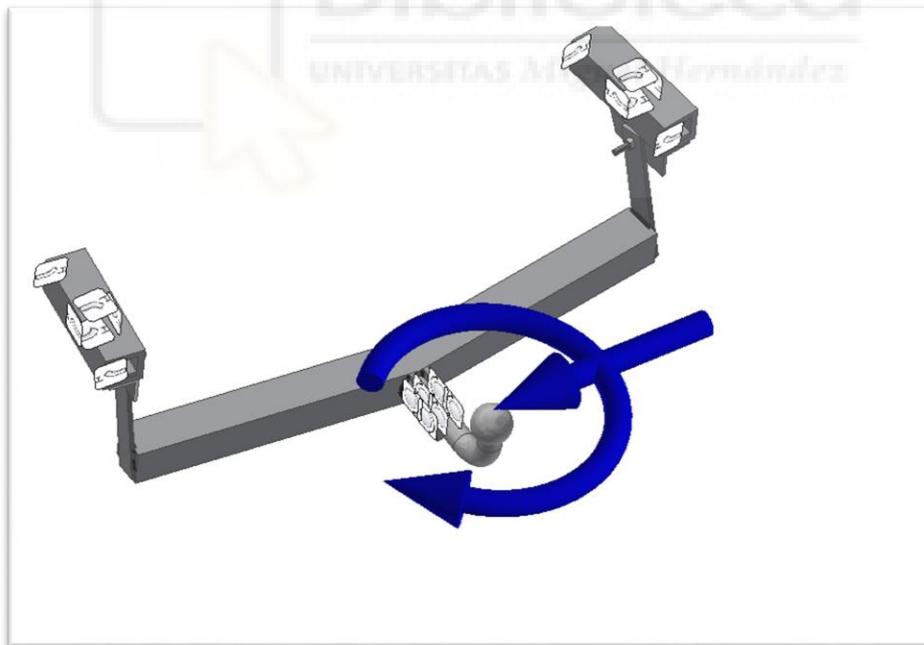


Ilustración 35: Fuerzas aplicadas en X sobre la bola (fuente: Inventor)

6.2.1.2 EJE Y

En el eje Y, sobre la bola de enganche el portabicicletas ejercerá una aceleración de 2 g en dirección vertical, resultando:

$$a_y = 2 g = 9,8 \frac{m}{s^2} * 2 = 19,6 \frac{m}{s^2}$$

$$F_y = m * a_y = 40 kg * 19,6 \frac{m}{s^2} = 784 \frac{kg * m}{s^2} = 784 N$$

También se producirá un momento debido a la distancia que existe entre el punto donde se aplica la fuerza y el centro de gravedad del punto de unión entre ambos.

