Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial

Universidad Zaragoza

PROYECTO FINAL DE CARRERA

ANÁLISIS Y OPTIMIZACIÓN POR MEDIO DEL MEF DEL CONJUNTO DE PLETINA Y POTENCIA DE UNA BICICLETA DE DESCENSO DE COMPETICIÓN.

AUTOR
Rodrigo Carranza Ávila

DIRECTOR
Marco Carrera Alegre

CO-DIRECTOR
David Valladares Hernando

ESPECIALIDAD
Mecánica

CONVOCATORIA
Noviembre 2013

INDICE

1. Definición del Proyecto 4

1.1. Título del Proyecto 4

1.2. Resumen y objeto del Proyecto 4

1.3. Agradecimientos 5

2. Análisis del estado del arte 6

2.1. Descripción de la Potencia y Pletina en una bicicleta de descenso. 6

2.1.1. Tipos de Potencia 7

2.2. Dimensiones principales 9

2.3. Normativa Vigente 10

2.3.1. Ensayos según Norma UNE – EN 14766 11

2.3.1.1. Ensayo de Flexión Lateral 11

2.3.1.2. Ensayo de Flexión hacia adelante 12

3. Metodología y plan de trabajo 13

3.1. Planteamiento general del problema 13

3.2. El Método de Elementos Finitos 14

3.2.1.- Abaqus: programa elementos finitos 18

3.2.2. Patran 18

3.2.3. Abaqus 22

3.2.4. Abaqus viewer 23

3.3. Simplificaciones a tener en cuenta 23

4. Cálculo preliminar de la potencia y pletina del modelo inicial 25

4.1. Desarrollo de la geometría 25

4.1.1. Introducción 25

4.1.2. Verificación geométrica del modelo 31

4.2. Desarrollo de modelo de elementos finitos 35

4.2.1. Proceso de discretización 35

4.2.2. Materiales aplicados 39

4.2.3. Definición de Contactos 40

4.2.4. Precarga de los tornillos 42

4.3. Resultados obtenidos 44

4.3.1. Pruebas de Resistencia 44

4.3.2. Resultados Para el modelo inicial en Abaqus 45

4.3.2.1. Caso de Reposo 45

4.3.2.2. Caso de Flexión Lateral 46

4.3.2.3. Caso de Flexión hacia adelante 48

4.3.2.4. Resumen de resultados 51

4.3.3. Resultados obtenidos para el modelo inicial con Solid Works 52

4.3.3.1. Caso de Flexión Lateral. 53

4.3.3.2. Caso de Flexión hacia adelante 53

4.3.4. Comparación de Resultados y Coeficiente de Fiabilidad 54

5. Propuestas de optimización y mejora del modelo original 56

5.1. Consideraciones en cuanto a geometría 56

5.1.1. Altura y distancia del manillar 56

5.1.2. Determinación del ángulo de sujeción del manillar 57

5.1.3. Distancia de zona de sujeción. 57

5.1.4. Otras reducciones de material 58

5.2. Consideraciones de en cuanto a materiales 59

5.2.1. Materiales comúnmente utilizados 59

5.2.2. Tratamientos y acabados superficiales 63

5.2.3. Tratamiento térmico T6 64

5.3. Métodos de fabricación 65

5.4. Ventajas y desventajas de los tornos CNC frente a los convencionales 66

5.5. Consideraciones en cuanto a Tornillos 67

6. Rediseño y Optimización del Modelo Inicial 71

6.1. 1er Prototipo 72

6.2. 2do Prototipo 74

6.3. 3er Prototipo 76

6.4. 4to Prototipo 78

6.5. 5to prototipo 81

6.6. 6to Prototipo 83

6.7. Análisis de rebajes adicionales 85

6.7.1. Rebajes en tapas 85

6.7.2. Rebajes en abrazaderas laterales 86

6.8. Prototipo Final.....87

6.8.1. Resultados obtenidos para el modelo final con Solid Works..... 87

7. Análisis de Modelo Final con Abaqus 90

7.1. Mallado 90

7.2. Resultados para el modelo final con Abaqus.....92

7.2.1. Caso de Reposo..... 92

7.2.2. Caso de Flexión Lateral 92

7.2.3. Caso de Flexión Frontal..... 96

7.2.4. Comparación de Resultados y Coeficiente de Fiabilidad..... 102

8. Conclusiones del estudio 103

9. Presupuesto..... 106

10. Prototipado Rápido..... 108

10.1. Introducción al Prototipado Rápido 108

10.2 Descripción del proceso 109

10.3. Modelo obtenido.....110

11. Conclusiones finales 112

13. Bibliografía 113

INDICE DE IMÁGENES Y TABLAS 114

ANEXOS 117

Indice de ANEXOS 118

1. DEFINICIÓN DEL PROYECTO

1.1. TÍTULO DEL PROYECTO

ANÁLISIS Y OPTIMIZACIÓN DEL CONJUNTO DE PLETINA Y POTENCIA DE UNA BICICLETA DE DESCENSO ORIENTADO A LA COMPETICIÓN.

1.2. RESUMEN Y OBJETO DEL PROYECTO

Este proyecto tiene como objetivo el diseño de una potencia de bicicleta que acople el manillar directamente a las barras de la horquilla para su utilización profesional en competiciones en disciplina de descenso.

A diferencia del tradicional acople utilizado para la sujeción y transmisión de movimiento del manillar a la horquilla, la pieza diseñada vendrá a reemplazar tanto a la potencia como la pletina superior.

De esta manera se aumentaría la rigidez del conjunto, se ahorraría material y peso eliminando los excesos, se disminuirían las uniones atornilladas y se daría al piloto mayor control y precisión a la hora de conducir. Además mantendrá la dirección centrada sin necesidad de revisión de los tornillos y se intentará mantener el manillar a un nivel bajo para el aprovechamiento de la mayor estabilidad posible.

El estudio realizado supondrá la ejecución de tareas numéricas de cálculo y simulación basadas en el método de los elementos finitos, capaces de reproducir el comportamiento de la estructura analizada ante los casos de carga aplicados, los cuales se realizarán de modo que proporcionen información del estado de deformaciones y tensiones existentes en cada uno de los componentes de la estructura sometidos a ensayo.

Por último, y partiendo de los resultados obtenidos numéricamente, se procederá a la optimización del conjunto por medio del rediseño en una sola pieza que cumpla la labor de pletina y de potencia, llegando a un diseño más resistente respecto del inicial frente a las condiciones exigidas.

Se considerarán diferentes hipótesis de carga sobre el manillar que repercutirán en la potencia y pletina que se quiere diseñar. Se compararán los resultados obtenidos, y se supondrán los casos más desfavorables a la hora de dimensionar la pieza.

1.3. AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer en primer lugar el apoyo recibido de mi familia a lo largo de todos los años de estudios y formación, les debo todo lo que soy. Agradecer a mi novia y futura mujer, por su inquebrantable espíritu y aliento brindado, la culminación de este proyecto ha dependido en gran parte de ella.

Agradecer en segundo lugar la ayuda prestada por el director de proyecto, Marco Alonso Carrera Alegre, por la posibilidad que me ofreció de realizar este proyecto bajo su supervisión y sin cuya ayuda no habría sido posible.

Agradecer de forma especial la ayuda prestada en todo momento por David Valladares Hernando, sin cuya colaboración y dedicación continua, la realización del proyecto no podría haberse llevado cabo en tan corto periodo de tiempo.

Asimismo quería agradecer al profesor Jorge Santolaria Mazo por su tiempo y enseñanzas, a los becarios del área de transportes la ayuda prestada en el manejo de Patran, Abaqus y demás herramientas de cálculo y sin cuyas indicaciones este proyecto no podría haberse realizado en las mejores condiciones.

2. ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE

2.1. DESCRIPCIÓN DE LA POTENCIA Y PLETINA EN UNA BICICLETA DE DESCENSO.

El descenso o downhill es una disciplina de ciclismo que consiste en bajar por una pendiente de montaña señalizada, lo más rápido posible. Los corredores parten de uno en uno y los tiempos de bajada suelen estar entre 3 a 5 minutos.

Las bicicletas específicas para el descenso tienen como característica especial el poseer doble suspensión: delantera y trasera, frenos de disco así como también un cuadro extremadamente resistente y cubiertas más anchas para una estabilidad y agarre extra.

Esta modalidad es considerada como la más arriesgada de todas, es muy popular en los países donde posean altas montañas, principalmente donde se encuentren estaciones de esquí. En verano cuando la nieve se termina, comienza la temporada para el descenso.

La potencia, también llamado tija del manillar, une el manillar al cuadro de la bicicleta a través del tubo de dirección de la horquilla. La forma y el tamaño de la potencia determinan la posición del manillar.

Esta pieza es la encargada de transmitir la fuerza y movimiento de dirección del manillar a la rueda delantera y de manera contraria las reacciones de la rueda al manillar.

La pletina es una pieza rectangular que une las dos botellas de la suspensión delantera con el tubo de dirección de la horquilla. Los modelos de suspensiones de descenso utilizan dos pletinas, una por debajo del tubo frontal del cuadro y otra por encima, para dar mayor rigidez al conjunto. Teniendo una pletina por encima del tubo frontal era cuestión de tiempo que se desarrollaran potencias que en vez de estar unidas al tubo de la horquilla estuviesen directamente atornilladas a la pletina superior. Estas potencias se denominan potencias integradas, son más cortas y benefician al piloto con un mayor control de la bicicleta ya que soporta mucho mejor las situaciones de torsión en el eje vertical.

Figura 2.1: Pletina Rock Shox

2.1.1. TIPOS DE POTENCIA

Hay dos tipos básicos de potencia según la forma de unirla al cuadro: las de tipo roscado y las no roscadas, siendo este último tipo conocido como sistema “ahead”. Cada tipo es compatible con unos ciertos diseños de rodamientos y horquillas:

Potencia con rosca: el tradicional de los dos estilos de la potencia del manillar, en el que la potencia se inserta dentro de un tubo de dirección roscado el cual no se extiende por encima de tubo frontal. Este estilo ha sido desplazado como estándar en la industria de bicicletas deportivas, sin embargo, sigue siendo estándar en la mayoría de las bicicletas urbanas (independientemente de su precio), en las bicicletas deportivas económicas y en las bicicletas retro de gama alta. En este tipo de potencia, la medida habitual del tubo de la horquilla es de 1 pulgada (2,54 cm). La llave para el ajuste de la potencia con rosca al tubo frontal en la mayoría de las bicicletas es la de 32 mm, aunque en las bicicletas de montaña es habitual la de 36 mm.

Una ventaja de las potencias con rosca es la posibilidad de ajustar la altura del manillar, al existir un margen en la proporción del tubo de la potencia que va dentro de la horquilla de la dirección.

Potencia sin rosca: El tubo de la horquilla es totalmente liso, sin rosca alguna. La potencia es, en este modelo, una pieza cilíndrica de unos 10 cm que une el manillar con la horquilla y que puede desplazarse sobre el eje vertical de la horquilla para su

colocación a la medida del ciclista. Al apretar los tornillos de la potencia ésta abraza el tubo de la horquilla y la dirección queda «atrapada» en medio y bien sujeta.

Una vez colocada la potencia a la medida deseada, es habitual cortar el sobrante del tubo de dirección de la horquilla que queda por encima de aquélla por motivos de estética, impidiendo (a diferencia de lo que ocurre en los modelos roscados) la posibilidad posterior de ajustar el manillar. La medida del tubo de la horquilla más usada actualmente en este tipo de potencias es de 1-1/8 pulgadas (2,86 cm)

En los últimos 10 años el deporte ha evolucionado de tal forma que para los nuevos terrenos y formas de manejo es necesaria mayor rigidez y bajo centro de gravedad en el tren delantero, por lo que las potencias se han hecho cada vez más cortas y sin altura adicional, los manillares más anchos para proporcionar mayor estabilidad y control en terrenos abruptos. Las nuevas potencias van atornilladas a la segunda pletina del amortiguador, eliminando la necesidad de alinear el manillar con la rueda.

Figura 2.1.1.1: Potencia marca Funn

Los fallos se han presentado en su mayoría de casos en las potencias. A la hora de alguna caída o aterrizaje forzoso la potencia es sobrecargada con más fuerza de la que puede soportar. En las imágenes siguientes se presenta una demostración de roturas más comunes:

Figura 2.1.1.2: Fallos más comunes

2.2. DIMENSIONES PRINCIPALES

Como en todo diseño se está sujeto a dimensiones establecidas que se tomarán como referencia. Entre ellas cuentan el diámetro de los tubos de la horquilla, la distancia entre ellos y su posición con respecto al tubo de dirección. Se establecerá una diferencia de cota entre la sujeción de los tubos y la del eje.

La pieza irá acoplada a las barras de la horquilla y al tubo de la dirección por lo tanto estos diámetros y la distancia entre sus ejes son medidas que no se podrán modificar y se usarán de referencia para el re-diseño.

La presión de apriete en las barras del amortiguador producida por las sujeciones de la pletina es otro factor que se debe mantener en el prototipo. Las barras están estudiadas para trabajar y soportar esa presión al aumentarla se corre el riesgo de fisurar las barras. Por el contrario si se trabaja con una presión menor puede ser que la pletina no esté del todo sujeta y resbale con las barras, resultando en una pérdida de rigidez del conjunto.

2.3. NORMATIVA VIGENTE

El Real Decreto 2406/1985, de 20 de noviembre, por el que se declaran de obligado cumplimiento las especificaciones técnicas de las bicicletas y sus partes y piezas y su homologación por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo, establece el marco normativo de referencia en la materia.

A efectos del presente real decreto se consideran como normas armonizadas que dan presunción de conformidad, las siguientes:

- EN 14764:2005. Bicicletas de paseo. Requisitos de seguridad y métodos de ensayo.
- EN 14781:2005. Bicicletas de carrera. Requisitos de seguridad y métodos de ensayo.
- EN 14766:2005. Bicicletas de montaña. Requisitos de seguridad y métodos de ensayo.
- EN 14872:2006. Bicicletas. Accesorios para bicicletas. Porta-equipajes.
- UNE-EN 14765:2006+A1:2008. Bicicletas para niños. Requisitos de seguridad y métodos de ensayo,
- UNE-EN 15194:2009. Ciclos. Ciclos con asistencia eléctrica. Bicicletas EPAC.

Por lo tanto el desempeño de la pieza tratada en el presente proyecto será puesta a prueba mediante los ensayos establecidos en la Norma UNE EN 14764:2005 de bicicletas de montaña.

2.3.1. ENSAYOS SEGÚN NORMA UNE – EN 14766

El modelo inicial es comprobado según la Norma UNE-EN 14766 – Requisitos de Seguridad y métodos de ensayo para bicicletas de montaña.

Según esta norma la pieza en cuestión deberá cumplir con los 2 ensayos de la Potencia: Ensayo de Flexión Lateral y Ensayo de Flexión hacia Adelante, explicados a continuación.

2.3.1.1. Ensayo de Flexión Lateral

Se fija una barra de ensayo a la potencia y se aplica una fuerza vertical de 1000N a una distancia de 300mm del centro de la potencia. Después de aplicado no debe existir ninguna fisura ni rotura de la potencia y la deformación permanente medida en el punto de aplicación de la fuerza de ensayo y en sentido de la fuerza de ensayo no debe sobrepasar los 10mm.

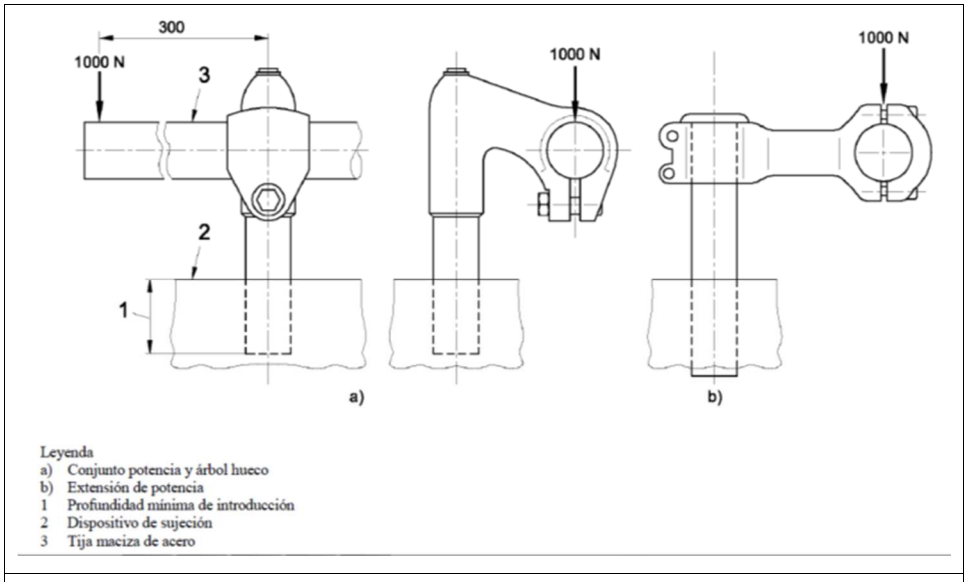


Figura 2.3.1.1: Ensayo de Flexión Lateral

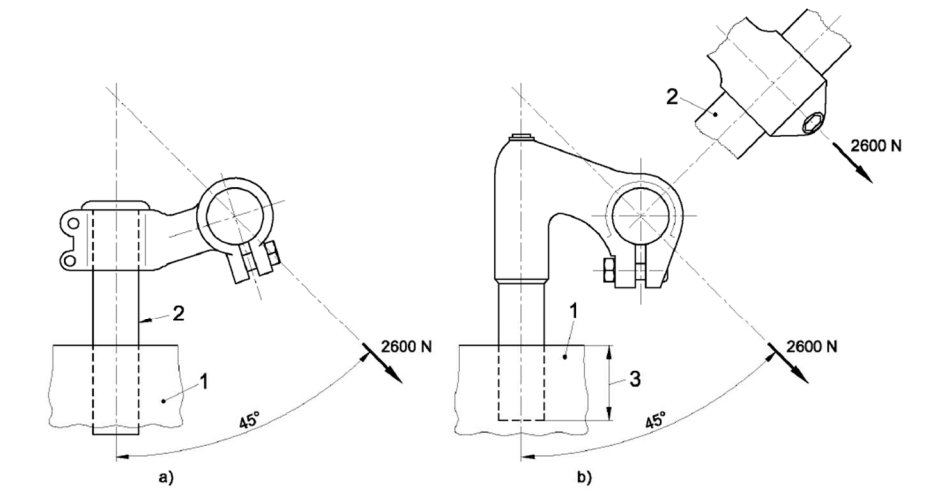
2.3.1.2. Ensayo de Flexión hacia adelante

Los requisitos son los mismos del caso anterior, no debe haber ninguna fisura ni rotura visible y la deformación permanente medida en el punto de aplicación de la fuerza de ensayo y en sentido de la fuerza de ensayo no debe sobrepasar los 10mm.

Este ensayo se efectúa en dos etapas sobre el mismo conjunto según el método indicado a continuación.

Etapa 1 : Se sujeta rígidamente el conjunto sobre una tija maciza de acero apropiada y se aplica una fuerza de 1600N en el nivel del punto de fijación del manillar hacia adelante y hacia abajo y a 45° en relación al eje de la barra de acero. Se mantiene esta fuerza durante 1min. Se suprime la fuerza de ensayo y se mide la eventual deformación permanente en el punto ya explicado.

Etapa 2: Con la misma fijación que en la etapa 1, se aplica una fuerza que aumenta progresivamente en el mismo punto y en el mismo sentido que en la etapa anterior hasta llegar a una fuerza de 2600 N o que la potencia ceda más de 50mm.



Leyenda
a) Extensión de potencia
b) Conjunto potencia y árbol hueco
1 Dispositivo de sujeción
2 Tija maciza de acero
3 Fuerza aplicada
4 Profundidad mínima de inserción

Figura 2.3.1.2: Ensayo de Flexión Frontal

Se utilizará los programas de elementos finitos para simularán estos ensayos y se tomarán algunas simplificaciones indicadas en el apartado 3.2.

3. METODOLOGÍA Y PLAN DE TRABAJO

3.1. PLANTEAMIENTO GENERAL DEL PROBLEMA

Como se ha citado anteriormente el presente proyecto consiste en el cálculo, diseño y optimización del conjunto de pletina y potencia de una bicicleta. Para este estudio se utilizarán tres entornos de software distintos: SolidWorks, Patran y Abaqus, el cual ofrece una gran variedad de aplicaciones y simulaciones que permitirán obtener resultados con gran precisión.

En la actualidad los sistemas de sujeción del manillar han evolucionado bastante inspirados en la tecnología del motocross. Los diseños son más voluminosos y resistentes, sin embargo todo exceso de material aporta también un exceso de peso que se transforma en un inconveniente en competiciones donde el ganador se lleva la victoria por décimas de segundo. Las marcas empiezan a darse cuenta de que cada gramo importa y el mercado se está enfocando en la ligereza y sistemas de bajo centro de gravedad.

En lo que se refiere a pletinas de amortiguador cada modelo es distinto dependiendo de la marca del amortiguador. Existen 3 grandes marcas que controlan el mercado del descenso. La que tiene actualmente el modelo más ligero y más utilizado en los campeonatos es la marca Rock Shox.

El conjunto de potencia y pletina sujeto a estudio se corresponde, por tanto, con los modelos que vienen por defecto para la horquilla de marca Rock Shox modelo Boxxer, la más empleada en las competiciones de descenso. La potencia es marca Funn modelo RSX Direct Mount, el que viene de serie conjuntamente con la horquilla.

La empresa fabricante, por razones privadas y de posible competencia, no ha aceptado colaborar con este proyecto y por lo tanto los datos pertenecientes a la geometría del eje se han obtenido experimentalmente con ayuda de un calibre digital, contrastando cotas verticales, horizontales y entre ejes para disminuir el rango de error y obtener una medida lo más certera posible. Se reproducirán las piezas mediante las herramientas de diseño que ofrece la plataforma de SolidWorks, como se detallará más adelante en capítulos posteriores.

Una vez modelado se procederá a realizar un primer análisis estático, aplicando sólo las fuerzas de precarga de los tornillos, para comprobar que el modelo responde adecuadamente y luego se procederá a los análisis de ensayos establecidos en la Norma UNE EN 14766, donde se obtendrán los resultados relativos a las tensiones y desplazamientos máximos para determinar la respuesta del conjunto y la satisfacción de la Norma.

3.2. EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

El Método de los Elementos Finitos (MEF) es un método numérico para la resolución de sistemas de ecuaciones diferenciales. Su desarrollo desde los años cincuenta hasta la actualidad ha sido constante y actualmente puede considerarse como el método numérico más extendido en la mayoría de los ámbitos de la ingeniería. Son muchas las facetas de la ingeniería en las que se precisa determinar la distribución de tensiones y deformaciones en un medio continuo elástico. Los casos particulares de dichos problemas pueden variar desde problemas bidimensionales de tensión o deformación plana, sólidos de revolución y flexión de placas y láminas, hasta el análisis más general de sólidos tridimensionales.

El MEF consiste en su formulación física en la división del dominio espacial, ya sea unidimensional, bidimensional o tridimensional en una serie de subdominios de geometría simple, a los cuales se le denomina elementos. Estos elementos se encuentran formados por una serie de puntos que definen su geometría y se denominan nodos. En el interior de cada elemento se interpola una función de desplazamientos que se formula en función de los valores de desplazamientos que existen en los nodos.

La forma de trabajo de estos elementos consiste en aplicar las ecuaciones de compatibilidad y comportamiento y obtener una relación entre la fuerza aplicada sobre los elementos y los desplazamientos de los nodos. Esta relación se expresa mediante la matriz elemental, la cual depende del número de nodos, situación de éstos, material utilizado, geometría de los elementos y tipo de problema.

Dependiendo del tipo de formulación del problema se determina si el problema es lineal (elasticidad lineal) o si es no lineal (grandes desplazamientos o deformaciones, comportamiento del material complejo)

A continuación se expresa el proceso de cálculo con el MEF:

- Planteamiento de continuidad de desplazamientos y equilibrio de fuerza entre elementos.
- Sistema de ecuaciones globales de la estructura
- Tipo de formulación inicial (lineal o no lineal)
- Resolución
- Obtención de los desplazamientos nodales (incógnitas básicas)
- Obtención de otras variables: deformaciones y tensiones

La aproximación de los elementos finitos no requiere la selección del tipo de ecuación que será usada para modelar la estructura. Los códigos disponibles en el mercado han definido previamente los elementos para los cuales la matriz de rigidez individual del elemento ha sido resuelta.

De esta forma, el usuario necesita definir únicamente el tipo de elemento. Una vez que el elemento ha sido definido el procedimiento es el siguiente:

1. Decidir la geometría requerida para modelar correctamente el problema.
   - 1D (cables, vigas)
   - 2D (tensión o deformación plana)
   - 2D axisimétrica (láminas y sólidos de revolución)
   - 3D (láminas y sólidos)

2. Seleccionar el tipo de elemento y formular la matriz de rigidez del elemento si se requiere:
   - Definir la matriz que relaciona las deformaciones del elemento con los desplazamientos nodales {B}
   - Definir la matriz de la ley constitutiva {D}

- Aplicar una rutina numérica cuadrática para evaluar la rigidez del elemento sobre el volumen del elemento, $\int_V \{B\}^T\{D\}\{B\}dv$

El MEF consiste en dividir un medio continuo en un número finito de partes cuyo comportamiento se especifica con un número finito de parámetros, pasando de un sistema con infinitos grados de libertad a otro con un número fijo, con similares propiedades físicas y geométricas, en el que las ecuaciones de equilibrio se pueden expresar mediante un sistema algebraico de ecuaciones simultáneas con un determinado número de incógnitas, obteniéndose la solución del sistema completo mediante el ensamblaje de las soluciones para cada elemento finito.

3. Discretizar la geometría en una malla.
   - Definir las localizaciones de los nodos de los elementos
   - Refinar el mallado en zonas de concentración de tensiones

4. Definir las propiedades locales del elemento.
   - anisótropo
   - isótropo
   - ortótropo

5. Siguiendo los pasos anteriores se obtiene la matriz de rigidez del elemento

6. Transformar la matriz de rigidez local del elemento en coordenadas globales

7. Obtener el ensamblaje de la matriz de rigidez superponiendo las matrices de rigidez globales de los elementos

8. Definir las condiciones de contorno aplicadas al sistema y formular el vector de fuerzas nodales {F} así como definir desplazamientos, nodos fijos, contactos, cargas, temperatura, etc.

9. Resolver el conjunto de ecuaciones algebraicas lineales resultante usando los métodos apropiados.

10. Resolver tensiones y deformaciones locales de elementos. Calcular tensiones y deformaciones en lámina y comparar con los criterios de rotura.

Una vez que se han establecido las características de los nodos o los elementos las ecuaciones individuales deben ensamblarse para formar un sistema global de ecuaciones que describa la respuesta general del sistema. Este ensamblaje da lugar a un conjunto de ecuaciones algebraicas lineales cuya forma básica es la siguiente:

$$[K]\{u\}=\{f\}$$

en donde:

[K] es una matriz (nxn) de rigidez del sistema;

{u} es un vector columna (nx1) que normalmente representa las deflexiones del sistema que son desconocidas

{f}, es un vector columna (nx1) que normalmente son las cargas aplicadas que son conocidas.

3.2.1.- ABAQUS: PROGRAMA ELEMENTOS FINITOS

Un programa de cálculo de Elementos finitos, sea cual sea el tipo de problema, tiene tres partes (o módulos) claramente diferenciadas.

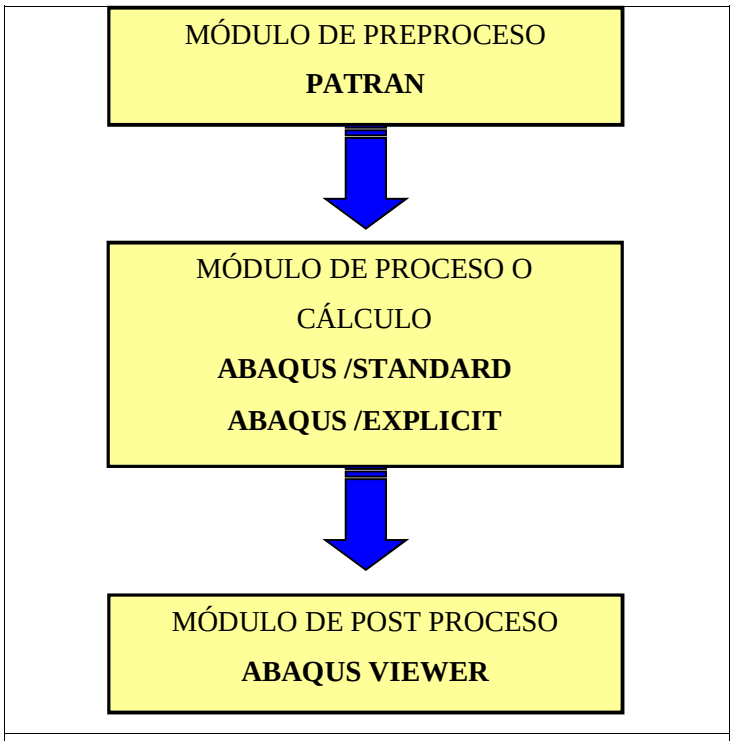


Figura 3.2.1: Partes de un Programa de Elementos Finitos

En letra negrita aparecen los nombres de los programas comerciales utilizados en cada uno de los módulos o partes.

A continuación se explican las características del programa comercial utilizado para la realización de este proyecto, en concreto del paquete de elementos finitos ABAQUS.

3.2.2. PATRAN

Patran es el módulo de Pre-proceso utilizado en este caso con salida a Abaqus, en él se define el elemento a estudiar y el tipo de discretización deseada para la resolución del problema. Para ello se siguen los siguientes pasos:

1. Geometría: El objeto a estudio se define su geometría por medio de coordenadas u otros elementos de ayuda auxiliar (rectas, circunferencia, etc.,..).
2. Discretización: Cada sólido que se quiere analizar se divide en nodos, en donde se consideran los grados de libertad del objeto a estudio, y elementos, los cuales forman la malla de nuestro estudio conectando los nodos. Es un apartado fundamental ya que en él se escoge el tipo de elemento con el cual se discretizará la estructura estudiada. Una vez escogido éste, existen diversas formas de realizar la malla completa, dependiendo de las necesidades. Ésta se podrá generar de forma automática, regulando ciertos parámetros o bien elemento a elemento. El tamaño de los elementos se escogerá en función de la precisión que se le quiera dar al modelo y las capacidades de cálculo de las que se dispone.

Abaqus posee una librería muy amplia de elementos que pueden ser utilizados dependiendo del tipo de geometría sobre la que se quiera efectuar el cálculo y de la precisión que se desea en el mismo dentro del propio elemento. Algunos elementos comunes se muestran en la siguiente figura.

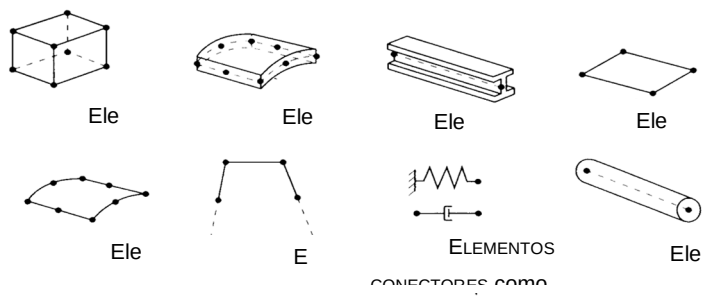
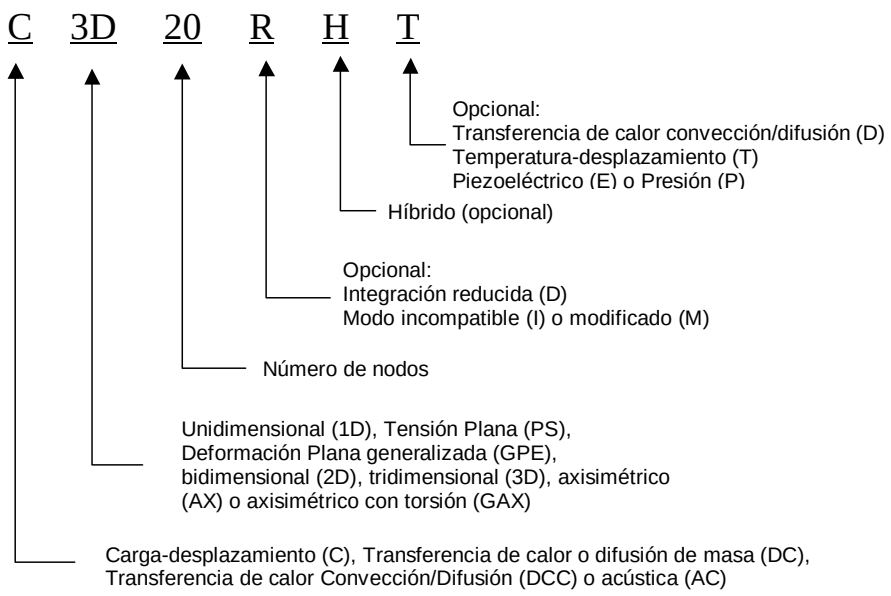


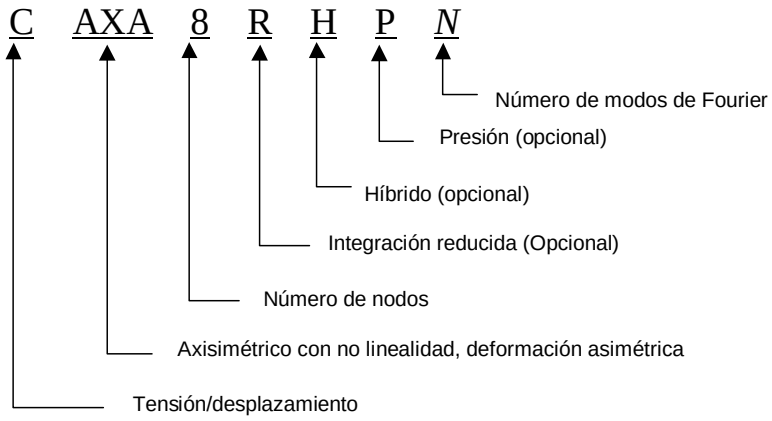
Figura 3.2.2: Tipos de Elementos

Abaqus tiene un criterio a la hora de nombrar los distintos elementos de su librería. A continuación se detalla la manera que tiene este programa de nombrar a los elementos.

Elementos unidimensionales, bidimensionales, tridimensionales axisimétricos.



Elementos axisimétricos con deformación no lineal asimétrica.



3. Materiales: Se define la característica del material del cual está hecho nuestro sólido (módulo elástico, coeficiente de dilatación, etc.). En Patran se puede introducir la curva del material (pares de valores tensión – deformación) con la precisión que se quiera (tantos pares de valores como se precise).
4. Cargas y condiciones de contorno: Por último se definen las cargas a las que está sometido el sólido, condiciones de apoyo en desplazamiento y contactos entre distintas superficies.

Una vez llegado a este paso la etapa en Patran ha finalizado pero antes éste prepara la información para ser enviada a la siguiente etapa, procesador o programa principal, e imprime o dibuja por pantalla de forma interactiva la geometría inicial y las condiciones para que sean verificadas por el usuario.

Posteriormente, deberá obtenerse un fichero de datos (input) en el cual se especifica todos los parámetros necesarios para, posteriormente, llevar a cabo el cálculo. Este fichero contiene la siguiente información:

- En primer lugar, aparece un listado de todos los nodos que forman parte del modelo y con las coordenadas espaciales de cada uno de pendiendo del sistema de referencia utilizado.
- A continuación, aparecen los distintos grupos de elementos existentes. Cado uno de los grupos se especifican de la siguiente forma: primero aparece un listado del conjunto de nodos que forman parte de dicho grupo (NSET) y, después, se enumera cada elemento detallando el conjunto de nodos que forma parte del mismo (ELSET).
- En el siguiente bloque se asigna a cada uno de los grupos el material correspondiente según las especificaciones dadas. Además, cuando se trata de elementos tipo lámina (SHELL) se especifica el espesor, el número de puntos de integración y el sistema de orientación de cada grupo de elementos.
- Después, se definen los materiales utilizados. En este bloque se especifica el nombre del material y las distintas propiedades asociadas a los mismos (densidad, módulo elástico, límite de rotura, etc.).
- Posteriormente, se define el tipo de cálculo que va a realizarse (en este caso estático).
- Por último, se especifican tanto las condiciones de contorno como las cargas aplicadas. En este caso aparece un listado de los nodos en los cuales se aplican las condiciones de contorno con sus correspondientes valores de restricción, y otro listado de los nodos en los que deben aplicarse las cargas con el correspondiente valor de las mismas.

Una vez obtenido y comprobado el fichero anterior, se realizará el proceso de cálculo en sí del modelo. En este caso, va a utilizarse el módulo de cálculo mediante elementos finitos Abaqus descrito a continuación.

3.2.3. ABAQUS

Es el bloque en donde se da lugar el cálculo, realizando éste por medio de la aplicación del método de elementos finitos a partir de la introducción e interpretación de los datos de la geometría, mallados, cargas, apoyo, contactos y material utilizados.

Este bloque no necesita ninguna interacción con el usuario y la manera de ejecutarlo es decirle por medio de un comando que fichero se quiere calcular. Una vez que se le ha ordenado la ejecución, el programa revisa el fichero obtenido del pre-proceso para obtener algún posible fallo de estructura de datos y si no hay errores da paso a la etapa de cálculo.

Abaqus posee dos tipos de cálculo diferenciados que son los siguientes:

Abaqus/Standard. Corresponde con el método general de cálculo estático del programa. Es el más ampliamente utilizado en el cálculo de geometrías y permite calcular el comportamiento mecánico en cuanto a tensiones y deformaciones de cualquier estructura que le sea introducida y en cualquier dirección. En este módulo de cálculo se obtienen los resultados aplicando la teoría del Método de los Elementos Finitos mediante integración implícita, lo que implica mayor gasto computacional pero también mayor precisión.

Abaqus/explicit. Corresponde con el otro módulo de cálculo convencional de ABAQUS y está desarrollado con una estructura completamente vectorizada para su utilización en supercomputadores. El análisis dinámico con explicit está basado en la implementación de una regla de integración explícita junto con el uso de elementos de la diagonal de la matriz de masa. Permite el cálculo de cualquier estructura sometida a cargas dinámica en el tiempo.

3.2.4. ABAQUS VIEWER

Este bloque es el encargado de presentar la información obtenida durante el cálculo. Los módulos de cálculo, en este caso ABAQUS, escriben los resultados del cálculo en unos fichero de texto los cuales recogen toda la información por nodo y elemento pudiendo saber de esta manera los desplazamientos de los nodos, mapas de tensiones o deformaciones, deformada de la estructura, etc.

Como el usuario no puede manejar de forma efectiva todo este volumen de datos es en este momento cuando intervienen los post-procesadores. Éstos representan de una forma gráfica todos los resultados obtenidos en el cálculo, pudiendo así obtener los resultados pedidos mediante una gradación de tonalidades y colores, y realizar a su vez vistas de cualquier ángulo posible.

3.3. SIMPLIFICACIONES A TENER EN CUENTA

Se realizará el estudio del modelo inicial teniendo en cuenta algunas simplificaciones con el objetivo de analizar únicamente las tensiones y deformaciones en las secciones críticas del mismo, simplificar el proceso de los ensayos en la medida de lo posible, siempre del lado de la seguridad. Asegurando que los resultados obtenidos con estas simplificaciones sean más desfavorables que los que pudiesen ser obtenidos sin ellas.

A continuación se enumeran las simplificaciones llevadas a cabo:

1. El conjunto no estará sometido a momentos de torsión, por lo que se despreciará la flexión de las barras laterales y barra de manillar. Estas serán consideradas como elementos rígidos

2. La Norma UNE-EN 14766 indica que ambos ensayos, tanto el de flexión lateral como el de flexión hacia adelante, deben realizarse manteniendo la fuerza durante 1 minuto y medir luego la deformación una vez

suprimida la fuerza. En el presente estudio no se supondrá un tiempo de aplicación de carga sin embargo la deformación producida se medirá con la fuerza actuando sobre el ensamblaje, está deformación será mayor a la indicada en la Norma UNE y ésta será una simplificación que ahorrará tiempo en el análisis y supondrá mayor seguridad del modelo final en el cumplimiento de la norma.

3. En la segunda etapa del ensayo de flexión hacia adelante se aplicarán los 2600N instantáneamente en vez de progresivamente como indica la Norma. Al igual que en el caso anterior esto supondrá un ahorro de tiempo y producirá resultados más perjudiciales puesto que una fuerza aplicada de forma instantánea es más perjudicial que la misma aplicada progresivamente.

4. La norma UNE-EN 14766 señala que las pruebas de fatiga, en el conjunto de piezas de la dirección, deben realizarse sobre el manillar puesto que es éste el más propenso a sufrir roturas o fisuras por fatiga. Por lo tanto se despreciará la fatiga a la que pudiese estar sometido el conjunto de potencia y pletina debido a la existencia de una pieza con mayor probabilidad de fallo por este esfuerzo.

4. CÁLCULO PRELIMINAR DE LA POTENCIA Y PLETINA DEL MODELO INICIAL

4.1. DESARROLLO DE LA GEOMETRÍA

4.1.1. INTRODUCCIÓN

Como modelo de partida este estudio se basará en la pletina y potencia que viene por defecto para la horquilla de marca Rock Shox modelo Boxxer, la más empleada en las competiciones de descenso. La potencia es marca Funn modelo RSX Direct Mount.

Se introducirán los datos de la pletina y de la potencia en Solid Works para crear un modelo informático sobre el que se realizara un primer estudio de resistencia y fatiga.

Se empleará para el análisis el diseño del conjunto completo de dirección incluyendo la potencia, el manillar, las pletinas superior e inferior y las barras de la horquilla. De esta manera se podrá visualizar mejor el conjunto sin embargo se simulará una situación de similares condiciones para el análisis. Todas estas piezas están diseñadas para acoplarse mediante uniones atornilladas con un torque de apriete específico determinado para cada unión.

Se ha optado por realizar el estudio en tres entornos distintos utilizando así las plataformas de Solid Works, Patran y Abaqus. Se modelarán las piezas en Solid Works, se incorporarán las condiciones de trabajo en Patran y se utilizará Abaqus para el análisis del modelo.

Se empezará por dibujar en Solid Works la pletina superior y comprobar cada detalle de geometría para que el modelo se asemeje lo más posible al original. Se respetarán las dimensiones limítrofes del diseño como son la distancia entre las barras laterales y la central. El resto de medidas se tomarán sobre la pieza original empleando un micrómetro digital con tolerancia de +/-0.01mm.

A partir de las medidas tomadas se creará el modelado en Solid Works.

