



Escuela
Universitaria
Ingeniería
Técnica
Industrial
ZARAGOZA



PROYECTO FINAL DE CARRERA

**DISEÑO DE UN ELEVADOR
NEUMÁTICO PARA SU USO EN
MOTOCICLETAS DE
COMPETICIÓN**

**Autor: Vicente Just López
Directora: Paula Canalís Martínez**

**Diseño de un elevador neumático
para su uso en
motocicletas de competición**



ÍNDICE

- 1.- Introducción.
- 2.- Objeto y alcance del proyecto.
- 3.- Proceso de diseño.
- 4.- Descripción de la máquina.
- 5.- Especificaciones y descripción de nuestra máquina.
 - 5.1.- Especificaciones de nuestra máquina.
 - 5.2.- Descripción de nuestra máquina.
- 6.- Cálculos analíticos.
 - 6.1.- Barra A.
 - 6.1.1.- Tornillo del eje M24.
 - 6.1.2.- Tornillos de sujeción del soporte de la barra A con la corredera.
 - 6.2.- Barra B.
 - 6.3.- Barras D y E.
 - 6.3.1.- Tornillos de sujeción de las ruedas.
 - 6.4.- Barra C.
 - 6.4.1.- Tornillos de sujeción del cilindro.
- 7.- Análisis con la herramienta ProMechanica.
 - 7.1.- Análisis de la barra A.
 - 7.2.- Análisis del tornillo de sujeción de la barra A.
 - 7.3.- Análisis del soporte de la barra A.
 - 7.4.- Análisis de la corredera o pieza en forma de H.
 - 7.5.- Análisis de la barra C.
 - 7.6.- Análisis de las barras D y E.
 - 7.7.- Análisis de la estructura completa.
 - 7.8.- Análisis de la estructura sin los refuerzos laterales.
 - 7.9.- Análisis de la estructura sin los refuerzos inferiores.
 - 7.10.- Análisis de la estructura sin refuerzos.

Diseño de un elevador neumático
para su uso en
motocicletas de competición



-
- 7.11.- Análisis de la estructura sin la pletina superior.
 - 7.12.- Análisis de masa de la estructura.
 - 8.- Conclusiones.
 - 9.- Presupuestos.
 - 9.1.- Parte neumática.
 - 9.2.- Parte estructural.
 - 10.- Anexos.
 - 10.1.- Anexo 1.
 - 11.- Bibliografía.

Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



1.- Introducción.

En este proyecto queremos diseñar un elevador para motocicletas de competición que participen en carreras de resistencia, y en concreto uno para el equipo Monlau Competición- Scalextric Team que participará en las 24 horas de resistencia de Montmeló 2011.

La herramienta informática que emplearemos será un programa de diseño llamado ProEngineer pero debemos insistir en que esto simplemente es una herramienta y nos tendremos que guiar también por los cálculos analíticos.

2.-Objeto y alcance del proyecto.

Este proyecto está basado en el diseño de un conjunto mecánico a partir de las condiciones de un equipo de competición con unas necesidades particulares.

Este proyecto ha sido realizado por el alumno Vicente Just López de la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Zaragoza.

El objeto del proyecto es el cálculo de un elevador con un cilindro neumático, con el fin de asimilar los siguientes objetivos:

- 1) Integración de la herramienta ProEngineer como herramienta CAD/CAE
- 2) Diseño de un conjunto mecánico a partir de las directrices de un equipo de carreras.

Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



La integración de ProEngineer como herramienta de diseño nos permite tener una idea más visual de cómo funciona el elevador, así como las restricciones de movimiento y la manera de transmisión de fuerzas de unos elementos a otros de la citada máquina como ahora se explica.

El funcionamiento, las restricciones de movimiento y la transmisión de fuerzas entre los elementos de la máquina se pueden visualizar fácilmente a la hora de realizar los ensamblajes entre las diferentes piezas. Los ensamblajes definen de forma clara y precisa como están unidas y la manera de interactuar una piezas con otras. Con el ensamblaje completo podemos observar como funciona toda la máquina.