$$M_y = F_y * d = 784 N * 0,675 m = 529,2 N * m$$

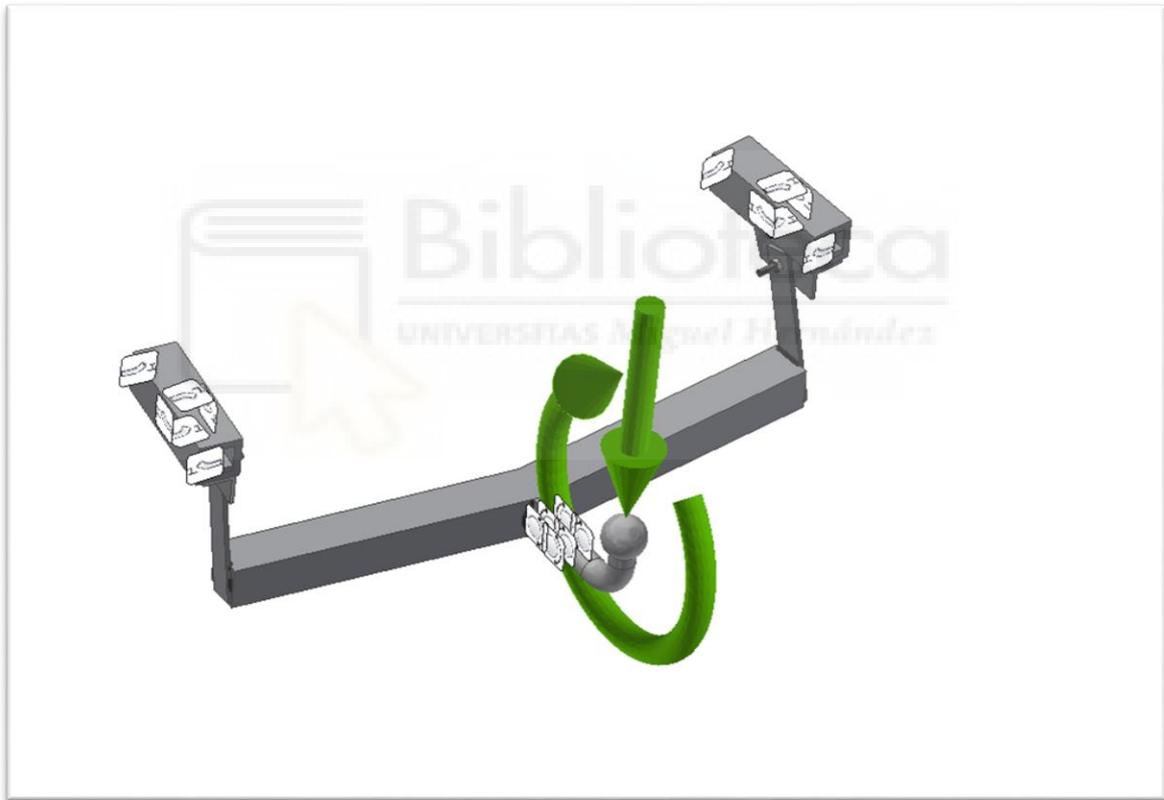


Ilustración 36: Fuerzas aplicadas en Y sobre la bola (fuente: Inventor)

6.2.1.3 EJE Z

En el eje Z, en dirección longitudinal, debido a la frenada máxima se ejercerá una deceleración de un 1 g, resultando:

$$a_z = 1 g = 9,8 \frac{m}{s^2} * 1 = 9,8 \frac{m}{s^2}$$

$$F_y = m * a_y = 40 kg * 9,8 \frac{m}{s^2} = 235,2 \frac{kg * m}{s^2} = 235,2 N$$

Esta fuerza producirá un momento pues el centro de gravedad de la bola está a una altura de la bola de 0,45 metros, por lo tanto:

$$M_z = F_z * d = 235,2 N * 0,45 m = 238,14 N * m$$

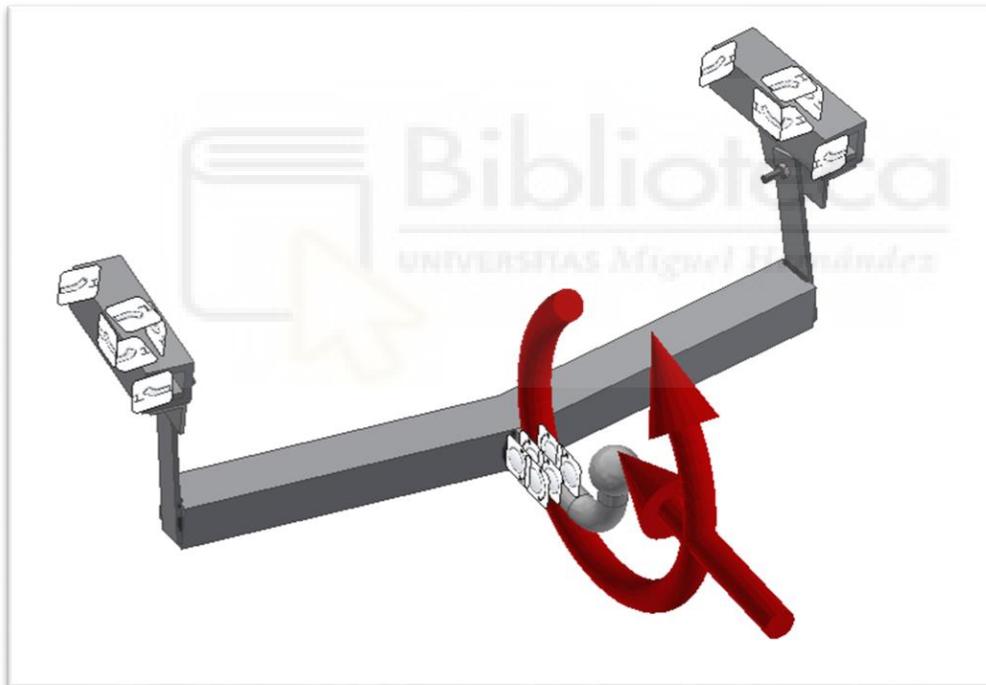


Ilustración 37: Fuerzas aplicadas en Z sobre la bola (fuente: Inventor)

A parte de las inercias a la que se verá sometido el sistema de enganche como consecuencia del portabicicletas, también generará inercias el peso propio del sistema de enganche. Estas inercias se han introducido en el software como el punto de gravedad. Se ha considerado un 1g en el eje Y, y 0,5 en el eje X y Z.