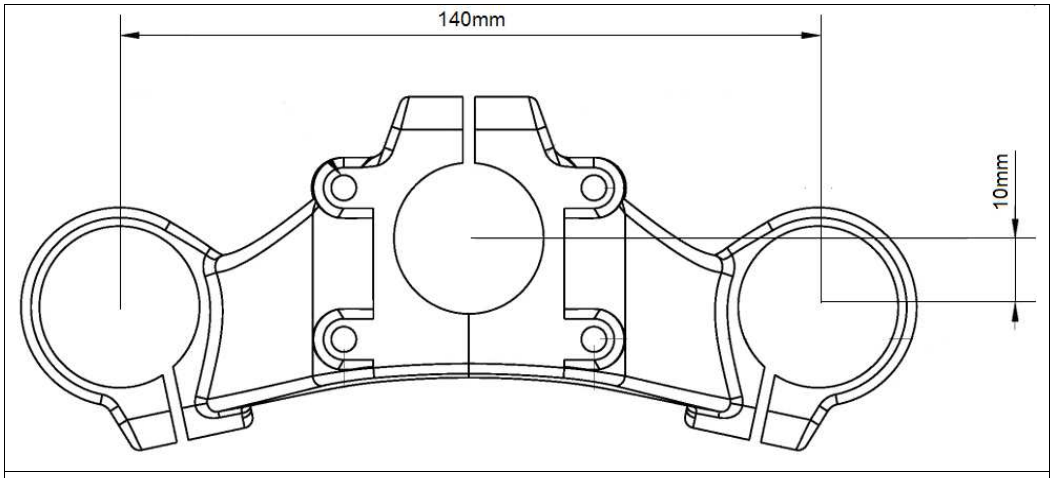
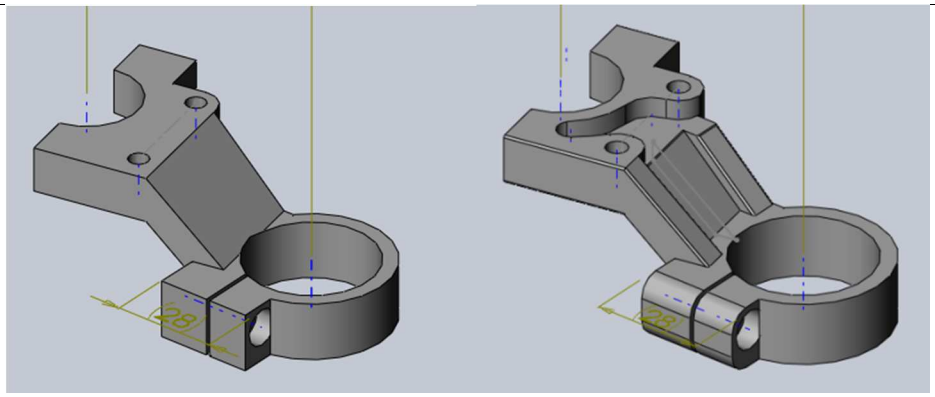
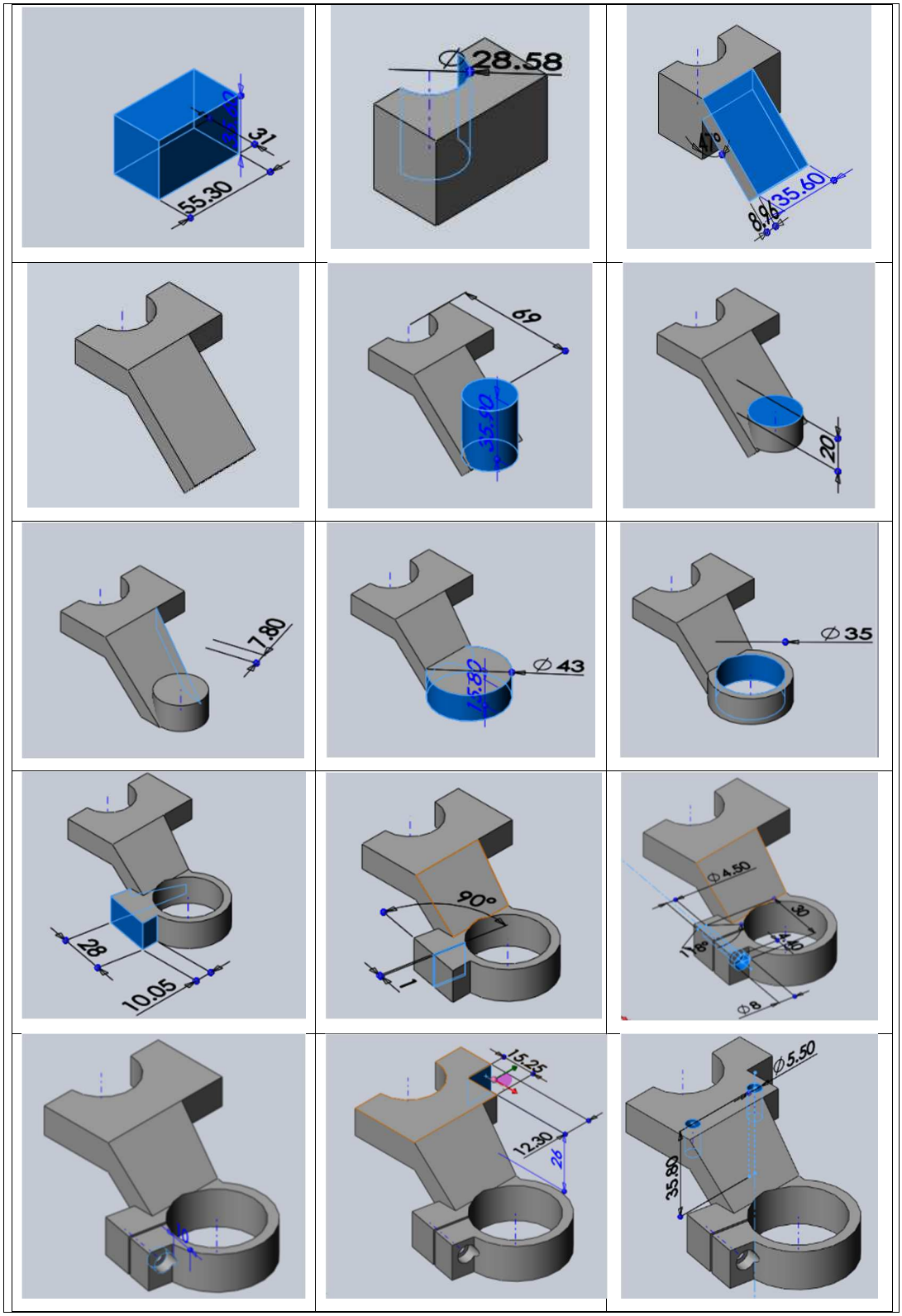


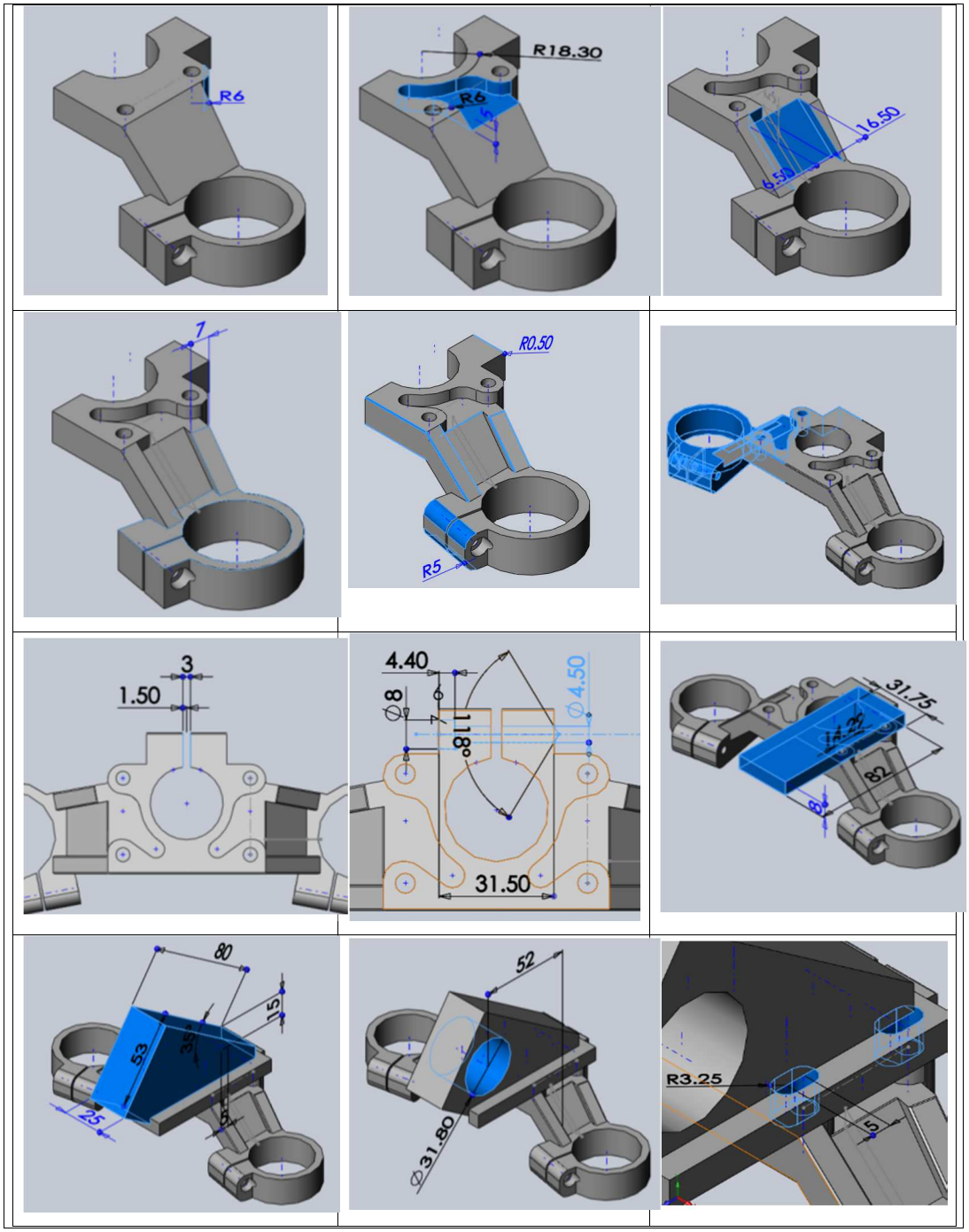
Figura 4.1.1.1: Referencia de sujeciones

A continuación se muestra gráficamente el proceso de modelado de las piezas iniciales. Todas las medidas han sido tomadas de las piezas originales contrastando su geometría con otras cotas de la pieza.

Se ha realizado los redondeos pertinentes en las mismas zonas que las piezas físicas.




31
55.30
∅28.58
47°
35.60
8.96
69
35.50
20
7.80
∅43
15.80
∅35
28
10.05
90°
1
∅4.50
∅8
15.25
12.30
26
∅5.50
35.80


R6
R18.30
R6
16.50
6.50
7
R0.50
R5
3
1.50
4.40
⌀8
118°
⌀4.50
31.50
31.75
14.20
82
80
15
53
35
25
52
⌀31.80
R3.25
5

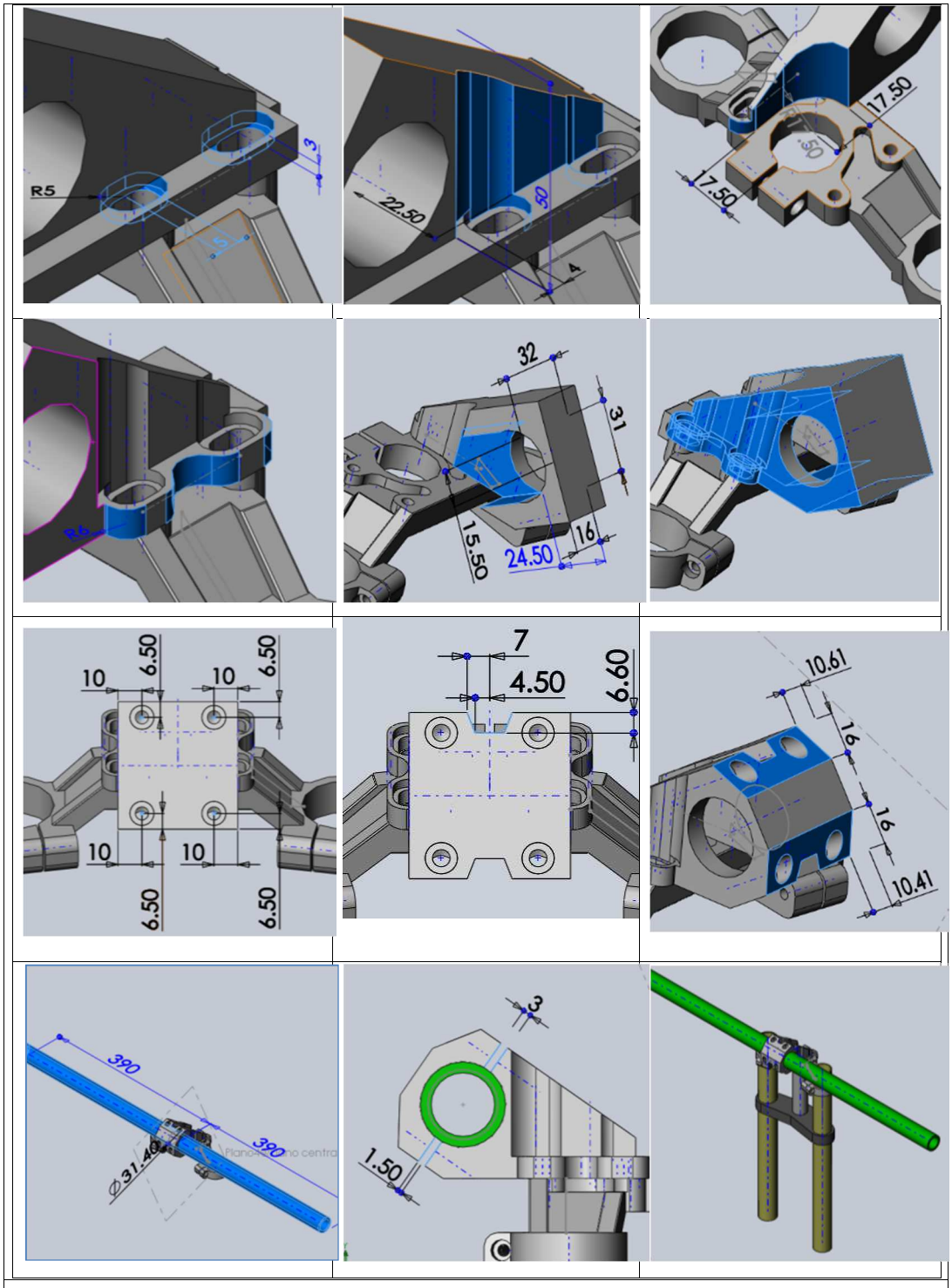


Figura 4.1.1.2: Elaboración de las piezas paso a paso

El modelo cuenta con 3 uniones atornilladas:

- Tapa a cuerpo de la potencia - 4 tornillos M6
- Cuerpo de potencia a base de la pletina - 4 tornillos M6
- Sujeciones laterales y central de la pletina - 3 tornillos M4

Los tornillos del modelo cumplen la geometría de establecida para tornillos Allen DIN 912. Sin embargo para el modelado no se utilizarán las medidas de diámetros nominal y de rosca de la norma sino el diámetro resistente equivalente.

Se denomina área resistente de la rosca:

$$A_R = \left(\frac{d_3 + d_2}{2}\right)\frac{\pi}{4}$$

de donde se puede calcular el diámetro equivalente.

	Diámetro Nominal (mm)	Área resistente (mm^2)	Diámetro Resistente Equivalente (mm)
Tornillo M4	4	8.78	3.34
Tornillo M6	6	20.1	5.06

Tabla 4.1.1: Diámetro Resistente Equivalente de los tornillos

4.1.2. VERIFICACIÓN GEOMÉTRICA DEL MODELO

Para verificar la similitud entre el modelo de pieza desarrollado y el real se compararán los pesos de ambos, es decir, el obtenido por medición en balanza y el proporcionado por el programa de modelado. El material es aleación de aluminio 6061-T6 con una densidad de 0,002698 gr/mm3. Insertando este dato en propiedades del material (Aluminio) se obtiene un peso muy similar al real.

Figura 4.1.2.1: Dato de la Densidad

Se comprobará el peso de la pletina y potencia por separado y posteriormente el ensamblaje completo.

1. Pletina :

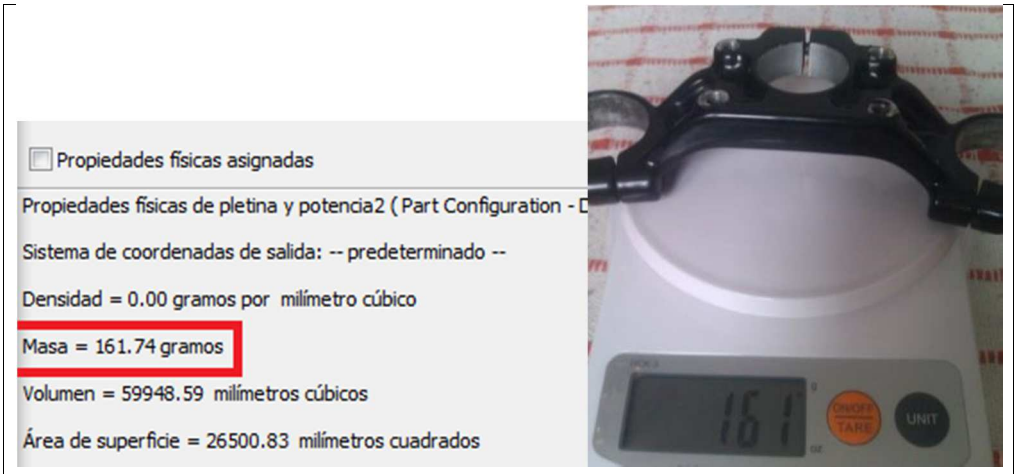


Figura 4.1.2.2: Comprobación de Pletina

Se continuará con la potencia considerando los detalles constructivos de rebajes de material y comprobando nuevamente la similitud con el peso del modelo y pieza real. Debido a que los tornillos de la pieza original son de acero no se tendrán en cuenta para la validación de la masa.

2. Potencia :

Figura 4.1.2.3: Comprobación de Potencia

El peso real de la potencia, restando el peso de los tornillos, es muy cercano al que indica el modelo, tan sólo 3 gramos de diferencia. Se confirma de esta manera una buena replica de geometría de la potencia

3. Conjunto entero

Figura 4.1.2.4: Comprobación del conjunto entero

De no haber tenido en cuenta la diferencia de material que supone el acero de los tornillos y su peso se hubiese caído en un error de, aproximadamente, 23 gramos.

Esta comprobación es indispensable para conseguir posteriores resultados fiables. El **peso del modelo inicial** es de **363gr**.

En la siguiente tabla se muestra una comparación de peso entre el modelo y la pieza real.

	Peso Modelo (gr)	Peso Real (gr)
Pletina	161.74	161
Tapa y cuerpo de potencia	154.69	153
Conjunto entero	315.46	311

Tabla 4.1.2: Comparación de peso

Se aprecia un alto grado de equivalencia, con un error de sólo 4gr en el conjunto completo, equivalente a un 1.26% de diferencia de peso.

Se puede concluir que la geometría ha sido generada correctamente.

4.2. DESARROLLO DE MODELO DE ELEMENTOS FINITOS

4.2.1. PROCESO DE DISCRETIZACIÓN

Una vez que la estructura está completamente dibujada se ha importado al módulo de pre-proceso Patran pieza a pieza para el correcto reconocimiento del conjunto: potencia, pletina, manillar, tornillos M4 y tornillos M6. Introducir las características de material, determinar las relaciones entre las piezas y aplicar las condiciones de cada ensayo.

El mallado (discretización de cada uno de los componentes en elementos finitos) se realizará a base de elementos tetraédricos ya que tras la importación el programa no reconoce el modelo como isométrico y no permite utilizar malla isométrica.

El modelo global de elementos finitos obtenido es el mostrado en la siguiente figura, donde se muestra la pletina sujeta a las barras verticales mediante 3 tornillos M4, la potencia atornillada a la pletina mediante 4 tornillos M6 y la tapa de sujeción del manillar sujeta por 4 tornillos M6.

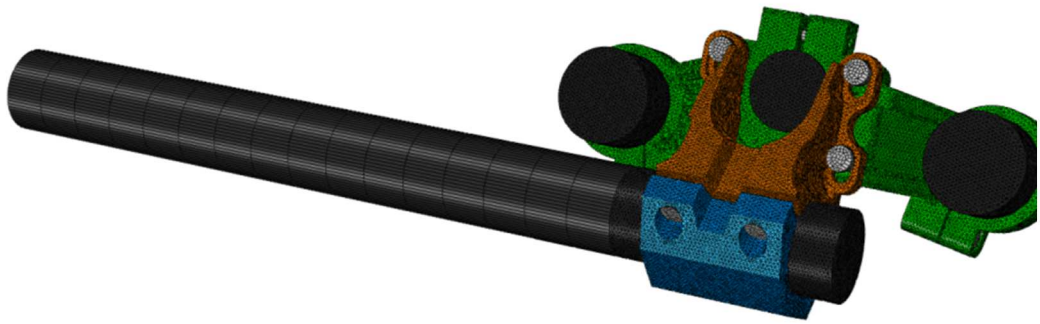
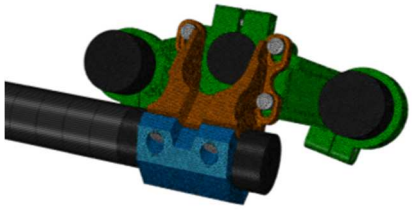
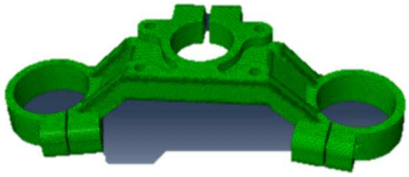
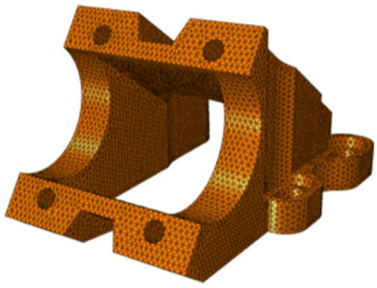
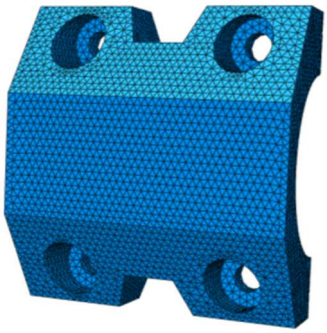


Figura 4.2.1: Modelo global de elementos finitos del modelo inicial

A continuación se muestra en detalle el modelo de elementos finitos así como el tipo y el número de elementos utilizado en cada uno de los componentes.

COMPONENTE	MODELO DE ELEMENTOS FINITOS	NUMERO DE ELEMENTOS	TIPO DE ELEMENTOS
Modelo Global		118797	C3D4 y C3D8
Pletina		45325	C3D4
Cuerpo de potencia		25926	C3D4
Tapa de potencia		14164	C3D4
Manillar		26853	C3D4
Barra central		13208	C3D4

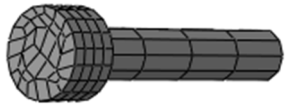
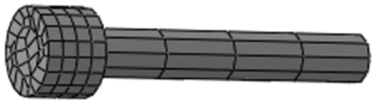
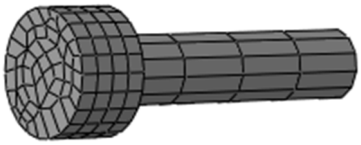
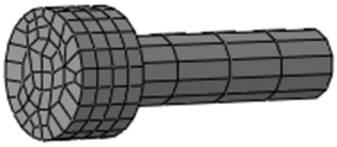
Barra lateral		18463	C3D4
Tornillo DIN 912 M4 X 20		267	C3D8
Tornillo DIN 912 M4 X 25		262	C3D8
Tornillo DIN 912 M6 X 30		390	C3D8
Tornillo DIN 912 M6 X 20		380	C3D8

Tabla 4.2.1: Elementos del modelo inicial

Los elementos rígidos utilizados en las barras intentan simular las barras reales de los amortiguadores. Ambas barras están conformadas por elementos cuyas propiedades pueden considerarse como las de un rígido ideal, es decir, de rigidez infinita. De esta manera se simplifica el problema al no considerar la leve flexión de las barras.

Las uniones atornilladas son el medio por el cual nuestro ensamblaje permanecerá unido y por el cual se transmitirán los esfuerzos de una pieza a otra.

En el modelo inicial se cuenta con tornillos M4 y M6. Tornillos M4 para las uniones de la pletina a las barras de suspensión y tornillos M6 para las uniones del manillar a la potencia como de ésta a la pletina.

Uniones del Modelo:

Pletina – Barras:	DIN 912 M4 X 20
Pletina – Tubo de dirección:	DIN 912 M4 X 25
Potencia – Manillar:	DIN 912 M6 X 30
Potencia – Pletina:	DIN 912 M6 X 20

Para trabajar el modelo en Patran se considerarán los tornillos sin rosca. No se analizará la resistencia del roscado sino la resistencia del área resistente del tornillo y la unión que viene a representar para la pieza. Se representará la unión por medio de un desplazamiento en el tornillo equivalente al resultante por efecto de la fuerza de apriete. Indicando esto Abaqus reconocerá que se trata de una unión atornillada y se le indicará que mantenga el efecto para el análisis durante la aplicación de la fuerza exterior.

El tamaño de los tornillos para el análisis del modelo vendrá determinado su área resistente y así asegurar una respuesta válida y confiable. Se tendrá en cuenta una pequeña diferencia de 0.05mm de tamaño entre el tornillo y el agujero para el correcto reconocimiento de la pieza y para que el mallado se realice correctamente sin algún nodo de los elementos quede dentro de la otra pieza.

<u>Tornillos M4</u>

- Área Resistente : 8.78mm2
- R4(área de macho) : 1.67mm
- R4'(área de agujero) : 1.62mm

<u>Tornillos M6</u>

- Área Resistente : 20.1mm2
- R6(área de macho) : 2.52mm
- R6'(área de agujero) : 2.47mm

4.2.2. MATERIALES APLICADOS

En estos primeros cálculos del ensamblaje los materiales utilizados van a ser dos: el material base de la pletina y la potencia (Aluminio 6061-T6) y el material utilizado en los tornillos (Acero aleado).

Se definirán ambos materiales como material isotrópico y se indicarán las propiedades necesarias para la correcta definición de cada uno, éstas se recogen en la siguiente tabla.

PROPIEDADES UTILIZADAS		UNIDADES CONSIDERADAS
E	Módulo elástico	MPa
ν	Coeficiente de Poisson	Adimensional
ρ	Densidad	Kg/mm^3
σ_f	Límite elástico	MPa
σ_r	Límite de rotura	MPa
Δl	Elongación a la rotura	Valor en %

Tabla 4.2.2.1: Listado de Propiedades de los Materiales

Los valores tomados para cada propiedad de ambos materiales se recogen en la siguiente tabla:

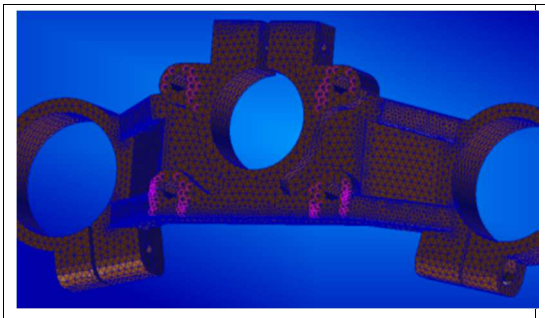
PROPIEDADES	ALUMINIO 6061-T6	ACERO AL CARBONO 1040
E (MPa)	**6,90E+04**	**2,10E+05**
ν	**0,33**	**0,28**
ρ (Kg/mm^3)	**2,70E-06**	**7,80E-06**
σ_f (MPa)	**275**	**600**
σ_r (MPa)	**310**	**750**
Δl (%)	**17**	**17**

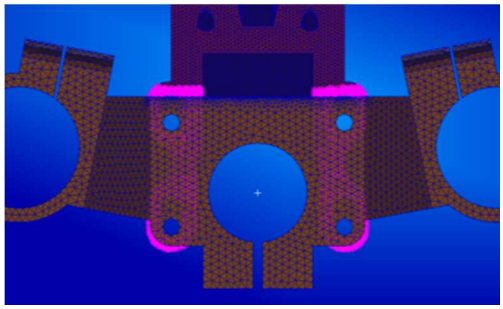
Tabla 4.2.2.2: Propiedades de cada material

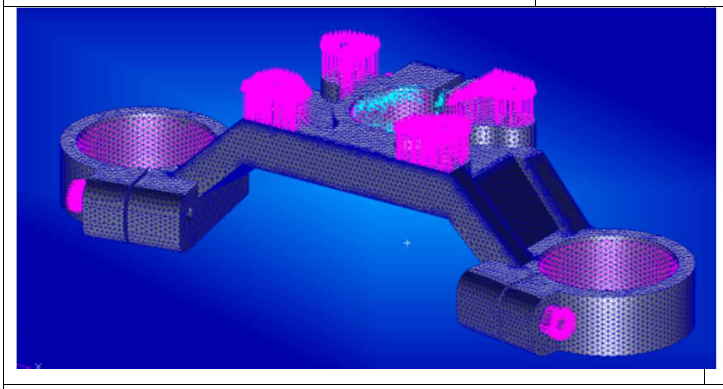
4.2.3. DEFINICIÓN DE CONTACTOS

Establecer correctamente los contactos es fundamental para estudiar la resistencia del modelo. El modelo inicia consta de una pletina y una potencia en contacto por uniones atornilladas, el manillar sujeto por la potencia mediante una tapa de 4 tornillos M6 y la pletina sujeta a las barras de la horquilla por abrazaderas de la propia pieza con tornillos M4.

La definición de los contactos se realizará de acuerdo a las condiciones establecidas por Patran. Se deben establecer contactos en todas las zonas en donde una superficie se encuentre tocando a otra.





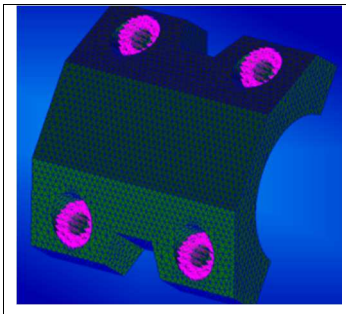


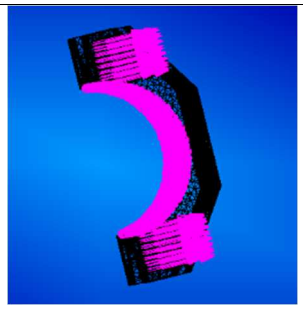
La pletina es la base del conjunto, se establecen contactos fijos con las barras y las zonas de contacto con la potencia.

Figura 4.2.3.1: Contactos en pletina

La potencia se encuentra en contacto con el manillar, la pletina y las cabezas de 4 tornillos M6 que la sujetan.

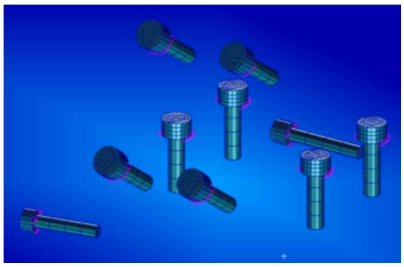
Figura 4.2.3.2: Contactos en Potencia





La tapa asegura el manillar a la potencia mediante la fuerza de los tornillos. Se establecen los contactos con el manillar y con las cabezas de los tornillos M6

Figura 4.2.3.3: Contactos en Tapa



Según la explicación de Abaqus sólo es necesario establecer un contacto Tie en la zona de la cabeza del tornillo con la pieza que aprieta y la deformación debida a la fuerza de apriete. El programa reconoce estas indicaciones como una unión atornillada.

Figura 4.2.3.4: Contactos en tornillos

4.2.4. PRECARGA DE LOS TORNILLOS

Para el modelado de los tornillos se han utilizado elementos extruidos a partir de superficies planas debido a que esta era la única manera de poder aplicar luego la precarga de ajuste sobre una superficie plana interior al sólido.

El procedimiento empleado consiste en definir una superficie plana contenida en el mallado compuesta de las caras con normal en dirección a la fuerza de precarga. Estas superficies se asociarán a un nodo al que posteriormente se le aplicarán fuerzas o deformaciones. En este caso, para poder conservar la precarga en el siguiente step, se optará por aplicar un desplazamiento equivalente al que sufriría el tornillo debido a la fuerza de precarga. Esta deformación (Δl) se puede calcular en función de la sección del tornillo (S), la fuerza de precarga (F_p), la longitud y el módulo elástico del material.

$$\sigma = E * \varepsilon = E\frac{\Delta l}{l}$$

$$\Delta l = \frac{\sigma * l}{E} = \frac{F_p * l}{S * E}$$

En el presente caso del modelo de partida se tiene los siguientes valores:

S = 12.32 mm2

F_p= 7555.17 N

$E_{acero} = 21\ e + 11\ N/m2$

Con los que se obtiene una deformación $\Delta l = 0.08$

La aplicación de la fuerza de precarga en los tornillos se efectuará aplicando el desplazamiento equivalente a 0.08mm. En el siguiente step se le indicará a Abaqus que mantenga este apriete mediante el comando BOUNDARY tal como se indica en el Anexo III.

Para describir en Abaqus el efecto de los tornillos sobre el cuerpo a donde están atornillados es necesario aplicar la fuerza de pretensión sobre los nodos en la zona de

las roscas. De esta manera estará establecida la sujeción de las piezas y la tensión provocada por este apriete.

La fuerza de pretensión de cada tornillo se puede encontrar en tablas.

Tamaño de tornillo	Fuerza de Pretensión (N)
M4	1710
M6	3940

Tabla 4.2.4: Fuerza de Pretensión en tornillos

Para la aplicación de esta fuerza se dividirá su valor entre el número de nodos seleccionados en la zona de rosca de la pieza. El resto de fuerzas correspondientes a cada uno de los dos ensayos serán aplicadas sobre elementos de la barra del manillar.

4.3. RESULTADOS OBTENIDOS

Se estudiarán los resultados y se eliminará material de las zonas con menos sobrecarga de tensiones teniendo en cuenta la viabilidad de su futura fabricación. Se desarrollaran prototipos los cuales serán analizados en el entorno de Solid Works mediante la herramienta de Simulation Xpress hasta tener un modelo final que satisfaga todas las necesidades y objetivos del presente proyecto.

La herramienta Simulation Xpress de Solid Works no ofrece resultados tan exactos como Abaqus debido a que el pack con el que se ha trabajado sólo considera la zona elástica del material y la zona plástica queda fuera del cálculo. Sin embargo es un entorno muy práctico y rápido de trabajar para obtener resultados inmediatos por ello se utilizará para el rápido análisis de los prototipos. Para ser conscientes del grado de fiabilidad de los resultados de Simulation Xpress (SolidWorks) se analizará el modelo inicial tanto en SolidWorks como en Abaqus y se compararán los resultados obtenidos.

Una vez obtenido un modelo final será analizado con mayor detenimiento en el entorno de Abaqus sometido a las mismas pruebas que el modelo inicial comparando los resultados e identificando la magnitud de mejoras.

4.3.1. PRUEBAS DE RESISTENCIA

El diseño de cualquier elemento, especialmente si hará parte de un sistema estructural, implica cuestionarse si dicho elemento es resistente a las cargas aplicadas y si también tendrá la suficiente rigidez para que las deformaciones no sean excesivas e inadmisibles.

Se considerarán fuerzas y momentos equivalentes a los que el modelo tendrá que soportar en la realidad en un funcionamiento continuo de máxima exigencia.

Se realizará un primer análisis con fuerzas estáticas para comprobar que el modelo responde adecuadamente y luego se procederá a los ensayos establecidos en la Norma UNE EN 14766.

4.3.2. RESULTADOS PARA EL MODELO INICIAL EN ABAQUS

Tras realizar el modelo y determinar los contactos establecidos se introducirán las fuerzas a las que será sometido para cada uno de los ensayos.

Se analizarán que los resultados tengan coherencia y se obviarán picos de tensiones en nodos aislados o irregularidades en elementos singulares. Esto puede ser debido a que el elemento por su geometría irregular cause un pico de tensión. En estos casos se tomara una zona representativa para definir la tensión máxima.

4.3.2.1. Caso de Reposo

Se consideran sólo las precargas de los ajustes de los tornillos. A continuación se muestra los efectos que produce este apriete.

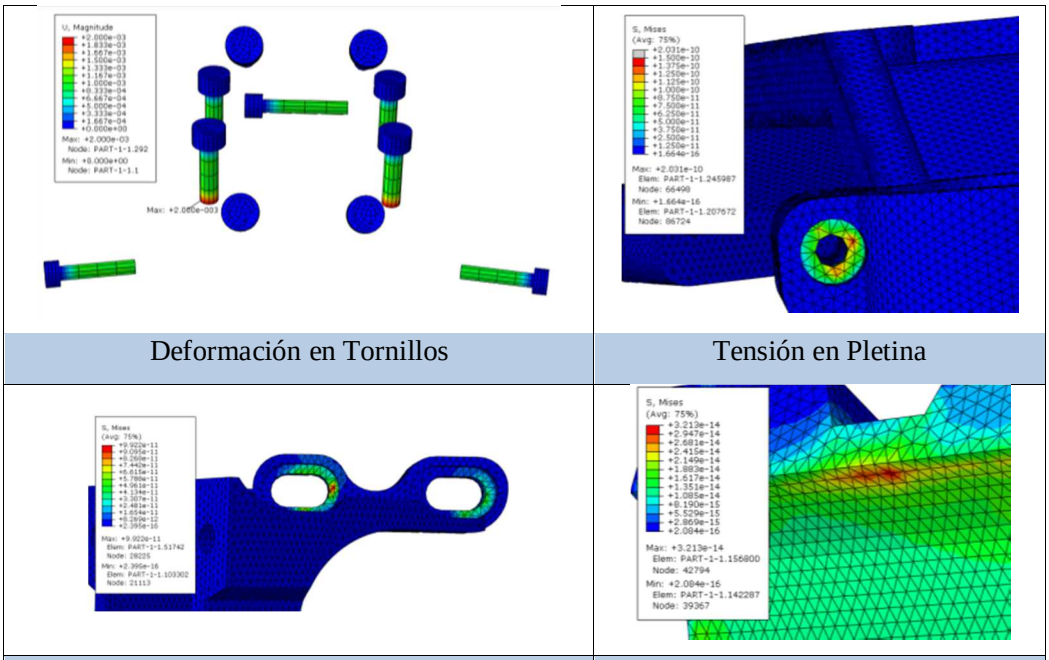


Figura 4.3.2.1: Tensión y Deformación en modelo inicial por precarga de los tornillos

En este caso nos muestra directamente en los tornillos la deformación que se indicó en el input. Una deformación de 0.002mm en los tornillos M6. En el resto del modelo la mayor tensión con valor de 1.54e-10 se localiza en el ajuste de la pletina con las barras.

4.3.2.2. Caso de Flexión Lateral

El ensayo de flexión lateral consiste, como se explicó previamente, en colocar una barra de ensayo en la potencia y aplicar en ella una carga de 1000N en dirección vertical a una distancia de 300mm del centro de la potencia.

La norma establece que después del ensayo no debe existir ninguna fisura ni rotura de la potencia y la deformación permanente medida en el punto de aplicación de la fuerza y en sentido de la fuerza no debe sobrepasar los 10mm.

Se utilizará acero como material para la barra de ensayo y para las barras de sujeción de la pletina. Las barras serán más rígidas que el conjunto y se centrarán los esfuerzos sobre las piezas a examinar.

En la siguiente figura se muestra una vista general de la deformación del conjunto:

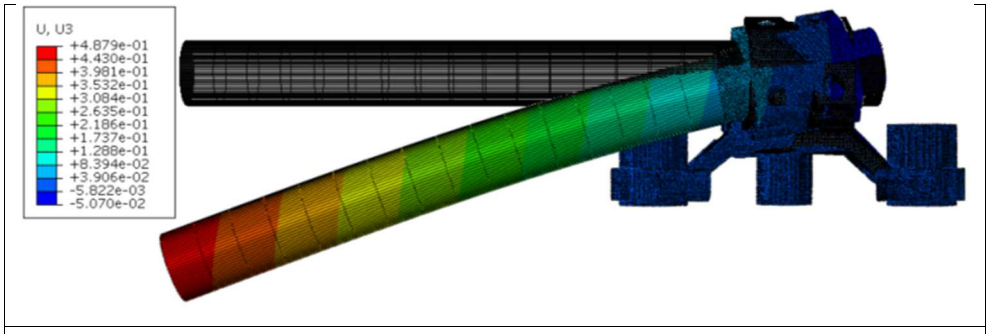


Figura 4.3.2.2.1: Vista general de la deformación del modelo inicial

La flecha producida en el punto de aplicación de la carga y en sentido de la fuerza es de tan sólo 0.48mm. Lo que satisface en gran medida a las exigencias del presente ensayo.

Se verá en detalle las tensiones y deformaciones de cada pieza para tener una visión más amplia del comportamiento del conjunto. Esto servirá posteriormente para destacar y analizar las zonas críticas y diseñar el nuevo modelo.

A continuación se muestran la tensión de Von Misses producida en cada pieza:

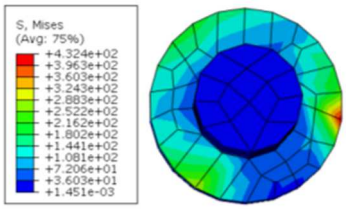
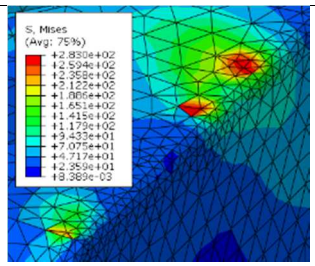
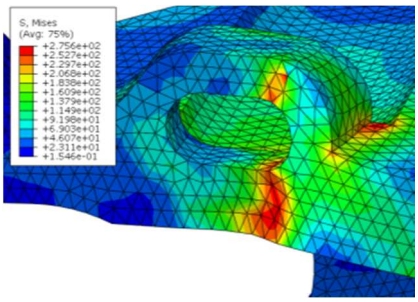
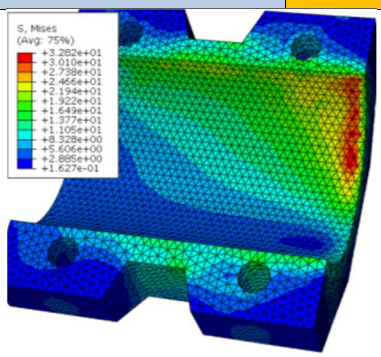
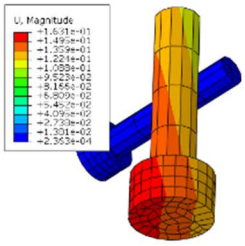
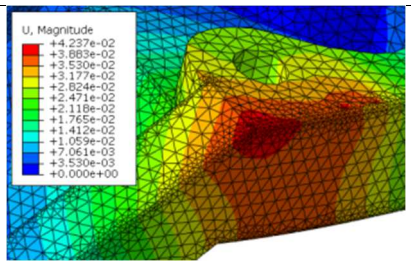
			
Máxima tensión en Tornillo	432 MPa	Máxima tensión en Pletina	283 MPa
			
Máxima tensión en Potencia	275 MPa	Máxima tensión en Tapa	32.8

Tabla 4.3.2.2.2: Tensiones en Abaqus de modelo inicial sometido a flexión lateral

El mayor valor de Tensión se localiza en el apoyo de la potencia sobre la pletina, llegado a alcanzar valores de 283MPa.