El proceso llevado a cabo ha sido:

- 1.-** Primeramente se ha diseñado el elevador en ProEngineer a partir de unas medidas predeterminadas por el equipo.
- 2.-** Hemos calculado las cargas máximas teóricas que van a soportar las piezas más importantes a partir de las condiciones iniciales del diseño.
- 3.-** Despues hemos sometido estas piezas a esas cargas con la ayuda de la herramienta ProMechanica y hemos procedido a comparar los resultados frente a los cálculos analíticos, quedando finalmente el elevador terminado.



3.-Proceso de diseño

Conceptos

-Diseño: Transformación de conceptos e ideas en maquinaria útil.

-Máquina: Combinación de mecanismos y otros componentes que transforma, transmite o emplea energía, carga o movimiento para un propósito específico.

Hay muchos procedimientos a seguir para llevar a cabo el diseño de una máquina, tantos procesos como diseñadores. En este apartado se va a explicar el proceso que se ha estudiado en la asignatura diseño de máquinas y sus fases son:

Diseño:

- Consideraciones previas.
- Proceso iterativo.
- Reconocimiento de la necesidad.
- Definición del problema.
- Diseño preliminar y diseño detallado.
- Presentación y documentación.

A continuación explicamos brevemente cada una de las fases del proceso de diseño y el orden de acción de éstas:

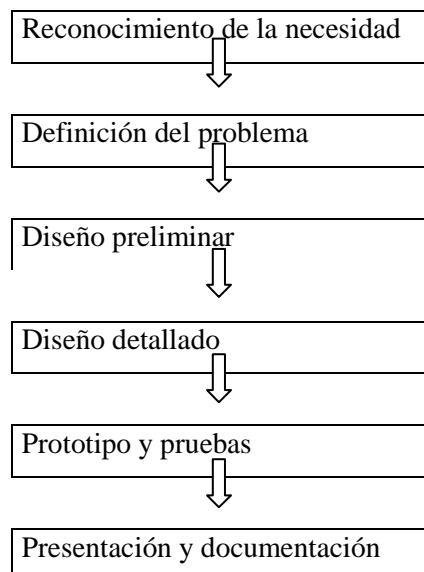
En la fase de diseño se comienza con las consideraciones previas que consiste en conocer los sistemas mecánicos y elementos ya existentes y también el conocimiento y estudio de máquinas similares a la que se quiere diseñar existentes ya en el mercado.

Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



Nos puede servir de ayuda a la hora de diseñar nuestra propia máquina o simplemente, descubrir la existencia de ésta en el mercado.

Seguidamente, hay que conocer que el proceso de diseño es un proceso iterativo en el que hay varios pasos que hay que repetir en todo diseño.



En estas fases, se puede volver atrás de unas a otras según las necesidades del proceso de diseño.

Este proyecto se ha centrado en las fases de “diseño preliminar” y “diseño detallado”. A continuación se describen éstas más profundamente.

Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



Diseño preliminar:

Análisis de variantes: Cuando ya se tiene clara la necesidad que se tiene que satisfacer y está definido el problema se analizan las posibles soluciones a éste. Todas las posibles soluciones o variantes deben resolver la necesidad de la que hablamos y que sea posible llevarlas a cabo.

Esquema: Seguidamente se realiza un croquis de la variante que encaje más en el diseño de máquina que se desea realizar. Debe ser un dibujo intuitivo que tomará forma tras los cálculos.

Diseño Detallado

Hipótesis de cálculo: Este paso consiste en establecer una serie de pautas que se tienen que seguir a la hora de calcular. Muchas veces éstas son establecidas por el cliente (una determinada velocidad del elemento principal de la máquina, una potencia que se debe transmitir, etc). También se incluyen en este apartado las teorías de cálculo utilizadas, coeficientes de seguridad, etc.

Elementos comerciales: Cuando se han establecido las hipótesis de cálculo y se han llevado a cabo éstos, se procura que, en la medida de lo posible, los elementos dimensionados estén normalizados para abaratar costes y facilitar futuras reparaciones. Así no se pierde tiempo y dinero en fabricar o mecanizar elementos ya existentes en el mercado.

Ensamblaje: Una vez dimensionados todos los elementos, se deben juntar todos para formar la máquina. Para ello hay que mecanizar algunos de estos elementos, fabricar uniones, etc.

Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



Rediseño: En todos los pasos anteriores pueden surgir problemas que nos lleven a volver a diseñar algún elemento, sobre todo, en el proceso de ensamblaje ya que, todos los elementos diseñados por separado, deben formar la máquina final, y no siempre casan bien unos con otros.