6.2.2 RESTRICCIONES

Se han considerado como partes fijas del ensamblaje los tubos cuadrados que son los tubos de la carrocería autoportante del vehículo. Además se han introducido restricciones de pasador tanto en los agujeros de la bola de enganche como en las pletinas.

6.2.3 RESULTADOS DEL ANÁLISIS

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	2439410 mm ³	
Masa	19,1494 kg	
Tensión de Von Mises	0,000000000000000524068 MPa	330,283 MPa
Primera tensión principal	-40,9815 MPa	355,308 MPa
Tercera tensión principal	-342,306 MPa	39,049 MPa
Desplazamiento	0 mm	1,5017 mm
Coficiente de seguridad	0,690071 su	15 su
Tensión XX	-73,2885 MPa	85,3955 MPa
Tensión XY	-44,5231 MPa	35,9342 MPa
Tensión XZ	-86,1716 MPa	81,9925 MPa
Tensión YY	-254,134 MPa	305,819 MPa
Tensión YZ	-136,171 MPa	161,092 MPa
Tensión ZZ	-273,731 MPa	309,468 MPa
Desplazamiento X	-0,17458 mm	0,00452936 mm
Desplazamiento Y	-0,00883065 mm	0,896883 mm
Desplazamiento Z	-1,36108 mm	0,0816754 mm
Deformación equivalente	0,0000000000000000000247876 su	0,00147376 su
Primera deformación principal	-0,000000389681 su	0,00170412 su
Tercera deformación principal	-0,0015006 su	0,0000000573601 su
Deformación XX	-0,000446273 su	0,000360811 su
Deformación XY	-0,000275619 su	0,000226788 su
Deformación XZ	-0,000533443 su	0,000507573 su
Deformación YY	-0,00123611 su	0,00144688 su
Deformación YZ	-0,000842965 su	0,00103663 su
Deformación ZZ	-0,00129061 su	0,00152166 su
Presión de contacto	0 MPa	307,276 MPa
Presión de contacto X	-103,476 MPa	150,978 MPa
Presión de contacto Y	-179,981 MPa	135,229 MPa
Presión de contacto Z	-231,176 MPa	227,839 MPa

Ilustración 38: Tabla de resultados de la simulación (fuente: Inventor)

- Desplazamiento:



Ilustración 39: Desplazamiento de la bola (fuente: Inventor)