También se han tenido en cuenta la deformación producida en cada pieza, mostrada a continuación:

			
Deformación en Tornillo (mm)	0.163	Deformación en Pletina (mm)	0.042

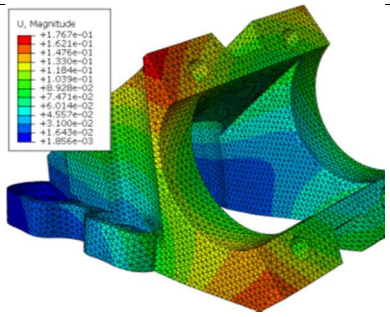
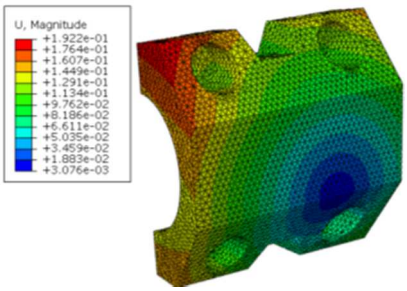
			
Deformación en Potencia (mm)	0.176	Deformación en Tapa (mm)	0.192

Tabla 4.3.2.2.3: Deformaciones en Abaqus de modelo inicial sometido a flexión lateral

Para este caso se tiene que la tensión máxima alcanza un valor de 432MPa en uno de los tornillos, sin embargo no produce deformación plástica al no sobrepasar el límite elástico de 620Mpa del acero.

Sin tener esto en cuenta la tensión equivalente de Von Mises presenta valores máximos en la pletina y potencia con valores de 283 y 275 respectivamente. Estos valores de tensión sobrepasan el límite elástico del aluminio 6061-T6 y se obtienen deformaciones plásticas aunque casi nulas de, aproximadamente, 0.176 mm de carácter bastante local en la base atornillada.

Con esto quedan presentados los resultados obtenidos para este primer análisis. En la siguiente tabla se muestra de forma resumida los valores máximos de tensión y deformada para cada pieza y caso de carga.

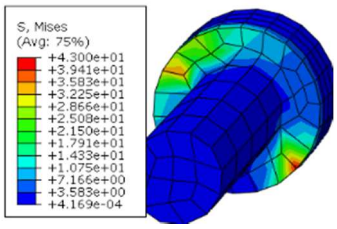
4.3.2.3. Caso de Flexión hacia adelante

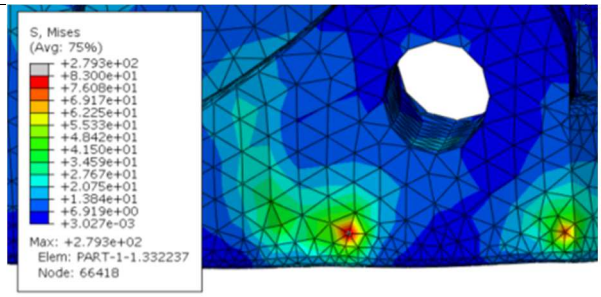
El ensayo de flexión hacia adelante se realiza en dos etapas y la primera consiste, como se explicó previamente, en aplicar 1600N en el nivel del punto de fijación del manillar hacia adelante y hacia abajo y a 45° en relación al plano de planta. La norma establece que la deformación medida en el punto de aplicación de la fuerza y en dirección de ésta no debe exceder los 10mm.

Se utilizará acero como material de la barra de ensayo y de las barras de sujeción de la pletina. Las barras serán más rígidas que el conjunto y se centrarán los esfuerzos sobre las piezas a examinar.

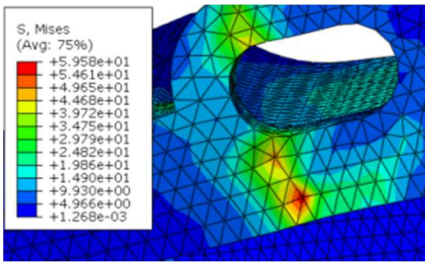
1ra Etapa:

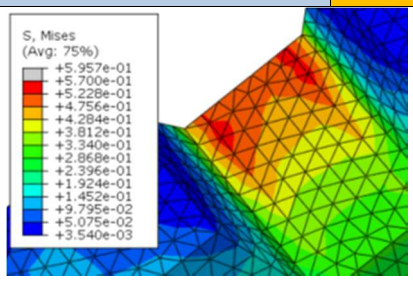
Aplicando una carga de 1600N en el centro de la potencia con un ángulo de 45º tal como indica la normativa se obtienen los siguientes resultados:





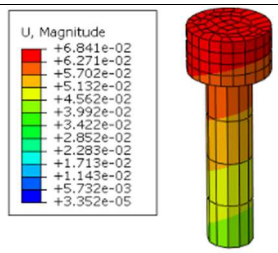
Tensión en Tornillo(MPa)	43	Tensión en Pletina (MPa)	83

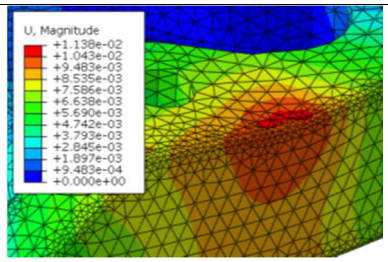




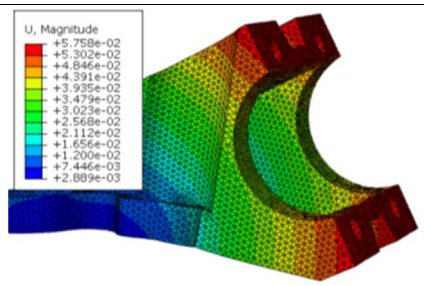
Tensión en Potencia(MPa)	59.58	Tensión en Tapa	0.570

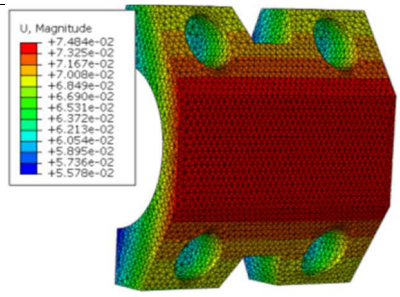
Tabla 4.3.2.3.1: Tensiones en Abaqus de modelo inicial sometido a flexión frontal





Deformación en Tornillo (mm)	0.0684	Deformación en Pletina (mm)	0.011





Deformación en Potencia (mm)	0.057	Deformación en Tapa (mm)	0.074

Tabla 4.3.2.3.2: Deformaciones en Abaqus de modelo inicial sometido a flexión frontal

Según se puede observar en los gráficos, el valor de tensión de Von Misses máximo se presenta en la pletina con valor de 83MPa. Ninguna de las piezas sufre deformación apreciable.

<u>2da Etapa:</u>

Con la misma fijación que en la etapa 1 se someta a la potencia a una fuerza de 2600N en el mismo sentido y dirección. Tras el ensayo no debe haber ninguna rotura o fisura visible.

Tras aplicar 2600N la tensión de Von Misses alcanza valores máximos en la misma ubicación que en la 1ra etapa pero esta vez de valores de, aproximadamente, 160MPa.

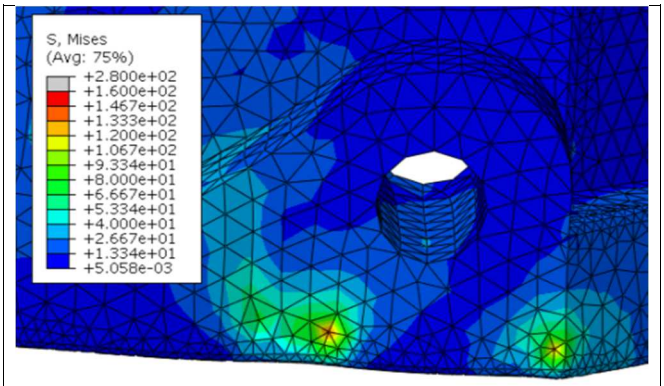


Figura 4.3.2.3.1: *Tensión máxima en 2da Etapa*

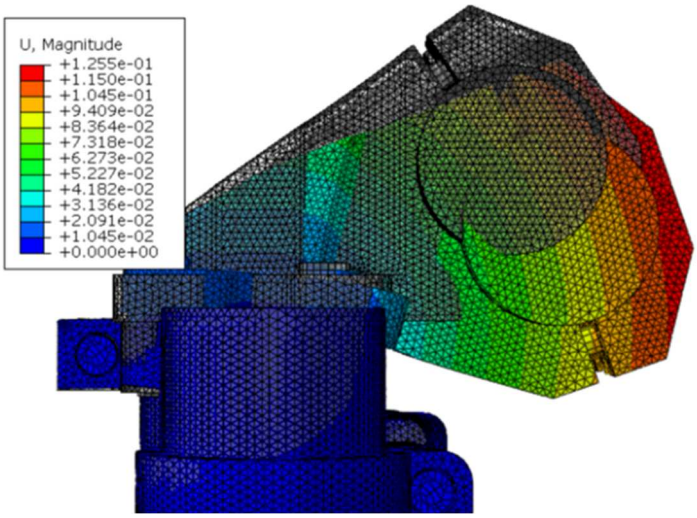


Figura 4.3.2.3.2: *Deformación máxima en 2da etapa*

En esta segunda etapa, aplicando 2600N, la deformación máxima alcanza valores de 0.125mm en la zona de aplicación de la fuerza.

No llega a sobrepasar el límite de rotura del material. En la 2da etapa cumple la norma con un coeficiente de seguridad de 1.71, dicho esto se puede asegurar con certeza que no sufre fisura ni rotura en el conjunto.

4.3.2.4. Resumen de resultados

Con esto quedan presentados los resultados obtenidos para este primer análisis. En la siguiente tabla se muestra de forma resumida los valores máximos de tensión y deformación para cada pieza y caso de carga. El límite elástico para las 3 primeras piezas es de 275Mpa (aluminio 6061 T6), en cambio en los tornillos es de 620Mpa (acero). La simulación alcanza valores de deformación máxima de, aproximadamente, 0.074mm localizada en la zona de aplicación de carga.

PESO DEL MODELO INICIAL: 363 gr

	Flexión Lateral		Flexión hacia Adelante 1600N		Flexión hacia Adelante 2600N	
	Deformación en punto de aplicación de fuerza: **0.48mm**		Deformación en punto de aplicación de fuerza: **0.074mm**		Deformación en punto de aplicación de fuerza: **0.125mm**	
	Tensión Máxima (MPa)	**Deformación Máxima (mm)**	**Tensión Máxima (MPa)**	**Deformación Máxima (mm)**	**Tensión Máxima (MPa)**	**Deformación Máxima (mm)**
Tornillo	**432**	**0,163**	**43**	**0,068**	**-**	**-**
Pletina	**283**	**0,042**	**83**	**0,011**	**160**	**-**
Potencia	**275**	**0,176**	**59,58**	**0,057**	**-**	**-**
Tapa	**32,82**	**0,192**	**0,57**	**0,074**	**-**	**0.125**

Tabla 4.3.2.4: Resultados del modelo inicial

En sombreado rojo se muestran los valores máximos para cada caso. El valor máximo de tensión de todos los casos corresponde al caso de carga del tornillo en el ensayo de flexión lateral con un valor de 283Mpa y localizado en la zona superior izquierda de la pletina. Este valor, junto con los 275Mpa localizados en la pletina conlleva a una deformación plástica pues sobrepasa el límite elástico del material. No obstante, al no llegar a sobrepasar el límite de rotura del material ni la máxima deformación establecida, cumple la norma UNE.

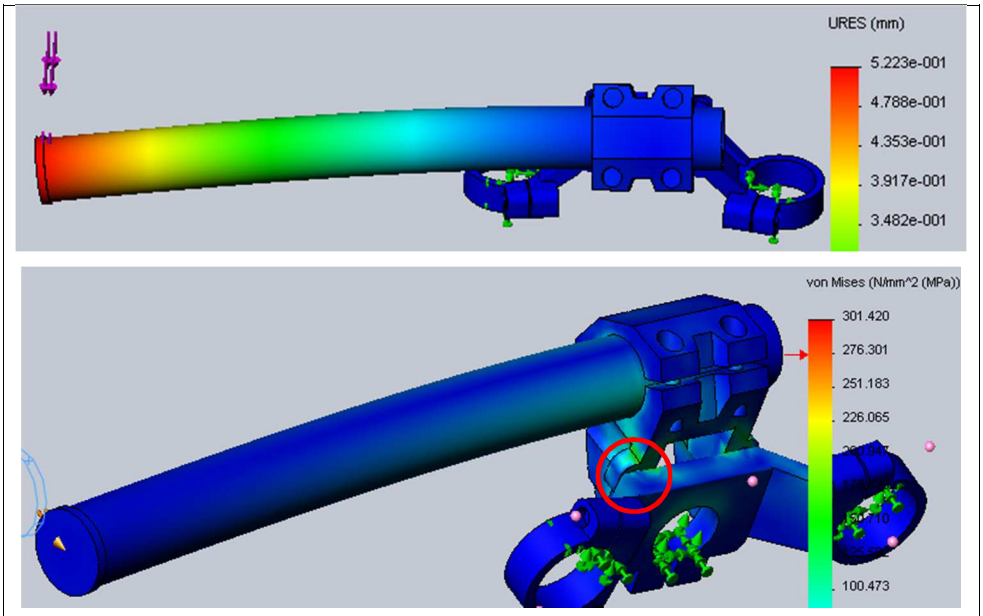
4.3.3. Resultados obtenidos para el modelo inicial con Solid Works

Debido al tiempo que implica el detallado análisis de Abaqus, y teniendo constancia de que la simulación del primer modelo ha sido correctamente desarrollada y ha brindado buenos resultados, se simularan los prototipos en el entorno de Solid Works mediante la herramienta Simulation Xpress hasta obtener el modelo final que será simulado también en Abaqus para comprobar resultados.

Con el fin de hacernos una idea de la fiabilidad de Simulation Xpress se analizará el primer modelo y se contrastarán resultados con los obtenidos en Abaqus.

Para la comparación y criterio en el desarrollo y evaluación de los prototipos se tendrá en cuenta los resultados tanto de las deformaciones máximas citadas en los ensayos así como la tensión máxima de Von Misses en dichos ensayos.

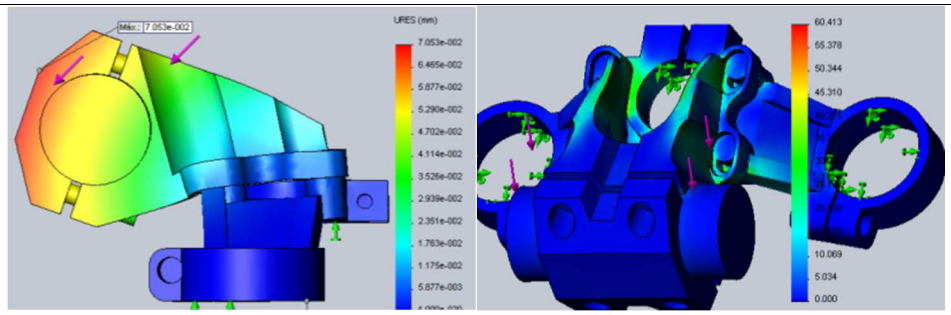
4.3.3.1. Caso de Flexión Lateral.



Deformación Máxima en punto de aplicación de la fuerza	0.52 mm
Tensión Máxima de Von Misses	301.42MPa

Figura 4.3.3.1: Resultados de Flexión Lateral con Simulation Xpress

4.3.3.2. Caso de Flexión hacia adelante



Deformación Máxima en punto de aplicación de la fuerza	0.070 mm
Tensión Máxima de Von Misses	60.413 MPa

Figura 4.3.3.2: Resultados de Flexión Frontal con Simulation Xpress

La tensión máxima durante el ensayo de flexión lateral alcanza valores de, aproximadamente, 301MPa de carácter bastante local en la equina de la unión entre potencia y pletina más cercana a la fuerza aplicada.

En cuanto al valor de desplazamiento medido en el punto de aplicación de la carga, da un valor de 0.52mm. Ambos valores son muy parecidos a los obtenidos en Abaqus.

4.3.4. COMPARACIÓN DE RESULTADOS Y COEFICIENTE DE FIABILIDAD

Se compararán los valores máximos de deformación y tensión de Von Misses en ambos ensayos, el segundo sólo en el caso con la aplicación de 1600N.

	Deformación Máxima en punto de aplicación (mm)		
	Abaqus	Simulation Xpress	Margen de Certeza
Prueba 1 Flexión Lateral	0.48	0.52	93%
Prueba 2 Flexión Frontal	0.074	0.070	94.59%

Tabla 4.3.4.1: Comparación de Deformaciones

	Tensión de Von Misses Máxima en punto de aplicación (MPa)		
	Abaqus	Simulation Xpress	Margen de Certeza
Prueba 1 Flexión Lateral	283	301.42	93.88%
Prueba 2 Flexión Frontal	83	60.413	72.78%

Tabla 4.3.4.2: Comparación de Tensiones de Von Misses

Los resultados de Abaqus y Simulation Xpress de Solid Works son bastante cercanos obteniendo márgenes de certeza de 93% - 94%, a excepción de la tensión en el 2do ensayo en el que baja a un 72%. Sin embargo Simulation Xpress ofrece fiabilidad en el proceso de los primeros prototipos ya que es muy posible que esta diferencia se deba a que en Abaqus se ha realizado el ensayo utilizando una barra de acero y en cambio la herramienta de Simulation Express sólo permite utilizar un material a la vez.

Otras limitaciones de Simulation Express es que no permite visualizar ni modificar el diseño de la malla ni sus características, ni aplicar fuerza en nodos, ni muestra resultados de datos en puntos específicos. No obstante, es una rápida herramienta con resultados fiables aunque no muy detallados.

Con esto concluye el análisis del modelo inicial. Los datos obtenidos muestran que cumple ejemplarmente con la normativa. Esto era de esperarse puesto que son piezas diseñadas para su uso en descenso y está es la disciplina del ciclismo de montaña que más exigencias de resistencia requiere por parte de las piezas.

5. PROPUESTAS DE OPTIMIZACIÓN Y MEJORA DEL MODELO ORIGINAL

5.1. CONSIDERACIONES EN CUANTO A GEOMETRÍA

Se basará en cambios de geometría y recortes de material en las zonas de menos tensión. También se considerarán cambios de material en los elementos y tornillos.

Para satisfacer los objetivos del presente proyecto será necesario realizar cambios básicos en la geometría y alineación de los elementos del ensamblaje, aparte de las reducciones de material. Se bajará la altura del manillar con el fin de aportar un centro de gravedad más bajo y se estudiará el ángulo de sujeción del manillar más favorable.

5.1.1. ALTURA Y DISTANCIA DEL MANILLAR

Para un mejor control y obtener un menor centro de gravedad se optará por una distancia de separación de 45mm entre el manillar y el eje de dirección y por la menor altura posible equivalente a que el eje del manillar esté alineado con la superficie de la pletina. De esta manera el manillar quedará posicionado a 45mm de distancia y 0mm de altura.

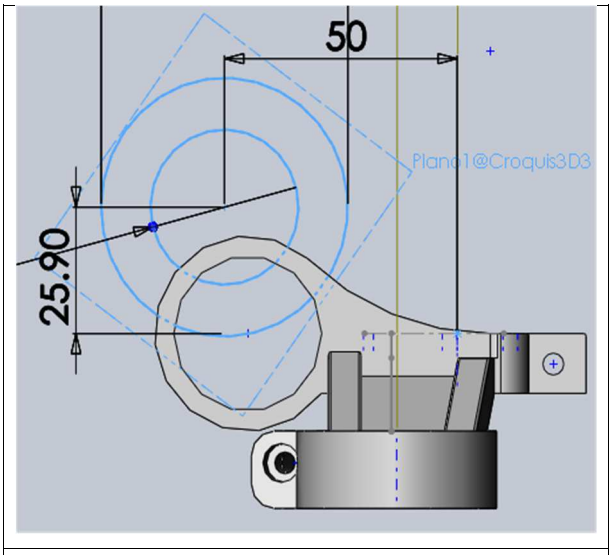


Figura 5.1.1: Cambio de altura de sujeción

Con esto se consigue bajar la posición del manillar 25.90mm dejando el centro del manillar a la misma altura que el plano superior de la pletina.

5.1.2. DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE SUJECIÓN DEL MANILLAR

Teniendo en consideración la acción de la fuerza principal en dirección de 45° con el plano de planta, se decidirá el ángulo de sujeción más favorable para la mejor resistencia y mayor ahorro de material posible.

Este estudio se realizará en Solid Works sobre el prototipo final antes de ser analizado en Abaqus.

5.1.3. DISTANCIA DE ZONA DE SUJECIÓN.

El primer ensayo pone a prueba el desempeño de la potencia para disipar y resistir fuerzas en un extremo que generan un momento de torsión. Cuanto más ancha sea la sujeción mayor resistencia tendrá ante dichas cargas.

El ancho de la zona de sujeción en la mayoría de manillares de descenso varía entre 58 y 70mm. Para este proyecto se utilizara una distancia de 64mm basándonos en el modelo de manillar con mejor relación resistencia/peso en la actualidad.

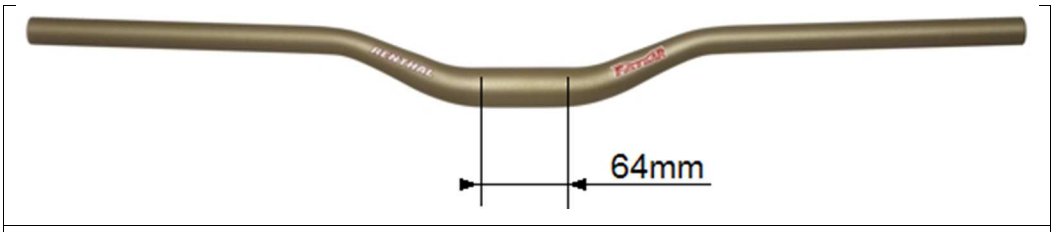


Figura 5.1.3.1: Distancia de anclaje del manillar

Se realizó una sencilla simulación para comparar el efecto y grado de mejora que produciría este cambio. Aplicando una carga de 1000N en un extremo de una barra de 200mm de longitud. Se compararon dos modelos de igual cantidad de masa: una sujeción central y otra de doble sujeción separada de 64mm de anchura.

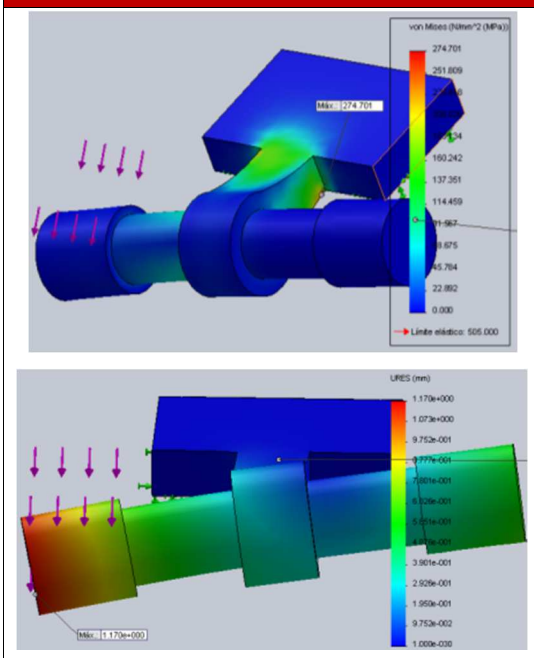
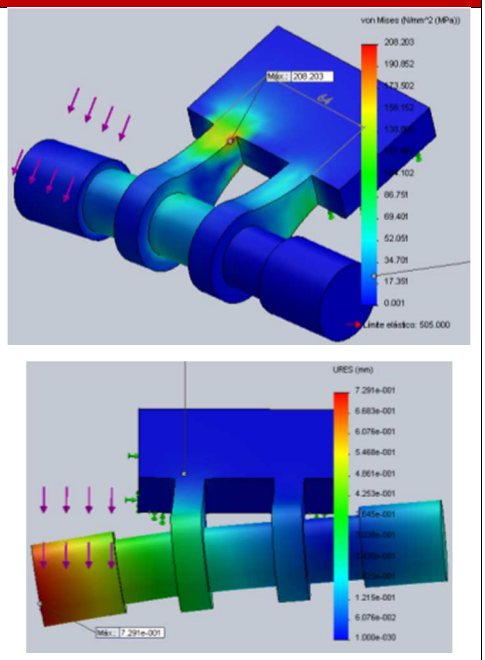
Sujeción única		Sujeción separada de 64mm	
			
Tensión máxima	274 MPa	Tensión máxima	208 MPa
Deformación máxima	1.17 mm	Deformación máxima	0.72 mm

Tabla 5.1.3.1: Comparación de sujeciones.

Se aprecia que el modelo propuesto muestra un mejor desempeño disminuyendo la deformación máxima en casi un 40%. La tensión de Von Misses también es menor en el diseño propuesto.

Tras esta verificación se decide la separación la sujeción del manillar como condición a cumplir en el nuevo diseño.

5.1.4. OTRAS REDUCCIONES DE MATERIAL

- Grosor y anchura de la sujeción del manillar
- Brazos de sujeción de barras
- Brazos de sujeción del manillar
- Parte central de la pletina

Se optará por reducir al máximo posible el grosor de la tapa y zonas de apoyo de las cabezas de los tornillos.

5.2. CONSIDERACIONES DE EN CUANTO A MATERIALES

El material original del que se encuentra hecho el modelo inicial es Aluminio 6061. Sin embargo es una pieza de producción en serie y puede que otro material tenga mejores propiedades si se quiere enfocar exclusivamente a la competición. Por lo que se estudiarán las características de otros tipos de aluminio para decidir cuál conviene utilizar.

5.2.1. MATERIALES COMÚNMENTE UTILIZADOS

Son Piezas que se encuentran mayormente sometidas a fuerzas de flexión variables y fuerzas de impacto debido a los desperfectos del terreno.

El aluminio 6061-T6 es una aleación Dúctil y Ligera, con gran resistencia y excelentes características de acabado, es ideal para la elaboración de piezas maquinadas con calidad de excelencia y para trabajos que requieran buen acabado superficial.

Posee excelente resistencia a la corrosión y acabado además de facilidad de soldadura y una resistencia parecida a la del acero. Esta es una aleación de propósito general muy popular con buena facilidad de maquinado a pesar de su tratamiento de envejecimiento artificial (T6).

<u>Composición Química:</u>

El aluminio 6061-T6 está formado por los siguientes compuestos:

- 0.40/0.80% de silicio
- 0.7% máximo de Hierro
- 0.15/0.40% de cobre
- 0.8/1.2% de magnesio
- 0.04/0.35% de cromo
- 0.25 máximo de zinc
- 0.015 máximo de titanio

Adicionalmente a sus características naturales (excelente conductividad, ligereza, nula toxicidad y que no produce chispa), el aluminio 6061-T6 ofrece las siguientes ventajas

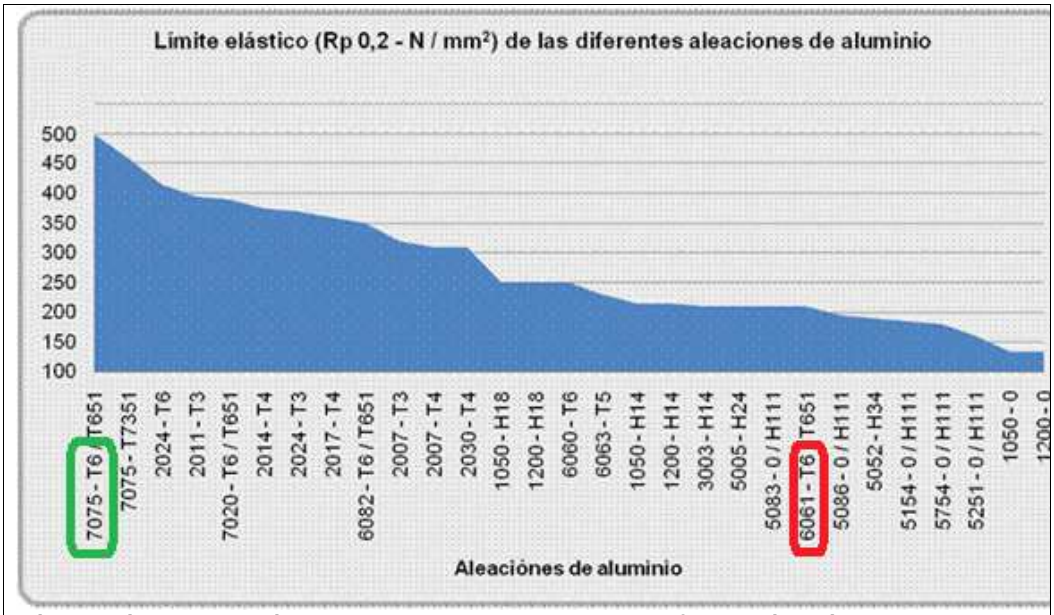
- Resistencia superior a la de las aleaciones 6063
- Elaborado mediante tratamiento térmicos
- Envejecido artificialmente
- Optima conformación con el frío
- Excelentes características para soldadura fuerte y al arco.
- Excelente resistencia a la corrosión
- Gran resistencia a la tensión
- Excelente maquinabilidad

El material utilizado para la fabricación del modelo inicial posee sin duda todas las características necesarias para asegurar un buen desempeño y alta resistencia. Sin embargo habrá que compararlo con el resto de metales para asegurar la elección del material que mejor se desempeñe ante nuestras necesidades.

El ensamblaje en cuestión estará sometido en la mayoría de casos a fuerzas de tracción y flexión. No sufrirá cambios importantes de temperatura.

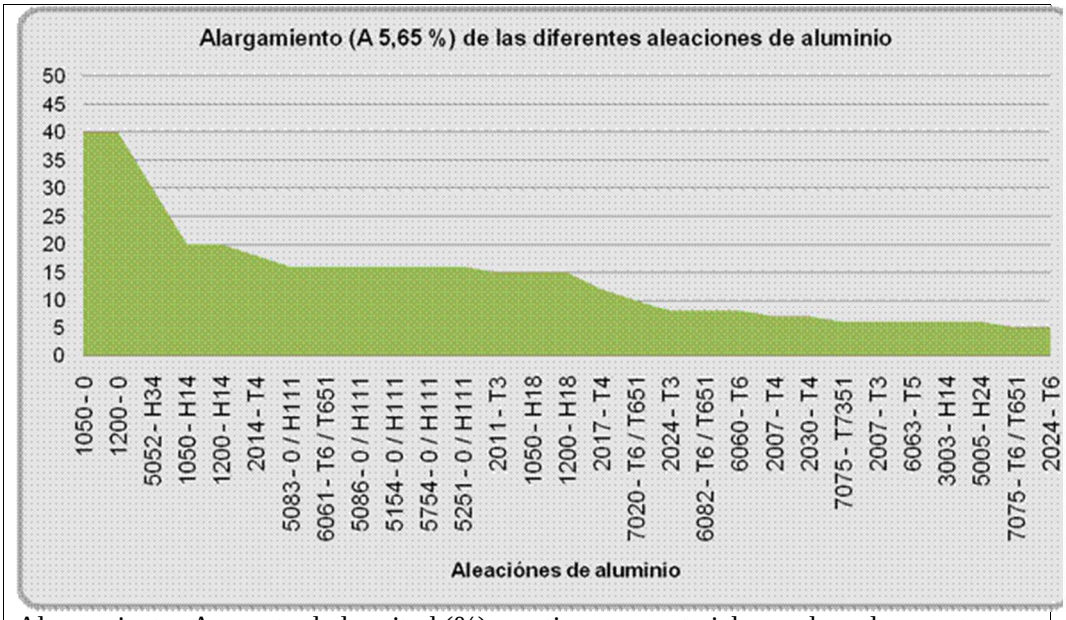
Con el fin de escoger el material que mejor se adapte a nuestras necesidades se muestra a continuación una comparativa de las propiedades físicas de los distintos aluminios existentes.

Carga de rotura o resistencia a la tracción: Mide la resistencia de un material a una fuerza estática o aplicada lentamente hasta la rotura de la probeta.

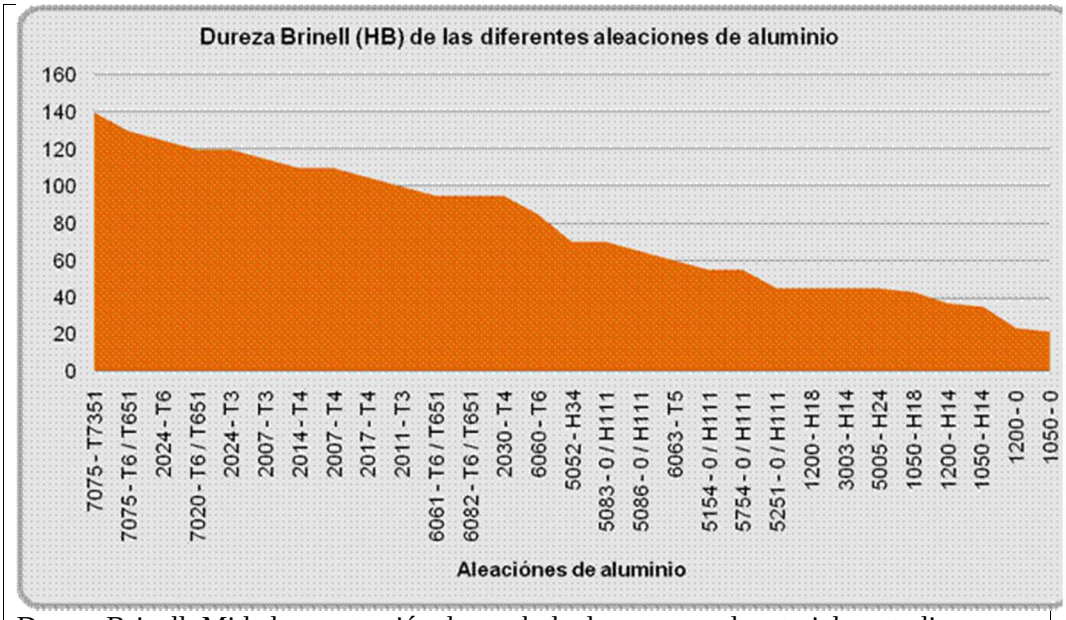


Límite elástico: Tensión a la cual el material tiene una deformación plástica del 0,2 %.

Figura 5.2.1.1: Gráfico 1 de comparación de propiedades de aluminios



Alargamiento: Aumento de longitud (%) que tiene un material cuando se le somete a un esfuerzo de tracción antes de producirse su rotura.



Dureza Brinell: Mide la penetración de una bola de acero en el material a estudiar.

Figura 5.2.1.2: Gráfico 2 de comparación de propiedades de aluminios

En las figuras se muestra claramente una supremacía del aluminio 7075-T6 frente al resto de aleaciones.

Este duraluminio es una de las aleaciones con características más elevadas dentro de los aluminios, lo que ha hecho posible su utilización en campos hasta ahora reservados para los aceros. Comparable con los aceros 1045/4140:

- Excelente maquinabilidad
- Alta resistencia a la corrosión
- Alta resistencia al desgaste
- 60% más ligero en peso que el acero
- Buena soldabilidad por resistencia
- Alta conductividad térmica 4 veces superior al acero
- Reduce el tiempo del ciclo y la potencia consumida, lo que se traduce en ahorro de energía eléctrica
- Puede maquinarse con el proceso de electro erosión en 1/3 del tiempo que el acero

- Reducción en tiempos de maquinado de 70- 80% (en comparación con el acero)
- Bueno para tratamientos superficiales como el anodizado, cromado y niquelado.
- Debido a sus propiedades, es ideal en la fabricación de moldes y aplicaciones de alta resistencia mecánica.

El modelo a diseñar exige un rendimiento excepcional por lo que se propone su fabricación en esta aleación de aluminio. Todas las propiedades disponibles del **aluminio 7075** se presentan a continuación en una tabla comparativa con la aleación del modelo inicial.

	ALUMINIO 6061 T6	ALUMINIO 7075 T6	
PROPIEDAD	VALOR	VALOR	UNIDADES
Módulo elástico	6.90E+10	7.20E+10	N/m^2
Coeficiente de Poisson	0.33	0.33	N/D
Módulo cortante	2.60E+10	2.69E+10	N/ m^2
Densidad de masa	2700	2810	kg/ m^3
Límite de tracción	310000002.1	570000000	N/ m^2
Límite elástico	275000000.9	505000000	m^2
Coef. de dilatación térmica	2.40E-05	2.36E-05	/K
Conductividad térmica	166.9	130	W/(m·K)
Calor específico	896	960	J/(kg·K)

Tabla 5.2.1: Propiedades de Aluminios 6061-T6 y 7075-T6

5.2.2. TRATAMIENTOS Y ACABADOS SUPERFICIALES

En las operaciones de mecanizado, se producen pequeñas rayas y surcos en la superficie de la pieza por acción del corte. Estas marcas limitan la vida a fatiga pues son pequeñas grietas las cuales son mucho más fáciles de aumentar. Mejorando el acabado superficial mediante pulido aumenta la vida a fatiga.

Uno de los métodos más efectivos de aumentar el rendimiento es mediante tensiones residuales de compresión dentro de una capa delgada superficial. Cualquier tensión externa de tracción es parcialmente contrarrestada y reducida en magnitud por el esfuerzo residual de compresión. El efecto neto es que la probabilidad de nucleación de la grieta, y por tanto de rotura por fatiga se reduce.

Este proceso se llama «granallado» o «perdigonado». Partículas pequeñas y duras con diámetros del intervalo de 0,1 a 1,0 mm son proyectadas a altas velocidades sobre la superficie a tratar. Esta deformación induce tensiones residuales de compresión.

Por otra parte, el endurecimiento superficial es una técnica por la cual se aumenta tanto la dureza superficial como la vida a fatiga de los aceros aleados. Esto se lleva a cabo mediante procesos de carburación y nitruración, en los cuales un componente es expuesto a una atmósfera rica en carbono o en nitrógeno a temperaturas elevadas. Una capa superficial rica en carbono y en nitrógeno es introducida por difusión atómica a partir de la fase gaseosa. Esta capa es normalmente de 1mm de profundidad y es más dura que el material del núcleo. La mejora en las propiedades de fatiga proviene del aumento de dureza dentro de la capa, así como de las tensiones residuales de compresión que se originan en el proceso de cementación y nitruración.

Otro acabado es el anodizado. Lo que diferencia un anodizado de un pintado es que en el anodizado la capa de acabado no se aplica sobre el metal, sino que se genera a partir de él por medio de distintos baños y aplicación de electricidad. Así se crea sobre la superficie una capa de óxidos de aluminio, perfectamente adheridos, que lo protegen. Esta capa es originalmente incolora, aunque se puede colorear posteriormente, obteniendo así los acabados de presentación.

5.2.3. TRATAMIENTO TÉRMICO T6

Un tratamiento térmico es un proceso industrial de mejora de propiedades mediante el control de las temperaturas, los tiempos de permanencia y las velocidades de enfriamiento. Consiste en un tratamiento de solución, temple y maduración artificial

En el proyecto “Modificación de las propiedades mecánicas mediante tratamientos térmicos en aleaciones ligeras (Al y Mg)” desarrollado en 2011 por el

AIMME -Instituto Tecnológico Metalmecánico se llega, tras la ejecución de severas pruebas, a la conclusión de que las condiciones óptimas del tratamiento térmico T6 son:

Una puesta en solución a 550°C durante 2 horas, un temple en agua y un envejecimiento de 6 horas a 180°C

Aunque lo común es homogeneizarlo durante varias horas a 450°C y luego envejecerlo a 120°C durante 24 horas. Con este proceso se aumenta considerablemente las propiedades originales y se obtiene la casi la resistencia de un acero a la mitad de su peso.

5.3. MÉTODOS DE FABRICACIÓN

La fabricación del modelo en cuestión se propone realizarla mediante mecanizado con control numérico (CNC) de un bloque de aluminio 7075-T6.

La fabricación por CNC es la más fiable y con resultados más exactos que hay. Para mecanizar una pieza se usa un sistema de coordenadas que especificarán el movimiento de la herramienta de corte.

El sistema se basa en el control de los movimientos de la herramienta de trabajo con relación a los ejes de coordenadas de la máquina, usando un programa informático ejecutado por un ordenador.

En el caso de un torno, hace falta controlar los movimientos de la herramienta en dos ejes de coordenadas: el eje de las X para los desplazamientos longitudinales del carro y el eje de las Z para los desplazamientos transversales de la torre.

En el caso de las fresadoras se controlan también los desplazamientos verticales, que corresponden al eje Y. Para ello se incorporan servomotores en los mecanismos de desplazamiento del carro y la torreta, en el caso de los tornos, y en la mesa en el caso de la fresadora; dependiendo de la capacidad de la máquina, esto puede no ser limitado únicamente a tres ejes.

5.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS TORNOS CNC FRENTE A LOS CONVENCIONALES

Elevada exactitud de mecanización: El mando efectúa movimientos de posicionamiento de una manera más exacta de lo que es posible en el mecanizado convencional, cumpliendo tolerancias de hasta 0.001mm

Calidad constante: Con un número arbitrario de piezas el mando ejecuta un programa repetidas veces. Las piezas de una serie no varían entre sí como en el mecanizado convencional.

Mayores posibilidades de mecanización: El control calcula movimientos complicados de la máquina a través del desplazamiento simultáneo de dos o tres carros de los ejes, pudiendo crear círculos, segmentos curvos, helicoides y otras trayectorias en el espacio. Tales movimientos no se podrían realizar en el mecanizado convencional.

Ventajas:

- Permiten obtener mayor precisión en el mecanizado.
- Permiten mecanizar piezas más complejas.
- Se puede cambiar fácilmente de mecanizar una pieza a otra.
- Se reducen los errores de los operarios.
- Cada vez son más baratos los tornos CNC.
- Se reducen tiempos de mecanizado.

Como desventajas se pueden indicar las siguientes:

- Necesidad de realizar un programa previo al mecanizado de la primera pieza.
- Coste elevado de herramientas y accesorios lo que implica una elevada inversión.
- Conveniencia de tener una gran ocupación para la máquina debido a su alto coste.

5.5. CONSIDERACIONES EN CUANTO A TORNILLOS

Los tornillos utilizados en el modelo original son tornillos de acero métrica 6 y 4, cabeza Allen según especificación DIN912.

Tras un estudio de los diferentes tipos de tornillos disponibles en el mercado se ha optado por utilizar tornillos de titanio principalmente por poder aportar la misma resistencia del acero con un peso bastante menor, además de su buena reputación en otros usos en ingeniería.

La utilización del titanio frente a otros metales se impone debido a sus inigualables propiedades:

- Pesa la mitad del acero y es tan resistente como él.
- Alta resistencia a la corrosión.
- Metal abundante.