Definición de CAD y CAE:

CAD (Computer Aided Design): En castellano DAO (diseño asistido por ordenador): es el uso de un amplio rango de herramientas computacionales que asisten a ingenieros, arquitectos y a otros profesionales del diseño en sus respectivas actividades.

CAE (Computer Aided Engineering): Ingeniería asistida por computadora o por ordenador, es el conjunto de programas informáticos que permiten analizar y simular los diseños de ingeniería realizados con el ordenador, o creados de otro modo e introducidos en el ordenador, para valorar sus características, propiedades, viabilidad y rentabilidad. Su finalidad es optimizar su desarrollo y consecuentes costos de fabricación y reducir al máximo las pruebas para la obtención del producto deseado.

Integración de herramientas CAD/CAE en el proceso de diseño:

Las herramientas CAD/CAE se pueden integrar en el proceso de diseño de las máquinas descrito anteriormente como vamos a explicar a continuación.

En los elementos comerciales se pueden introducir estas herramientas ya que muchos de los programas contienen bibliotecas con elementos standard normalizados como vigas, tornillos, etc. También se pueden obtener todo tipo de piezas, normalizadas o no, mediante el dibujo ya sea en 2D o en 3D.

Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



Volviendo atrás en el proceso de diseño, en la fase de hipótesis de cálculos y los cálculos propiamente dichos, una vez diseñadas las diferentes piezas en los programas CAD, se pueden calcular mediante el Método de Elementos Finitos (MEF), lo que ya formaría parte del CAE.

Ya calculadas las piezas mediante el Método de Elementos Finitos, se puede integrar las herramientas CAD/CAE en el ensamblaje de las piezas. Unidas todas ellas, realizadas en 3D, se ensamblan haciendo de manera más visual los posibles errores (colisiones y otras causas del mal funcionamiento de la máquina). Esto se halla realizando simulaciones en dichos programas.

Cuando se ven los errores, sobre todo, en los ensamblajes, se vuelve atrás en las fases de diseño volviendo a realizar todo lo descrito en este apartado anteriormente, es decir, también forman estas herramientas parte del rediseño.



4.-Descripción de la máquina

La máquina que se va a diseñar es un elevador neumático para motocicletas de competición. Este tipo de elevadores son un conjunto mecánico muy particular puesto que su aplicación esta limitada sólo a su uso en las competiciones de resistencia (24 Horas de Montmeló, 24 Horas de LeMans, 8 Horas de Suzuka..).

Se trata de una máquina muy útil en estas carreras de resistencia donde el cambio de ruedas y el cambio de piloto en la motocicleta se tiene que realizar en el menor tiempo posible. Además es un conjunto con un tamaño y un peso bastante reducido que permite su movimiento con facilidad por los boxes.

Anteriormente en los repostajes de las carreras de resistencia se utilizaban 2 elevadores manuales que levantaban la motocicleta mediante unos soportes hechos en los ejes de las respectivas ruedas. Actualmente con este tipo de elevadores neumáticos se puede prescindir del elevador manual delantero que es el que mas problemas crea al molestar al mecánico en el cambio de la rueda anterior y pudiendo este ser accionado por error.

Mediante el elevador neumático resolvemos pues 2 problemas:

- Creamos un punto de apoyo de la motocicleta con el suelo mucho más estable cuando esta está levantada.
- Eliminamos un objeto que puede crear interferencia entre el mecánico de la rueda delantera y la motocicleta facilitando y agilizando la tarea de este.

Diseño de un elevador neumático
para su uso en
motocicletas de competición



Repostaje con elevador neumático

En la imagen anterior podemos ver como no existe ningún tipo de interferencia entre el mecánico de la rueda delantera y la motocicleta. Esto ayuda enormemente a la labor de este mecánico (que además es el encargado de accionar el elevador) puesto que al montar la rueda nueva es muy complicado encajar los discos de freno entre las pastillas y al no haber un elevador sujetando la rueda por debajo del sistema de suspensión el mecánico puede mover la dirección de la motocicleta para facilitar la entrada de los discos de freno.

Además podemos observar como el elevador neumático está situado muy próximo al centro de gravedad de la motocicleta levantando la mayor parte del peso de esta (un 70% del peso total).

Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



Con este elevador la motocicleta no se balancea facilitando también la labor del mecánico responsable del repostaje de gasolina y haciendo esta tarea mucho más segura.



Elevador neumático

Los elevadores de la imagen anterior están diseñados por el equipo Folch. Lo que se pretende es diseñar un elevador parecido a estos para el equipo Monlau Competición.

Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



El elevador que vamos a diseñar consta de unas partes específicas que permiten su correcto funcionamiento:

- Bastidor o chasis: Es la parte estructural que soporta la mayoría de las cargas aplicadas sobre el elevador. Está formado por tubos industriales que se encargan de dar la estabilidad necesaria a la máquina para impedir el vuelco. Los perfiles que forman el bastidor son calculados estáticamente y dependen de la magnitud y la forma en que le son transmitidas las cargas. También se considera como bastidor las guías por las que se desplaza la corredera que es movida por el cilindro neumático y los refuerzos diseñados para dichas guías.
- Eje: Esta pieza es sobre la que se apoya la motocicleta para ser levantada. Tiene que ser introducido en un alojamiento hecho específicamente en la motocicleta para este cometido, normalmente un tubo hueco de aluminio situado entre el chasis y los radiadores. Es muy importante la altura a la que va a estar colocado este alojamiento de cara a diseñar el elevador.



Detalle alojamiento para el eje

Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



- Corredera: Esta pieza tiene la función de desplazarse verticalmente por las guías, empujada por el cilindro neumático. En ella va fijada la pieza que sujeta al eje que se tiene que introducir en la motocicleta para levantarla así como las piezas que alojaran a lo rodamientos para ayudar a su movimiento.
- Cilindro neumático: Es el dispositivo que mueve la corredera y que tiene que proporcionar la fuerza necesaria para subir o bajar la carga. Este cilindro se acciona por una red de aire comprimido externa al elevador que encontramos en todos los boxes de los circuitos con unas características que proporcionan la presión y el caudal necesarios. El cilindro tiene que ser de doble efecto ya que trabaja en carga tanto al elevar la motocicleta como al bajarla.

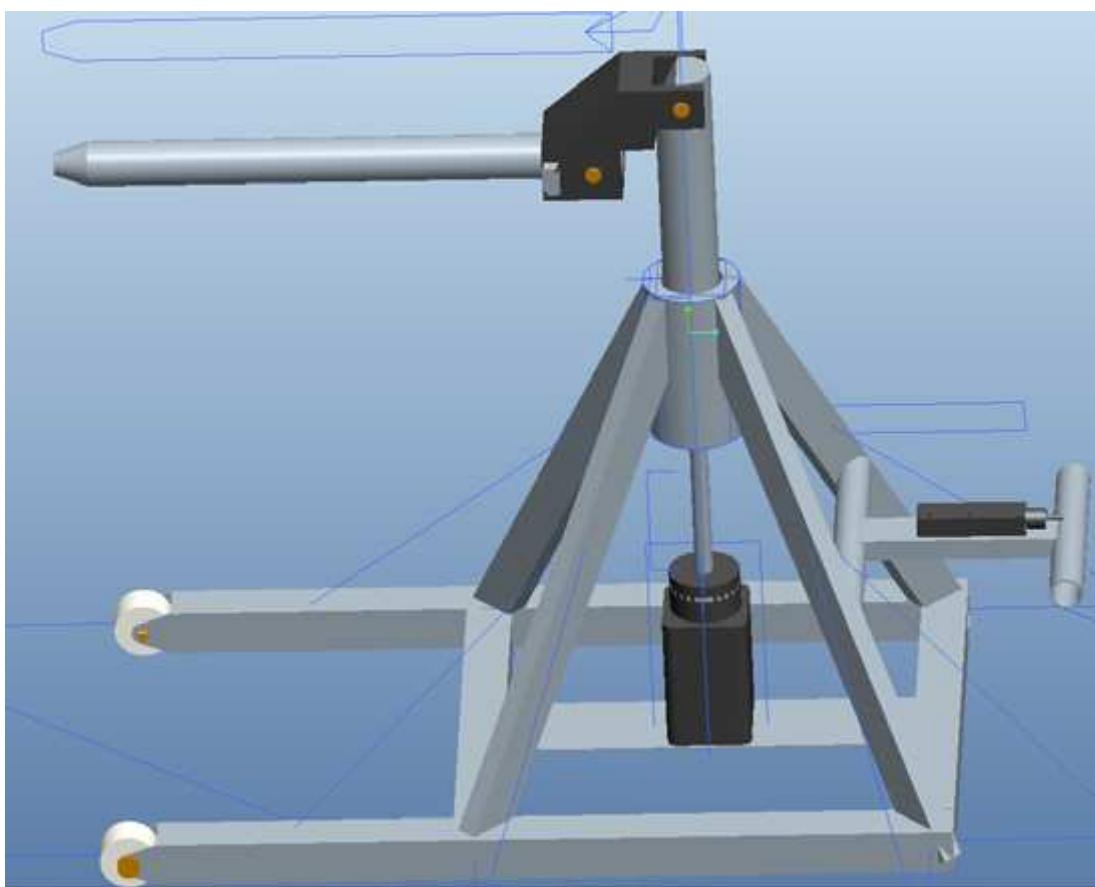
Estas son las partes básicas que componen un elevador con movimiento vertical como el que vamos a diseñar.

Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



Existen otras soluciones en el mercado, todas con diferentes características pero con una misma función. A continuación se van a presentar las particularidades de dos de estas opciones:

Existen algunos en el que la guía por la que se desplaza la corredera es un tubo circular. Este elevador lo utilizan los equipos oficiales de Michelin en las carreras del mundial de resistencia. Es muy caro ya que cuenta con numerosas piezas mecanizadas en aluminio y una instalación neumática más compleja.



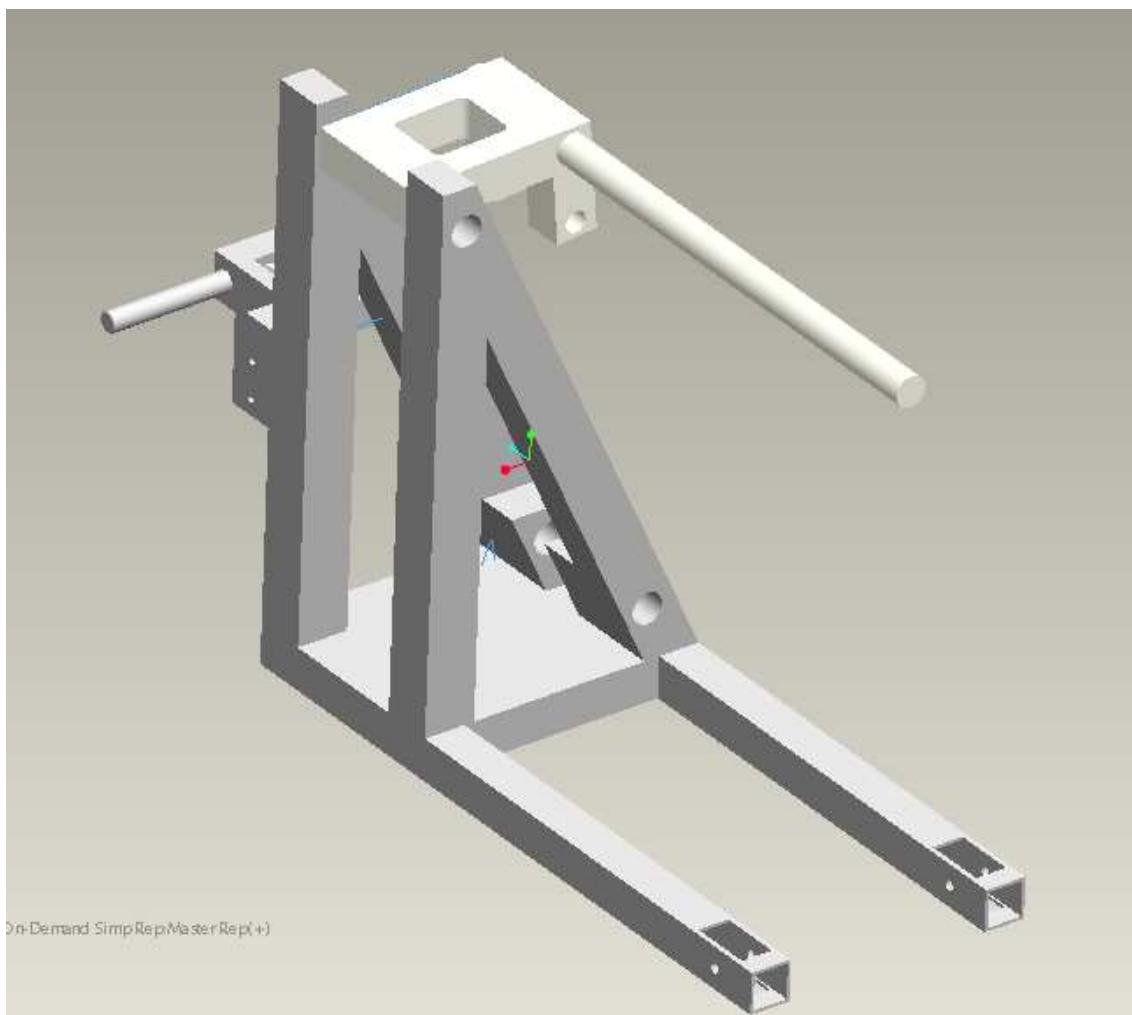
Elevador Michelin

Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



En otros casos el movimiento del eje no es vertical sino que describe un movimiento circular debido al uso de unas bieletas. Este elevador tiene 2 inconvenientes:

- 1- La motocicleta al ser elevada se mueve unos 2 cm hacia atrás, lo que hace que sea más inestable en el momento de elevar la carga.
- 2- El hecho de llevar rótulas, que permiten el movimiento del pistón del cilindro respecto a la bieleta, hace que su mantenimiento aumente al igual que su coste y su complejidad de construcción.



Elevador con bieletas



5. Especificaciones y descripción de nuestra máquina

5.1 Especificaciones de nuestra máquina

La máquina que vamos a diseñar para el equipo Monlau Competición va a ser de características similares a las anteriormente vistas en cuanto a su funcionamiento pero con ciertas particularidades marcadas por el propio equipo:

- **Tiene que ser barata de fabricar** (Máximo 600€). Esto quiere decir que tendremos que simplificar mucho la parte neumática para invertir más en la parte estructural.
- Tiene que ser **sencilla** para facilitar las labores de mantenimiento. Lo que significa que tendremos que tener en cuenta aquellas piezas que tienen que ser revisadas a menudo para facilitar el acceso a estas.
- Estar hecha de **elementos normalizados** para facilitar la tarea a la hora de cambiar una posible pieza rota. También en mayor medida tenemos que utilizar los perfiles que tiene este equipo en el taller para economizar todavía más.
- Tiene que ser **polivalente**. El equipo corre en la temporada 2010/2011 con una motocicleta HONDA CBR 600 RR con un tipo particular de dimensiones pero en años posteriores esta motocicleta puede ser otra y el elevador tiene que poderse adaptar.
- Tiene que ser **duradera**. Es una máquina que vale mucho dinero y el equipo no puede permitirse el cambiar de elevador cada poco tiempo.

Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



- Tiene que ser **segura**. El elevador va a funcionar siempre en momentos de mucha tensión ambiental ya que su funcionamiento está previsto en repostajes y cambios de neumáticos muy rápidos y son momentos en el que puede haber fallos en el procedimiento y esta máquina tiene que ser lo mas segura posible para impedir un posible vuelco de la motocicleta.
- Tiene que ser **ligera** y a la vez **eficaz** y **funcional**.

Teniendo en cuenta estas premisas hemos diseñado el elevador neumático.