- Tensión de Von Mises

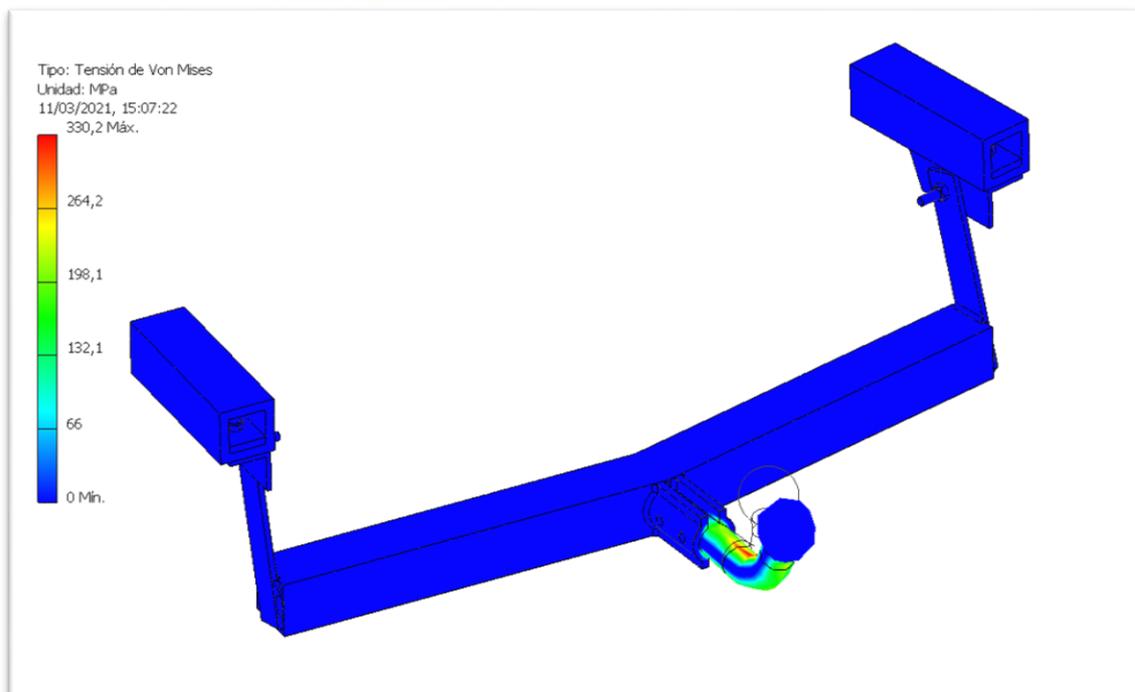


Ilustración 40: Tensión de Von Mises (fuente: Inventor)

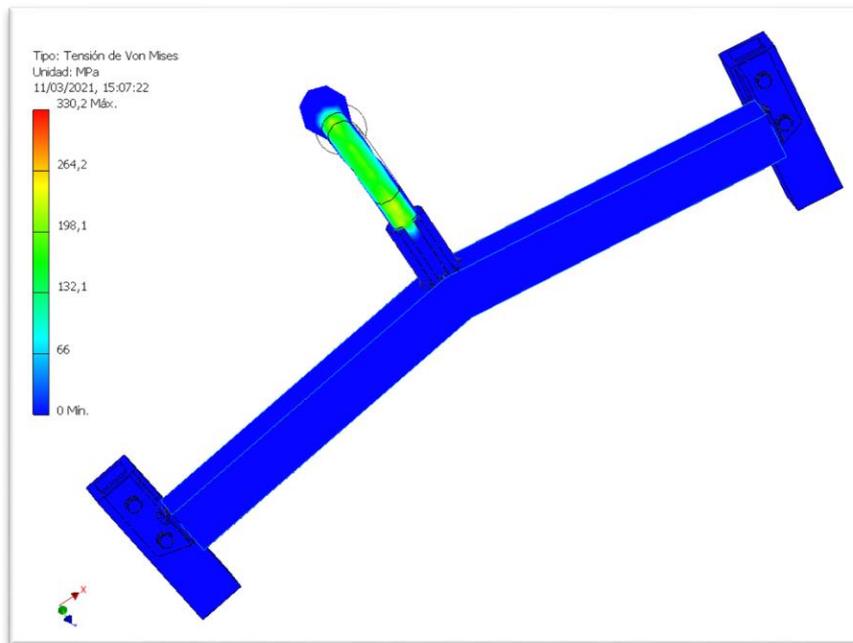


Ilustración 41: Tensión de Von Mises (fuente: Inventor)

- Primera tensión principal: Proporciona el valor de la tensión que es normal al plano en el que la tensión de corte es cero. La primera tensión principal ayuda a comprender la tensión de elasticidad máxima inducida en la pieza por las condiciones de carga.

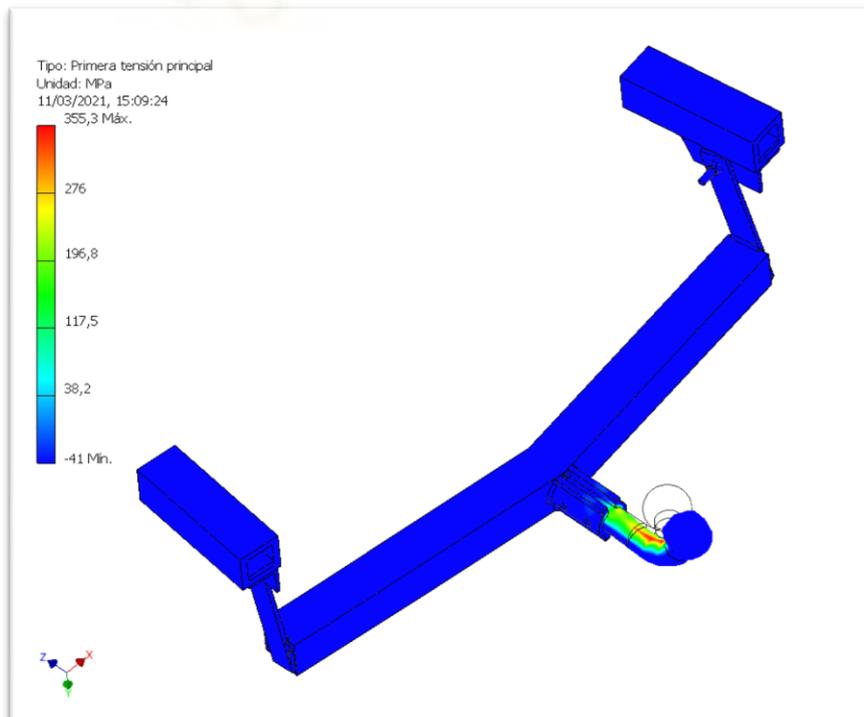


Ilustración 42: Primera tensión principal (fuente: Inventor)