Especificaciones Titanio grado 5 (6Al4V):

Propiedades Físicas

Densidad 4.42 g/cc

Propiedades Mecánicas

Dureza Brinell 334

Dureza, Knoop 363

Dureza, Rockwell C 36

Dureza, Vickers 349

Resistencia tracción, Ultima 950 MPa

Límite elástico 827 MPa

Elongación a la rotura 14%

Reducción de área 36%

Módulo de elasticidad 113.8 GPa

Resistencia a la fluencia compresiva 970 MPa

Ultima fuerza de rotura 1860 MPa, para e/D = 2

Proporción de Poisson 0.342

Fuerza de fatiga 240 MPa, para 1E+7 ciclos. Kt (factor de concentración) = 3.3

Fuerza de fatiga 510 MPa, 10,000,000 Ciclos sin concentración

Resistencia a la fractura 75 MPa-m½

Módulo cortante 44 GPa

Módulo cortante 550 MPa, última

Propiedades Térmicas

CTE, lineal 20°C 8.6 µm/m-°C, de 20-100ºC

CTE, lineal 250°C 9.2 µm/m-°C, media sobre el rango 20-315ºC

CTE, lineal 500°C 9.7 µm/m-°C, media sobre el rango 20-650ºC

Calor específico 0.5263 J/g-°C

Conductividad térmica 6.7 W/m-K

Punto de fusión 1604 - 1660 °C

Sólido 1604 °C

Líquido 1660 °C

Comparativa resistencia, densidad, relación resistencia-densidad y punto de fusión del material Titanio Grado 5 frente al aluminio 6061 y acero 8.8

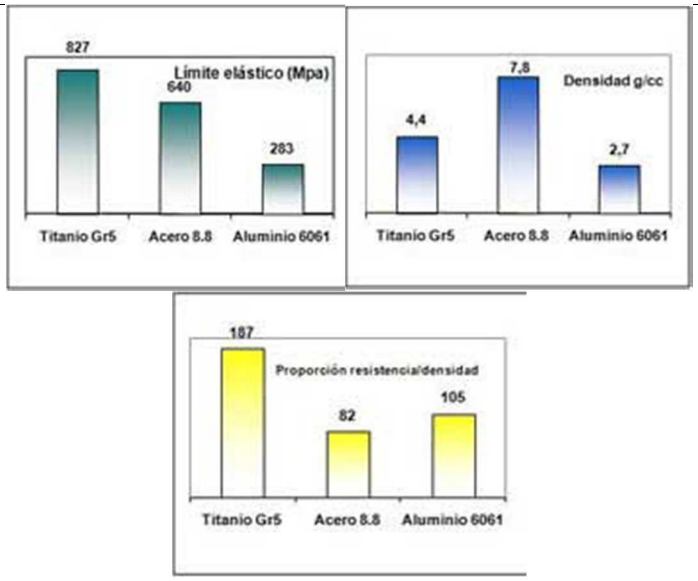


Figura 5.5.1: Comparativo de titanio con acero y aluminio 6061

En la siguiente tabla se presentan las propiedades geométricas y torque de apriete de tornillos de titanio.

TORNILLOS ROSCA METRICA					Ti grado 2		Ti grado 4		Ti grado 5	
MET. mm	PASO mm	HEXAG. mm	ALLEN mm	Sección mm²	Pretensado N	Apriete Nm	Pretensado N	Apriete Nm	Pretensado N	Apriete Nm
2	0,4	4	1,5	1,72	340,28	0,10	595,49	0,18	1.019,61	0,31
2,5	0,45	5	2	2,88	580,09	0,22	1.015,16	0,38	1.738,17	0,65
3	0,5	5,5	2,5	4,34	883,30	0,39	1.545,77	0,69	2.646,68	1,18
3,5	0,6	6	-	5,81	1.178,76	0,62	2.062,84	1,08	3.532,02	1,84
4	0,7	7	3	7,50	1.516,76	0,91	2.654,34	1,59	4.544,80	2,72
5	0,8	8	4	12,32	2.521,43	1,86	4.412,51	3,26	7.555,17	5,58
6	1	10	5	17,36	3.533,18	3,15	6.183,07	5,51	10.586,74	9,44
7	1	11	[illegible]	25,53	5.291,09	5,28	9.259,41	9,42	15.854,11	16,15

Tabla 5.5.1: Torque de apriete de tornillos de titanio

Dimensiones y especificaciones del tornillo DIN912 M5:

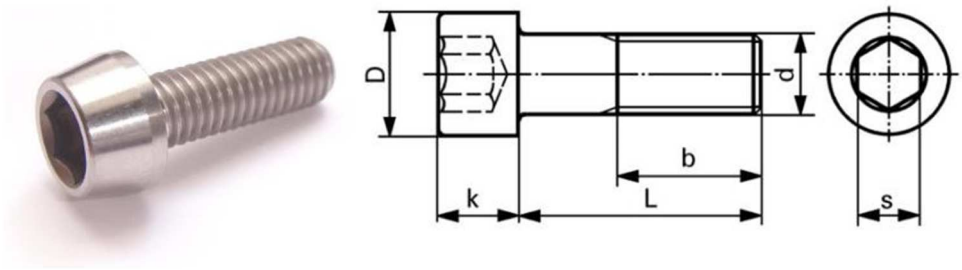


Figura 5.5.2: Cotas de tornillo normalizado

Diámetro de rosca (d): 5mm

Paso rosca: 0.8mm

Diámetro de cabeza (D): 8mm

Llave hexágono (s): 4mm

Altura cabeza (k): 5mm.

Longitud (L): 15mm.

Longitud de rosca (b): 15mm.

Peso por unidad: 1,88 gramos.

Fuerza de pretensado recomendada: 7.5 kN

Par de apriete recomendado: 5.58Nm

En el nuevo modelo se utilizarán tornillos de titanio tamaño M4 para las abrazaderas central y laterales, y M5 para la sujeción del manillar. Serán por tanto 4 tornillos M5 y 3 tornillos M4.

La diferencia de fuerza de precarga en cada tornillo se presenta a continuación:

	Tornillo M6 Acero	Tornillo M5 Titanio
Fuerza de Precarga	3 940 N	7 555 N

Tabla 5.5.2: Precarga de tornillos de potencia

	Tornillo M4 Acero	Tornillo M4 Titanio
Fuerza de Precarga	1 710 N	4 500 N

Tabla 5.5.3: Precarga de tornillos de pletina

A continuación se detalla el peso por unidad de cada uno y el ahorro de peso que implicaría.

Tornillos de Partida de Acero		Tornillos Elegidos de TITANIO	
8 unidades M6x20	52 gr	4 unidades M5x15 (1.88gr)	7.52 gr
3 unidades M4x15	11 gr	3 unidades M4x15 (1.38gr)	4.14 gr
TOTAL	63 gr	TOTAL	11.66 gr

Tabla 5.5.4: Comparación de peso de tornillos

Δ Peso: 51.34gr

Sólo cambiando los tornillos se consigue rebajar 51.34 gramos del conjunto, equivalente a un 14.14% del peso total.

6. REDISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DEL MODELO INICIAL

Tras comprobar que se requiere un cambio de geometría radical para cumplir los requisitos del nuevo diseño, se opta por rediseñar el modelo entero teniendo en cuenta las siguientes condiciones:

- La posición de las barras y tubo de dirección no pueden variar y servirán como sujeción para la nueva pieza.
- Se reducirá la altura del manillar con respecto a la base de la pletina dejándolo al mismo nivel del plano de sujeción de la dirección.
- Se buscará una mejor estructura de sujeción de manillar que brinde la misma o mayor seguridad empleando menos material.
- La separará la sujeción del manillar en 2 sujeciones más delgadas y se estudiará la distancia de separación más óptima.
- Se buscará que la zona de rosca de los tornillos no aporte un exceso de material sino por el contrario utilizar conjuntamente para ello zonas de la propia estructura de la pieza. Así el material utilizado para las roscas será también zona resistente de la estructura.
- Se tendrá en cuenta que el diseño no tenga zonas difíciles de mecanizar.

Según estas condiciones se desarrollaron diversos prototipos que fueron evolucionando.

Como se explicó previamente, debido al corto plazo de tiempo disponible para la realización del presente proyecto se simularán los ensayos sobre los prototipos en el entorno de Solid Works, comprobando primero los resultados de Solid Works con los de Abaqus para el modelo inicial y teniendo en cuenta un margen de similitud en los resultados.

Una vez desarrollado un modelo que cumpla todas las exigencias se procederá a su análisis en Abaqus y se compararán los resultados con los del modelo inicial.

El criterio de evaluación se basará en las lecturas de la deformación máxima y tensión de Von Misses en el ensayo de flexión lateral y la tensión de Von Misses en el ensayo de flexión frontal en su primera etapa, debido a que estas son las medidas más

críticas. El peso del modelo inicial a considerar será **300gr**, correspondiente a la potencia y pletina sin tornillos.

Al final del capítulo se encuentra una tabla comparativa de los resultados generales.

6.1. 1ER PROTOTIPO

Se separa la sujeción del manillar en dos brazos separados con mayor separación horizontal entre las uniones atornilladas haciendo una sujeción más ancha pero eliminando el material central.

En el presente prototipo se realizan los siguientes cambios de geometría:

- Integración de la potencia a la altura de la pletina
- Separación de la tapa en dos piezas y mayor separación horizontal entre ellas, de 50mm a 64mm.
- Aligeramiento de los brazos laterales reemplazándolos por solo dos nervios y eliminando las zonas con menos tensión.

PESO: 230gr

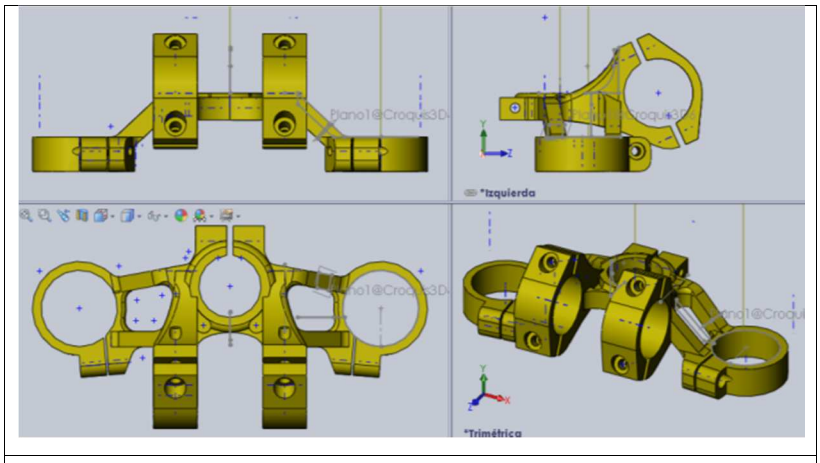
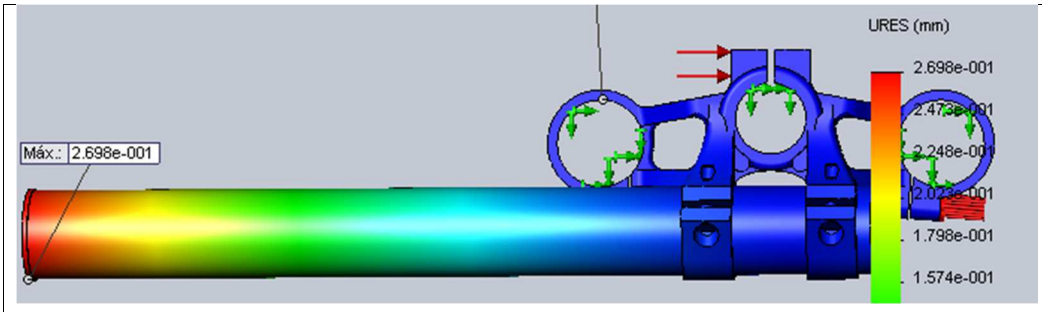
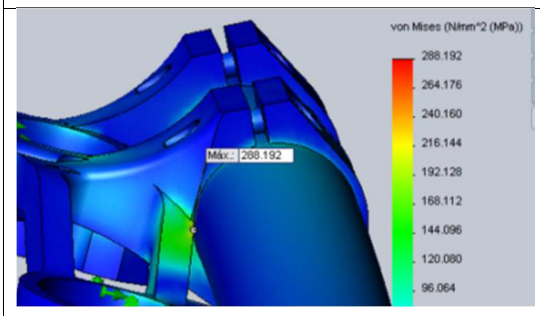


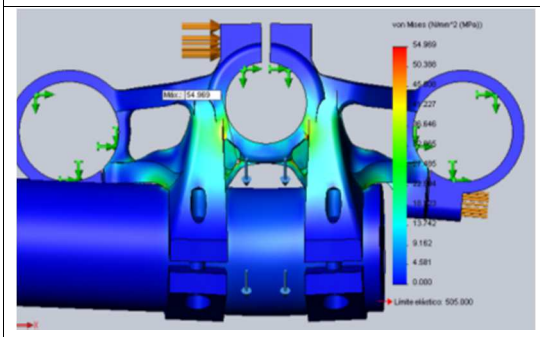
Figura 6.1.1: Vistas de 1er Prototipo

A continuación se muestran los resultados para ambos ensayos.





Flexión Lateral	
Máxima deformación en punto de aplicación de la carga.	0.269 mm
Máxima tensión de Von Misses	288.19 MPa



Flexión Frontal	
Máxima tensión de Von Misses	54.96 MPa

Tabla 6.1.1: Resultados de 1er prototipo

Se aprecia una leve mejora general, los valores máximos, tanto de deformación del ensayo de flexión lateral como los de tensión de Von Misses, han disminuido aunque en poco porcentaje. El peso del conjunto disminuye a 230gr, un 23% menos que el original.

6.2. 2DO PROTOTIPO

En este caso se ha quitado un poco de material de la zona superior de sujeción y añadido un refuerzo para la sujeción del manillar. Se ha rebajado las abrazaderas laterales con un canal por el centro, este cambio será analizado posteriormente.

- Integración del refuerzo en la zona de más deformación y rebaje en el centro del mismo y en la zona baja de la sujeción.
- Rebaje de material en la zona superior de sujeción del manillar.

PESO: 226gr

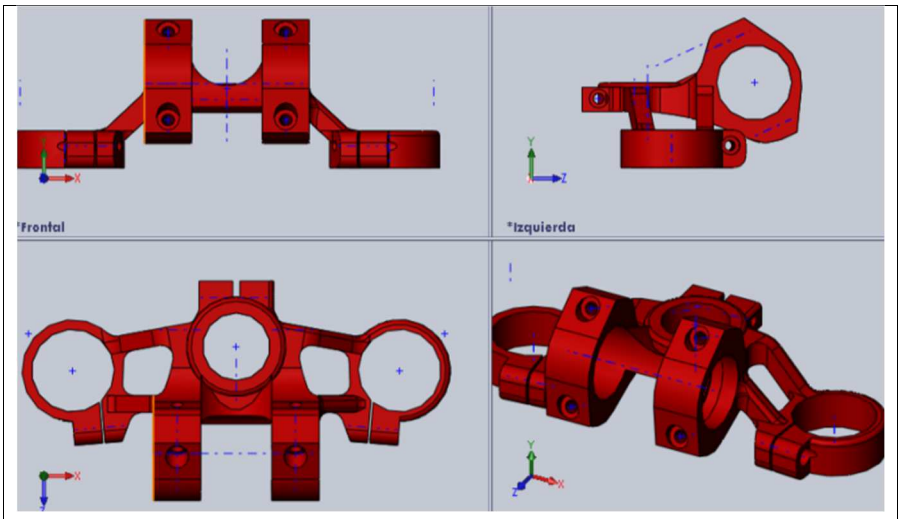
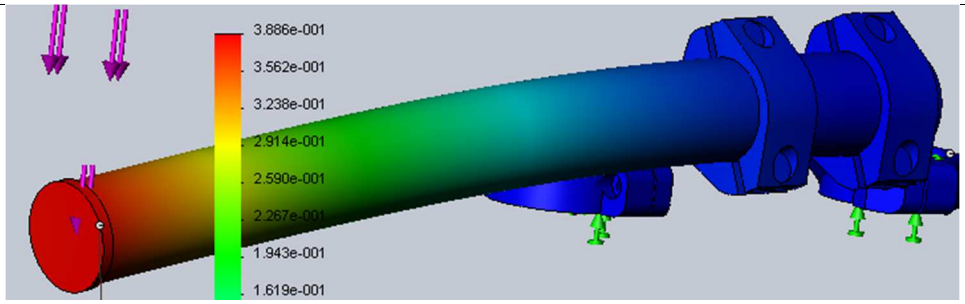
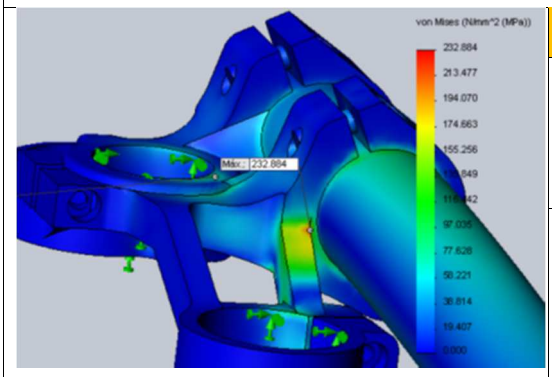


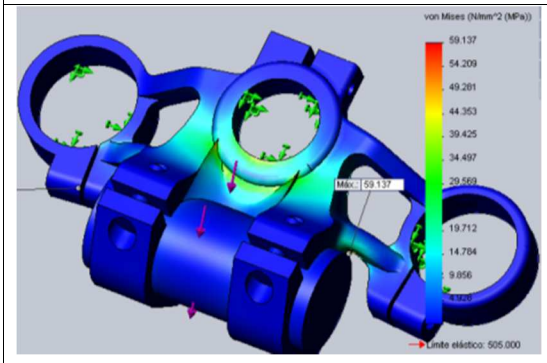
Figura 6.2.1: Vistas del 2do Prototipo

A continuación se muestran los resultados para ambos ensayos.





Flexión Lateral	
Máxima deformación en punto de aplicación de la carga.	0.388 mm
Máxima tensión de Von Misses	232.88 MPa



Flexión Frontal	
Máxima tensión de Von Misses	59.13 MPa

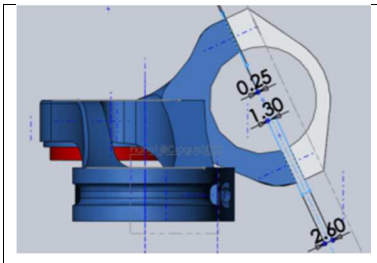
Tabla 6.2.1: Resultados de 2er prototipo

El cambio de diseño de las sujeciones es mejor, sufre menos tensión de Von Misses producida por flexión lateral. Se aprecia una concentración de tensión en el brazo delantero de la pletina. Las tensiones producidas por flexión hacia adelante deberían ser absorbidas por el soporte de manillar en vez de los brazos laterales como se produce en este caso. Sin embargo no presenta concentración de tensiones en el refuerzo central añadido.

6.3. 3ER PROTOTIPO

- Rediseño de los brazos de la pletina para formas más suaves y sin aristas.
- Adición del apriete central de la pletina hacia un lateral para aprovechar mejor el material.
- Se cambia la sujeción del manillar por un estilo de apriete más seguro, utilizado en motos de cross.
- Rebaje central en forma de canal en el interior del soporte de manillar

PESO: 191 gr



Se trata de apretar del todo los dos tornillos superiores y luego apretar los dos inferiores al torque indicado. Con esto se consigue una superficie de apriete mucho más uniforme, une la cara de la tapa con el cuerpo de la potencia y disminuye la fatiga en los tornillos.

Figura 6.3.1: Nuevo estilo de apriete

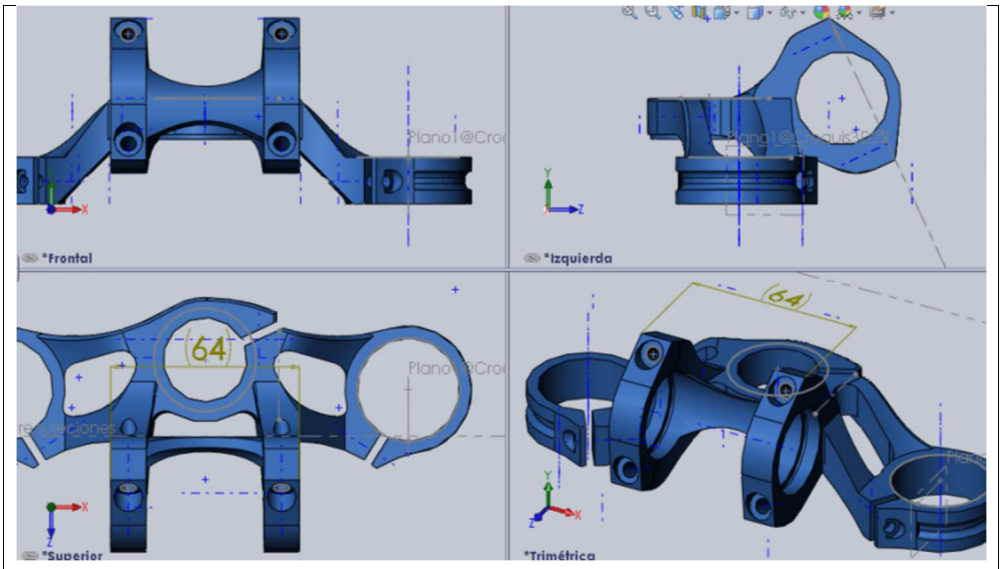
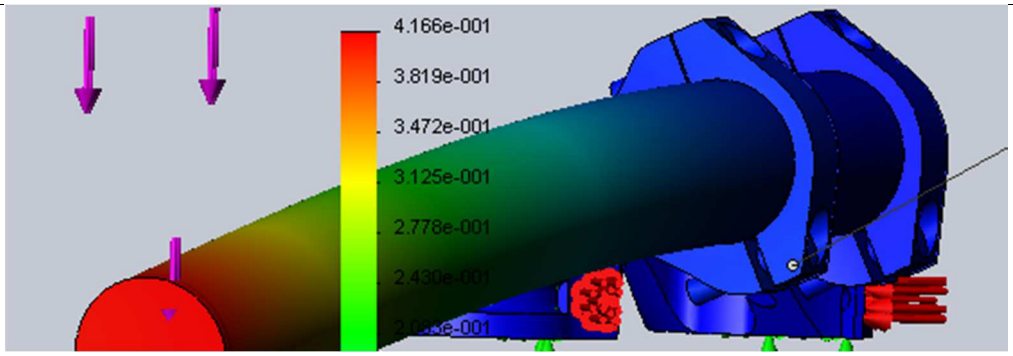
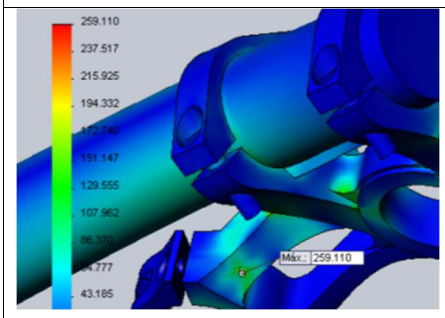


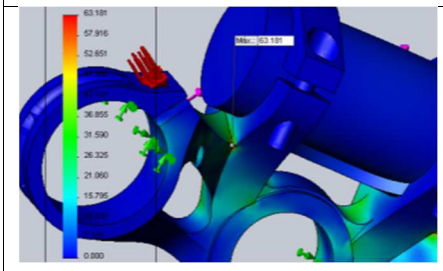
Figura 6.3.2: Vistas de 3er Prototipo

A continuación se muestran los resultados para ambos ensayos.





Flexión Lateral	
Máxima deformación en punto de aplicación de la carga.	0.416 mm
Máxima tensión de Von Misses	259.11 MPa



Flexión Frontal	
Máxima tensión de Von Misses	63.18 MPa

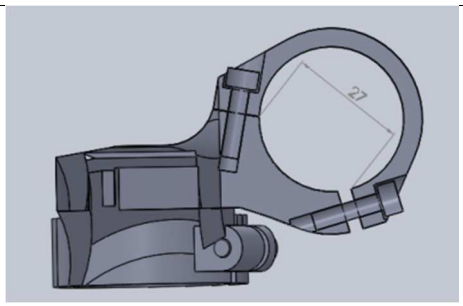
Tabla 6.3.1: Resultados de 3er prototipo

Se sacrifica un poco de resistencia consiguiendo bajar de 200gr el peso del diseño. Sin embargo la tensión máxima producida por flexión lateral se localiza en el agujero para la rosca de los tornillos laterales. Dicha zona también estará sometida a fuerzas de tracción producidas por la rosca, imposible de simular con el pack de estudiante de Solid Works. Teniendo esto en consideración es recomendable cambiar el diseño del apriete.

Se desestima también el rebaje interior de la sujeción debido a que restaría área de contacto con el manillar, se buscará otra manera de rebajar material de dicha zona.

6.4. 4TO PROTOTIPO

- Se desarrolla un modelo partiendo de cero semejante al prototipo anterior para reducir las operaciones de creación y eliminar posibles excesos de modelos anteriores.
- Se elimina el refuerzo central debido a la dificultad de su fabricación.
- Cambio en el diseño del ajuste de los tornillos de sujeción lateral.
- Se implanta un nuevo sistema de sujeción del manillar.



Las tapas cierran más sobre el manillar y dejan 27mm para ingresarlas por el extremo del manillar. De esta forma se elimina material del cuerpo de la pletina.

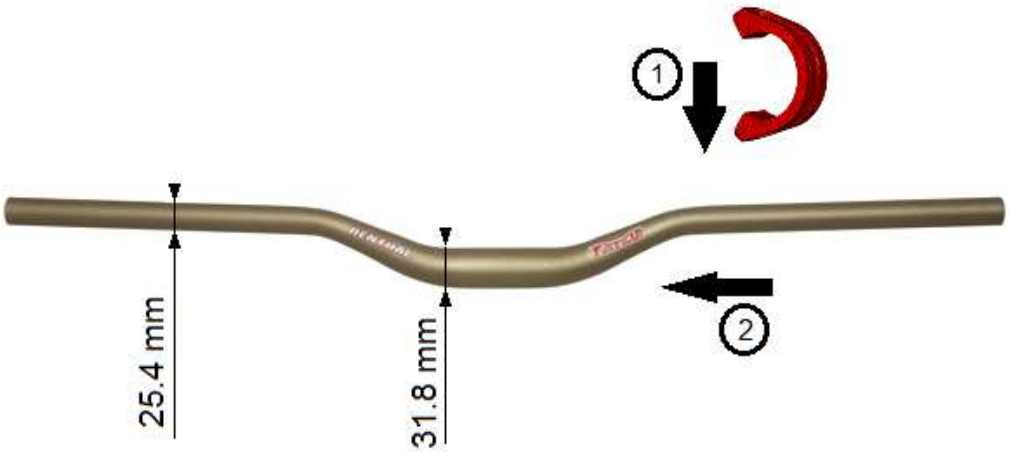


Figura 6.4.1: Nuevo diseño de sujeción

PESO: 209 gr.

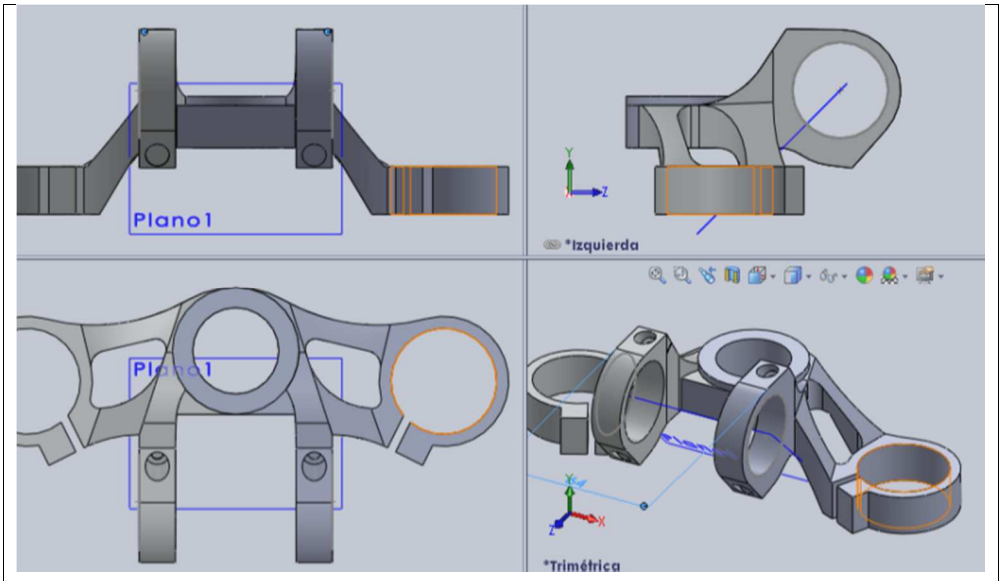


Figura 6.4.2: Vistas de 4to Prototipo

A continuación se muestran los resultados para ambos ensayos.

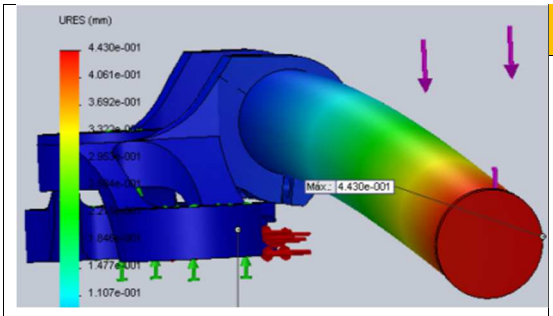
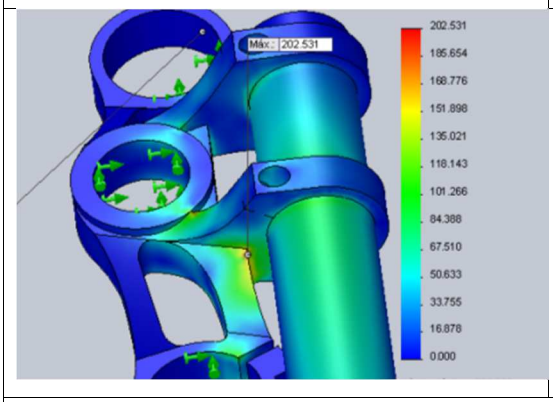
	Flexión Lateral	
	Máxima deformación en punto de aplicación de la carga.	0.443 mm
	Máxima tensión de Von Misses	202.53 MPa

Tabla 6.4.1: Resultados de 3er prototipo flexión lateral

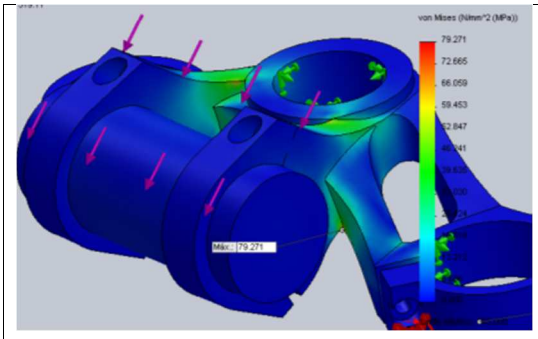
	Flexión Frontal	
	Máxima tensión de Von Misses	79.27 MPa

Tabla 6.4.2: Resultados de 3er prototipo flexión frontal

El modelo ha aumentado 10gr de peso en el rediseño pero se ha conseguido bajar considerablemente la tensión máxima del ensayo de flexión lateral.

Se consigue también liberar tensión de la zona de rosca del tornillo, en el modelo anterior se localizaba en ese punto la máxima tensión de Von Misses.

6.5. 5TO PROTOTIPO

Se cambian los brazos laterales independientes por una pletina rebajada por debajo y un poco por encima, de nervios más delgados. Esto es debido a que la torsión producida será mejor absorbida por las pletinas planas que por nervios independientes.

También se extiende la zona central hacia el manillar pero disminuyendo el grosor para estudiar si mejora el comportamiento en el ensayo de flexión frontal.

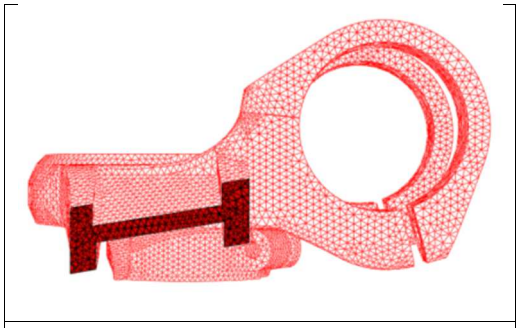


Figura 6.5.1: Perfil del brazo de a pletina

PESO: 210 gr

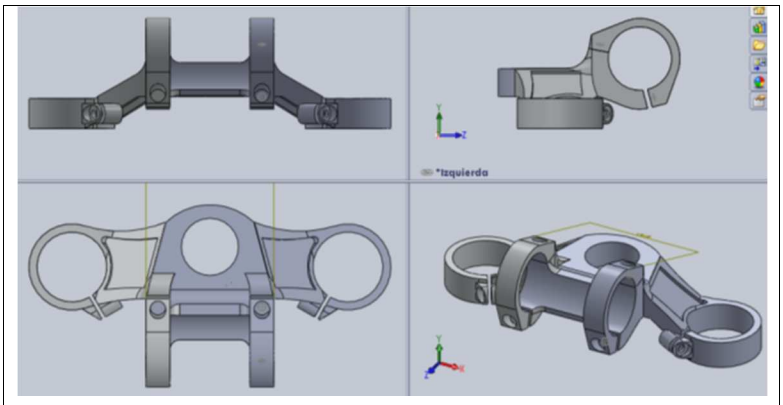


Figura 6.5.2: Vistas de 5to Prototipo

A continuación se muestran los resultados para ambos ensayos.

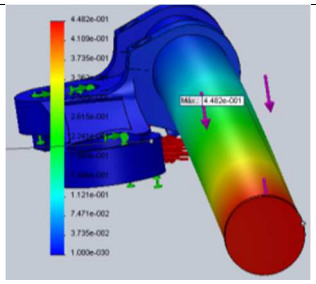
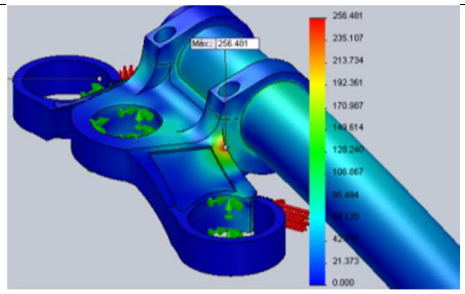
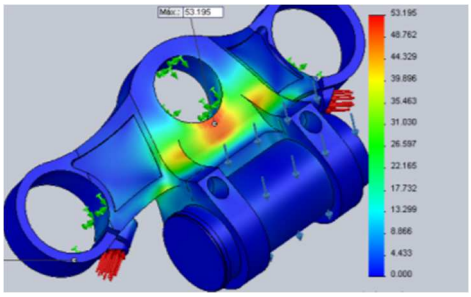
	Flexión Lateral	
	Máxima deformación en punto de aplicación de la carga.	0.448 mm
	Máxima tensión de Von Misses	256.48 MPa
	Flexión Frontal	
	Máxima tensión de Von Misses	53.19 MPa

Tabla 6.5.1: Resultados de 4to prototipo

Efectivamente disminuye la tensión máxima a flexión frontal pero el diseño muestra una total concentración de tensión localizada en la zona superior central, que se extiende desde la sujeción hacia adelante. Se está exigiendo más al refuerzo que a los soportes.

6.6. 6TO PROTOTIPO

- Se incorpora el cierre central similar al diseñado para el 5to prototipo.
- Se realizan rebajes en la zona central y abrazaderas de barras y manillar.
- Tras probar distintos ángulos para la sujeción superior del manillar se cambia de 8° a 6.22° que es lo recomendado por el simulador para disminuir el peso sin sacrificar desempeño.

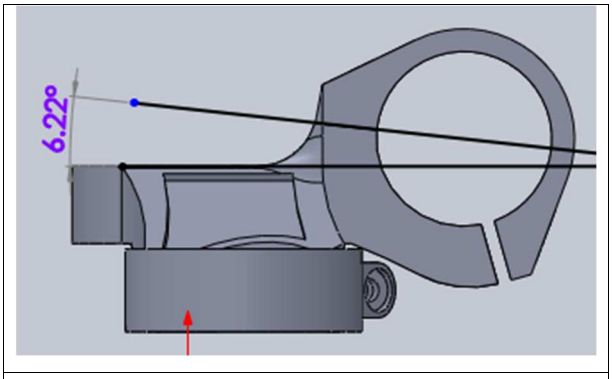


Figura 6.6.1: ángulo de sujeción superior

PESO: 207 gr

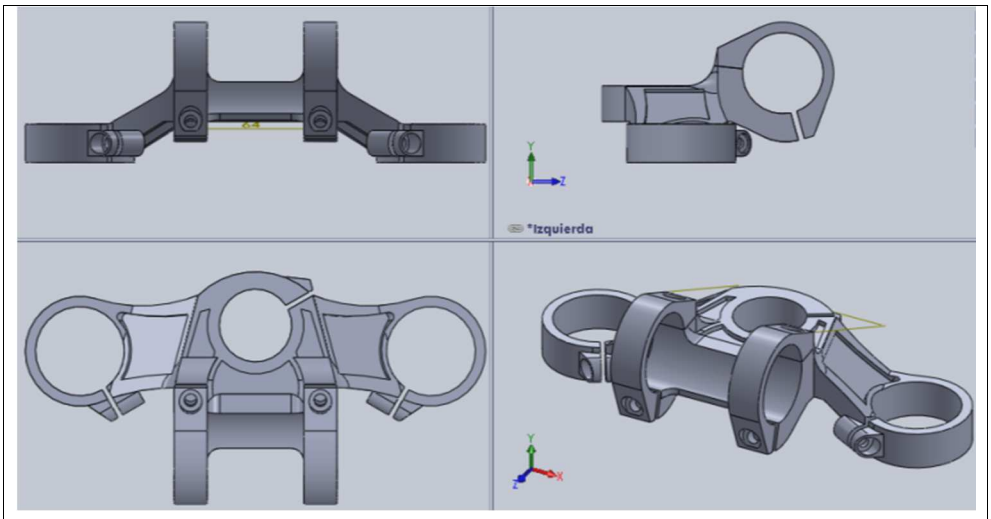


Figura 6.6.2: Vistas de 6to Prototipo

A continuación se muestran los resultados para ambos ensayos.

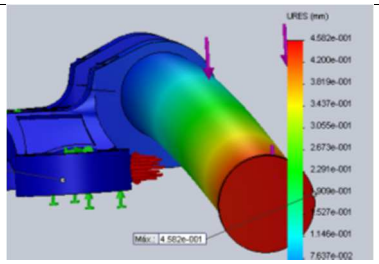
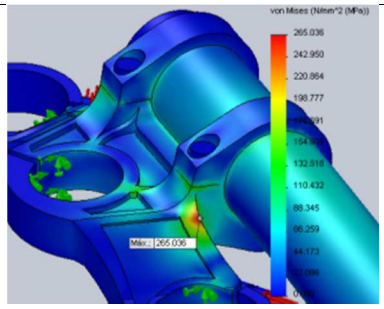
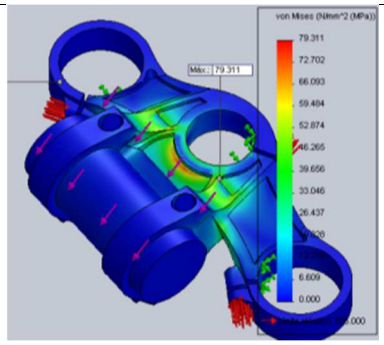
	Flexión Lateral	
	Máxima deformación en punto de aplicación de la carga.	0.458 mm
	Máxima tensión de Von Misses	265.03 MPa
	Flexión Frontal	
	Máxima tensión de Von Misses	79.31 MPa

Tabla 6.6.1: Resultados de 4to prototipo

El valor de las tensiones máximas aumenta levemente pero se mantiene bastante por debajo del límite elástico.

Los rebajes utilizados crean concentraciones de tensión en las aristas producidas, se podría redondear estas aristas pero no compensa. Se estudiará otra forma de rebajar la parte superior de la pletina.

6.7. ANÁLISIS DE REBAJES ADICIONALES

6.7.1. REBAJES EN TAPAS

En este punto se probaron 2 tipos distintos de rebajes sobre la parte superior de la pletina, concretamente sobre la sujeción del manillar. Para el análisis se tendrá en cuenta el criterio de la deformación máxima de Von Misses en flexión lateral y frontal puesto que los valores de deformación están siendo muy bajos.

1er rebaje

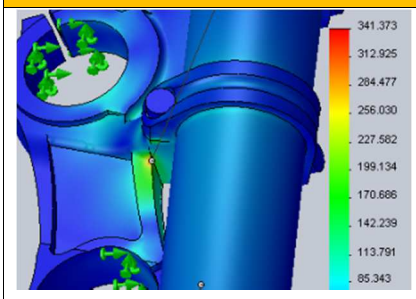
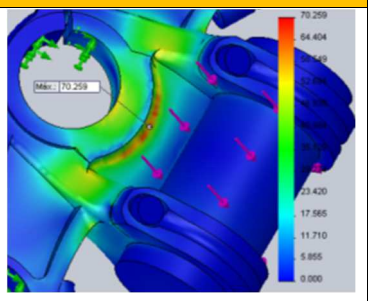
Flexión lateral	Flexión frontal
	
342.37 MPa	70.25 MPa

Tabla 6.7.1.1: Diseño 1 de rebaje de tapas

2do rebaje

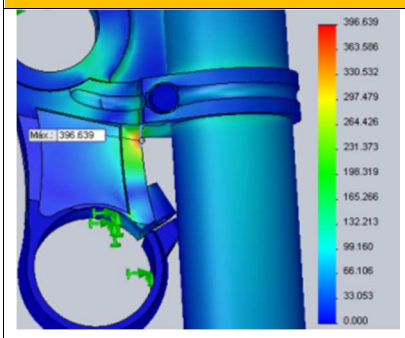
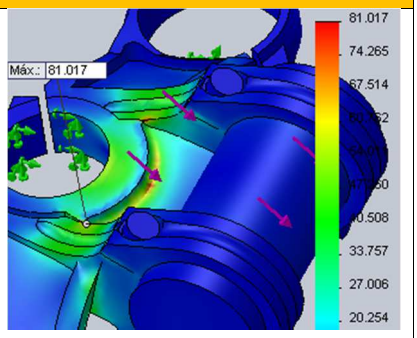
Flexión lateral	Flexión frontal
	
396.63 MPa	81.01 MPa

Tabla 6.7.1.2: Diseño 2 de rebaje de tapas

Según se puede observar en el primer diseño de rebaje se alcanzan menores valores de tensiones máximas en ambos ensayos. La cantidad de material en ambos fue la misma por lo que se puede concluir que el primer diseño es el más optimo.

6.7.2. REBAJES EN ABRAZADERAS LATERALES

Se simula la presión en las sujeciones de las barras para probar el diseño.