- Tercera tensión principal: Tension que actúa en la dirección normal al plano en el que la tensión de corte es cero. Ayuda a comprender la tensión máxima de compresión inducida en la pieza por las condiciones de carga.

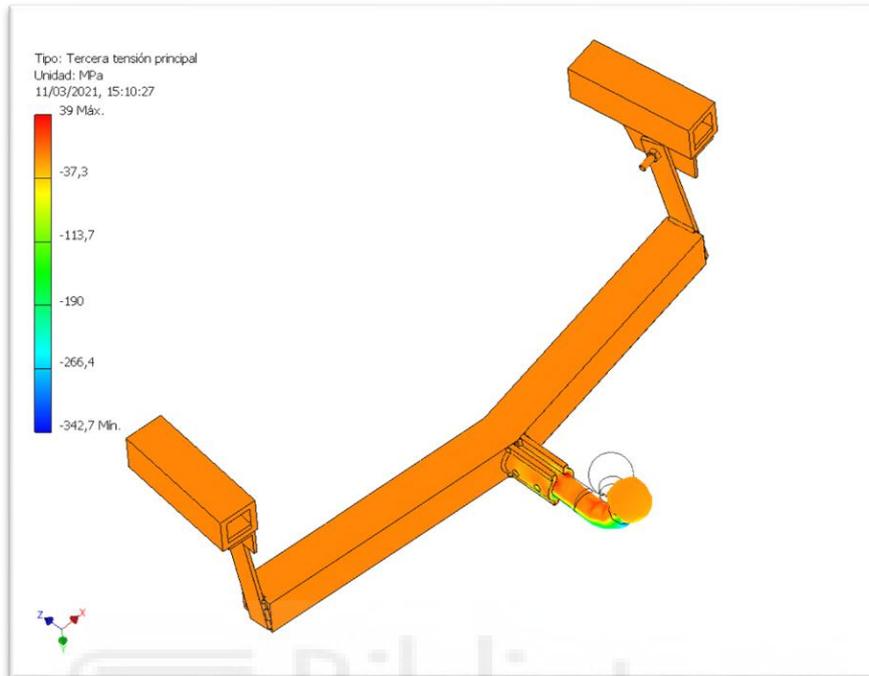


Ilustración 43: Tercera tensión principal (fuente: Inventor)