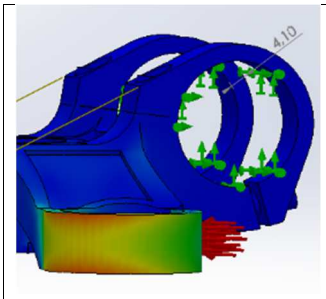
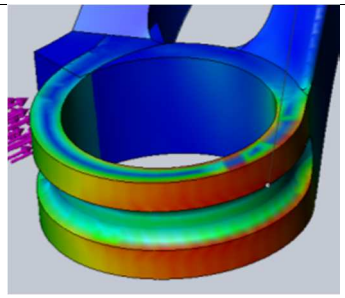
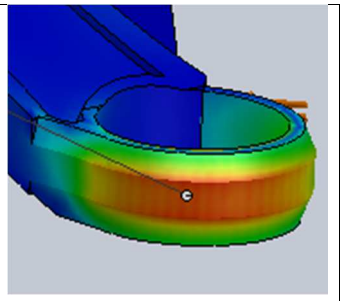
		
Tensión máxima de Von Misses (MPa):		
241.24	323.89	**279.23**

Tabla 6.7.2: Rebajes en abrazaderas laterales

En el caso de las abrazaderas laterales se tiene mejor respuesta, alcanzando menores valores de tensión, en el diseño con rebajes en los cantos. Además reparte la tensión de forma más uniforme.

Ambos rebajes, de las abrazaderas como de las tapas, serán aplicados al modelo final.

6.8. PROTOTIPO FINAL

El modelo anterior mostraba valores máximos de tensión en el ensayo de flexión lateral con valor de 265 MPa, lo que significa un coeficiente de seguridad de 1.9 sin embargo en el mismo ensayo el modelo inicial llega al límite de la deformación plástica. Esto significa que se puede rebajar el modelo aún más en la zona central.

Por lo tanto se rebajó material del soporte central hasta llegar a un término medio sin sobrepasar un diámetro de 21mm en la abrazadera central. Se comprobó posteriormente en las pruebas que era un refuerzo innecesario.

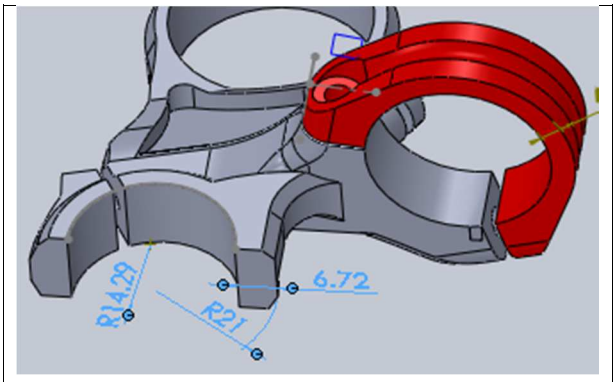


Figura 6.8.1: Rebaje central

PESO: 176 gr

6.8.1. Resultados obtenidos para el modelo final con Solid Works

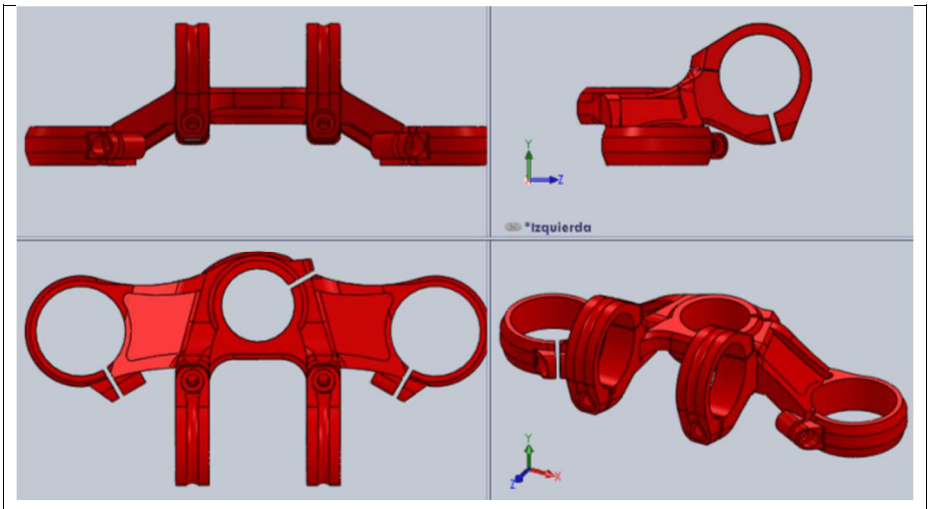
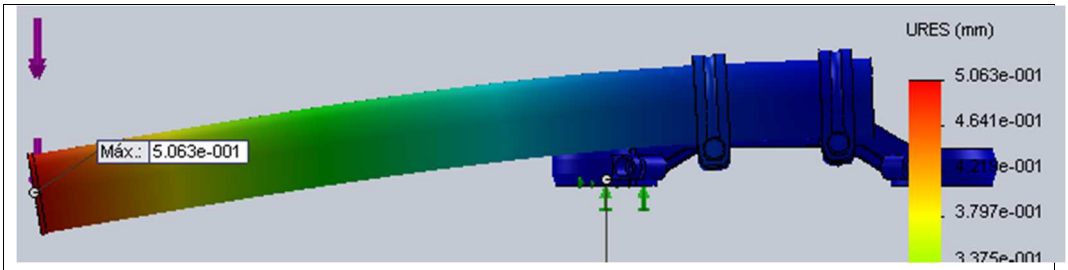


Figura 6.8.2: Vistas del Prototipo Final

A continuación se muestran los resultados de ambos ensayos:



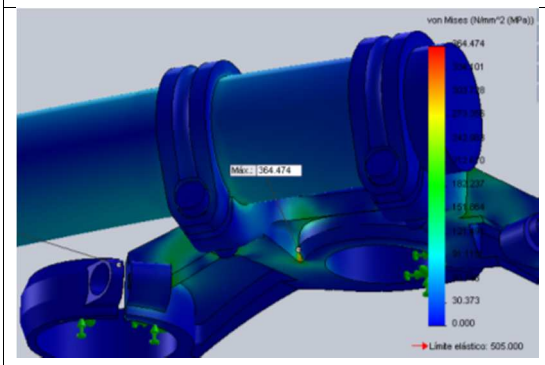
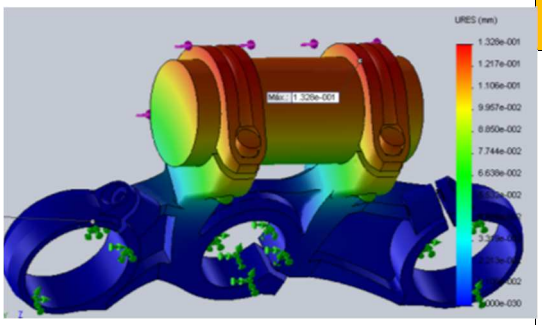
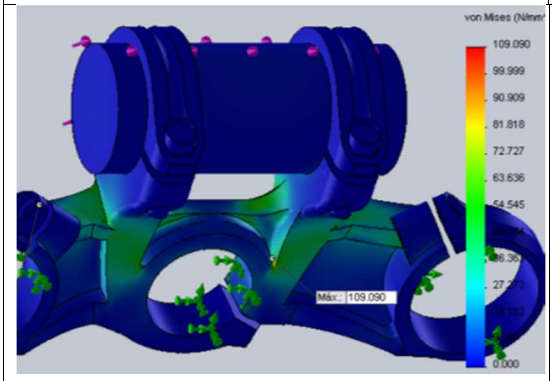
	Flexión Lateral	
	Máxima deformación en punto de aplicación de la carga.	0.5 mm
	Máxima tensión de Von Misses	364 MPa
	Flexión Frontal	
	Máxima deformación en punto de aplicación de la carga.	0.13 mm
	Máxima tensión de Von Misses	109 MPa

Tabla 6.8.1: Resultados de 3er prototipo

El modelo cumple con seguridad las deformaciones máximas exigidas por la norma UNE. Los valores máximos de tensión de Von Misses llegan a, aproximadamente, 364 MPa y se localizan en una esquina muy pequeña por debajo de la pletina durante el ensayo de flexión lateral. La gráfica de tensión muestra que estas se reparten uniformemente en los brazos de sujeción.

Con la tensión de Von Misses máxima en 364 MPa el modelo presenta un coeficiente de seguridad de 1.38 en el caso más desfavorable mientras que el modelo inicial, en el mismo caso, sufría deformación plástica.

También se ha tenido en cuenta que es enteramente mecanizable, todas las zonas donde requiera ingresar la herramienta de corte son accesibles.

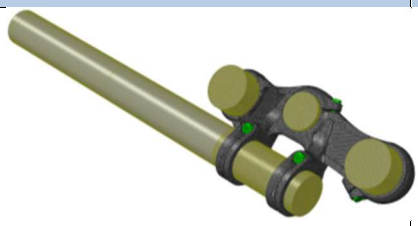
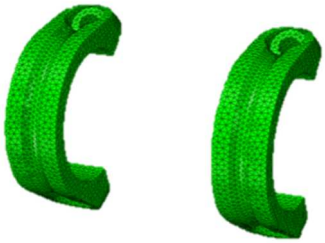
Una vez determinado que se han realizado todas las mejoras y rebajes pertinentes se procederá a un análisis más completo del modelo en el entorno de Abaqus.

7. ANÁLISIS DE MODELO FINAL CON ABAQUS

Abaqus cuenta con más posibilidades de configuración que la opción de Simulation Xpress de la versión de estudiante de Solid Works utilizada para los prototipos. En Abaqus es posible seleccionar el tipo de malla a utilizar y luego su modificación a ser necesario. También es posible crear tu propio material a partir de sus características de resistencia como el límite elástico, de rotura, coeficiente de Poisson, y grado de deformación.

7.1. MALLADO

A continuación se muestra en detalle el modelo de elementos finitos así como el tipo y el número de elementos utilizado en cada uno de los componentes.

COMPONENTE	MODELO DE ELEMENTOS FINITOS	NUMERO DE ELEMENTOS	TIPO DE ELEMENTOS
Modelo Global		120901	C3D4 y C3D8
Cuerpo de Pletina		38542	C3D4
Tapas de potencia		7727	C3D4

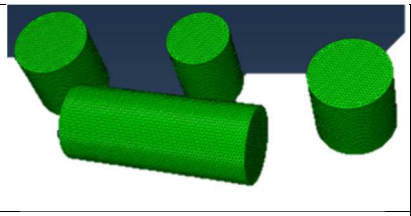
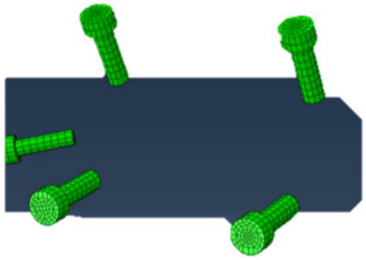
Manillar y Barras		69461	C3D4
Tornillos Ti M4 X 20 (x4)		2048	C3D8
Tornillos Ti M4 X 20 (x4)		339	C3D8

Tabla 7.1: Elementos del modelo final

El mallado de la pletina y las tapas se ha realizado con elementos volumétricos (tetraedros C3D4). Al igual que en el modelo inicial no nos deja crear una malla isométrica debido a ser una geometría compleja y exportada de otro programa.

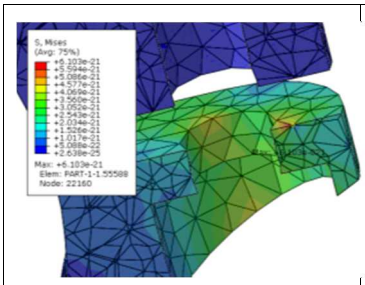
La malla de los tornillos se realizó por medio de la extrusión a partir del mallado de una cara del tornillo. De esta manera la unión de los elementos crean caras que cortan al tornillo en su sección transversal. Esta condición era necesaria para poder aplicar el método de pretensión explicado anteriormente para el primer modelo y detallado en el manual de Abaqus, adjunto en los anexos del presente proyecto.

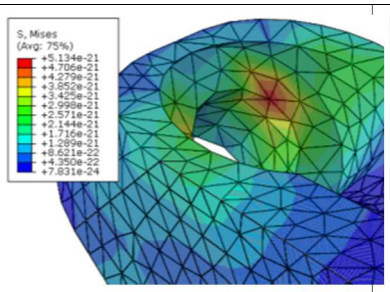
El tamaño de los elementos fue elegido de forma que fuesen lo suficientemente pequeños para que los resultados obtenidos fuesen lo más aproximados posible de acuerdo con la metodología utilizada por el método de los elementos finitos, pero lo suficientemente grandes para que el número de elementos totales del modelo no fuese demasiado elevado ya que este factor está relacionado directamente con el tiempo de cálculo (un mayor número de elementos implica un mayor tiempo de cálculo).

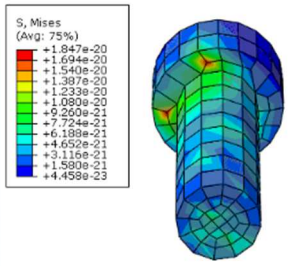
Con esto concluiría la fase de modelado y discretización mediante elementos finitos del nuevo modelo.

7.2. RESULTADOS PARA EL MODELO FINAL CON ABAQUS

7.2.1. CASO DE REPOSO







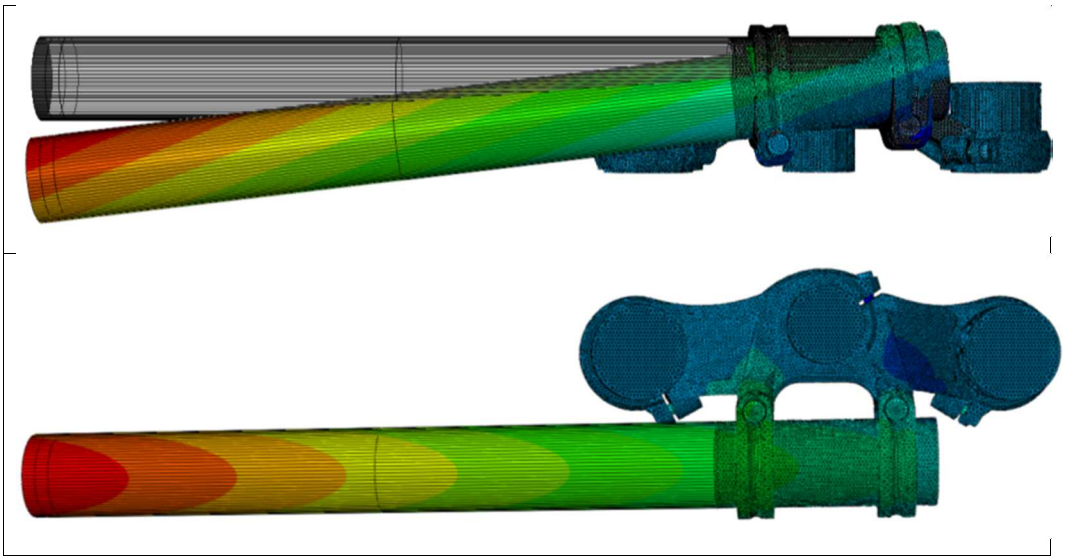
Tensión en pletina	Tensión en tapa	Tensión en tornillo
6.1e-21 MPa	5.13e-21	1.84e-20

Tabla 7.2.1: Tensiones en modelo inicial por precarga de los tornillos

El modelo se comporta correctamente mostrando leves valores de tensión en las zonas de apriete. Este caso es simplemente una comprobación.

7.2.2. CASO DE FLEXIÓN LATERAL

Se realiza el ensayo tal como indica la norma UNE-EN 14776. Empleando una barra de ensayo de acero y aplicando una carga de 1000N a 300mm del centro de la potencia.



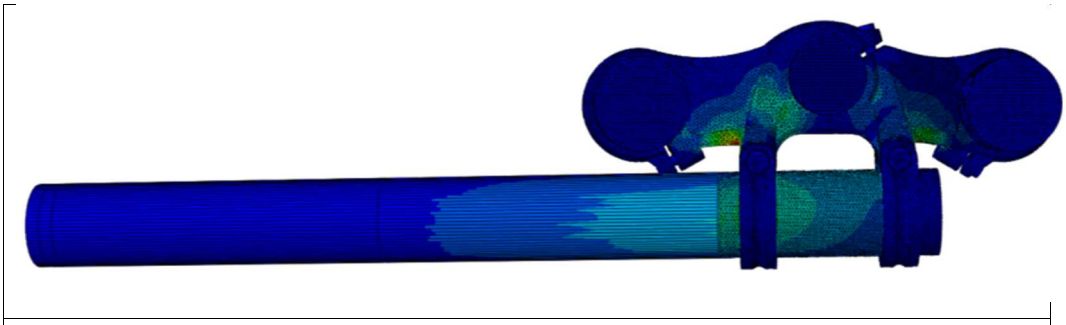


Figura 7.2.2.1: Vista general del ensayo de flexión lateral

Para cumplir esta prueba la zona de aplicación de la fuerza (el extremo de la barra) no debería sobrepasar un desplazamiento de 10mm y la pieza no debería mostrar fisuras ni roturas.

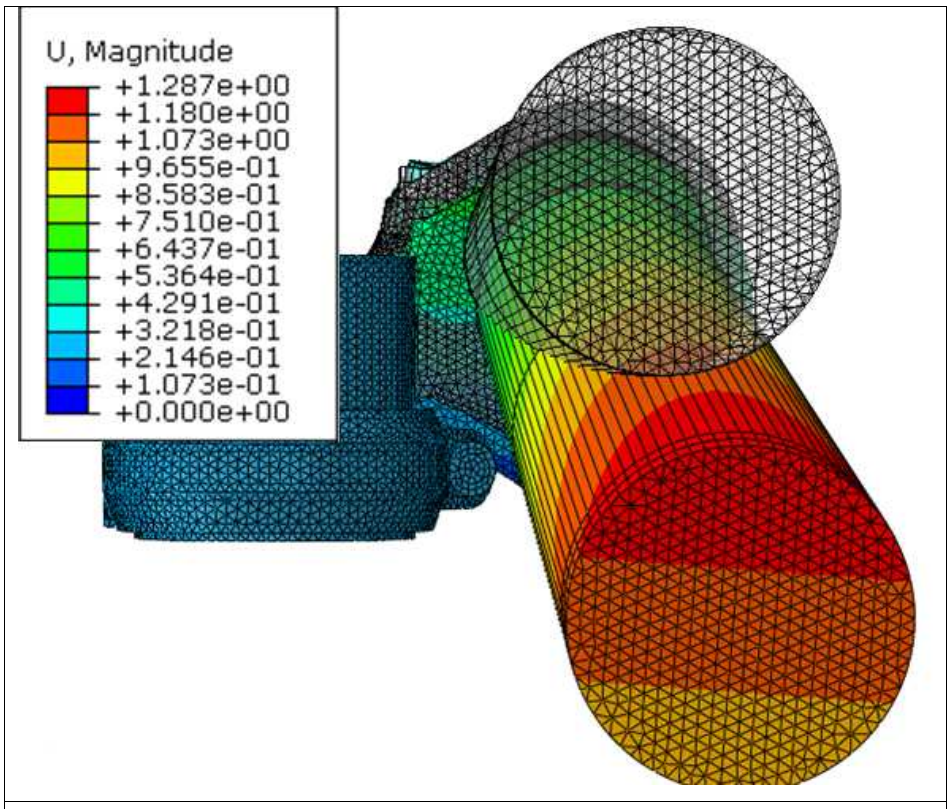
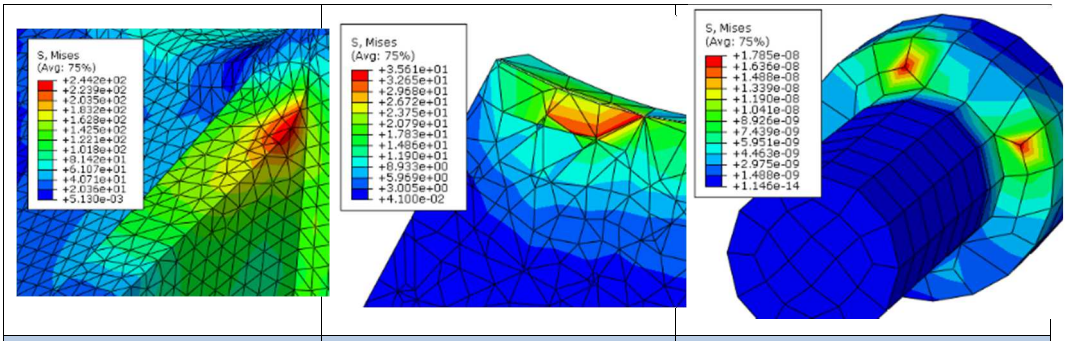


Figura 7.2.2.2: Deformación en ensayo de flexión lateral

En la prueba sobre el modelo inicial se utilizó acero, con módulo de elasticidad de 2.1E+05 para simular la barra de ensayo. En este caso se ha simulado la barra con

módulo de elasticidad bastante mayor, con casi el doble de rigidez. Esto implica sobrecargar más tensión sobre la pieza y de esta manera someter a la pieza a una condición crítica más desfavorable que las condiciones de ensayo establecidas por la norma.

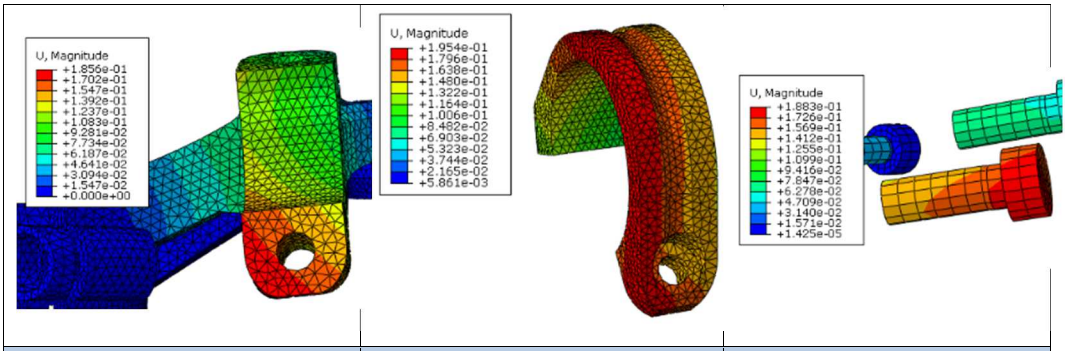
A continuación se muestran los detalles en cada pieza. A pesar de no ser de importancia para el ensayo ayuda a entender el comportamiento del modelo:



Tensión en pletina	Tensión en tapa	Tensión en tornillo
244 MPa	35.61 MPa	1.7e-08 MPa

Tabla 7.2.2.3: Tensiones en modelo inicial por flexión lateral

La concentración de tensión máxima se localiza en la pletina con un valor de 244Mpa. Muy por debajo del Límite Elástico nos asegura un buen comportamiento y resistencia. Los tornillos casi no sufren altas fuerzas de tensión.

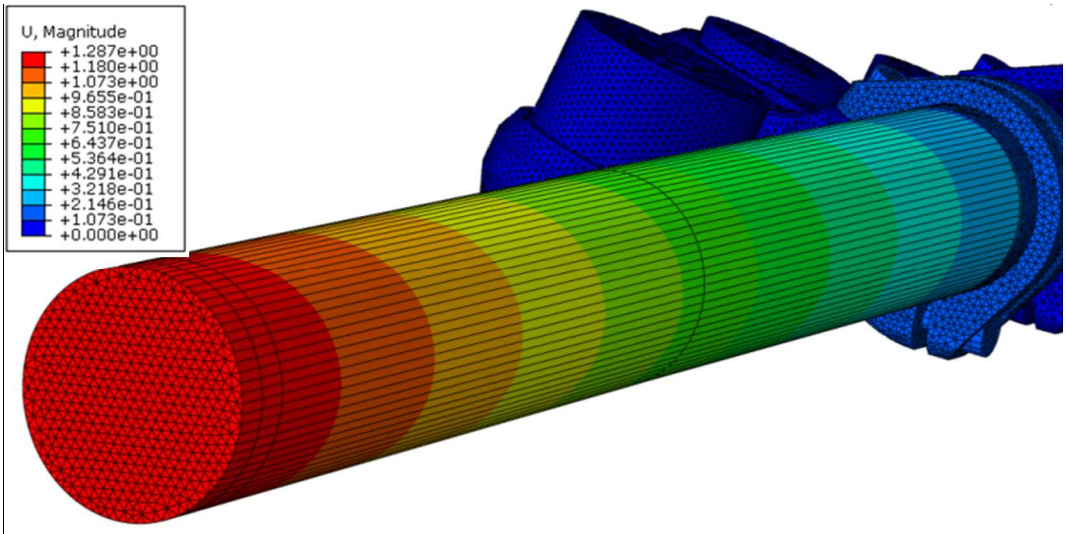


Deformación en pletina	Deformación en tapa	Deformación en tornillo
0.185 mm	0.195 mm	0.188 mm

Figura 7.2.2.4: Deformaciones en modelo final por flexión frontal

La deformación máxima sobre las piezas del ensamblaje alcanza valores de, aproximadamente, 0.195 mm en la parte inferior de la tapa del lado de la aplicación de la fuerza.

Con valor de 0.195 mm de deformación la pieza no corre ningún peligro, sin embargo lo que la norma UNE-EN señala es que la deformación sobre el punto de aplicación de la fuerza no debe sobrepasar los 10mm. La siguiente imagen describe el caso:



Deformación máxima (mm) :	1.287

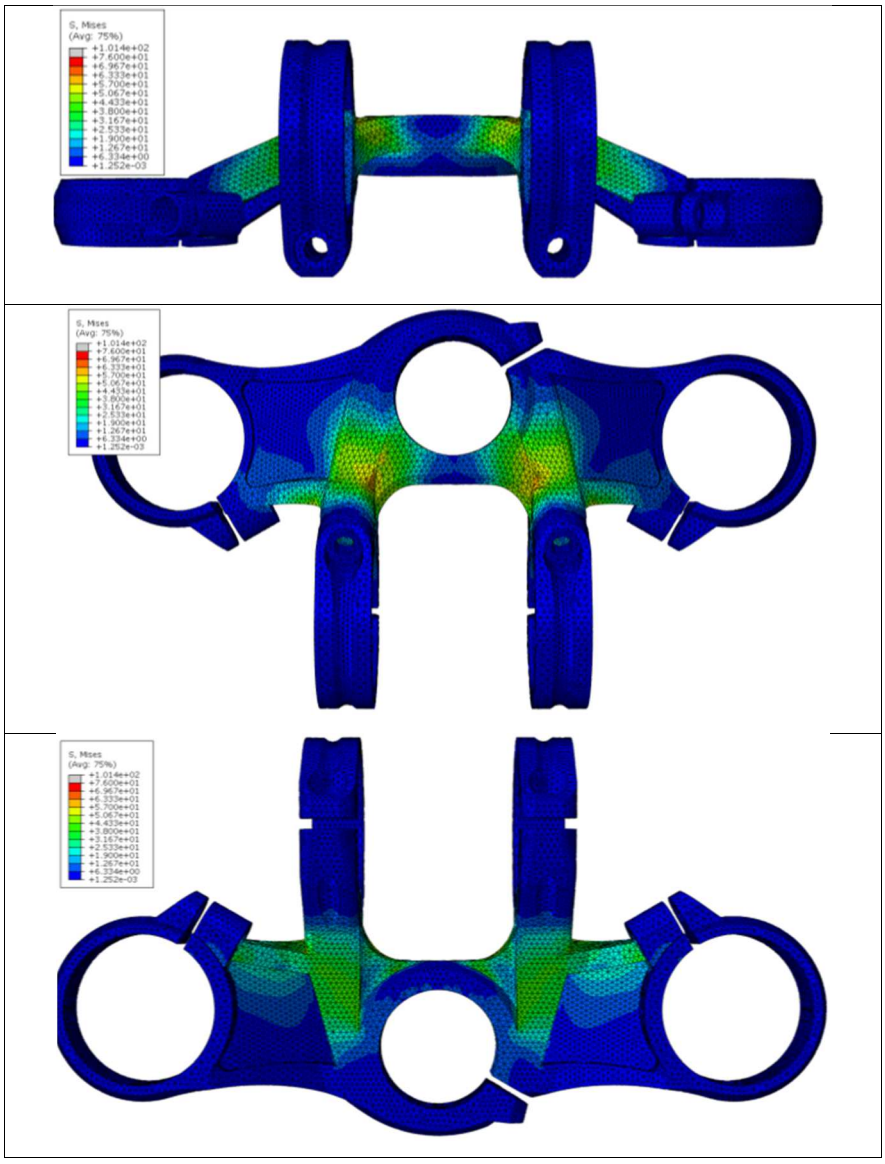
Figura 7.2.2.5: Deformación en punto de aplicación de la fuerza

Con un valor de 1.28 mm de deformación contemplada para el cumplimiento de la norma UNE, se sitúa muy por debajo del límite y cumple la normativa con un coeficiente de seguridad de 7.8

7.2.3. CASO DE FLEXIÓN FRONTAL

Se desarrollará el ensayo con la aplicación de 1600N en la primera etapa y 2600N en la segunda etapa. Es así como lo describe la Norma UNE

<u>1da Etapa:</u> Aplicación de 1600N hacia adelante a 45°



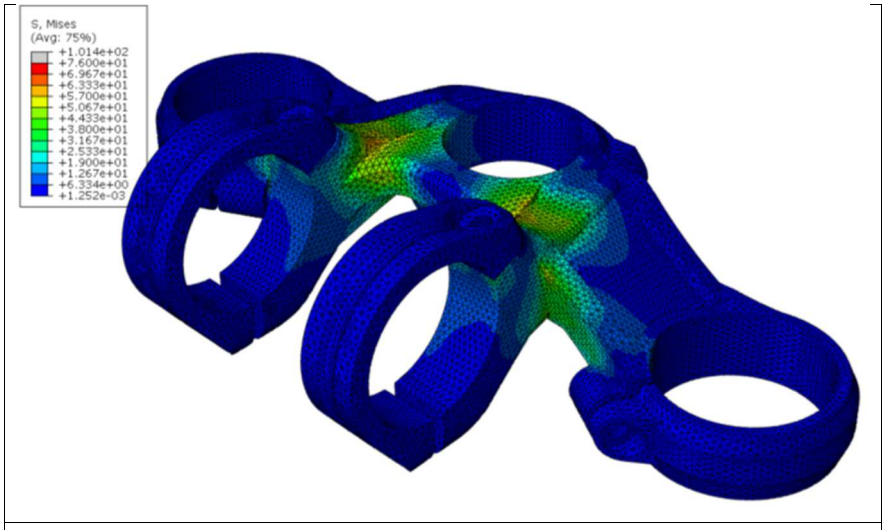
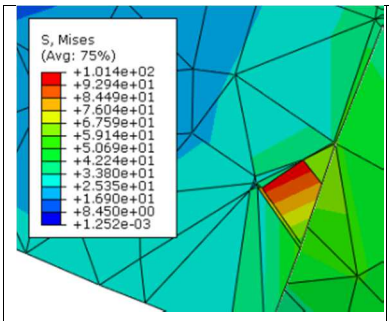
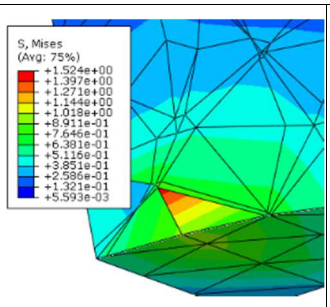


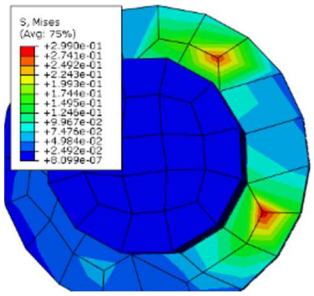
Figura 7.2.3.1: Vistas de tensión de Von Misses sobre el modelo

La vista general muestra que no se produce concentración de tensiones en las aristas sino por el contrario una repartición homogénea en la zona de los brazos resistentes. A continuación se muestran los valores máximos para cada pieza.

Gráficos de tensión de Von Misses:







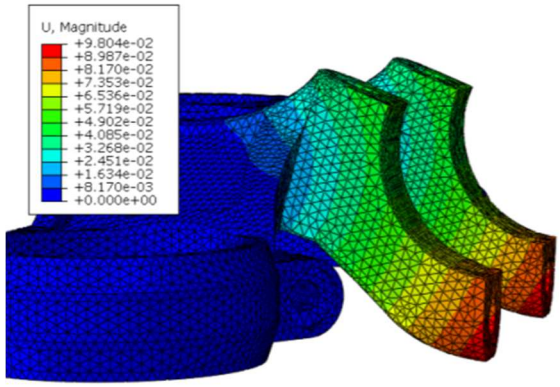
Tensión en pletina	Tensión en tapa	Tensión en tornillo
101.4 MPa	1.52 MPa	0.299 MPa

Tala 7.2.3.1: Tensiones en modelo final por flexión frontal

En las imágenes anteriores se puede apreciar que las cargas máximas se encuentran concentradas en un solo elemento de la malla que es claramente una irregularidad. El propio elemento por su geometría particular puede haber creado este pico de tensión. Por lo tanto no se tomará en cuenta este elemento para la lectura de

resultados y, como se explicó al inicio del cálculo, para estos casos se extraerán los resultados de una zona representativa. El valor máximo de 101,4 MPa será sólo considerado para la posterior comparación con el máximo dado por Solid Works, pero la tensión de Von Misses máxima considerada para análisis será de 84.49MPa.

Los gráficos de deformación de cada pieza son mostrados a continuación:



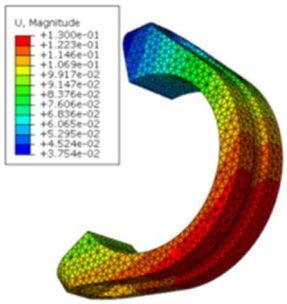
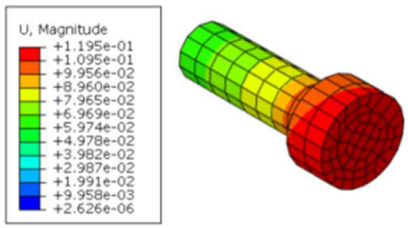
Deformación en pletina (mm)	
0.098	
	
Deformación en tapa (mm)	Deformación en tornillo (mm)
0.130	0.119

Tabla 7.2.3.2: Deformaciones en modelo final por flexión frontal

Todas las piezas sufren muy poca deformación en comparación con el límite elástico del material. La deformación en el punto de aplicación de la fuerza llega al valor de 0.130 mm, muy por debajo del límite establecido en la Norma UNE.

A continuación se muestra una vista más amplia de la zona en donde se encuentra el pico de mayor tensión y cómo se reparte por la pieza.

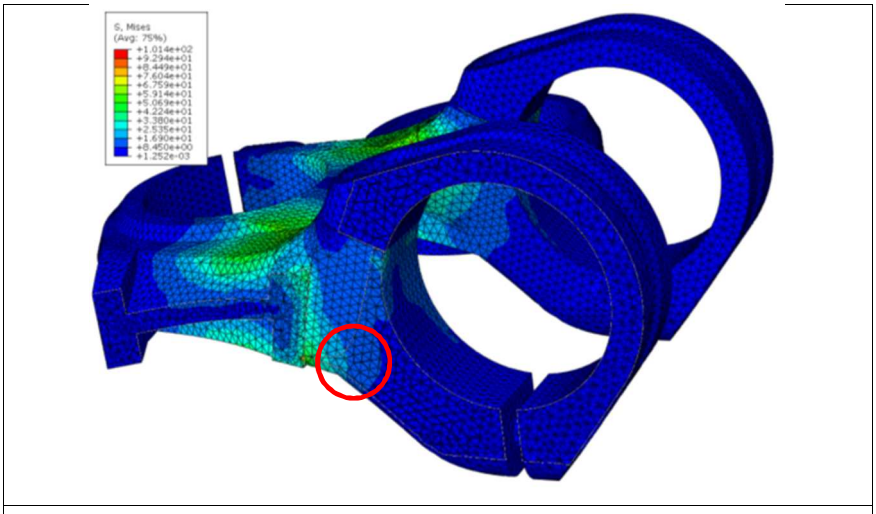


Figura 7.2.3.2: Ubicación de pico de tensión flexión frontal en 1ra etapa

<u>2da Etapa:</u> Aplicación de 2600N hacia adelante a 45°

Al igual que en la primera etapa se encuentra un pico de tensión en la cara inferior de la pletina. Sin tener en consideración el elemento que produce este pico de tensión, el valor más alto de tensión de Von Misses alcanza un valor de 138MPa de localización de carácter central en la pletina, en la misma zona crítica de la 1ra etapa.

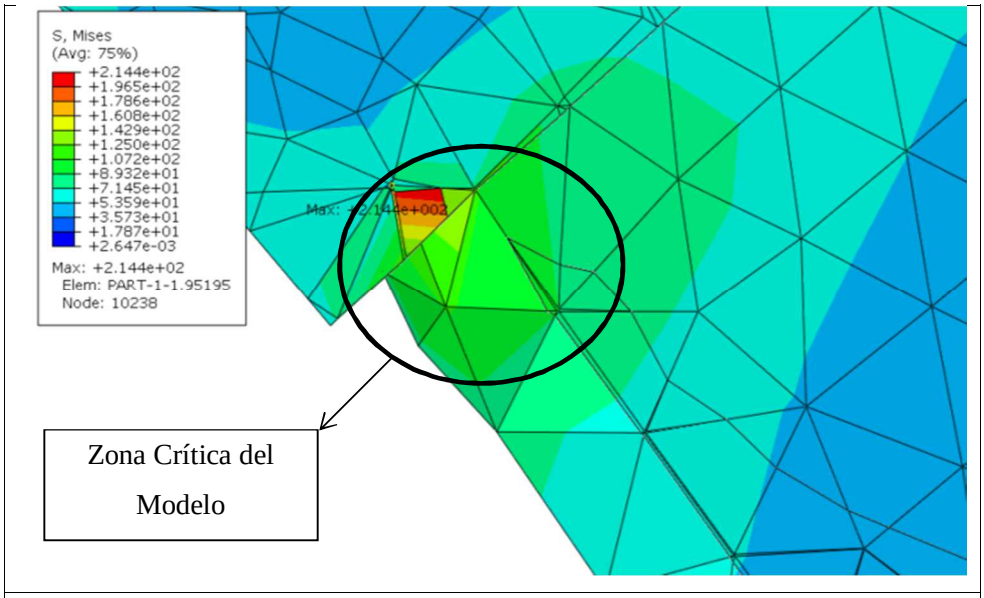


Figura 7.2.3.3: Ubicación de pico de tensión por flexión frontal en la 2da etapa

En cuanto a la deformación producida a continuación se presenta una vista general de la deformación en el ensayo de flexión frontal.

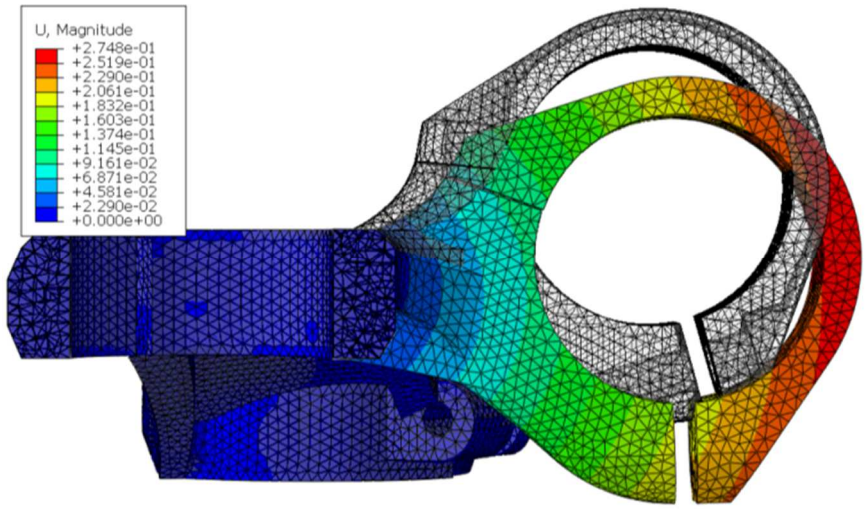


Figura 7.2.3.4: Deformación en 2da etapa de ensayo de flexión frontal ampliado 50 veces

Tras la aplicación de 2600N, la mayor deformación en la zona de aplicación toma el valor de 0.274mm

No llega a sobrepasar el límite de elasticidad y cumple la 2da etapa con un coeficiente de seguridad de 3.65 en relación al límite elástico. Se puede afirmar con certeza que el conjunto no sufre ninguna fisura ni rotura.

Con esto quedan presentados los resultados obtenidos para este análisis. En la siguiente tabla se muestra de forma resumida los valores máximos de tensión y deformada para cada pieza y caso de carga.

	Flexión Lateral		Flexión Frontal	
	Tensión Máxima (MPa)	Deformación Máxima (mm)	Tensión Máxima (MPa)	Deformación Máxima (mm)
Pletina	244	0.185	84.49	0.098
Tapa	35.61	0.195	1.01	0.130
Tornillos	1.78E-08	0.188	27.41	0.119

Tabla 7.2.3.3: Resultados de ensayos

En sombreado rojo se muestran los valores máximos para cada caso. Como puede verse, el valor máximo de tensión de todos los casos corresponde al caso de carga del ensayo de flexión lateral y localizada en la zona lateral de la pletina con valor aproximado de 244 MPa. Sin embargo la prueba de flexión lateral está enfocada a la deformación permanente en el punto de aplicación de la carga y se exige que sea menor a 10mm, nuestro modelo cumple la normativa ya que ni siquiera llega a la tensión del límite elástico y sufre un desplazamiento máximo de 1.287mm dentro de la zona elástica del material.

7.2.4. COMPARACIÓN DE RESULTADOS Y COEFICIENTE DE FIABILIDAD

Para la comparación se tendrán en cuenta los valores máximos, incluyendo picos de tensión, que pueden existir en ambos modelados.

		Simulation Xpress	Abaqus
Ensayo 1 Flexión Lateral	Tensión de von Misses N/mm2 - MPa	364.47	244.2
	Deformación máxima (mm)	0.5	1.28
Ensayo 2 Flexión Frontal	Tensión de von Misses N/mm2 - MPa	109	101.4
	Deformación máxima (mm)	0.132	0.130

Tabla 7.2.4: Comparación Simulation Xpress - Abaqus

Se aprecia una gran diferencia en los resultados del ensayo de flexión lateral. Esto puede ser debido a que la simulación en Abaqus se realizó utilizando una barra de acero mientras que con la herramienta Simulation Xpress de Solid Works no es posible trabajar dos materiales al mismo tiempo. No obstante en el ensayo de flexión frontal se aprecian cifras muy parecidas entre ambos programas.

Se puede concluir que Simulation Xpress es una herramienta fácil y rápida de utilizar pero los resultados sólo son de fiar si se trata de una única pieza y no un conjunto con distintos materiales.

8. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO

Durante el estudio realizado se ha buscado mejorar el desempeño del conjunto de piezas de la dirección de una bicicleta de descenso. Partiendo del conjunto original formado por dos piezas (pletina y potencia) y llegando a desarrollar un modelo de una única pieza.

La siguiente figura muestra una sobre posición de los dos modelos (inicial y final) en donde se aprecia la diferencia de altura y diseño.