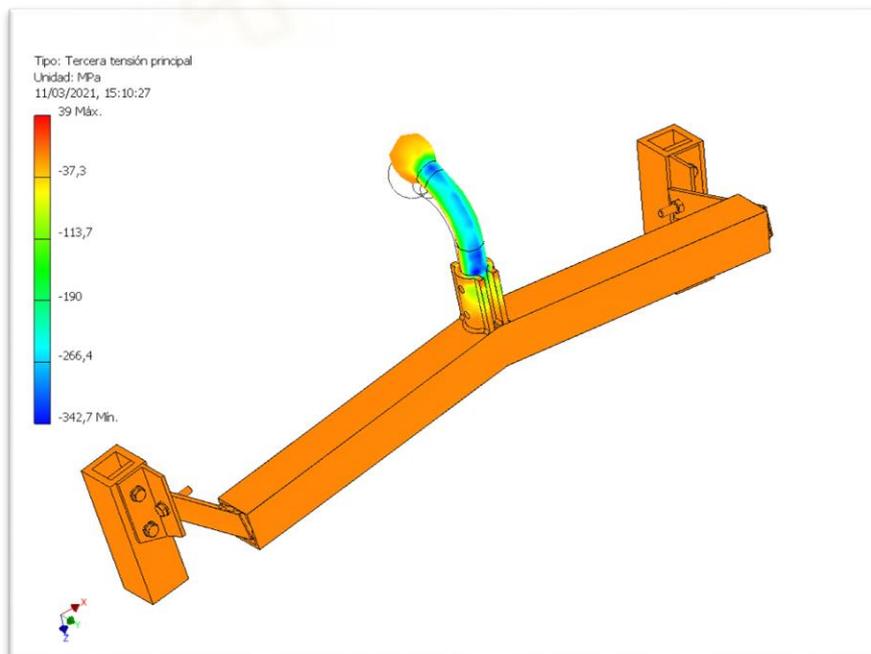
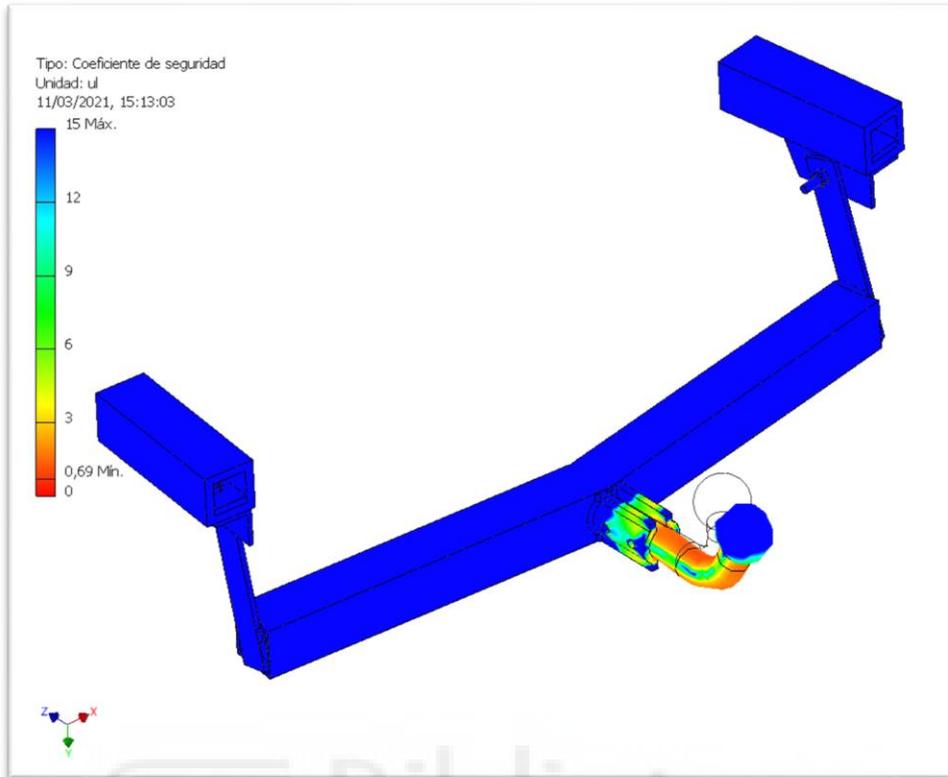
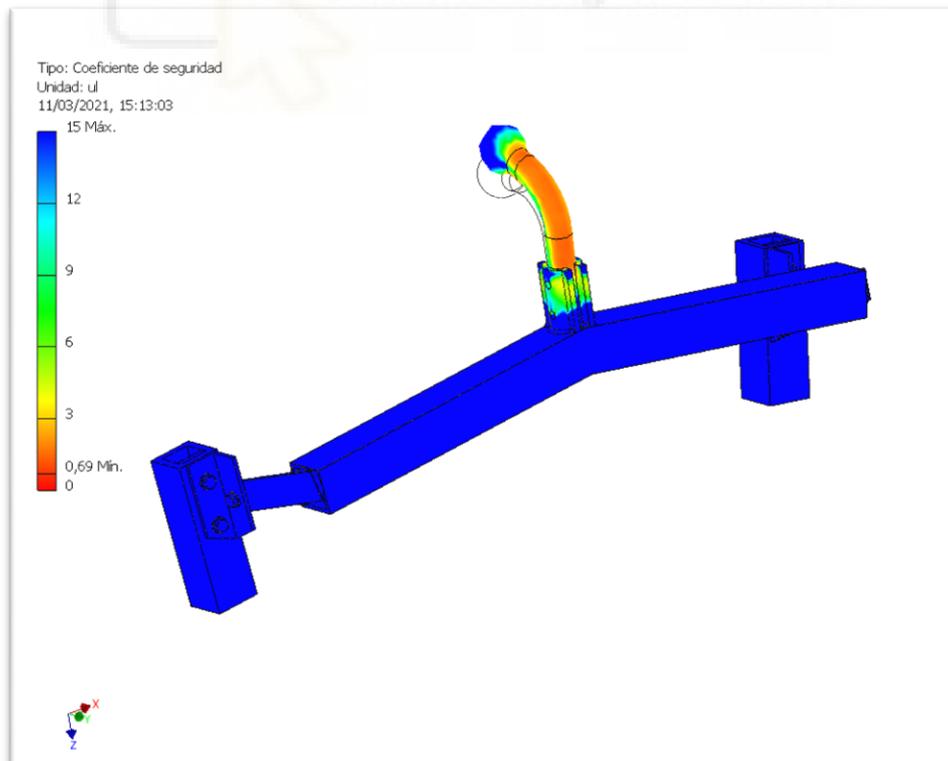


Ilustración 44: Tercera tensión principal (fuente: Inventor)

- Coeficiente de seguridad:



Ilustracion 45: Coeficiente de seguridad (fuente: Inventor)



Ilustracion 46: Coeficiente de seguridad (fuente: Inventor)

6.2.4 ANÁLISIS DEL RESULTADO

El sistema de enganche será capaz de soportar las fuerzas transmitidas por las inercias del dispositivo portabicicletas en la condición más desfavorable a la que puede ser sometido. Sin embargo, la bola de enganche aparte de sufrir deformación, llegando a desplazarse de su posición inicial 1,502 mm, podrá fallar debido a que su coeficiente de seguridad tiene un valor inferior a 1, por lo que se debería instalar una bola de enganche cuyo material fuera capaz de soportar esfuerzos mayores.

Los otros componentes que sufrirán pequeñas deformaciones serán las pletinas de unión entre la bola de enganche y el travesaño. El resto de los componentes no sufrirán ningún tipo de deformación.

En conclusión, el sistema de enganche, a excepción de la bola, es apto para el uso al que va a estar sometido, y los cálculos son correctos.

6.2.5 POSIBLES MEJORAS

Tras la construcción y el montaje del sistema de enganche nos dimos cuenta de que una de las partes más críticas del sistema es la unión entre la pletina soporte y la pletina de unión a la carrocería autoportante. Esto es así debido a que esta unión presenta únicamente un tornillo a cada lado, por lo que, en una frenada fuerte el tornillo podría perder par de apriete y el sistema podría empezar a pendular. La solución aportada para este problema es realizar una unión mediante dos tornillos a cada lado del sistema, rediseñando la pletina soporte. Esto evitaría que si alguno de los dos tornillos perdiera par de apriete el sistema pudiera pendular.

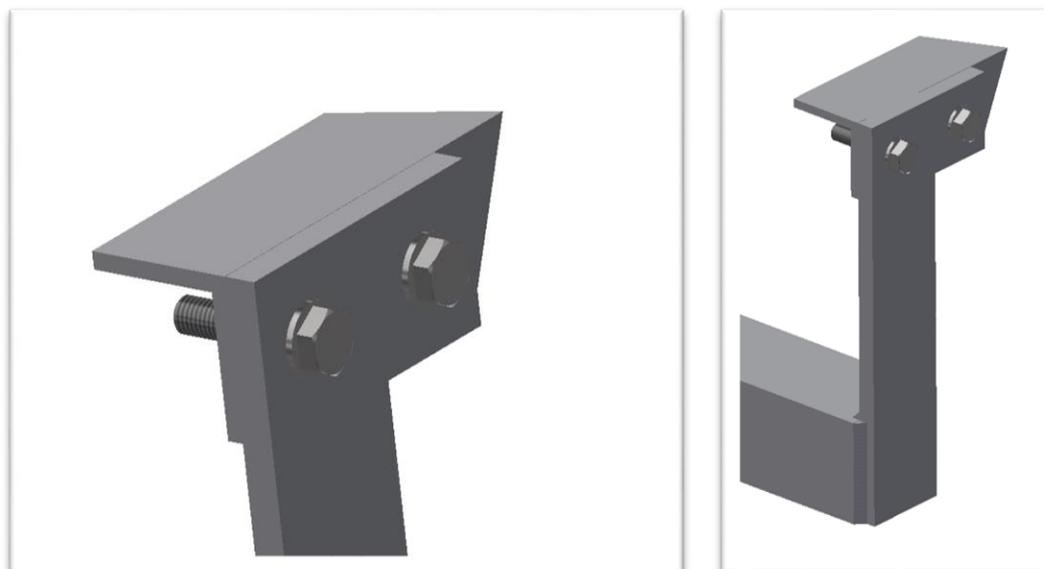


Ilustración 46- 47: Nueva pletina de unión a carrocería autoportante (fuente: Inventor)

Otra posible mejora que se ha considerado es colocar la pletina soporte totalmente recta y no inclinada, puesto que de esta manera se pueden realizar unos cordones de soldadura de mayor longitud, aportando mayor resistencia a la unión.