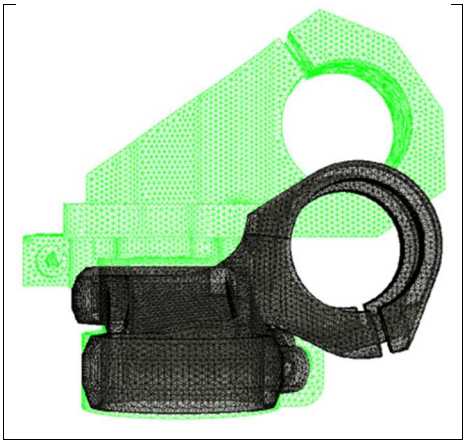


Figura 8.1: Modelos sobre puestos

A lo largo del proceso se han realizado 6 prototipos distintos antes de llegar a un modelo satisfactorio. Han sido examinados mediante la simulación de los ensayos establecidos en la Norma UNE-EN 14766 – Requisitos de Seguridad y Métodos de Ensayo para Bicicletas de Montaña.

Las pruebas han consistido en la aplicación de dos tipos de carga y la medición de la deformación en el punto de aplicación de carga. Esta deformación ha sido mínima comparada al límite establecido por la norma y es de entender debido a que son piezas orientadas al descenso y no existe en la actualidad ninguna normativa específica de esta disciplina. El estudio, por tanto, se ha basado en los valores máximos de tensión de Von Misses obtenidos durante los ensayos.

A continuación se muestra un resumen de los valores máximos obtenidos para cada prototipo y la evolución que ha tenido hasta el modelo final:

	VALOR MÁXIMO TENSIÓN DE VON MISES (Mpa). (FLEXIÓN LATERAL)	VALOR MÁXIMO TENSIÓN DE VON MISES (Mpa). (FLEXIÓN FRONTAL)	PESO SIN TORNILLOS (gr.)
Modelo de Partida	301.42	60.41	**300**
Prototipo 1	288.19	54.96	230
Prototipo 2	232.88	59.13	226
Prototipo 3	259.11	63.18	191
Prototipo 4	202.53	79.27	209
Prototipo 5	256.48	53.19	210
Prototipo 6	265.03	79.31	207
Modelo Final	244	84.49	**176**

Tabla 8.1: Evolución de resultados

En la siguiente tabla se muestra una comparación de los resultados detallados entre el modelo inicial y el final:

		Modelo de Partida	Modelo Final	Δ%
Ensayo de Flexión Lateral	**DESPLAZAMIENTO EN PUNTO DE APLICACIÓN DE CARGA (mm)**	0.48	1.28	-167%
	VALOR MÁXIMO TENSIÓN DE VON MISES (MPa)	432	244	44%
	Coef. Seguridad	0.63	2.06	227%
Ensayo de Flexión Frontal	**DESPLAZAMIENTO EN PUNTO DE APLICACIÓN DE CARGA (mm)**	0.125	0.13	-4%
	VALOR MÁXIMO TENSIÓN DE VON MISES (MPa)	83	67.59	19%
	Coef. Seguridad	3.31	7.44	125%
PESO CON TORNILLOS (gr.)		363	187.66	48%

Tabla 8.2: Comparación de resultados de modelo inicial y final

Los valores tensión en el modelo final no llegan al límite elástico del material. Se ha conseguido diseñar un modelo más resistente que el original con una **reducción de peso de 48.3% y coeficiente de seguridad de 7.44**

Por lo tanto, según lo expuesto anteriormente, se propone una nueva estructura del conjunto modificada a sólo una pieza respecto de las dos piezas originales y mejorada desde el punto vista de resistencia a los ensayos establecidos en la norma UNE-EN 14766.

9. PRESUPUESTO

Se han realizado peticiones de presupuesto a diversas empresas y talleres de mecanizado, sin embargo sólo se expone a continuación el presupuesto más económico por la fabricación del modelo final.

La empresa Protolabs ofrece en su denominado servicio FirstCut, mecanizado CNC de plásticos y metales. Enviando un archivo de la pieza responden en 24hrs con un presupuesto interactivo detallado mostrando las zonas con riesgo de mecanizado.

Nos confirman que el modelo es perfectamente mecanizable a excepción de las roscas hembra. Tardan 3 días en tenerlo listo y el envío puede tardar de 2 a 10 días dependiendo del servicio de envío seleccionado.

El presupuesto por la fabricación del modelo final (3 piezas) asciende a **488€**.

Explican que su proceso de mecanizado está limitado a un fresado de 3 ejes desde 2 lados. Se fresa desde un lado, se gira la pieza 180 grados y se fresa del otro lado. La realización de las roscas hembra no está contemplada en el presupuesto.

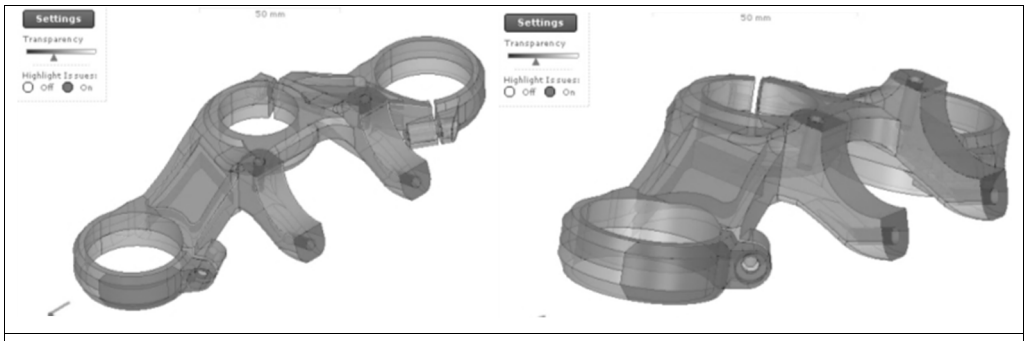


Figura 9.1: Gráficos de FirstCut

La figura anterior muestra la vista dinámica que Protolabs ofrece para la interpretación del mecanizado.

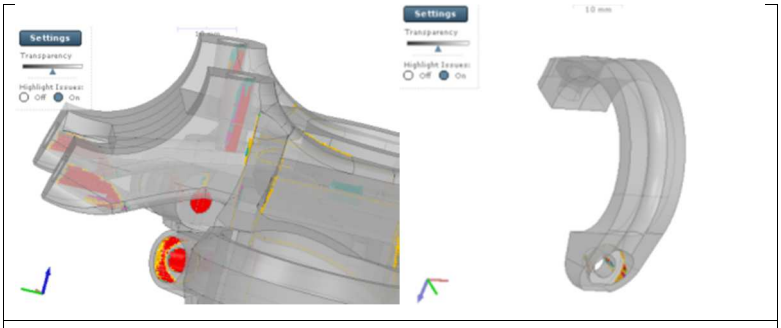


Figura 9.2: Zonas no trabajadas

Las zonas en roja indican las zonas que no se fresarían, en este caso las roscas M5 y M4. Dejarían los agujeros hechos en la medida de diámetro necesaria para realizar posteriormente las roscas con un macho de la medida deseada.

Figura 9.3: Detalle de mecanizado de aristas

Las zonas de color indican el material que se mantendrá en su pieza. Los colores descritos a continuación indican el radio de la fresa radial que llega más cerca de estas áreas.

10. PROTOTIPADO RÁPIDO

Con el fin de poder materializar el modelo final y palpar físicamente los resultados obtenidos del estudio realizado se investigó la posibilidad de realizar una impresión de prototipado rápido. A continuación sigue una introducción al prototipado rápido o impresión en 3D, y una descripción del proceso realizado.

10.1. INTRODUCCIÓN AL PROTOTIPADO RÁPIDO

El prototipado rápido, se puede definir como la manera más rápida de obtener una réplica exacta tridimensional de un diseño generado mediante aplicación CAD en 3D. Consecuencia de esta rapidez de respuesta, es que el tiempo de desarrollo de un producto puede reducirse a la mitad, la quinta e incluso la décima parte.

Estos modelos físicos pueden ser muy útiles para el estudio del mercado potencial al que van dirigidos, o pueden cumplir con algunas o buena parte de los requerimientos mecánicos que tendría la pieza definitiva, ofreciendo en este caso la posibilidad de realizar pruebas funcionales y de homologación antes de que existan ni siquiera los moldes preliminares.

El prototipado rápido da la posibilidad de efectuar, en un tiempo relativamente corto, diversas pruebas de geometrías distintas para una pieza, validar la geometría definitiva, y acometer la producción en serie rápidamente, con unos costes de desarrollo lo más ajustados posibles. La complejidad de las piezas o la confidencialidad de los prototipos son también argumentos frecuentes a la hora de optar por éste método.

Bajo el nombre de prototipado rápido se agrupan a una serie de tecnologías distintas de construcción de sólidos. Todas ellas parten del corte en secciones horizontales paralelas de piezas representadas en CAD. Estas secciones caracterizan a todas las tecnologías de prototipado rápido, que construyen las formas sólidas a partir de la superposición de capas horizontales.

10.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Una vez acabado el proceso de diseño del nuevo modelo, y decidida la geometría final, se solicitó ayuda al profesor Jorge Santolaria del departamento de Ingeniería de Diseño y Fabricación de la Universidad de Zaragoza, para su asesoría en el tema de impresión del modelo en 3D.

La impresión se realizó en una impresora marca Objet modelo Eden350V capaz de realizar modelos de alta precisión con superficies lisas y niveles de detalle excepcionalmente refinados mediante capas ultra finas de 16 µ.

Figura 10.2.1: Impresora Objet Eden350V

Para realizar la impresión hubo necesidad de realizar algunas modificaciones en el modelo. Se cambiaron los diámetros de las zonas de rosca debido a que en principio estaban diseñados con el diámetro resistente del tornillo para su análisis en Abaqus. Hubo que cambiar el diámetro y dibujar la rosca interior.

Una vez importado el archivo de datos el software propone el posicionamiento más óptimo para la impresión teniendo como prioridad el ahorro de material. Una vez validado nos da una estimación de consumo de material y, con el coste del cartucho, se

calcula el coste de la impresión en función del material utilizado. También nos brinda una estimación de la duración del proceso que en este caso fue de 8 horas.

El resultado es un bloque de material de relleno con las piezas impresas contenidas dentro. Posteriormente el bloque es sometido a chorros de agua a presión que limpian el relleno y quedan las piezas limpias y preparadas para el post proceso.

El post proceso consiste en preparar la superficie de la pieza para una presentación visual elegante. Se utilizan lijas finas bajo el agua aumentando el número de granos progresivamente para no afectar a las dimensiones, después se da una imprimación y por último las manos de pintura que necesiten.

10.3. MODELO OBTENIDO

El modelo obtenido es el mostrado en las siguientes imágenes:

Figura 10.3.1: Pletina impresa en resina

Figura 10.3.2: Detalles de alojamiento de tornillo y rosca

En la figura se aprecia el detalle de precisión de la impresión, la realización de las roscas es tal como en el modelo informático.

El prototipo mostrado significó un coste de 190€, un valor mucho menor del que significaría fabricar la pieza por mecanizado de CNC.

El prototipado rápido es una estupenda herramienta de diseño y aporta una manera de comprobar la geometría y acoplamiento de las piezas antes de su fabricación, eliminando costes y ahorrando tiempo en el proceso.

11. CONCLUSIONES FINALES

A lo largo de las distintas fases de este proyecto se ha calculado, simulado y optimizado el diseño de la pletina y potencia de una bicicleta de descenso con el objeto de presentar un nuevo modelo de sujeción de manillar mejorado mecánicamente frente al conjunto de solicitaciones actuantes sobre el mismo.

En una primera fase se han realizado una serie de cálculos preliminares sobre el modelo inicial con el fin de obtener los niveles de tensión y deformación existentes para los casos de carga exigidos por la normativa correspondiente. Dichos casos de carga son los correspondientes a los producidos por flexión lateral, aplicando una fuerza sobre una barra de acero sujeta por la pieza en cuestión; y por flexión frontal, consistente en la aplicación de carga en el punto de fijación del manillar hacia adelante y hacia abajo y a 45° en relación al eje de la barra de acero.

Todos los cálculos teóricos de la estructura han sido realizados mediante la aplicación del método de los elementos finitos muy extendido en procesos de cálculo ingenieril en la actualidad. El correspondiente programa comercial permite la creación de un modelo de elementos finitos en el que es posible definir todas y cada una de las variables del problema en cuestión (materiales, condiciones de contorno, conjunto de solicitaciones,...).

Una vez obtenido los modelos numéricos de las piezas originales, se realizó un proceso de optimización, modificando el diseño y realizando sencillas simulaciones mediante un programa de cálculo más sencillo. Para esto primero se compararon resultados del modelo inicial en ambos programas de cálculo y se obtuvo al final un diseño que se comportaba según nuestras solicitaciones.

Se analizaron también los componentes secundarios como son los tornillos, y se consideró un mejor sistema de apriete del manillar y cambio del material de las piezas.

Una vez terminado el diseño se buscaron presupuestos de fabricación y se imprimió un prototipo en 3d para confirmar la correcta geometría del nuevo modelo y comprobar su correcto acoplamiento en la bicicleta.

13. BIBLIOGRAFÍA

Textos:

- ***B.J. HAMROCK, B.JOCOBSON, SCHMID*** "Elementos de Máquinas", McGraw Hill 2000
- ***JOSEPH E. SHIGLEY, CHARLES R. MISCHKE*** "Diseño en Ingeniería Mecánica" McGraw Hill 1990
- ***ORTIZ BERROCAL*** "Resistencia de Materiales" McGraw Hill 1990
- ***HIBBITT, KARLSSON & SORENSEN***, *Abaqus/Standard*, version 5.8, Theory Manual, HIBBITT, KARLSSON&SORENSEN INC., 1998.
- ***HIBBITT, KARLSSON & SORENSEN***, *Abaqus/Post* version 5.8, Theroy Manual, HIBBITT, KARLSSON&SORENSEN INC., 1998.
- ***L. ORTIZ BERROCAL,*** *Resistencia de materiales,* Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Madrid, 1980.

Web:

- http://www.matweb.com
- http://www.metalmecanica.com
- http://es.scribd.com/doc/35165762/Fatiga-de-Los-Materiales
- http://es.objet.com/
- http://fisica.laguia2000.com/fisica-mecanica/fatiga-de-materiales
- http://www.lumetalplastic.com
- http://www.tornillosdetitanio.com/
- http://www.demacmotor.net
- http://www.idea2ic.com
- http://scholarbank.nus.edu.sg
- http://www.valvias.com/miscellanea-allen-din-912-bolt-thread.php
- http://www.aspirevelotech.com

INDICE DE IMÁGENES Y TABLAS

Figura 2.1: Pletina Rock Shox 7
Figura 2.1.1.1: Potencia marca Funn 8
Figura 2.1.1.2: Fallos más comunes 9
Figura 2.3.1.1: Ensayo de Flexión Lateral 11
Figura 2.3.1.2: Ensayo de Flexión Lateral 12
Figura 3.2.1: Partes de un Programa de Elementos Finitos 18
Figura 3.2.2: Tipos de Elementos 19
Figura 4.1.1.1: Referencia de sujeciones 26
Figura 4.1.1.2: Elaboración de las piezas paso a paso 29
Tabla 4.1.1: Diámetro Resistente Equivalente de los tornillos 30
Figura 4.1.2.1: Dato de la Densidad 31
Figura 4.1.2.2: Comprobación de Pletina 31
Figura 4.1.2.3: Comprobación de Potencia 32
Figura 4.1.2.4: Comprobación del conjunto entero 33
Tabla 4.1.2: Comparación de peso 34
Figura 4.2.1: Modelo global de elementos finitos del modelo inicial 35
Tabla 4.2.1: Elementos del modelo inicial 37
Tabla 4.2.2.1: Listado de Propiedades de los Materiales 39
Tabla 4.2.2.2: Propiedades de cada material 39
Figura 4.2.3.1: Contactos en pletina 40
Figura 4.2.3.2: Contactos en Potencia 41
Figura 4.2.3.3: Contactos en Tapa 41
Figura 4.2.3.4: Contactos en tornillos 41
Tabla 4.2.4: Fuerza de Pretensión en tornillos 43
Figura 4.3.2.1: Tensión y Deformación en modelo inicial por precarga de los tornillos 45
Figura 4.3.2.2.1: Vista general de la deformación del modelo inicial 46
Tabla 4.3.2.2.2: Tensiones en Abaqus de modelo inicial sometido a flexión lateral 47
Tabla 4.3.2.2.3: Deformaciones en Abaqus de modelo inicial sometido a flexión lateral 48
Tabla 4.3.2.3.1: Tensiones en Abaqus de modelo inicial sometido a flexión frontal 49
Tabla 4.3.2.3.2: Deformaciones en Abaqus de modelo inicial sometido a flexión frontal 50
Figura 4.3.2.3.1: Tensión máxima en 2da Etapa 50
Figura 4.3.2.3.2: Deformación máxima en 2da etapa 51
Tabla 4.3.2.4: Resultados del modelo inicial 52
Figura 4.3.3.1: Resultados de Flexión Lateral con Simulation Xpress 53
Figura 4.3.3.2: Resultados de Flexión Frontal con Simulation Xpress 53

Tabla 4.3.4.1: Comparación de Deformaciones. 54
Tabla 4.3.4.2: Comparación de Tensiones de Von Misses 54
Figura 5.1.1: Cambio de altura de sujeción 56
Figura 5.1.3.1: Distancia de anclaje del manillar. 57
Tabla 5.1.3.1: Comparación de sujeciones. 58
Figura 5.2.1.1: Gráfico 1 de comparación de propiedades de aluminios. 61
Figura 5.2.1.2: Gráfico 2 de comparación de propiedades de aluminios. 62
Tabla 5.2.1: Propiedades de Aluminios 6061-T6 y 7075-T6. 63
Figura 5.5.1: Comparativo de titanio con acero y aluminio 6061 68
Tabla 5.5.1: Torque de apriete de tornillos de titanio. 69
Figura 5.5.2: Cotas de tornillo normalizado 69
Tabla 5.5.2: Precarga de tornillos de potencia 70
Tabla 5.5.3: Precarga de tornillos de pletina 70
Tabla 5.5.4: Comparación de peso de tornillos 70
Figura 6.1.1: Vistas de 1er Prototipo 72
Tabla 6.1.1: Resultados de 1er prototipo 73
Figura 6.2.1: Vistas del 2do Prototipo 74
Tabla 6.2.1: Resultados de 2er prototipo 75
Figura 6.3.1: Nuevo estilo de apriete. 76
Figura 6.3.2: Vistas de 3er Prototipo 76
Tabla 6.3.1: Resultados de 3er prototipo 77
Figura 6.4.1: Nuevo diseño de sujeción 78
Figura 6.4.2: Vistas de 4to Prototipo 79
Tabla 6.4.1: Resultados de 3er prototipo flexión lateral 79
Tabla 6.4.2: Resultados de 3er prototipo flexión frontal. 80
Figura 6.5.1: Perfil del brazo de a pletina 81
Figura 6.5.2: Vistas de 5to Prototipo 81
Tabla 6.5.1: Resultados de 4to prototipo. 82
Figura 6.6.1: ángulo de sujeción superior 83
Figura 6.6.2: Vistas de 6to Prototipo 83
Tabla 6.6.1: Resultados de 4to prototipo. 84
Tabla 6.7.1.1: Diseño 1 de rebaje de tapas 85
Tabla 6.7.1.2: Diseño 2 de rebaje de tapas 85
Tabla 6.7.2: Rebajes en abrazaderas laterales 86
Figura 6.8.1: Rebaje central 87
Figura 6.8.2: Vistas del Prototipo Final 87
Tabla 6.8.1: Resultados de 3er prototipo 88
Tabla 7.1: Elementos del modelo final 91

Tabla 7.2.1: Tensiones en modelo inicial por precarga de los tornillos 92
Figura 7.2.2.1: Vista general del ensayo de flexión lateral 93
Figura 7.2.2.2: Deformación en ensayo de flexión lateral 93
Tabla 7.2.2.3: Tensiones en modelo inicial por flexión lateral 94
Figura 7.2.2.4: Deformaciones en modelo final por flexión frontal 94
Figura 7.2.2.5: Deformación en punto de aplicación de la fuerza 95
Figura 7.2.3.1: Vistas de tensión de Von Misses sobre el modelo 97
Tala 7.2.3.1: Tensiones en modelo final por flexión frontal 97
Tabla 7.2.3.2: Deformaciones en modelo final por flexión frontal 98
Figura 7.2.3.2: Ubicación de pico de tensión flexión frontal en 1ra etapa 99
Figura 7.2.3.3: Ubicación de pico de tensión por flexión frontal en la 2da etapa 99
Figura 7.2.3.4: Deformación en 2da etapa de ensayo de flexión frontal ampliado 50 veces 100
Tabla 7.2.3.3: Resultados de ensayos 101
Tabla 7.2.4: Comparación Simulation Xpress - Abaqus 102
Figura 8.1: Modelos sobre puestos 103
Tabla 8.1: Evolución de resultados 104
Tabla 8.2: Comparación de resultados de modelo inicial y final 105
Figura 9.1: Gráficos de FirstCut 106
Figura 9.2: Zonas no trabajadas 107
Figura 9.3: Detalle de mecanizado de aristas 107
Figura 10.2.1: Impresora Objet Eden350V 109
Figura 10.3.1: Pletina impresa en resina 110
Figura 10.3.2: Detalles de alojamiento de tornillo y rosca 111
Figura I.3.1: Contacto de Tornillos M6 de potencia a pletina 121
Figura I.3.2: Fuerza de precarga de tornillos M6 a la tapa de la potencia 121
Figura I.3.3: Contactos de Tornillos M6 a la tapa de la Potencia (cabeza y vástago) 122
Figura I.3.4: Contacto y fuerzas de Tonillos M4 a la pletina 122

ANEXOS

INDICE DE ANEXOS

I. Problemas y Complicaciones durante el proceso 119

II. Norma UNE-EN 14766 (5pags +3de normas) 123

III. Proyecto de real decreto por el que se establecen los requisitos para la puesta en el mercado de los ciclos y sus partes y piezas. 131

IV. Abaqus Manual - Prescribed assembly loads 147

V. Composición de aluminio 7075 por Alu-Stock S.A. 156

VI. Tabla de Propiedades de tornillos de Titanio - LOWDE 158

VII. Presupuesto de Protocast-3D por una impresión 3d en resina 159

VIII. Presupuesto de Star Prototype por 1 prototipo rápido y 100 unidades de piezas mecanizadas 160

IX. Proyecto "Modificación de propiedades mecánicas mediante tratamientos térmicos en aleaciones ligeras (Al y Mg)". 161

I. Problemas y Complicaciones durante el proceso

I.1. Digitalización de la Pletina

La primera complicación fue la digitalización de la pletina, una pieza simétrica sin embargo con geometría complicada.

La pieza en cuestión es parte del amortiguador delantero diseñado por la marca Rock Shox. Tras contactar con ellos pidiéndoles el modelado de la pletina o por lo menos los planos para un proyecto universitario su respuesta fue que lamentablemente era parte de su política no compartir modelos de su producción.

Se contactó con el profesor Jorge Santolaria Mazo del Dpto. Ingeniería de Diseño y Fabricación para ver la posibilidad de escanear el modelo de partida. La universidad cuenta en el laboratorio con un escáner de luz blanca y un brazo articulado de medición por coordenadas con sensor láser por triangulación. Ambos escáneres se utilizan tanto en investigación como en servicio de digitalización. Lamentablemente en ese momento ambos se encontraban desmontados y no había una digitalización inminente prevista.

Por último se optó por modelarla en Solid Works teniendo muy en cuenta la exactitud e importancia de las correctas distancias entre ejes. Tomando distintas medidas de referencia y así minimizar el error de medición. El resultado fue más que satisfactorio al comprobar que el peso del modelo y pieza real coincidían y más aún, tras la impresión en 3D, al comprobar que el nuevo modelo encajaba en el lugar correspondiente.

I.2. Error de compilación del modelo base

Una vez extraído de Patran el input para Abaqus. Se procedió a ejecutarlo sin éxito. Daba errores en 6 elementos del mallado, los 6 pertenecientes a los tornillos y la pletina. El modelo era estable en estático pero el problema se presentaba al aplicar alguna carga.

Se revisaron los contactos y la aplicación de fuerzas. Tras verificar detalladamente las zonas de contacto se corrigieron algunos contactos que actuaban sobre nodos incorrectos pero esto no solucionó el error de compilación.

A continuación se presentan los contactos existentes en el modelo:

Otro error que se había pasado por alto fue que no se tomó en consideración el tamaño de los tetraedros en las zonas de sujeción lateral. En la cara de contacto existían elementos de las barras que penetraban en los de la pletina y viceversa, este problema también se presentó en los tornillos y su alojamiento.

Esto se debió a que la forma de los tetraedros del mallado no es exactamente igual al modelo, las dimensiones se asemejan bastante, con diferencias de 0.2mm. Por lo que había zonas en las que el mallado de los tornillos penetraba en la zona del roscado y es un error que no permite la compilación.

La solución fue proyectar los nodos de las superficies de los tornillos sobre una superficie cilíndrica de menor diámetro y así solucionar las interferencias y penetraciones de elementos.

I.3. Definición de apriete en Tornillos

Los aprietes en tornillos fue sin duda la dificultad que más perjudico al tiempo de elaboración del presente proyecto. Tras corregir la interferencia de elementos descrita en el anterior apartado, el análisis seguía dando error de compilación sin especificar donde estaba el error.

El modelo compilaba estáticamente, sin la acción de ninguna fuerza. Por tanto el problema residía en alguna de estas fuerzas o en su combinación. Se probó separar el análisis y probar casos distintos para cada fuerza. Tras varios intentos de análisis se llegó a la conclusión que el problema residía en las fuerzas de pretensión de los tornillos.

Se recurrió al manual de Abaqus para intentar buscar una solución, y fue con la ayuda de David Valladares Hernando, investigador del área de Ingeniería e

Infraestructura de los Transportes, a quien se agradece nuevamente su colaboración, que se pudo solucionar este obstáculo.

La problema residía en que Abaqus tiene una manera particular de entender las fuerzas intervinientes en un apriete por tornillo y propone un método de aplicación explicado anteriormente en el apartado 4.2.7. y más ampliamente en el Anexo IV del presente proyecto.

A continuación se muestran algunos de los contactos utilizados en un principio pero que luego no formaron parte del modelo final:

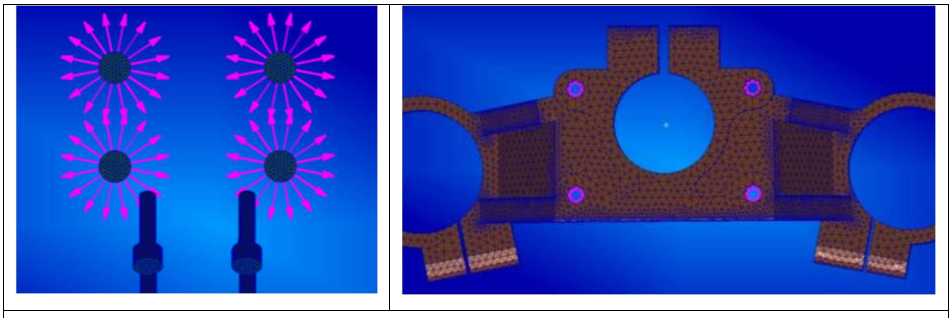


Figura I.3.1: Contacto de Tornillos M6 de potencia a pletina

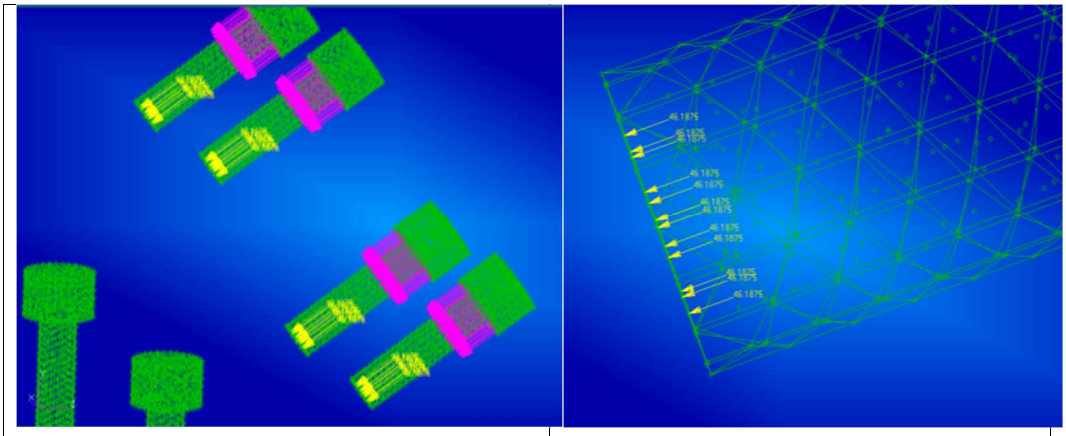


Figura I.3.2: Fuerza de precarga de tornillos M6 a la tapa de la potencia

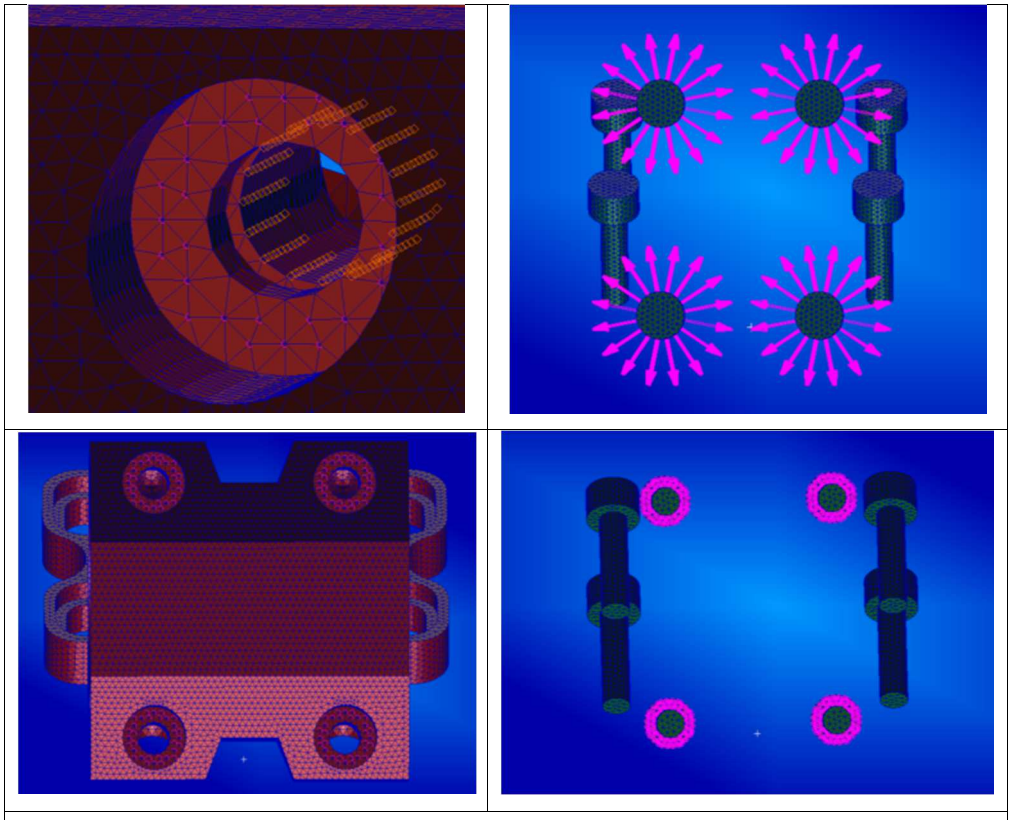


Figura I.3.3: Contactos de Tornillos M6 a la tapa de la Potencia (cabeza y vástago)

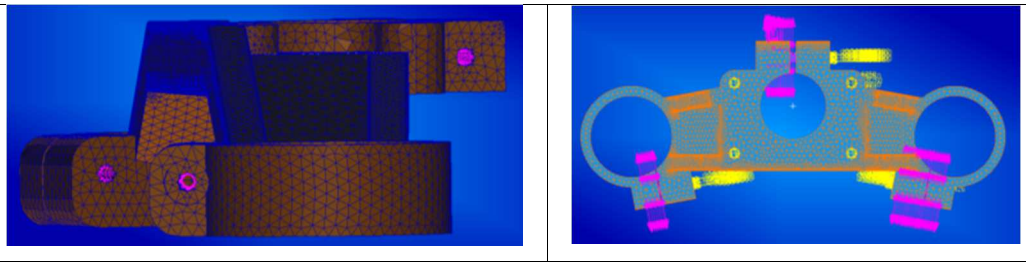


Figura I.3.4: Contacto y fuerzas de Tonillos M4 a la pletina

II. Norma UNE-EN 14766 (5pags +3de normas)

norma española

UNE-EN 14766

Octubre 2006

TÍTULO

Bicicletas de montaña

Requisitos de seguridad y métodos de ensayo

Mountain-bicycles. Safety requirements and test methods.

Bicyclettes tout terrain. Exigences de sécurité et méthodes d'essai.

CORRESPONDENCIA

Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN 14766:2005.

OBSERVACIONES

ANTECEDENTES

Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 121 *Ciclos* cuya Secretaría desempeña ANFAC.

Editada e impresa por AENOR
Depósito legal: M 40997:2006

© AENOR 2006
Reproducción prohibida

LAS OBSERVACIONES A ESTE DOCUMENTO HAN DE DIRIGIRSE A:
AENOR Asociación Española de Normalización y Certificación
C Génova, 6
28004 MADRID-España
Teléfono 91 432 60 00
Fax 91 310 40 32

87 Páginas

Grupo 49

AENOR AUTORIZA EL USO DE ESTE DOCUMENTO A BICICLETAS MONTY, S.A.

NORMA EUROPEA
EUROPEAN STANDARD
NORME EUROPÉENNE
EUROPÄISCHE NORM

EN 14766

Noviembre 2005

ICS 43.150

Versión en español

Bicicletas de montaña
Requisitos de seguridad y métodos de ensayo

Mountain-bicycles. Safety requirements and test methods.

Bicyclettes tout terrain. Exigences de sécurité et méthodes d'essai.

Geländefahrräder (Mountainbikes). Sicherheitstechnische Anforderungen und Prüfverfahren.

Esta norma europea ha sido aprobada por CEN el 2005-10-07. Los miembros de CEN están sometidos al Reglamento Interior de CEN/CENELEC que define las condiciones dentro de las cuales debe adoptarse, sin modificación, la norma europea como norma nacional.

Las correspondientes listas actualizadas y las referencias bibliográficas relativas a estas normas nacionales, pueden obtenerse en el Centro de Gestión de CEN, o a través de sus miembros.

Esta norma europea existe en tres versiones oficiales (alemán, francés e inglés). Una versión en otra lengua realizada bajo la responsabilidad de un miembro de CEN en su idioma nacional, y notificada al Centro de Gestión, tiene el mismo rango que aquéllas.

Los miembros de CEN son los organismos nacionales de normalización de los países siguientes: Alemania, Austria, Bélgica, Chipre, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Islandia, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suecia y Suiza.

CEN
COMITÉ EUROPEO DE NORMALIZACIÓN
European Committee for Standardization
Comité Européen de Normalisation
Europäisches Komitee für Normung
CENTRO DE GESTIÓN: Rue de Stassart, 36 B-1050 Bruxelles

© 2005 Derechos de reproducción reservados a los Miembros de CEN.

AENOR AUTORIZA EL USO DE ESTE DOCUMENTO A BICICLETAS MONTY, S.A.

ÍNDICE

Página

PRÓLOGO 7

INTRODUCCIÓN 8

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN 8

2 NORMAS PARA CONSULTA 8

3 TÉRMINOS Y DEFINICIONES 8

4 REQUISITOS Y MÉTODO DE ENSAYO 11
4.1 Ensayo de frenado y ensayos de resistencia. Requisitos particulares 11
4.1.1 Definición de los ensayos de frenado 11
4.1.2 Definición de los ensayos de resistencia 11
4.1.3 Estado y número de probetas para los ensayos de resistencia 11
4.1.4 Tolerancias de precisión de las condiciones de ensayo para los ensayos de frenado y resistencia 11
4.2 Aristas vivas 11
4.3 Seguridad y resistencia de los elementos de fijación relativos a la seguridad 12
4.3.1 Seguridad de los tornillos 12
4.3.2 Par de rotura mínimo 12
4.3.3 Bicicletas plegables 12
4.4 Métodos de detección de fisuras 12
4.5 Salientes 12
4.5.1 Requisito 12
4.5.2 Método de ensayo 14
4.6 Frenos 15
4.6.1 Sistemas de frenado 15
4.6.2 Frenos de mando manual 15
4.6.3 Fijación de los dispositivos de frenado y requisitos de los cables 17
4.6.4 Conjuntos zapatas de freno y pastillas de freno. Ensayo de seguridad 17
4.6.5 Ajuste de los frenos 18
4.6.6 Sistema de frenado de mando manual. Ensayo de resistencia 18
4.6.7 Prestaciones de frenado 18
4.6.8 Frenos. Ensayo de resistencia al calor 33
4.7 Dirección 34
4.7.1 Manillar. Dimensiones 34
4.7.2 Puños y topes de manillar 34
4.7.3 Potencia de manillar. Marca de profundidad de introducción o tope 35
4.7.4 Extensión de la potencia sobre el tubo del eje de horquilla. Requisito de apriete 35
4.7.5 Estabilidad de la dirección 35
4.7.6 Conjunto de dirección. Ensayo de seguridad y de resistencia estática. 36
4.7.7 Conjunto manillar. Potencia. Ensayo de fatiga. 41
4.8 Cuadro 43
4.8.1 Cuadros suspendidos. Requisitos particulares 43
4.8.2 Conjunto cuadro-horquilla delantera. Ensayo de choque (caída de una masa) 44
4.8.3 Conjunto cuadro-horquilla delantera. Ensayo de choque (caída del cuadro) 45
4.8.4 Cuadro. Ensayo de fatiga con las fuerzas de pedaleo 47
4.8.5 Cuadro. Ensayo de fatiga por fuerzas horizontales 49
4.8.6 Cuadro. Ensayo de fatiga con una fuerza vertical 50
4.9 Horquilla delantera 52
4.9.1 Generalidades 52

AENOR AUTORIZA EL USO DE ESTE DOCUMENTO A BICICLETAS MONTY, S.A.

4.9.2	Medios de posicionamiento del eje y de retención de la rueda	52
4.9.3	Horquillas de suspensión. Requisitos particulares	52
4.9.4	Horquilla delantera. Ensayo estático de flexión	53
4.9.5	Horquilla delantera. Ensayo de choque hacia atrás	54
4.9.6	Horquilla delantera. Ensayo de fatiga de flexión	55
4.9.7	Horquillas diseñadas para ser utilizadas con frenos de tambor o de disco	56
4.10	Ruedas y conjuntos rueda/neumático	59
4.10.1	Precisión de rotación	59
4.10.2	Conjunto rueda/neumático. Juego de funcionamiento	60
4.10.3	Conjunto rueda/neumático. Ensayo estático de resistencia	60
4.10.4	Retención de las ruedas	61
4.10.5	Ruedas. Mecanismos de bloqueo rápido	62
4.11	Llantas, neumáticos y cámaras de aire	62
4.11.1	Presión de inflado de los neumáticos	63
4.11.2	Compatibilidad neumático/llanta	63
4.11.3	Desgaste de la llanta	63
4.12	Guardabarros	63
4.12.1	Requisitos	63
4.12.2	Etapa 1: Método de ensayo. Obstrucción tangencial	63
4.12.3	Etapa 2: Método de ensayo. Fuerza radial	64
4.13	Pedales y conjunto de transmisión pedal/biela	64
4.13.1	Superficie de apoyo del pedal	64
4.13.2	Posicionamiento de los pedales	65
4.13.3	Conjunto pedal/eje de pedal. Ensayo de resistencia estática	66
4.13.4	Eje de pedal. Ensayo de choque	66
4.13.5	Pedal/eje de pedal. Ensayo dinámico de durabilidad	67
4.13.6	Sistema de transmisión. Ensayo estático de resistencia	68
4.13.7	Conjunto biela. Ensayo de fatiga	69
4.14	Sillines y tijas de sillín	71
4.14.1	Generalidades	71
4.14.2	Dimensiones límites	71
4.14.3	Tija de sillín. Marca de introducción o tope	72
4.14.4	Sillín/tija de sillín. Ensayo de seguridad	72
4.14.5	Sillín. Ensayo estático de resistencia	73
4.14.6	Sillín y abrazadera de sujeción de tija de sillín. Ensayo de fatiga	74
4.14.7	Tija de sillín. Ensayo de fatiga	75
4.15	Cadena motriz	76
4.16	Protección de cadena	76
4.16.1	Características	76
4.16.2	Diámetro del guarda-cadena circular	77
4.16.3	Dispositivo de protección de la cadena	77
4.16.4	Dispositivo combinado guarda-cadena/desviador	77
4.17	Disco protege radios	78
4.18	Sistemas de alumbrado y reflectores	78
4.18.1	Alumbrado y reflectores	78
4.18.2	Haces de cables	78
4.19	Dispositivo de aviso	78
4.20	Ensayo sobre carretera de una bicicleta totalmente montada	78
4.20.1	Requisitos	78
4.20.2	Método de ensayo	79
5	INSTRUCCIONES DEL FABRICANTE	79
6	MARCADO	80
6.1	Requisitos	80
6.2	Ensayo de durabilidad	81

AENOR AUTORIZA EL USO DE ESTE DOCUMENTO A BICICLETAS MONTY, S.A.

6.2.1 Requisito **81**
6.2.2 Método de ensayo **81**

ANEXO A (Informativo) EXPLICACIÓN DEL MÉTODO DE LOS MÍNIMOS CUADRADOS PARA OBTENER LA RECTA DE REGRESIÓN Y LOS LÍMITES ±20% PARA LA PROPORCIONALIDAD DE LAS PRESTACIONES DE FRENADO **82**

ANEXO B (Informativo) GEOMETRÍA DE LA DIRECCIÓN **85**

BIBLIOGRAFÍA **86**

AENOR AUTORIZA EL USO DE ESTE DOCUMENTO A BICICLETAS MONTY, S.A.

4.7.6 Conjunto de dirección. Ensayo de seguridad y de resistencia estática

4.7.6.1 Potencia. Ensayo de flexión lateral

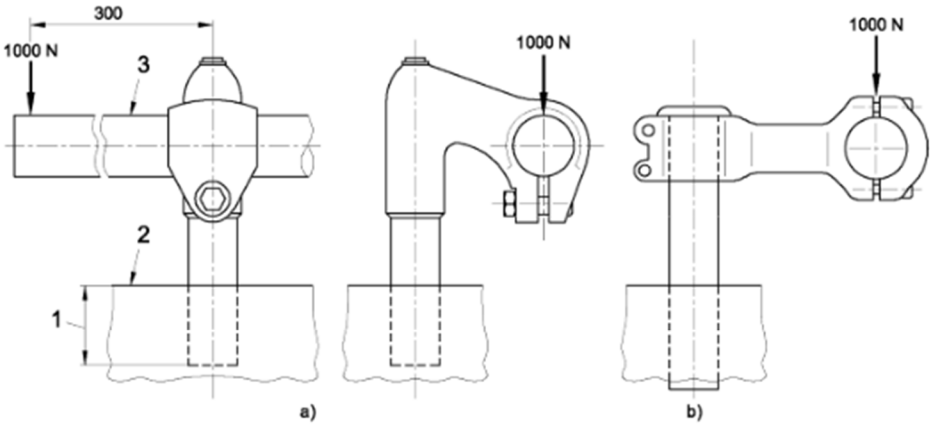
4.7.6.1.1 Generalidades

Este ensayo se dirige a los fabricantes de potencias que no fabrican manillares.