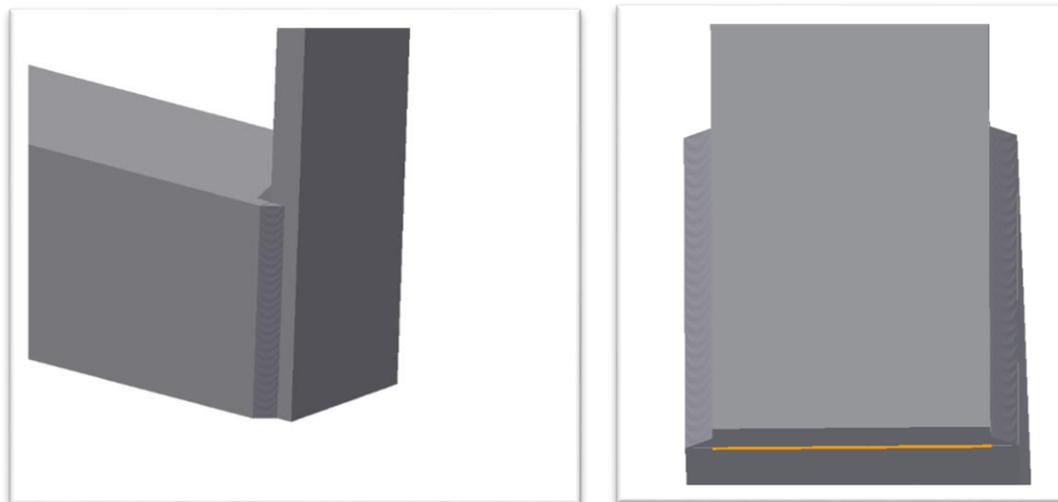


Ilustración 48 - 49: Nueva forma de soldar la unión entre la pletina soporte y travesaño
(fuente: Inventor)

7 BIBLIOGRAFÍA

Para el desarrollo del proyecto se han utilizado las siguientes páginas y fuentes de información:

- Enganches Aragón: <https://www.enganchesaragon.com/>
- Thule: <https://www.thule.com/es-es>
- Reglamento sobre masas y dimensiones:
<https://www.boe.es/doue/2012/353/L00031-00079.pdf>
- Libro “Diseño en ingeniería mecánica” de J.E.Shigley
- Apuntes de la asignatura “Diseño de estructuras y construcciones industriales” del cuarto curso de ingeniería mecánica.
- Apuntes de la asignatura “Ingeniería grafica” del tercer curso de ingeniería mecánica.
- Real Decreto 866/2010, de 2 de julio, por el que se regula la tramitación de las reformas de vehículos: <https://www.boe.es/buscar/pdf/2010/BOE-A-2010-11154-consolidado.pdf>

- Catálogo tipos de bola marca Bosal: <https://studylib.es/doc/8364025/directiva-para-ganchos-de-remolque-r55-calidad>
- Software de diseño mecánico Inventor.
- Manual de reformas de vehículos: <https://industria.gob.es/Calidad-Industrial/vehiculos/Documents/ManualReformasVehiculosRev5.pdf>
- Ilustraciones: www.auto10.com y www.oscaro.es

8 CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos, tanto a través de los cálculos como a través de la simulación con el software de diseño mecánico, se puede concluir afirmando que el dispositivo de acoplamiento diseñado cumplirá su función de forma efectiva.

El proyecto cumple con la normativa vigente para la reforma de un vehículo y por tanto, el dispositivo se podrá legalizar, homologándolo en una estación ITV, para circular por cualquier vía con la reforma realizada.

El desarrollo de este proyecto, a nivel personal, me ha ayudado a afianzar conocimientos de diferentes materias que han sido impartidas a lo largo de los cuatro cursos del grado. También me ha supuesto un reto, pues he tenido que adquirir nuevos conocimientos para poder resolver algunas cuestiones que se me han planteado en su ejecución.

Concluyo este proyecto agradeciendo la ayuda y el tiempo ofrecido por el director de este, Fernando Verdú Bernabéu, y a los profesores Miguel Sánchez Lozano y Francisco Irlés Mas.