4.7.6.1.2 Requisito

Después del ensayo efectuado según el método descrito en el apartado 4.7.6.1.3, no debe existir ninguna fisura ni rotura de la potencia y la deformación permanente medida en el punto de aplicación de la fuerza de ensayo y en el sentido de la fuerza de ensayo no debe sobrepasar los 10 mm.

Medidas en milímetros



Leyenda
a) Conjunto potencia y árbol hueco
b) Extensión de potencia
1 Profundidad mínima de introducción
2 Dispositivo de sujeción
3 Tija maciza de acero

Figura 18 – Potencia. Ensayo de flexión lateral

4.7.6.1.3 Método de ensayo

Para las potencias que tienen un árbol hueco destinado a ser insertado en un tubo de eje de horquilla, se sujeta rígidamente el árbol hueco a un dispositivo de fijación a la profundidad mínima de introducción (véase el apartado 4.7.3) o, para las extensiones de potencia de manillar que se fijan directamente sobre un tubo de eje de horquilla alargado, se fija la extensión sobre el tubo de la horquilla según las instrucciones del fabricante y se sujeta rígidamente este tubo de la horquilla en un dispositivo de fijación colocado a una altura apropiada. Se fija una barra de ensayo a la potencia y se aplica una fuerza de 1 000 N a una distancia de 300 mm de la potencia, como se muestra en la figura 18. Se mantiene esta fuerza durante 1 min.

4.7.6.2 Conjunto manillar y potencia. Ensayo de flexión lateral

4.7.6.2.1 Generalidades

Este ensayo está concebido para ser utilizado después de los ensayos sobre los manillares y las potencias.

AENOR AUTORIZA EL USO DE ESTE DOCUMENTO A BICICLETAS MONTY, S.A.

4.7.6.3 Potencia. Ensayo de flexión hacia delante

4.7.6.3.1 Generalidades

Se efectúa este ensayo en dos etapas sobre el mismo conjunto según el método indicado a continuación.

4.7.6.3.2 Requisitos para la Etapa 1

A continuación del ensayo efectuado según el método descrito en el apartado 4.7.6.3.3, no debe haber ninguna fisura ni rotura visible y la deformación permanente medida en el punto de aplicación de la fuerza de ensayo y en el sentido de la fuerza de ensayo no debe sobrepasar los 10 mm.

4.7.6.3.3 Método de ensayo para la Etapa 1

Para las potencias de manillar que tienen un árbol hueco destinado a ser insertado en un tubo de horquilla, se sujeta rígidamente el árbol hueco en un dispositivo de fijación a la profundidad mínima de introducción (véase el apartado 4.7.3) o, para las extensiones de potencia de manillar que se fijan directamente sobre un tubo de eje de horquilla alargado, se sujeta rígidamente la extensión de potencia sobre una tija maciza de acero apropiada y se sujeta rígidamente la tija en un dispositivo de fijación, sabiendo que la longitud de saliente de la barra no tiene importancia.

Se aplica una fuerza de 1 600 N en el nivel del punto de fijación del manillar hacia delante y hacia abajo y a 45° en relación al eje del árbol hueco o de la barra de acero como se muestra en la figura 21. Se mantiene esta fuerza durante 1 min. Se suprime la fuerza de ensayo y se mide la eventual deformación permanente (véase el apartado 4.7.6.3.2).

Si la potencia satisface a la requisito del apartado 4.7.6.3.2, se efectúa la Etapa 2 del ensayo.

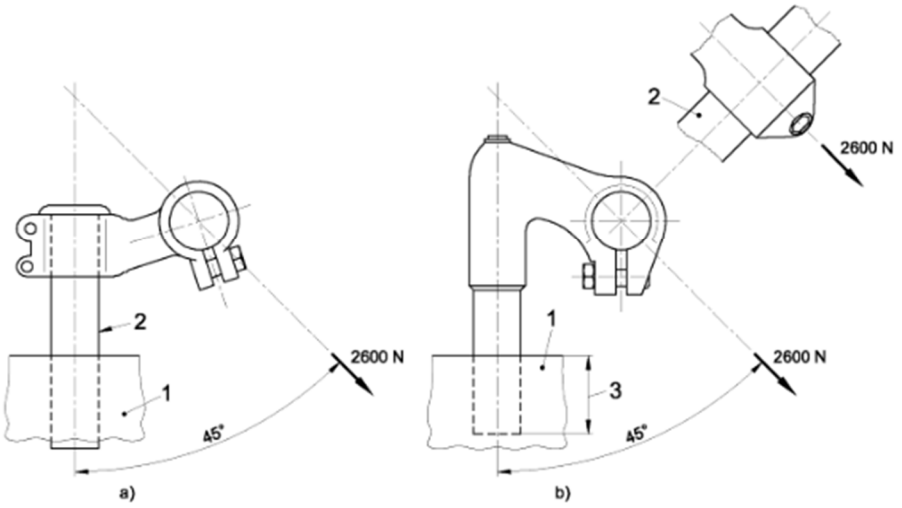
4.7.6.3.4 Requisitos para la Etapa 2

A continuación del ensayo efectuado según el método descrito en el apartado 4.7.6.3.5, no debe haber ninguna fisura ni rotura visible.

4.7.6.3.5 Método de ensayo para la Etapa 2

Con la potencia fijada como en la Etapa 1 (véase el apartado 4.7.6.3.3), se aplica una fuerza que aumenta progresivamente en el mismo punto y en el mismo sentido que en el apartado 4.6.7.3.3 hasta que la fuerza llegue a 2 600 N o que la potencia ceda más de 50 mm en el punto de aplicación de la fuerza de ensayo y en el sentido de la fuerza de ensayo. Si la potencia de manillar no cede o no continúa de ceder, se mantiene la fuerza durante 1 min.

AENOR AUTORIZA EL USO DE ESTE DOCUMENTO A BICICLETAS MONTY, S.A.



Leyenda
a) Extensión de potencia
b) Conjunto potencia y árbol hueco
1 Dispositivo de sujeción
2 Tija maciza de acero
3 Fuerza aplicada
4 Profundidad mínima de inserción

Figura 21 – Potencia. Ensayo de flexión hacia adelante

4.7.6.4 Unión manillar–potencia. Ensayo de seguridad de torsión

4.7.6.4.1 Requisito

Durante el ensayo realizado según el método descrito en el apartado 4.7.6.4.2, el manillar no se debe mover respecto a la potencia.

4.7.6.4.2 Método de ensayo

Se sujeta rígidamente la potencia en un dispositivo de fijación a la profundidad mínima de introducción (véase el apartado 4.7.3) y orientando su eje verticalmente. Se aplica un par de 80 Nm alrededor del eje del dispositivo de fijación de la potencia. Se reparte el par de forma igual mediante fuerzas verticales orientadas hacia abajo aplicadas a los dos lados del manillar y se mantiene las fuerzas durante 1 min.

NOTA El método exacto para aplicar el par puede variar con el tipo de manillar y se muestra un montaje típico en la figura 22.

Cuando las extensiones son montadas por el fabricante, las fuerzas deben aplicarse sobre estas extensiones [como se muestra más adelante en la figura 26 a)]. Cuando según las instrucciones del fabricante se pueden montar extensiones, deben utilizarse extensiones simuladas para el ensayo [como se muestra en la figura 26 b)].

AENOR AUTORIZA EL USO DE ESTE DOCUMENTO A BICICLETAS MONTY, S.A.

III. Proyecto de real decreto por el que se establecen los requisitos para la puesta en el mercado de los ciclos y sus partes y piezas.

MINISTERIO
DE INDUSTRIA, ENERGIA
Y TURISMO

DIRECCIÓN GENERAL DE INDUSTRIA Y
DE LA PEQUEÑA Y MEDIANA EMPRESA

PROYECTO DE REAL DECRETO POR EL QUE SE ESTABLECEN LOS REQUISITOS PARA LA PUESTA EN EL MERCADO DE LOS CICLOS Y SUS PARTES Y PIEZAS

El Real Decreto 2406/1985, de 20 de noviembre, por el que se declaran de obligado cumplimiento las especificaciones técnicas de las bicicletas y sus partes y piezas y su homologación por el Ministerio de Industria y Energía, establece las especificaciones técnicas de las bicicletas y sus partes y piezas y su homologación por el Ministerio de Industria y Energía (actualmente Ministerio de Industria, Energía y Turismo).

En el momento actual existen circulando por el territorio nacional una gama de bicicletas y otros ciclos que no están contemplados en el real decreto anteriormente mencionado.

Por otro lado, el 15 de diciembre de 2002 se publicó en el Diario Oficial de las Comunidades Europeas la Directiva 2001/95/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 3 de diciembre de 2001, relativa a la seguridad general de los productos, transpuesta al ordenamiento jurídico interno mediante el Real Decreto 1801/2003, de 26 de diciembre, sobre seguridad general de los productos. Este Real Decreto establece en su artículo 1 la necesidad de garantizar que los productos que se pongan en el mercado sean seguros, entendiéndose como tal aquellos productos que, en condiciones de utilización normales o razonablemente previsibles, no presenten riesgo alguno, o únicamente riesgos mínimos compatibles con el uso del producto y considerados admisibles dentro del respeto de un nivel elevado de protección de la salud y de la seguridad de las personas.

Por otra parte, se han venido desarrollando normas europeas que establecen requisitos de seguridad y métodos de ensayo aplicables a las bicicletas de paseo, de carrera y de montaña así como a sus accesorios y porta-equipajes. Estas normas han sido publicadas en el DOUE, como normas armonizadas que dan presunción de conformidad, en aplicación de la Directiva 2001/95/CE, a los productos recogidos en ellas y adoptadas como normas españolas (UNE) que dan presunción de conformidad a los productos recogidos en ellas, mediante Resolución del Instituto Nacional de Consumo, de 8 de marzo de 2007, por la que se amplia el anexo de la Resolución de 21 de junio de 2004, por la que se acuerda la publicación de las referencias de las normas UNE EN armonizadas, en aplicación del Real Decreto 1801/2003, de 26 de diciembre, sobre seguridad general de los productos.

Asimismo, se ha desarrollado una norma europea que establece requisitos de seguridad y métodos de ensayo aplicables a las bicicletas para niños, adoptada mediante Resolución de la Dirección General de Industria, de 2 de septiembre de 2008, por la que se publica la relación de normas UNE aprobadas por AENOR durante el mes de julio de 2008, y una norma europea relativa a ciclos con asistencia eléctrica adoptada mediante Resolución

de la Dirección General de Industria de 11 de diciembre de 2009, por la que se publica la relación de normas UNE aprobadas por AENOR durante el mes de noviembre de 2009.

Por otra parte, y dado que los ciclos son productos destinados a circular por las vías públicas, deben cumplir los requisitos que sobre dispositivos de señalización óptica y acústica se recogen en el Real Decreto 2822/1998, de 23 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento General de Vehículos.

Se considera, además, que debe procederse a una reducción de las cargas administrativas que lleva consigo la homologación de estos vehículos, requerida según el artículo 22.3 del Real Decreto 2822/1998, y atender, de este modo, a las demandas de los sectores implicados. En este ámbito de la simplificación de las cargas administrativas se elimina el control previo por parte de la Administración, siendo los fabricantes los responsables de los productos que ponen en el mercado, sin perjuicio del control que realicen las administraciones públicas competentes en el control y vigilancia, a posteriori, del mercado.

Esta disposición ha sido sometida al procedimiento de información de normas reglamentarias técnicas y de reglamentos relativos a los servicios de la sociedad de la información, previsto en la Directiva 98/34/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 22 de junio, modificada por la Directiva 98/48/CE, de 20 de junio, así como en el Real Decreto 1337/1999, de 31 de julio, que incorpora estas directivas al ordenamiento jurídico español.

De acuerdo con lo previsto en el artículo 24.1.c) de la Ley 50/1997, de 27 de noviembre, del Gobierno, el proyecto ha sido objeto del preceptivo trámite de audiencia a las comunidades autónomas, órganos administrativos, organismos, asociaciones y sectores industriales interesados. Asimismo, el proyecto ha sido sometido al dictamen preceptivo del Consejo de Estado.

En su virtud, a propuesta del Ministro de Industria, Energía y Turismo y del Ministro de Interior, con la aprobación previa del Ministro de Hacienda y Administraciones Públicas, de acuerdo con el Consejo de Estado, y previa deliberación del Consejo de Ministros en su reunión del día [.....]

DISPONGO:

Artículo 1. Objeto

Constituye el objeto de este real decreto la regulación de los requisitos aplicables para la puesta en el mercado y comercialización de las bicicletas y otros ciclos así como sus partes y piezas, con el fin de garantizar la seguridad de los mismos y su libre circulación.

Quedan excluidos del presente Real Decreto los vehículos incluidos en el campo de aplicación de la normativa armonizada de la Unión Europea relativa a la homologación de vehículos de categoría L.

Artículo 2. Definiciones

1. Ciclo: Todo vehículo provisto de al menos dos ruedas y propulsado exclusiva o principalmente por la energía muscular de la persona que está sobre el vehículo, en particular por medio de pedales,

2. Bicicleta: Ciclo de dos ruedas,

3. Ciclo de pedaleo asistido: Ciclo, equipado con pedales y un motor eléctrico auxiliar, que no puede ser propulsado exclusivamente por medio de ese motor auxiliar.

4. Comercialización: Primera puesta a disposición en la Comunidad Europea, mediante pago o de manera gratuita, de un ciclo, con vistas a su distribución o utilización.

5. Fabricante: Persona física o jurídica que diseñe y/o fabrique un ciclo cubierto por este real decreto y que sea responsable de la conformidad de dicho ciclo con este real decreto, con vistas a su comercialización, bajo su propio nombre o su propia marca, o para su propio uso. En ausencia de un fabricante en el sentido indicado, se considerará fabricante cualquier persona física o jurídica que comercialice o ponga en servicio un ciclo cubierto por este real decreto.

6. Representante autorizado: Persona física o jurídica establecida en la Comunidad Europea que haya recibido un mandato por escrito del fabricante para cumplir en su nombre la totalidad o parte de las obligaciones y formalidades relacionadas con este real decreto.

7. Puesta en servicio: Primera utilización, de acuerdo con su uso previsto, en la comunidad Europea, de un ciclo cubierto por este real decreto.

8. Norma armonizada: Especificación técnica, de carácter no obligatorio, adoptada por un organismo de normalización, a saber el Comité Europeo de Normalización (CEN), el Comité Europeo de Normalización Electrotécnica (CENELEC) o el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicación (ETSI), en el marco de un mandato de la Comisión otorgado con arreglo a los procedimientos establecidos en la directiva 98/34/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 22 de junio de 1998, por la que se establece un procedimiento de información en materia de las normas y reglamentaciones técnicas y de las reglas relativas a los servicios de la sociedad de la información, transpuesta a derecho interno español mediante Real Decreto 1337/1999, de 31 de julio.

Artículo 3. Requisitos aplicables.

1. Los ciclos, y sus partes y piezas, que vayan a ser utilizados en el territorio nacional deberán cumplir los requisitos establecidos en este real decreto.

2. Cada unidad de producto comercializado irá acompañado de la documentación que acredite el cumplimiento de dicho producto con las especificaciones de este real decreto. Dicha documentación incluirá los datos especificados en el Anexo I.

3. Asimismo, cada unidad dispondrá de un manual de instrucciones de acuerdo al Anexo II

4. Cada ciclo llevará fijada de forma visible una placa de características, legible e indeleble, con las indicaciones siguientes:

- la razón social y la dirección completa del fabricante y, en su caso, de su representante autorizado,
- la designación del producto
- la designación de la serie o del modelo,
- el número de serie,
- el año de fabricación.

En función del tipo de ciclo, este deberá llevar también todas las indicaciones de información y advertencia que sean indispensables para un uso seguro. Dichas indicaciones se expresaran, al menos, en castellano.

5. El fabricante del ciclo o su representante autorizado deberá también garantizar la realización de una evaluación de riesgos para el ciclo que desea comercializar. Para ello, deberá determinar cuáles son los requisitos que se aplican al ciclo y con respecto a los cuales se deben adoptar medidas. Además, antes de comercializar el ciclo deberá elaborar la documentación indicada en el Anexo III, la cual deberá estar disponible cuando se le solicite por las autoridades de vigilancia del mercado.

6. Las normas armonizadas a las que se hace referencia en los anexos I y III serán las descritas en el anexo IV, estando referidas a su última versión.

7. En lo relativo a los dispositivos de alumbrado y de señalización y a los avisadores acústicos se aplicarán las disposiciones del Artículo 22 del Real Decreto 2822/1998, de 23 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento General de Vehículos. En particular, los catadióptricos y los faros, si van montados, deberán cumplir las especificaciones del anexo V de este real decreto.

Artículo 4. Responsabilidades

Se confiere la plena responsabilidad de la conformidad de los ciclos a los fabricantes de los mismos, sin control previo por parte de las administraciones públicas. En este contexto, la vigilancia del mercado es esencial.

En el marco de esa vigilancia del mercado, cabe la imposición de medidas restrictivas a la comercialización de los ciclos que incumplan lo establecido en este real decreto, incluida la retirada del mercado.

Artículo 5. Régimen sancionador.

Un sistema de sanciones efectivas, proporcionadas y disuasorias, debe introducirse. En este sentido, las infracciones a lo dispuesto en este real decreto se clasificarán y sancionarán de acuerdo con lo dispuesto en el título V de la Ley 21/1992, de 16 de julio, de Industria.

Disposición Transitoria primera. Validez de las homologaciones en vigor

Las homologaciones concedidas con arreglo al Real Decreto 2406/1985, de 20 de noviembre, por el que se declaran de obligado cumplimiento las especificaciones técnicas de las bicicletas y sus partes y piezas y su homologación, por el Ministerio de Industria y Energía, seguirán siendo válidas a partir de la entrada en vigor del presente Real Decreto.

Disposición Transitoria segunda. Requisitos técnicos aplicables a los ciclos de más de dos ruedas

En tanto no se publiquen normas armonizadas a nivel de la UE aplicables a los ciclos de mas de dos ruedas y en ausencia de normas nacionales relativas a dichos vehículos, estos deberán cumplir las especificaciones del Anexo VI y disponer de la documentación descrita en los Anexos I, II y III, la cual deberá estar disponible cuando se solicite por las autoridades competentes.

Disposición Derogatoria Única. Derogación normativa

Queda derogado el Real Decreto 2406/1985, de 20 de noviembre, por el que se declaran de obligado cumplimento las especificaciones técnicas de las bicicletas y sus partes y piezas y su homologación por el Ministerio de Industria y Energía y cuantas disposiciones de igual o inferior rango se opongan a lo establecido en este real decreto.

Disposición Final Primera. Título competencial.

Este Real Decreto se dicta al amparo de lo dispuesto en el artículo 149.1.13.ª de la Constitución Española que atribuye al Estado la competencia exclusiva sobre bases y coordinación de la planificación general de la actividad económica, así como en el artículo 149.1.21ª de la Constitución Española que atribuye al Estado la competencia exclusiva en materia de tráfico y circulación de vehículos a motor, sin perjuicio de las competencias que, en su caso, ostenten las Comunidades Autónomas.

Disposición Final Segunda. Modificación del Real Decreto 2822/1998, de 23 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento el Reglamento General de Vehículos.

El apartado 3 del artículo 22, del Real Decreto 2822/1998, de 23 de diciembre, queda redactado de la siguiente manera:

3. Los ciclos y ciclos de pedaleo asistido quedan exceptuados de obtener la autorización administrativa a la que se hace referencia en el apartado 1 del artículo 1.

Los apartados 5 y 6 del artículo 22 del citado real decreto quedan suprimidos.

Disposición Final Tercera. Habilitación para la modificación de los anexos de este Real Decreto.

Se faculta al Ministerio de Industria, Energía y Turismo, para modificar mediante Orden los anexos de este Real Decreto.

Disposición Final Cuarta. Entrada en vigor.

El presente Real Decreto entrará en vigor el día siguiente al de su publicación el Boletín Oficial del Estado.

Anexo I

Declaración de Conformidad

En la declaración de conformidad del fabricante serán imprescindibles los siguientes datos:

1) razón social y dirección completa del fabricante y, en su caso, de su representante autorizado en la UE establecido en la Comunidad,

2) descripción e identificación del ciclo incluyendo marca, tipo, modelo, número de serie y denominación comercial,

3) lugar y fecha de fabricación,

4) indicación de que el ciclo cumple todas las disposiciones aplicables de este real decreto y una declaración de que el ciclo es conforme con otras directivas comunitarias y/o disposiciones pertinentes,

5) Referencia a las normas armonizadas que se hayan utilizado,

6) en su caso, la referencia a otras normas y especificaciones técnicas que se hayan utilizado;

7) lugar y fecha de la declaración de conformidad;

8) identificación y firma de la persona apoderada para redactar esta declaración en nombre del fabricante o de su representante autorizado.

Anexo II

Manual de instrucciones

Cuando se comercialice y/o se ponga en servicio en España, cada ciclo deberá ir acompañado de un manual de instrucciones, al menos en castellano. Dicho manual será un «Manual original» o una «Traducción del manual original»; en este último caso, la traducción irá acompañada obligatoriamente de un «Manual original» y cumplirá lo establecido en los párrafos siguientes.

1) Principios generales

a) El manual de instrucciones estará redactado en una o varias de las lenguas oficiales de la Comunidad Europea. La mención «Manual original» deberá figurar en la versión o versiones lingüísticas comprobadas por el fabricante o por su representante autorizado.

b) Cuando no exista un «Manual original» en castellano, el fabricante, su representante autorizado, o el responsable de la comercialización del ciclo en la zona lingüística de que se trate, deberá proporcionar una traducción al menos en castellano. Estas traducciones incluirán la mención «Traducción del manual original».

c) El contenido del manual de instrucciones no solo deberá tener en cuenta el uso previsto del ciclo, sino también su mal uso razonablemente previsible.

2) Contenido

Cada manual de instrucciones contendrá, como mínimo, la información siguiente:

a) la razón social y dirección completa del fabricante y de su representante autorizado,

b) la designación del ciclo,

c) la declaración de conformidad del fabricante,

d) una descripción general del ciclo,

e) los planos, diagramas, descripciones y explicaciones necesarias para el uso, el mantenimiento y la reparación del ciclo, así como para comprobar su correcto funcionamiento;

f) una descripción del uso previsto;

g) cuando proceda, las instrucciones de montaje, incluidos los planos, diagramas y medios de fijación;

h) información sobre los riesgos residuales que existan a pesar de las medidas de diseño inherentemente seguro, de los protectores y otras medidas de protección complementarias adoptados;

i) instrucciones acerca de las medidas preventivas que debe adoptar el usuario, incluyendo, cuando proceda, los equipos de protección individual a prever;

j) las características básicas de los accesorios que puedan acoplarse al ciclo;

k) la descripción de las operaciones de reglaje y de mantenimiento que deban ser realizadas por el usuario, así como las medidas de mantenimiento preventivo que se han de cumplir;

l) instrucciones diseñadas para permitir que el reglaje y el mantenimiento se realicen con total seguridad, incluidas las medidas preventivas que deben adoptarse durante este tipo de operaciones;

m) las características de las piezas de recambio que deben utilizarse, cuando estas afecten a la salud y seguridad de los usuarios;

3. Información publicitaria

La información publicitaria que describa el ciclo no deberá contradecir al manual de instrucciones en lo que respecta a los aspectos de salud y seguridad. La información publicitaria que describa las características de funcionamiento del ciclo deberá contener la misma información que el manual de instrucciones.

Anexo III

Expediente Técnico

El expediente técnico constará de los siguientes elementos:

a) Un expediente técnico de fabricación integrado por:

- una descripción general del ciclo,
- el plano de conjunto del ciclo, así como las descripciones y explicaciones pertinentes, necesarias para comprender el funcionamiento del mismo, los planos detallados y completos, acompañados de las eventuales notas de cálculo, resultados de ensayos, certificados, etc., que permitan verificar la conformidad del producto con los requisitos esenciales de seguridad.
- La documentación relativa a la evaluación de riesgos, que muestre el procedimiento seguido, incluyendo:
  - i. una lista de los requisitos esenciales de salud y seguridad que se apliquen al ciclo;
  - ii. una descripción de las medidas preventivas aplicadas para eliminar los peligros identificados o reducir los riesgos y, en su caso, la indicación de los riesgos residuales asociados al ciclo,
- las normas armonizadas y demás especificaciones técnicas utilizadas, con indicación de los requisitos esenciales de seguridad y salud cubiertos por dichas normas,
- cualquier informe técnico que refleje los resultados de los ensayos realizados por el fabricante, por su representante autorizado o por un organismo elegido por cualquiera de estos,
- un ejemplar del manual de instrucciones,
- en su caso, copias de las declaraciones de conformidad CE u otras de productos o componentes incorporados al ciclo,
- una copia de la declaración de conformidad del fabricante del ciclo;

b) en caso de fabricación en serie, las disposiciones internas que vayan a aplicarse para mantener la conformidad de los productos con los requisitos de seguridad establecidos. El fabricante deberá someter

los componentes o accesorios, y al ciclo en su totalidad, a los estudios y ensayos necesarios para determinar si, por su diseño o fabricación, el ciclo puede montarse y ponerse en servicio en condiciones de seguridad. En el expediente técnico se incluirán los informes y resultados correspondientes.

El expediente técnico indicado en este anexo, deberá estar a disposición de las autoridades competentes al menos durante diez años desde la fecha de fabricación del ciclo o, en caso de fabricación en serie, de la última unidad producida.

La persona indicada en la declaración de conformidad del fabricante habrá de poder reunirlo y tenerlo disponible en un tiempo compatible con su complejidad.

El hecho de no presentar el expediente técnico de fabricación en respuesta a un requerimiento debidamente motivado de las autoridades nacionales competentes podrá constituir razón suficiente para dudar de la conformidad del ciclo con los requisitos esenciales de seguridad y salud.

Anexo IV

Normas armonizadas de referencia

A efectos del presente real decreto se consideran como normas armonizadas que dan presunción de conformidad, las siguientes:

- EN 14764:2005. Bicicletas de paseo. Requisitos de seguridad y métodos de ensayo.
- EN 14781:2005. Bicicletas de carrera. Requisitos de seguridad y métodos de ensayo.
- EN 14766:2005. Bicicletas de montaña. Requisitos de seguridad y métodos de ensayo.
- EN 14872:2006. Bicicletas. Accesorios para bicicletas. Porta-equipajes.
- UNE-EN 14765:2006+A1:2008. Bicicletas para niños. Requisitos de seguridad y métodos de ensayo,
- UNE-EN 15194:2009. Ciclos. Ciclos con asistencia eléctrica. Bicicletas EPAC.

Anexo V

Requisitos técnicos aplicables a los catadióptricos y faros

1. Los catadióptricos deberán estar homologados de acuerdo con el Reglamento CEPE/ONU nº 3.
2. Los faros deberán tener una intensidad luminosa comprendida entre los límites especificados en la siguiente tabla:

Intensidad luminosa (candelas)	Delanteros (1)	4 - 60
	Traseros (1)	4 - 12

(1) en la dirección del eje

Anexo VI

Especificaciones generales aplicables a los ciclos de más de dos ruedas.

1. Aspectos generales.

1.1. Esquinas cortantes.- Todas aquellas esquinas que puedan entrar en contacto con el cuerpo, manos y pies del ciclista, durante el pedaleo, la preparación o la manipulación del ciclo, no serán cortantes.

1.2. Protección de cadena.- Los ciclos estarán equipados con sistemas de protección que eviten el enganche de las ropas o de partes del cuerpo entre el plato y la cadena.

2. Frenos.

2.1. Sistema de frenado.- Todo ciclo estará equipado con un sistema de frenado, que actuará independientemente en la ruedas delanteras y en las traseras.

2.2. Colocación de los frenos.- En todo ciclo provisto de frenos manuales, la maneta para el freno delantero estará situada al lado izquierdo del manillar y la del freno trasero a lado derecho.

2.3. Tensores del freno.- Los frenos podrán ser ajustados a medida que las zapatas se vayan desgastando, hasta el momento en que deban ser remplazadas, según las recomendaciones del fabricante.

2.4. Las prestaciones de frenado en terreno seco y en condiciones atmosféricas consideradas como normales serán las especificadas por el fabricante para garantizar una detención segura y suave, entendiéndose como tal aquella que no produce los acontecimientos siguientes:

- trepidación excesiva,
- bloqueo de las ruedas delanteras,
- basculamiento del ciclo (levantamiento incontrolable de las ruedas traseras),
- pérdida de control por el conductor,
- derrapado lateral excesivo.

3. Dirección.

3.1 Manillar.- Los extremos del manillar estarán equipados con puños o protecciones.

3.2. Potencia del manillar.- Se entiende por potencia del manillar al soporte insertado en el tubo pivote de la horquilla, en cuya cabeza se fija el manillar del ciclo.

La potencia del manillar irá provista de una marca permanente que indicará claramente la mínima inserción de su tubo dentro de la horquilla. La marca de inserción estará grabada a una distancia del extremo inferior de la potencia equivalente a dos veces y media la medida de su diámetro.

3.3. Radio de giro.- Se indicará el radio de giro a la velocidad declarada.

3.4. Horquilla delantera.- La colocación de la rueda en la horquilla será tal que cuando el eje se apoye firmemente en el final de las ranuras la rueda quedará centrada en la horquilla.

4. Cámaras y cubiertas.

4.1. Presión de inflado.- La presión de inflado recomendada por el fabricante estará moldeada en el lateral de la cubierta de modo que sea visible cuando la rueda esté montada.

5. Sillín.

5.1. Tubo de sillín.- El tubo del sillín irá provisto de una marca permanente que indique claramente su mínima inserción en el cuadro. La marca de inserción estará grabada a una distancia mínima de su extremo inferior, equivalente a dos veces la medida de su diámetro.

6. Catadióptricos y luces.

6.1. Catadióptrico trasero.- Todo ciclo deberá disponer de uno como mínimo, categoría IA según R3 CEPE/ONU, color rojo, no triangulares.

6.2. Catadióptricos laterales: Cuatro. Dos en ruedas delanteras, uno por cada lado; y dos en ruedas traseras, uno por cada lado. Categoría IVA según R3 CEPE/ONU. Color amarillo auto. No triangulares.

6.3. Luz de posición delantera y trasera: Una luz blanca delantera y una luz roja trasera como mínimo. La intensidad luminosa será:

Mínimo: 4 candelas.

Máximo: 60 candelas para la luz delantera y 12 candelas para la luz trasera.

7. Marcado e identificación. Se aplicará lo indicado en el artículo 3, apartado 4 de este real decreto.

8. Asistencia eléctrica. Se aplicarán los requisitos específicos del apartado 4.2 de la norma UNE-EN 15194.

9. Sistemas de retención de pasajeros. Deberán montarse en vehículos destinados al transporte de pasajeros, debiendo garantizar la seguridad de los ocupantes del ciclo.

10. Requisitos de seguridad funcional. La distribución de masas del ciclo será tal que evite el vuelco longitudinal y lateral en cualquiera de las condiciones de uso previsto.

11. Avisador acústico. Cumplirá lo dispuesto en el artículo 22 del Real Decreto 2822/1998, de 23 de diciembre por el que se aprueba el Reglamento General de Vehículos.

12. Mantenimiento.

12.1. Instrucciones y mantenimiento.- Se aplicará lo indicado en el Anexo II de este real decreto, especificando en particular:

a) Puesta a punto: Cómo medir y ajustar las alturas del sillín y manillar, explicando las marcas de atención existentes en ambos.

b) Correcto ajuste de la tensión de la cadena.

c) Recomendaciones de ajuste de los frenos y cambio de zapatas.

d) Ajuste de los cambios de velocidad.

e) Revisiones regulares de frenos, neumáticos, dirección y otros elementos relacionados con la seguridad.

f) Presión de inflado de los neumáticos.

IV. Abaqus Manual - Prescribed assembly loads

32.5.1 Prescribed assembly loads

Products: Abaqus/Standard Abaqus/CAE

References

- "Prescribed conditions: overview," Section 32.1.1
- *BOUNDARY
- *CLOAD
- *PRE-TENSION SECTION
- *SURFACE
- Chapter 22, "Bolt loads," of the Abaqus/CAE User's Manual

Overview

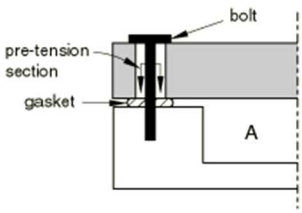
Assembly loads:

- can be used to simulate the loading of fasteners in a structure;
- are applied across user-defined pre-tension sections;
- are applied to pre-tension nodes that are associated with the pre-tension sections; and
- require the specification of pre-tension loads or tightening adjustments.

Concept of an assembly load

Figure 32.5.1–1 is a simple example that illustrates the concept of an assembly load.

Figure 32.5.1–1 Example of assembly load.



Container *A* is sealed by pre-tensioning the bolts that hold the lid, which places the gasket under pressure. This pre-tensioning is simulated in Abaqus/Standard by adding a "cutting surface," or pre-tension section, in the bolt, as shown in Figure 32.5.1–1, and subjecting it to a tensile load. By modifying the elements on one side of the surface, Abaqus/Standard can automatically adjust the length of the bolt at the pre-tension section to achieve the prescribed amount of pre-tension. In later steps further length changes can be prevented so that the bolt acts as a standard, deformable component responding to other loadings on the assembly.

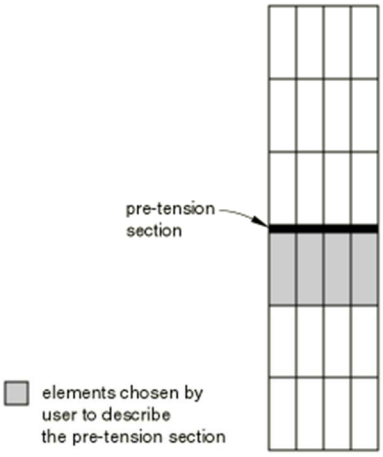
Modeling an assembly load

Abaqus/Standard allows you to prescribe assembly loads across fasteners that are modeled by continuum, truss, or beam elements. The steps needed to model an assembly load vary slightly depending on the type of elements used to model the fasteners.

Modeling a fastener with continuum elements

In continuum elements the pre-tension section is defined as a surface inside the fastener that "cuts" it into two parts (see Figure 32.5.1–2). The pre-tension section can be a group of surfaces for cases where a fastener is composed of several segments.

Figure 32.5.1–2 Pre-tension section defined using continuum elements.



The element-based surface contains the element and face information (see "Element-based surface definition," Section 2.3.2). You must convert the surface into a pre-tension section across which pre-tension loads can be applied and assign a controlling node to the pre-tension section.

Input File Usage: Use the following options to model an assembly load across a fastener that is modeled with continuum elements:
*SURFACE, TYPE=ELEMENT, NAME=*surface_name*
*PRE-TENSION SECTION, SURFACE=*surface_name*, NODE=*n*

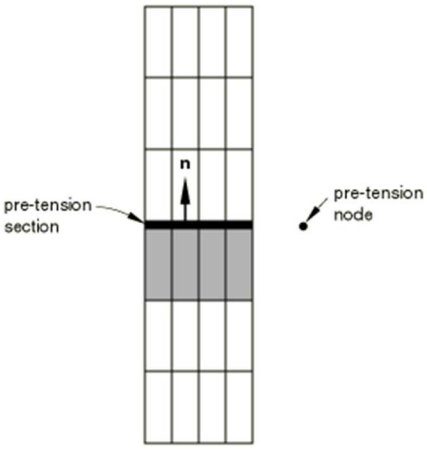
Abaqus/CAE Usage: Load module: **Create Load**: choose **Mechanical** for the **Category** and **Bolt load** for the **Types for Selected Step**

Assigning a controlling node to the pre-tension section

The assembly load is transmitted across the pre-tension section by means of the pre-tension node.

The pre-tension node should not be attached to any element in the model. It has only one degree of freedom (degree of freedom 1), which represents the relative displacement at the two sides of the cut in the direction of the normal (see Figure 32.5.1–3). The coordinates of this node are not important.

Figure 32.5.1–3 Normal to the pre-tension section; this normal should face away from the underlying elements.



Defining the normal to the pre-tension section

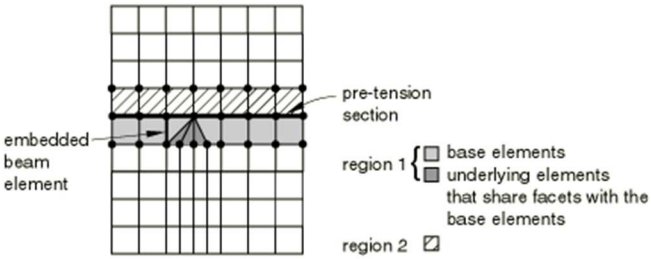
Abaqus/Standard computes an average normal to the section—in the positive surface direction, facing away from the continuum elements used to generate the surface—to determine the direction along which the pre-tension is applied. You may also specify the normal directly (when the desired direction of loading is different from the average normal to the pre-tension section). The normal is not updated when performing large-displacement analysis.

Recognizing elements on either side of the pre-tension section

For all the elements that are connected to the pre-tension section by at least one node, Abaqus/Standard must determine on which side of the pre-tension section each element is located. This process is crucial for the prescribed assembly load to work properly.

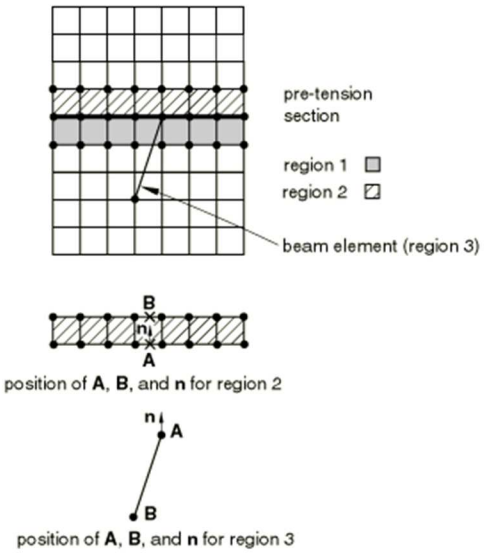
The elements used to define the section are referred to as "base elements" in this discussion. All elements on the same side of the section as the base elements are referred to as the "underlying elements." All elements connected to the section that share faces (or in two-dimensional problems, edges) with the base elements are added to the list of underlying elements. This is a repetitive process that enables Abaqus/Standard to find the underlying elements in almost all meshes—triangles; wedges; tetrahedra; and embedded beams, trusses, shells, and membranes—that were not used in the definition of the surface (see Figure 32.5.1–4).

Figure 32.5.1–4 The base elements are used to find the underlying elements.



In most cases this process will group all of the elements that are connected to the section into two regions, as shown in the figure. In rare instances this process may group the elements in more than two regions, in particular if line elements cross over element boundaries. An example is shown in Figure 32.5.1–5; it has three regions, where region 1 is the underlying region.

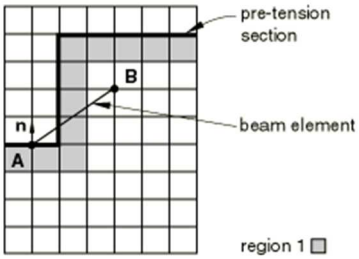
Figure 32.5.1–5 An additional underlying element is found.



For each region other than region 1 an additional step is necessary to determine on which side of the section the region is located. Abaqus/Standard computes an average normal, $\mathbf{n}$, for all the nodes of the region that belong to the section; it also computes an average position ($\mathbf{A}$) of all these nodes. In addition, it computes an average position ($\mathbf{B}$) of the remaining nodes of the region. If the dot product between the normal $\mathbf{n}$ and the vector AB is negative, the region is assumed to be an underlying region and is added to region 1. This additional step is illustrated in Figure 32.5.1–5 for regions 2 and 3.

This additional step produces an incorrect separation for the beam element shown in Figure 32.5.1–6 since the beam is not found to be an underlying element.

Figure 32.5.1–6 An additional underlying element is not found.



If the pre-tension section has an odd shape and one or more line elements that cross over element boundaries are connected to it, consult the list of the underlying elements given in the data (`.dat`) file to make sure that the underlying elements are listed correctly.

Elements that are connected only to the nodes on the pre-tension section, including single-node elements (such as SPRING1, DASHPOT1, and MASS elements) are not included as underlying elements: they are considered to be attached to the other side of the section.

Modeling a fastener with truss or beam elements

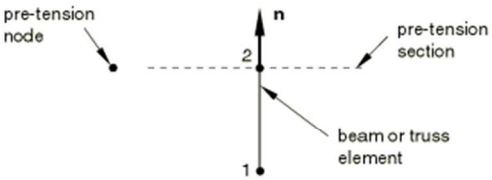
When a pre-tensioned component is modeled with truss or beam elements, the pre-tension section is reduced to a point. The section is assumed to be located at the last node of the element as defined by the element connectivity (see "Beam element library," Section 28.3.8, and "Truss element library," Section 28.2.2, for a definition of the node ordering for beam and truss elements, respectively), with its normal along the element directed from the first to the last node. As a result, the section is defined entirely by just specifying the element to which an assembly load must be prescribed and associating it with a pre-tension node.

Input File Usage: Use the following option to model an assembly load across fasteners modeled with beam or truss elements:
*PRE-TENSION SECTION, ELEMENT=*element_number*, NODE=*n*

Abaqus/CAE Usage: Load module: **Create Load**: choose **Mechanical** for the **Category** and **Bolt load** for the **Types for Selected Step**

As in the case of a surface-based pre-tension section, the node has only one degree of freedom (degree of freedom 1), which represents the relative displacement on the two sides of the cut in the direction of the normal (see Figure 32.5.1–7). The coordinates of the node are not important.

Figure 32.5.1–7 Pre-tension section defined using a truss or beam element.



Defining the normal to the pre-tension section

Abaqus/Standard computes the normal as the vector from the first to the last node in the connectivity of the underlying element. Alternatively, you can specify the normal to the section directly. This normal is not updated during large-displacement analysis.

Defining multiple pre-tension sections

You can define multiple pre-tension sections by repeating the pre-tension section definition input. Each pre-tension section should have its own pre-tension node.

Use with nodal transformations

A local coordinate system (see "Transformed coordinate systems," Section 2.1.5) cannot be used at a pre-tension node. It can be used at nodes located on pre-tension sections.

Applying the prescribed assembly load

The pre-tension load is transmitted across the pre-tension section by means of the pre-tension node.

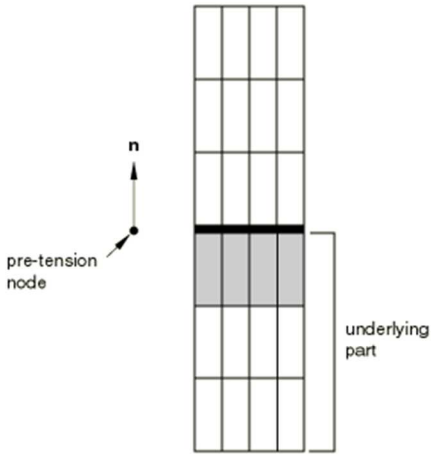
Prescribing the pre-tension force

You can apply a concentrated load to the pre-tension node. This load is the self-equilibrating force carried across the pre-tension section, acting in the direction of the normal on the part of the fastener underlying the pre-tension section (the part that contains the elements that were used in the definition of the pre-tension section; see Figure 32.5.1–8).

Input File Usage: *CLOAD

Abaqus/CAE Usage: Load module: **Create Load**: choose **Mechanical** for the **Category** and **Bolt load** for the **Types for Selected Step**: select surface and if, necessary, datum axis: **Method: Apply force**

Figure 32.5.1–8 The prescribed assembly load is given at the pre-tension node and applied in direction **n**.



Prescribing a tightening adjustment

You can prescribe a tightening adjustment of the pre-tension section by using a nonzero boundary condition at the pre-tension node (which corresponds to a prescribed change in the length of the component cut by the pre-tension section in the direction of the normal).

Input File Usage: *BOUNDARY

Abaqus/CAE Usage: Load module: **Create Load**: choose **Mechanical** for the **Category** and **Bolt load** for the **Types for Selected Step**: select surface and if, necessary, datum axis: **Method: Adjust length**

Controlling the pre-tension node during the analysis

You can maintain the initial adjustment of the pre-tension section by using a boundary condition fixing the degrees of freedom at their current values at the start of the step once an initial pre-tension is applied in the fastener; this technique enables the load across the pre-tension section to change according to the externally applied loads to maintain equilibrium. If the initial adjustment of a section is not maintained, the force in the fastener will remain constant.

When a pre-tension node is not controlled by a boundary condition, make sure that the components of the structure are kinematically constrained; otherwise, the structure could fall apart due to the presence of rigid body modes. Abaqus/Standard will issue a warning message if it does not find any boundary condition or load on a pre-tension node during the first step of the analysis.

Display of results

Abaqus/Standard automatically adjusts the length of the component at the pre-tension section to achieve the prescribed amount of pre-tension. This adjustment is done by moving the nodes of the underlying elements that lie on the pre-tension section relative to the same nodes when they appear in the other elements connected to the pre-tension section. As a result, the underlying elements will appear shrunk, even though they carry tensile stresses when a pre-tension is applied.

Limitations when using assembly loads

Assembly loads are subject to the following limitations:

- An assembly load cannot be specified within a substructure.
- If a submodeling analysis is performed ("Submodeling: overview," Section 10.2.1), any pre-tension section should not cross regions where driven nodes are specified. In other words, a pre-tension section should appear either entirely in the region of the global model that is not part of a submodel or entirely in the region of the global model that is part of a submodel. In the latter case, a pre-tension section must also appear in the submodel when the submodel analysis is performed.
- Nodes of a pre-tension section should not be connected to other parts of the body through multi-point constraints ("General multi-point constraints," Section 33.2.2). These nodes can be connected to other parts of the body through equations ("Linear constraint equations," Section 33.2.1). However, an equation connecting a node on the pre-tension section to a node located on the underlying side of the section introduces a constraint that spans across the pre-tension cut and, therefore, interacts directly with the application of the pre-tension load. On the other hand, an equation connecting a node on the pre-tension section to a node on the other side of the section does not influence the application of the pre-tension load.

Procedures

Any of the Abaqus/Standard procedures that use element types with displacement degrees of freedom can be used. Static analysis is the most likely procedure type to be used when prescribing the initial pre-tension ("Static stress analysis," Section 6.2.2). Other analysis types such as coupled temperature-displacement ("Sequentially coupled thermal-stress analysis," Section 6.5.3) or coupled thermal-electrical-structural ("Fully coupled thermal-electrical-structural analysis," Section 6.7.4) can also be used. Once the initial pre-tension is applied, a static or dynamic analysis ("Dynamic analysis procedures: overview," Section 6.3.1) may, for instance, be used to apply additional loads while maintaining the tightening adjustment.

Output

The total force across the pre-tension section is the sum of the reaction force at the pre-tension node plus any concentrated load specified at that node. The total force across the pre-tension section is available as output using the output variable identifier TF (see "Abaqus/Standard output variable identifiers," Section 4.2.1). The forces are along the normal direction. The shear force across the pre-tension section is not available for output.

The tightening adjustment of the pre-tension section is available as the displacement of the pre-tension node. The output of displacement is requested using output identifier U. Only the adjustment normal to the pre-tension section is output since there is no adjustment in any other direction.

The stress distribution across the pre-tension section is not available directly; however, the stresses in the underlying elements can be displayed readily. Alternatively, a tied contact pair can be inserted at the location of the pre-tension section to enable stress distribution output by means of output identifiers CPRESS and CSHEAR. See "Defining tied contact in Abaqus/Standard," Section 34.3.7, for details on defining tied contact.

Input file template

```
*HEADING
Prescribed assembly load; example using continuum elements
...
*NODE
Optionally define the pre-tension node
*SURFACE, NAME=name
Data lines that specify the elements and their associated faces to define the pre-tension section
*PRE-TENSION SECTION, SURFACE=name, NODE=pre-tension_node
**
*STEP
** Application of the pre-tension across the section
*STATIC
Data line to control time incrementation
*CLOAD
pre-tension_node, 1, pre-tension_value
or
*BOUNDARY,AMPLITUDE=amplitude
pre-tension_node, 1, 1, tightening adjustment
*END STEP
*STEP
** maintain the tightening adjustment and apply new loads
*STATIC or *DYNAMIC
Data line to control time incrementation
```

```
*BOUNDARY,FIXED
pre-tension_node, 1, 1
*BOUNDARY
Data lines to prescribe other boundary conditions
*CLOAD or *DLOAD
Data lines to prescribe other loading conditions
...
*END STEP
```

V. *Composición de aluminio 7075 por Alu-Stock S.A.*

7075 ALZINTOK 75

ALEACIÓN: ALUMINIO-ZINC

ALU-STOCK S.A.

PRODUCTOS: BARRAS, PERFILES EXTRUIDOS, TUBOS, CHAPAS, PLANCHAS.

COMPOSICIÓN QUÍMICA

%	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Otros elementos		Al
Mínimo			1,20		2,10	0,18	5,10		Zr + Ti	Total	
Máximo	0,40	0,50	2,00	0,30	2,90	0,28	6,10	0,20	0,25	0,15	El resto

EQUIVALENCIAS INTERNACIONALES

Austria -Onorm AlZnMgCu1,5	Canadá - C.N.D. ZG62	E.E.U.U. - A.A. 7075	España - U.N.E. L-3710 / 38.371	Francia - Afnor a-Z5GU	Reino Unido - B.S. 2L95-L160-L161	Italia - U.N.I. 3735 / 9007-P2	Japón - J.I.S. A 3 x 6
Hungría - M.S.Z.	Noruega - N.S.	Polonia - P.L.	Alemania - D.I.N. AlZnMgCu1,5 / 3.4365	Suecia - S.I.S.	Suiza - V.S.M. AlnZnMgCu1,5	Rusia - G.O.S.T. V 95	E.N. EN-AW-7075

EQUIVALENCIAS NACIONALES, NORMAS Y NOMBRES COMERCIALES

ISO	ESPAÑA	ALEMANIA	CANADA	E.E.U.U.	FRANCIA	REINO UNIDO	ITALIA	VARIOS
AlZn6MgCu	L-3710 38.271 Alzintok 75	AlZnMgCu 1,5 3.4365 AZ6 Constructal 20/73 Constructal 20/75 1750	ZG62 M75S	QQ-A-200/11 QQ-A-225/9/12 QQ-A-430 WW-T-700/7 ASTM B209/210/211 ASTM B221/241/247 ASTM B316 AMS 4038/4047/4049 AMS 4139/4154/4168 ASTM ZG62 A	A-Z5GU Superalumag T50	2L95 L160	3735 Ergal 55 EG55 E51 9007/2	V95 Perradur S Perunal -215 Aludur 620 M75S ASV 2082

PROPIEDADES MECÁNICAS TÍPICAS (a temperatura ambiente de 20°C)

- Chapas: Ver en la página 118.31, 32 y 33
- Barras: Ver en página 118.13 y 14
- Perfiles: Ver en página 118.13 y 14

TRATAMIENTOS DEL ALUMINIO

Estado	Tratamiento de puesta en solución T° C	Medio de temple	Tratamientos de maduración artificial Mantenimiento a T° en horas
T6	465°C± 5°C	Agua a 40°C máximo	12 a 16 horas a 135°C ± 3°C
T73			Chapas: 6 a 8 horas a 108°C seguido de 24 a 30 horas a 161°C ± 3°C
T73			Bandas: 6 a 8 horas a 108°C seguido de 8 a 12 horas a 177°C ± 5°C
T651	Tracción controlada de 1,5 a 3%		

- Intervalo de temperatura de forja: 350° - 450°C.
- Recocido total: 420°C seguido de 6 horas a 230°C si se va a almacenar durante largo tiempo.
- Recocido contra acritud: 340°C.

APLICACIONES

Debido a su elevado límite elástico es una aleación muy adecuada para piezas sometidas a grandes fatigas, se utiliza para la construcción de troqueles, moldes de soplado, matrices, maquinaria, herramientas, armamento, blindajes, industria del automóvil, piezas estampadas, tornillería, bastones de esquí, accesorios ortopédicos, cañas de pesca, arcos y flechas, raquetas de tenis, remaches, aplicaciones nucleares.

VITORIA Tel 945 29 00 97 - Fax 945 29 00 88
BARCELONA Tel 93 544 46 00 - Fax 93 544 45 24
MADRID Tel 91 691 84 15 - Fax 91 692 86 74

ALU-STOCK S.A.

ALEACIÓN: ALUMINIO-ZINC

PRODUCTOS: Barras, perfiles extruidos, tubos, chapas, planchas.

APTITUDES TECNOLÓGICAS

SOLDADURA:
- A la llama
- Al arco bajo gas argón
- Por resistencia eléctrica
- Braseado

MECANIZACIÓN: Estado: **T5** / Estado: **T6**
- Fracmentación de la viruta
- Brillo de supeficie

COMPORTAMIENTO NATURAL:
- En ambiente rural
- En ambiente industrial
- En ambiente marino
- En agua de mar

RECUBRIMIENTO:
- Lacado
- Galvanizado
- Níquel químico

ANODIZADO:
- De protección
- Decorativo
- Anodizado duro

Aleación para uso alimenticio: **NO**

Muy buena.
Buena.
Regular.
Mala, evitar.

ALU-STOCK S.A.

RADIOS DE PLEGADO

90°	Estado	0,5<e<1,5 mm.	1,5<e<3,0 mm.	3,0<e<6,0 mm.	6,0<e<9,0 mm.	9,0<e<12,5 mm.
	0	0,5	1,0	2,5	4,0	4,0
	T6/T651/T62	5,5	6,5	8,0	12,0	12,0

180°	Estado	0,5<e<1,5 mm.	1,5<e<3,0 mm.	3,0<e<6,0 mm.	6,0<e<9,0 mm.	9,0<e<12,5 mm.
	0	2	3	-	-	-
	T6/T651/T62	-	-	-	-	-

Para conocer el radio multiplicar el espesor de la chapa por el coeficiente o

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LA ALEACIÓN A DIFERENTES TEMPERATURAS

Estado	-195°C			-80°C			-30°C			+25°C			+100°C		
	Rm	Rp 0,2	A 5, 65	Rm	Rp 0,2	A 5, 65	Rm	Rp 0,2	A 5, 65	Rm	Rp 0,2	A 5, 65	Rm	Rp 0,2	A 5, 65
T6	705	635	9	620	545	11	595	515	11	570	505	11	485	450	14
T7351	635	495	14	545	460	14	525	450	13	505	435	13	435	400	15

Estado	+150°C			+205°C			+260°C			+315°C			+370°C		
	Rm	Rp 0,2	A 5, 65	Rm	Rp 0,2	A 5, 65	Rm	Rp 0,2	A 5, 65	Rm	Rp 0,2	A 5, 65	Rm	Rp 0,2	A 5, 65
T6	215	185	30	110	90	55	75	60	65	55	45	70	41	32	70
T7351	215	185	30	110	90	55	75	60	65	55	45	70	41	32	70

Rm N/mm² ; Rp N/mm² ; A 5,65 %.

Según normas A.A.

PROPIEDADES FÍSICAS TÍPICAS (a temperatura ambiente de 20°C)

Módulo elástico N / mm²	Peso específico g / cm³	Intervalo de fusión °C	Coeficiente de dilatación lineal 1 / 10⁶ K	Conductividad térmica W / m K	Resistividad eléctrica a 20°C - μΩ cm	Conductividad eléctrica % IACS	Potencial de disolución V
72.000	2,81	475 - 635	23,5	0 - 175	0 - 3,8	0 - 45,5	- 0,81
				T6 - 134	T6 - 5,2	T6 - 33,0	

OBSERVACIONES

Se ha de tener cuidado en la elección del temple (u otros tratamientos térmicos) para el equilibrio de las características. Se puede plaquear con la aleación 7072 para una mejor protección contra las grietas por corrosión bajo tensión. Con herramientas apropiadas se puede mecanizar a velocidades superiores a 2000 m/min.

⚠ **Recomendamos evitar que las chapas estén al aire o se sequen inmediatamente si se cortan con water-jet para evitar su corrosión y aparición de manchas sobre todo al anodizar.**

1Kg/mm² = 9,81 N/mm². ; 1N/mm² = 1MPa.

VITORIA Tel 945 29 00 97 - Fax 945 29 00 88
BARCELONA Tel 93 544 48 00 - Fax 93 544 45 24
MADRID Tel 91 691 64 15 - Fax 91 692 88 74

VI. Tabla de Propiedades de tornillos de Titanio - LOWDE

Dinamometría TITANIO

LOWDE TITANIUM

TORNILLOS ROSCA METRICA					Ti grado 2		Ti grado 4		Ti grado 5	
MET. mm	PASO mm	HEXAG. mm	ALLEN mm	Sección mm²	Pretensado N	Apriete Nm	Pretensado N	Apriete Nm	Pretensado N	Apriete Nm
2	0,4	4	1,5	1,72	340,28	0,10	595,49	0,18	1.019,61	0,31
2,5	0,45	5	2	2,88	580,09	0,22	1.015,16	0,38	1.738,17	0,65
3	0,5	5,5	2,5	4,34	883,30	0,39	1.545,77	0,69	2.646,68	1,18
3,5	0,6	6	-	5,81	1.178,76	0,62	2.062,84	1,08	3.532,02	1,84
4	0,7	7	3	7,50	1.516,76	0,91	2.654,34	1,59	4.544,80	2,72
5	0,8	8	4	12,32	2.521,43	1,86	4.412,51	3,26	7.555,17	5,58
6	1	10	5	17,36	3.533,18	3,15	6.183,07	5,51	10.586,74	9,44
7	1	11	-	25,53	5.291,09	5,39	9.259,41	9,43	15.854,11	16,15
8	1,25	13	6	31,93	6.553,46	7,72	11.468,55	13,51	19.636,63	23,13
10	1,5	16	8	50,91	10.498,76	15,38	18.372,83	26,91	31.458,25	46,07
12	1,75	18	10	74,31	15.369,07	26,91	26.895,87	47,10	46.051,52	80,64
14	2	21	12	102,11	21.164,37	43,13	37.037,65	75,47	63.416,43	129,23
16	2	24	14	141,07	29.599,38	67,87	51.798,92	118,77	88.690,90	203,36
18	2,5	27	14	170,93	35.529,93	92,77	62.177,38	162,34	106.461,07	277,96
20	2,5	30	17	220,42	46.249,04	132,56	80.935,81	231,98	138.579,54	397,19
22	2,5	34	17	276,19	58.370,16	182,20	102.147,79	318,85	174.899,01	545,94
24	3	36	19	317,40	66.598,61	229,06	116.547,57	400,85	199.554,53	686,35
27	3	41	19	419,21	88.731,99	339,16	155.280,98	593,53	265.874,47	1.016,26
30	3,5	46	22	508,84	107.337,37	458,11	187.840,39	801,69	321.623,19	1.372,66

Ti grado 2 resistencia similar al acero 4.8.
Ti grado 4 resistencia similar al acero 6.8.
Ti grado 5 resistencia similar al acero 10.9.

La calidad del acero de tornillos se representa por dos números separados por un punto. El primer número representa la resistencia a la tracción (x100 MPa). El segundo, el límite elástico en porcentaje (x10%) respecto al primero. Por ejemplo, un tornillo de calidad 8.8 está fabricado con acero de resistencia a la tracción 800 MPa y límite elástico 640 MPa.

(Los valores de la tabla han sido calculados con coeficiente de rozamiento 0,10)

Propiedades del TITANIO (cuatro aleaciones más representativas)

LOWDE TITANIUM

Denominación	Composición	Resistencia a la tracción (MPa)	Límite elástico (MPa)	Ductilidad (alargamiento)	Dureza	Soldabilidad	Resistividad eléctrica (μΩm)
Ti grado 2	Ti Fe 0.30 O 0.25 (comercial puro)	345	275	20 %	82 HRB	Excelente	0,56
Ti grado 5	Ti 6Al 4V	896	827	10 %	33 HRB	Muy buena	1,67
Ti grado 19	Ti3Al8V6Cr4Zr4Mo (Beta C)	793	759	15 %	45 HRB	Regular	1,55
Ti 6246	Ti6Al2Sn4Zr6Mo	1172	1103	10 %	39 HRB	Limitada	2

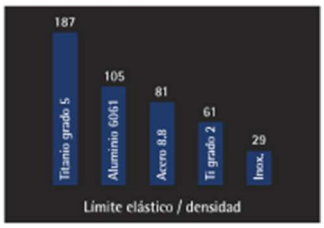
Aplicaciones del TITANIO

Ti grado 2	Aplicaciones donde se requiera resistencia a la corrosión y conformabilidad (tuberías, intercambiadores de calor).
Ti grado 5	Aleación con alta resistencia mecánica y a la temperatura (tornillería, piezas forjadas).
Ti grado 19	Aleación con alta resistencia a la corrosión y a la temperatura (aplicaciones marinas).
Ti 6246	Aleación de muy alta resistencia mecánica obtenida por temple (piezas de baja sección en aplicaciones aeronáuticas).

El TITANIO comparado con otros metales

LOWDE TITANIUM

PROPIEDADES	Ti g. 2	Acero inox.	Ti g. 5	Al 6061	Acero 8.8
Límite elástico (MPa)	275	230	827	283	640
Densidad	4,51	7,9	4,43	2,7	7,9
L.e./Densidad	61	29	187	105	81
Módulo de elasticidad E (GPa)	105	215	115	72	215
Temperatura de fusión (° C)	1660	1538	1650	660	1538
Resistencia a la corrosión	++++	+++	++++	+++	+
Reactividad con oxígeno	++++	+	++++	+++	+
Precio	+++	++	++++	++	+



VII. Presupuesto de Protocast-3D por una impresión 3d en resina

Avda Vicente Sos Baynat - local 13
Castellón de la Plana 12006
ESPAÑA (SPAIN)

PROTOCAS3D

www.protocas3d.com

proyectos@protocas3d.com
Tel + 34 678 561 303

Únicamente se emitirá factura impresa si así se solicita.
Printed invoice will only be sent if it is requested by the client.

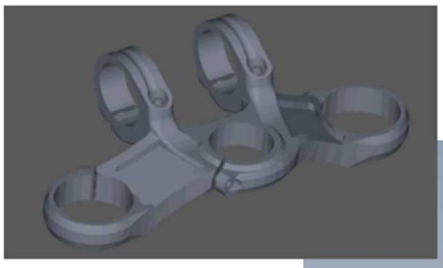
Presupuesto / Budget: FO9427
Fecha / Date: 07/10/2013

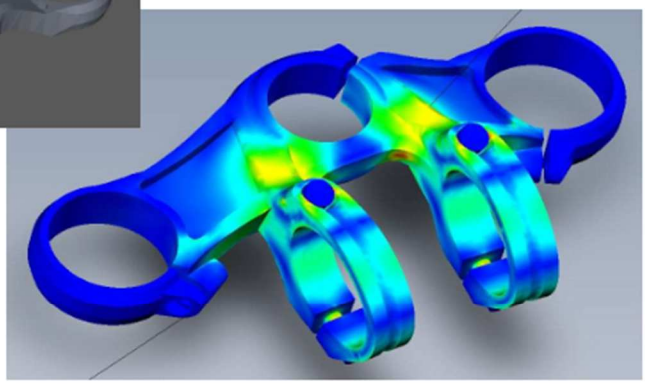
Enviado : rodrigodh@hotmail.com

PROTOCAS3D S.L.
Dpto.Proyectos - DAVID GÜIMIL VÁZQUEZ
AVDA. VICENTE SOS BAYNAT - LOCAL 13
CASTELLÓN DE LA PLANA (SPAIN) 12006
Tel. : + 34 678 561 303 www.protocas3d.com
N.I.F. B12877502

CLIENTE:
Rodrigo carranza
diseñador
CALLE
(ESPAÑA)
Tel Móvil
C.I.F. - NºCliente 10595

CONCEPTO		UNIDADES	PRECIO UNIDAD	TOTAL
PROTOTIPO nuevomodelo-rebaje3 dimesion pieza 90.9x181x55 mm	composite color rigido nivel de detallie medio-alto	1	145 €	145 €





portes - plazo de entrega 2 dias 10 €

PRESUPUESTO REALIZADO ACORDE A LOS DATOS FACILITADOS POR EL CLIENTE.

FORMA DE PAGO - ABONO A LA ACEPTACIÓN DE PRESUPUESTO

1	Base Imponible	
	+ IVA 21%	

VIII. Presupuesto de Star Prototype por 1 prototipo rápido y 100 unidades de piezas mecanizadas

Star Prototype China Limited
Dirección: 10a Seapower Industrial Center, 177 Hoi Bun Road, Kwun Tong, Hong Kong SAR
Website: http://www.star-prototype-china.com
Contacto: **Email:** sales@star-prototype-china.com | **Tel:** +86 760 22 22 25 56 | **Fax:** +86 760 22 22 25 58

STARPROTOTYPE
The "Best of the West" in China

Presupuesto de Prototipo

De: Star Prototype China Limited
Contacto: Pedro Monteiro
Email: pedro.monteiro@star-prototype-china.com

Para: ZC Designs
A/C: Rodrigo Carranza Avila
Email: Admin@ZCDesigns.com

Presupuesto nº: 1311178
Moneda: EUR
Fecha: 23-09-2013

Aceptar el presupuesto o formalizar el pedido implica aceptar nuestros términos y condiciones: www.star-prototype.com/terms-conditions/

Pos.	Nombre de la Pieza/Plano nº:	Material de las Piezas	Proceso	Acabado/Color	Plazo de Fabricación	Cantidad de Piezas	Precio Unitário	Precio Total
1	NuevoModelo-rebaje	SOMOS14120	SLA	de máquina	5 días	1		
							Coste de Envío	incluido
							Valor Total	**250.00**
2	Cortar-Extruir39	AL6061	CNC	de máquina	17 días	100	100.00	10,000.00
3	Cortar-Barrer-TapaSuperior	AL6061	CNC	de máquina	17 días	200	12.00	2,400.00
							Coste de Envío	no incluido
							Valor Total	**12,650.00**

Notas
Condiciones de Pago: Por adiantado
Plazo de Entrega: 4 días (avión)
Validez del Presupuesto: 30 días

Comentarios
•
•
•

Preparado por: Pedro Monteiro
Fecha: 23-09-2013
Verificado por : Gordon Styles
Fecha: 23-09-2013

Por favor firme con la fecha, abajo, si desea que Star-Prototype realice su pedido

Confirmo que soy un signatario autorizado de la empresa cliente

IX. Proyecto "Modificación de propiedades mecánicas mediante tratamientos térmicos en aleaciones ligeras (Al y Mg)".

2011

Proyecto

Modificación de las propiedades mecánicas mediante tratamientos térmicos en aleaciones ligeras (Al y Mg)

En ingeniería, en general, existe una gran confusión en cuanto al comportamiento de las aleaciones de aluminio y magnesio bajo condiciones de esfuerzos y deformaciones importantes donde se necesita que las propiedades mecánicas sean todavía mejores y esto tiende a retrasar su aprobación en general para aplicaciones específicas. Las características mecánicas de aleaciones ligeras, junto con su capacidad de ser mecanizadas y de darles otras formas de acabados y conformados se están investigando ampliamente, pero su capacidad para poder tratarlas térmicamente a temperaturas criogénicas y convencionales no se ha dilucidado tan claramente.

UNIÓN EUROPEA
Fondo Europeo de Desarrollo Regional
Una manera de hacer Europa

GENERALITAT VALENCIANA IMPIVA

UNIDAD DE MATERIALES Y TRATAMIENTOS SUPERFICIALES
AIMME
09/02/2011

Modificación de las propiedades mecánicas mediante tratamientos térmicos en aleaciones ligeras (Al y Mg)

1. Marco del proyecto

Probablemente una de las características más notables de nuestra generación ha sido la capacidad para producir aleaciones que satisfacen las necesidades actuales de la industria proporcionando las características mecánicas necesarias (resistencia a la erosión, corrosión, desgaste, impacto y fatiga). Esta adaptabilidad está mejor ejemplificada en el caso de las aleaciones ligeras, donde bases de aluminio, titanio o magnesio se combinan con otros elementos, dando lugar a mayor resistencia mecánica, durabilidad y buena resistencia a la corrosión, en un amplio rango de aleaciones sin ningún sacrificio apreciable con respecto a su ligereza.

Las características mecánicas de las aleaciones ligeras se están investigando ampliamente. Una de las formas de mejorar sus propiedades es a través de tratamientos térmicos. La presente actuación está encaminada a establecer la influencia de tratamientos térmicos convencionales (a temperaturas por encima de la ambiente) y de tratamientos criogénicos (-196 °C) en la mejora de las propiedades mecánicas y en el desgaste de las aleaciones de Al y Mg obtenidas.

Este proyecto ha sido realizado durante los años 2009 y 2010. Los objetivos planteados en la presente actuación para 2010 han sido:

- Conocimiento de los fundamentos de los tratamientos térmicos convencionales en aleaciones ligeras (aluminio y magnesio).
- Definición de las variables claves del proceso de tratamientos térmicos para aleaciones ligeras y obtención de la mejora en las propiedades mecánicas óptimas.
- Optimización de tratamientos térmicos convencionales a través de sus variables críticas.

2. Actividades del proyecto

Para el desarrollo del proyecto y el cumplimiento de los objetivos que se plantearon, se realizaron diversas actividades que se explican a continuación.

En una primera fase se procedió a la recopilación de información sobre la experiencia existente en la actualidad sobre la aplicación de los diferentes tratamientos térmicos en las aleaciones ligeras (aluminio y magnesio).

El siguiente paso fue determinar en qué tipo de aleaciones ligeras (aluminio y magnesio) con aplicaciones estructurales se centrarían las pruebas a realizar en el presente proyecto. El conocimiento sobre las variables del proceso y la influencia que sobre la calidad de las aleaciones y sobre las propiedades nos sirvió para acotar las aleaciones sobre las que se realizarán las experiencias de mejora de las propiedades mecánicas.

Posteriormente, se determinaron las variables a tener en cuenta para la optimización de las propiedades mecánicas y microestructurales de las aleaciones ligeras definidas en la actividad anterior. Tras el análisis de los resultados fue posible el reajuste de las variables para optimizar los resultados.

A continuación, se analizaron los resultados de la actividad anterior, en base a la determinación de diversas propiedades mecánicas claves para garantizar el adecuado comportamiento en servicio de las aleaciones ligeras. Las técnicas de caracterización utilizadas fueron:

- Ensayos de comportamiento mecánico estático de los materiales: dureza
- Análisis de las microestructuras y transformaciones metalúrgicas: Estudio mediante microscopía óptica y SEM.
- Ensayos de comportamiento a desgaste: ensayo de desgaste lineal pin-on-disc

Finalmente, el análisis de los resultados obtenidos en las diferentes experiencias realizadas, permitió acumular un importante conocimiento sobre la viabilidad y métodos de aplicación de los tratamientos térmicos para la fabricación de elementos estructurales de aleaciones ligeras (aluminio y magnesio).

3. Resultados

Dentro del estudio y búsqueda bibliográfica de las aleaciones ligeras (aluminio y magnesio) se definieron las aleaciones de aluminio de la seria 6XXX, específicamente AW6060 y AW6082, debido a que ofrecen la mejor relación resistencia/ductilidad (figura 1) y además tiene un margen de mejora u optimización con la aplicación de un tratamiento térmico.

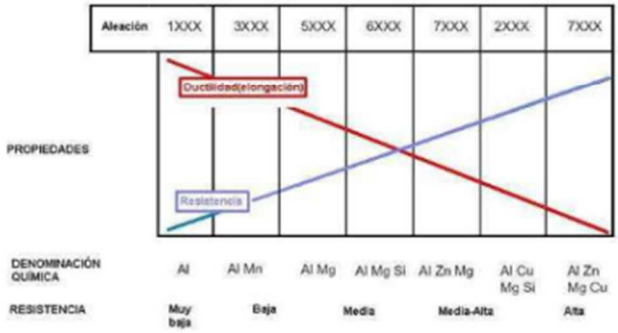


Figura 1. Características de las aleaciones de aluminio comerciales

Del abanico de posibilidades en tratamientos térmicos convencionales se optó por el tratamiento T6, con el cual, según bibliografía, se obtienen la mejor relación de propiedades mecánicas y tribológicas.

En la primera anualidad del proyecto se utilizó la aleación de magnesio ZK30 y se realizaron varios tratamientos térmicos teniendo en cuenta parámetros óptimos de las referencias bibliográficas consultadas:

T1: Forja + temple en agua

T4: Forja + solubilización (550 °C/2h) + temple en agua

T6: Forja + solubilización (550 °C/2h) + temple en agua + maduración (175 °C/8h)

También se utilizó la aleación de aluminio AW6082 y se le realizó el tratamiento T6, según bibliografía consultada, de la siguiente manera:

T6: Forja + solubilización (540 °C/3h) + temple en agua + maduración (170 °C/3h)

Posteriormente, y para realizar un estudio más completo, en la segunda anualidad del proyecto se le aplicó el tratamiento térmico T6 a la aleación de aluminio AW6060 con diferentes condiciones de proceso (temperaturas y tiempos) con el fin de encontrar los parámetros óptimos y no depender de bibliografía. Las variables utilizadas fueron las siguientes:

- Puesta en solución

	Temperatura [°C]	Tiempo [h]
Puesta en solución	550	2
		4
	570	2
		4

- Temple

	Medio de temple
Temple	Agua a temperatura ambiente
	Aire calmado

- Envejecimiento artificial

	Temperatura [°C]	Tiempo [h]	Medio de enfriamiento
Envejecimiento artificial	160	2	Al aire
		4	
		8	
	180	2	Al aire
		4	
		8	

Las micrografías de la figura 2 corresponden a la optimización de los parámetros del tratamiento térmico T6 para la aleación de aluminio AW6060. Se analizaron las muestras que

obtuvieron los valores máximos y mínimos de dureza para cada condición de tratamiento térmico.

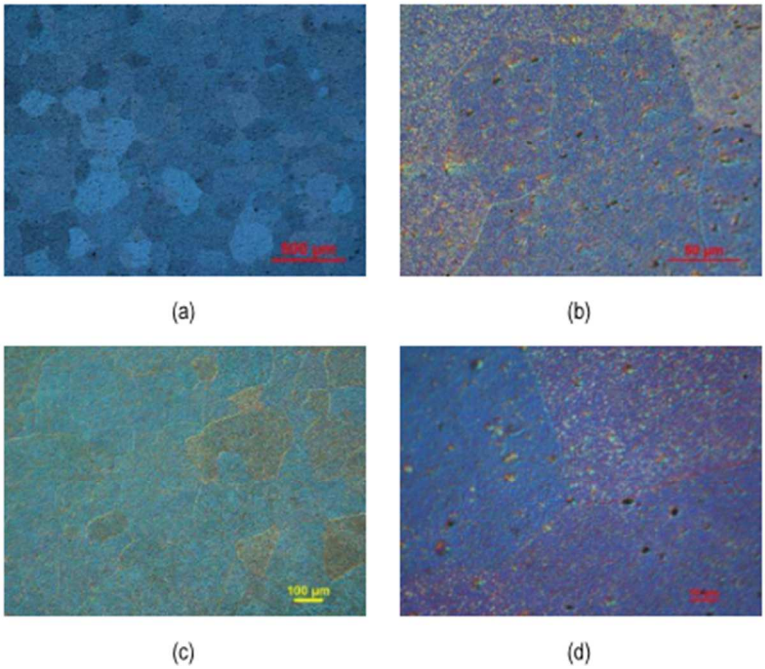


Figura 2. Puesta en solución a 570 °C/2h/agua y envejecimiento a: a) 160 °C/4h/aire 50X (LP), b) 160 °C/4h/aire 500X (LP), c) 180 °C/6h/aire 100X (LP), d) 180 °C/6h/aire 1000X (LP) (todas las micrografías atacadas)

En las gráfica anterior se observa los precipitados finos (Mg_2Si y Si) con una distribución homogénea, probablemente debido a que a temperaturas de envejecimiento bajas, la velocidad de nucleación de los precipitados es alta y la tasa de crecimiento de precipitados es menor. Por lo tanto, se obtiene una distribución muy densa y fina de los precipitados. Esto da lugar a picos de dureza más altos debido al impedimento del movimiento de las dislocaciones por los precipitados. En la microestructura de la aleación ternaria AlMgSi se observa, en general, granos equiaxiales ricos en aluminio de diferentes tamaños rodeados por una capa de Mg_2Si a lo largo del borde de grano con precipitados redondos intergranulares. El grado de endurecimiento obtenido vendrá marcado por la temperatura de envejecimiento y la temperatura óptima del tratamiento corresponderá a una combinación ideal de nucleación de partículas y velocidades de crecimiento de éstas.

Se generaron tablas (tabla 1) de dureza con respecto al tiempo de envejecimiento o maduración para obtener los tiempos y temperaturas óptimos de tratamiento. La tabla 1 es una muestra ya que se crearon muchas tablas.

Tabla 1. T6: puesta en solución a 550 °C durante 2h/temple en agua/maduración a 180 °C

Tiempo de maduración [h]	0	2	4	6
Dureza HBW	35	42	54	73

Para determinar la condición óptima de tiempos y temperaturas del tratamiento térmico T6 en la aleación AW6060, se buscó para cada condición los valores de dureza máximos. El grado de endurecimiento obtenido vendrá marcado por la temperatura de envejecimiento y la temperatura óptima del tratamiento corresponderá a una combinación ideal de nucleación de partículas y velocidades de crecimiento de éstas. A la temperatura de maduración de 160 °C la mayor dureza es de 70 HBW que se obtiene a las 4 horas en la condición de puesta en solución: 570 °C durante 2h/temple en agua. A una temperatura de maduración de 180 °C el valor máximo de 73 HBW lo obtenemos a las 6 horas en la condición de puesta en solución: 550 °C durante 2h/temple en agua.

Si miramos los tiempos y temperaturas mínimas de tratamiento se ve claramente que **las condiciones óptimas del tratamiento térmico T6 son: una puesta en solución a 550 °C durante 2 horas, un temple en agua y un envejecimiento de 6 horas a 180 °C.** Lo que nos indica que para obtener una mayor dureza podemos utilizar una temperatura de solución más baja pero alargando el tiempo de envejecimiento y por ende el coste económico en consumo eléctrico sería menor ya que se utiliza un mayor tiempo a una menor temperatura (temperatura de maduración). Además se destaca que con una puesta en solución de 2 h, independiente de la temperatura, es suficiente para conseguir una concentración máxima de Mg_2Si en la red del aluminio. Observando los resultados expuestos en las tablas anteriores podemos decir que el tiempo óptimo de envejecimiento se encuentra entre la 4 y las 6 horas.

En la tabla 2 aparecen los valores de los parámetros obtenidos en los ensayos de tracción para las probetas seleccionadas en el estudio de optimización realizado con las gráficas dureza-tiempo, donde se seleccionó el mayor y menor valor de dureza para cada condición de tratamiento térmico.

Tabla 2. Resultados de los ensayos de tracción a las diferentes muestras

Nº Muestra	Resistencia a tracción [MPa]	Límite elástico 0.2% [MPa]	Alargamiento [%]
2	179	105	19.0
6	232	200	13.5
7	171	82	24.0
12	224	182	14.5
15	202	136	17.5
17	227	189	16.0
21	193	126	20.0
24	230	192	15.0

26	221	178	16.5
30	241	209	15.0
32	190	107	21.0
35	225	176	14.5
39	208	142	16.0
41	230	188	13.0
45	195	130	17.5
47	216	165	16.0

Los resultados obtenidos en los ensayos de tracción nos muestran que las piezas que son sometidas a tratamientos térmicos T6 aumentan sus valores de límite elástico, resistencia a tracción y disminuye su alargamiento respecto al estado inicial. El valor de resistencia a tracción y límite elástico máximos es de 241 MPa y 209 MPa, respectivamente, y se obtuvieron para la condición de puesta en solución a 570 °C durante 2 h con temple en agua y un envejecimiento a 180 °C durante 6 horas que corresponde a un valor de dureza de 70 HBW. El valor de alargamiento máximo fue de 24% y se obtuvo en la condición de puesta en solución a 550 °C durante 2h con temple en aire y un envejecimiento a 180 °C durante 6 h, correspondiendo con una dureza de 44 HBW. Las propiedades mecánicas de las aleaciones de aluminio del tipo AlSiMg dependen significativamente del tamaño y forma de las partículas de Si, de la cantidad de Mg presente y del tratamiento térmico de envejecimiento. El Mg en particular, hace que este tipo de aleaciones sean térmicamente tratables y un incremento en su concentración dará como resultado un aumento de resistencia mecánica, una reducción de la ductilidad y la tenacidad a la fractura y esto se debe a que su presencia está relacionada a la formación de precipitados de endurecimiento del tipo β'-Mg_2Si. Adicionalmente, el contenido de Mg afecta los tipos y fracción de volumen total de las fases que presentan Fe, lo cual se sabe tiene un efecto negativo sobre las propiedades tensiles.

Se realizaron ensayos de desgaste de las muestras escogidas en el estudio de optimización (realizado con las gráficas dureza-tiempo). Los resultados de coeficiente de fricción y tasa de desgaste se resumen en la tabla 3.

Tabla 3. Coeficiente de fricción y tasa de desgaste de las muestras tratadas térmicamente

Nº Muestra	Coeficiente de fricción, μ	Tasa de desgaste, W [g/N×ciclo]
2	0.45	4.66×10^{-7}
6	0.45	3.30×10^{-7}
7	0.46	4.25×10^{-7}
12	0.44	3.88×10^{-7}
15	0.47	4.52×10^{-7}
17	0.43	3.60×10^{-7}

21	0.46	4.02×10^{-7}
24	0.43	3.83×10^{-7}
26	0.46	3.40×10^{-7}
30	0.57	3.84×10^{-7}
32	0.45	3.60×10^{-7}
35	0.46	3.80×10^{-7}
39	0.47	4.04×10^{-7}
41	0.43	5.32×10^{-7}
45	0.43	4.45×10^{-7}
47	0.53	3.53×10^{-7}

En lo que respecta al efecto del tratamiento térmico, la tasa de desgaste se mantiene dentro de un rango de valores muy estable. El valor de máxima resistencia al desgaste (3.30×10^{-7} g/N×ciclo) concuerda con el máximo valor de dureza (73 HBW). El coeficiente de fricción para todos los casos es muy similar, no hay diferencias significativas entre ellos. El polvo proveniente del desgaste del tribosistema que no sufrió transición alguna está exclusivamente compuesto por partículas de pequeño tamaño (<5μm). Tanto el análisis EDS como los rayos X demostraron que estas partículas están formadas en su mayoría por aluminio y óxidos de aluminio junto con pequeñas cantidades de Si, Mg y partículas provenientes de la muestra ensayada. Tanto la morfología como la composición de estas partículas son características de un mecanismo de desgaste puramente oxidativo.

En los ensayos realizados, se observa una transición en el mecanismo de desgaste bajo presión constante. Por lo tanto, el pin, el disco o ambos deben haber experimentado cambios durante el ensayo que favorecen la ruptura de la capa de óxido, provocando la transición al desgaste adhesivo. Los elementos de aleación que aumentan el módulo elástico, el limite elástico o la dureza (silicio, cobre o magnesio) y que fortalecen la capa de óxido (cobre), previenen, o cuando menos retardan, la transición al desgaste adhesivo. Los aumentos del límite elástico obtenidos tras la aplicación de tratamientos térmicos adecuados pueden también inhibir dicha transición. Los resultados obtenidos en el presente trabajo corroboran totalmente estas afirmaciones.

La excelente resistencia al desgaste mostrada por la aleación es debida a la reducida distancia entre partículas de silicio y a la perfecta distribución de las mismas encontrada en este material. Mejoras en el comportamiento frente al desgaste propiciadas por el afino microestructural de aleaciones de similar composición han sido reportadas anteriormente por varios autores. De todos modos, hay que destacar la existencia de trabajos en los que el uso de un lubricante propicia un mejor comportamiento al desgaste de microestructuras más groseras. Esto se explica porque el uso de un lubricante reduce el agrietamiento y el arranque de las partículas de silicio. Se logra así una alta proporción de partículas de silicio en la superficie del cilindro que dada su extrema dureza, reducen los niveles de desgaste. Este hecho demuestra, una vez más, la necesidad de conocer las condiciones concretas de desgaste a las que se someterá el material para realizar una elección correcta del mismo.

4. Aplicaciones

La lista de materiales a los que se pueden aplicar los tratamientos térmicos (convencionales y criogénicos) es muy extensa y sigue ampliándose a medida que se ensayan nuevas aplicaciones. Entre los que responden positivamente al tratamiento se encuentran: aceros (de cementación, microaleados, de trabajo en frío y en caliente, rápidos, inoxidables, etc.), fundición, aleaciones de cobre, aleaciones ligeras (aluminio, magnesio y titanio), metal duro, materiales cerámicos, ciertos polímeros (nylon, teflón, etc.).

Con respecto a los tratamientos criogénicos, éstos pueden tener efectos diversos en los materiales y entre los más habituales están los siguientes: mejora de la resistencia al desgaste, aumento de la vida a fatiga, eliminación de tensiones, estabilidad dimensional, mejora de la conductividad, mayor resistencia a la corrosión. La respuesta al proceso dependerá del material y, lógicamente, en función de la aplicación considerada tendrán más o menos importancia unos u otros de los efectos arriba mencionados. Sus aplicaciones son innumerables y que están en continuo desarrollo. Las hay en prácticamente todos los sectores: metalmecánico, estampación, fundición e inyección, siderurgia, automoción, aeronáutico y aeroespacial, obras públicas, minería, forestal, agricultura, industria química, papelero, eléctrico, material quirúrgico y ortopédico, material deportivo, competición de motor, etc. Entre los materiales que se pueden tratar criogénicamente se pueden encontrar herramientas y componentes de todo tipo: cuchillas, brocas, fresas, cortadores, brochas, sierras, insertos, punzones, matrices, electrodos, moldes, rodetes, muelles, engranajes, rodamientos, motores, transmisiones, cables, conectores, etc. Obviamente en cada caso el efecto buscado es distinto (resistencia al desgaste en las cuchillas, vida a fatiga en las transmisiones, conductividad en los cables, etc.).