5.2 Descripción de nuestra máquina

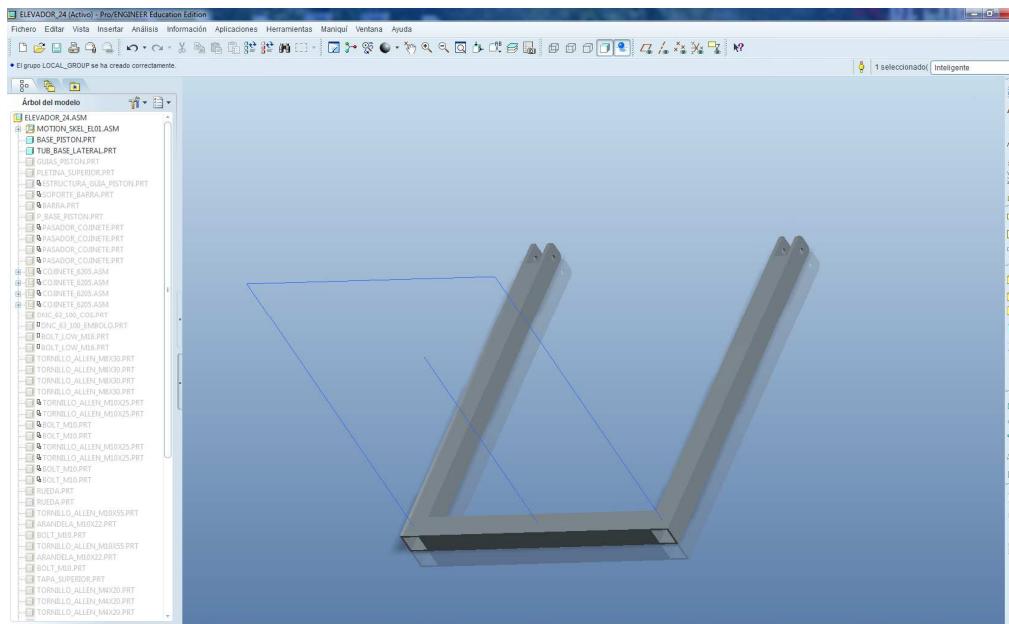
Empezaremos viendo la parte inferior del elevador.

Esta parte estructural la hemos diseñado lo mas larga y ancha posible dentro de unos límites marcados por el equipo (ya que el elevador también tiene que ser maniobrable).

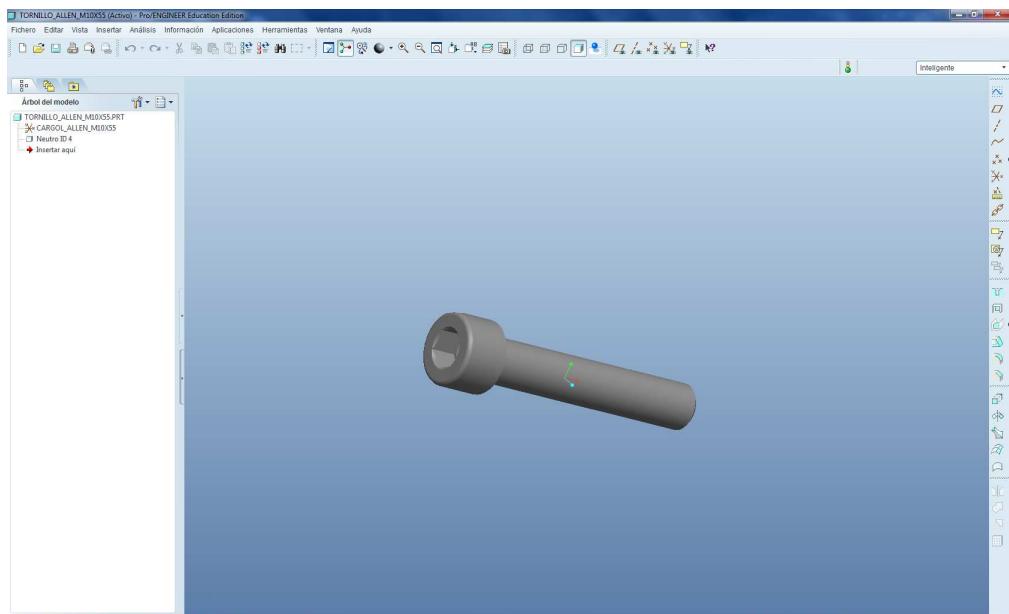
Hemos diseñado estos perfiles con unas medidas de 40x40mm puesto que es la medida standard que se monta en todos los elevadores del mercado. Más tarde miraremos las tensiones a las que están sometidos estos perfiles para ver si soportan las tensiones a las que están solicitados y ver si están optimizados.

También hemos hecho unos cortes en el perfil de aluminio para insertar las ruedas de nylon que posibilitaran su movimiento. Un tornillo de M10x55 mm actuará como pasador de las ruedas. Estas ruedas tendrán un diámetro de 60 mm.

Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición

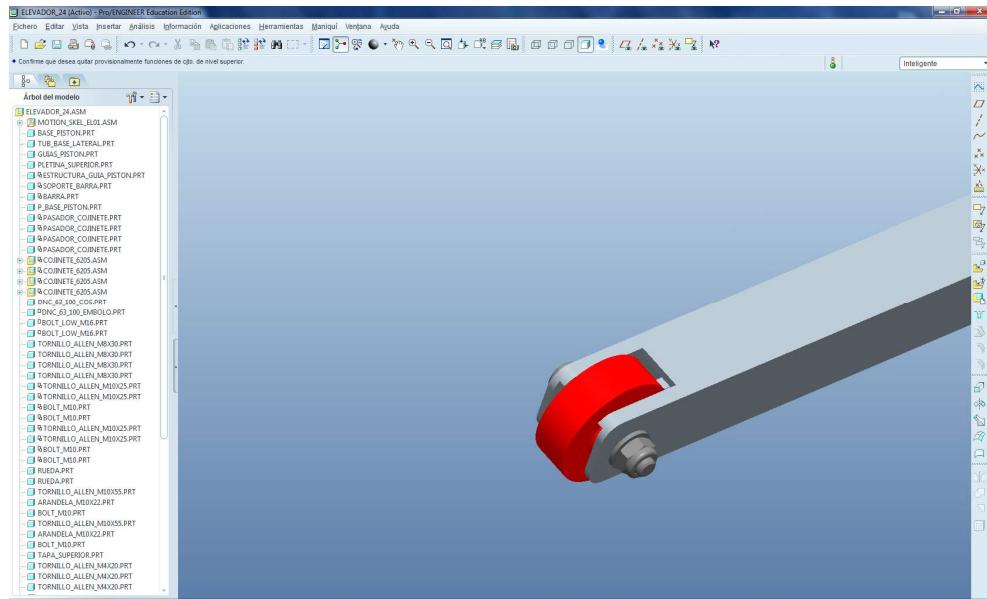


Base de la estructura



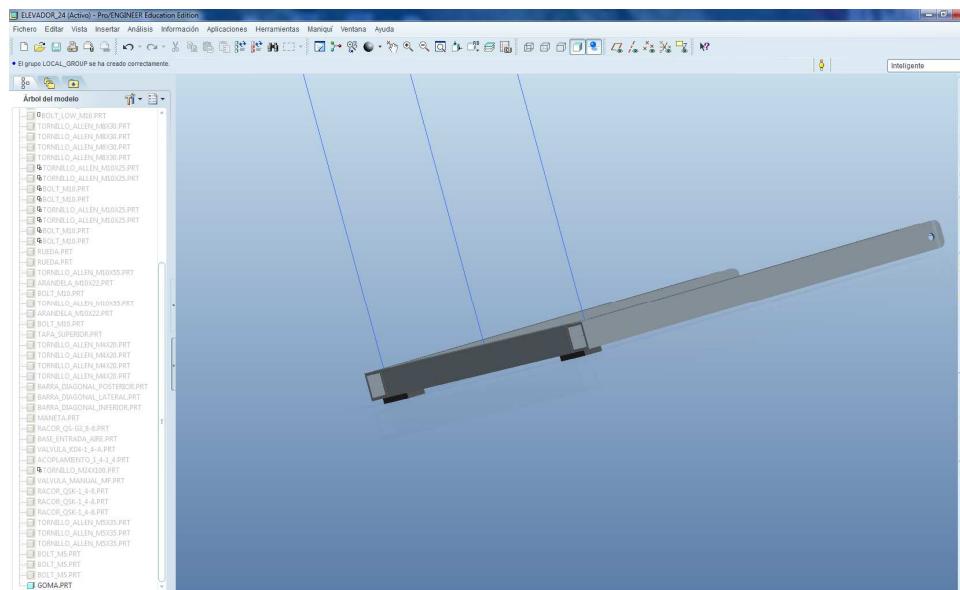
Pasador de la rueda

Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



Rueda

La máquina también contará con unos topes de goma en la parte trasera para impedir su movimiento cuando esta esté en funcionamiento, es decir, cuando la motocicleta este levantada.

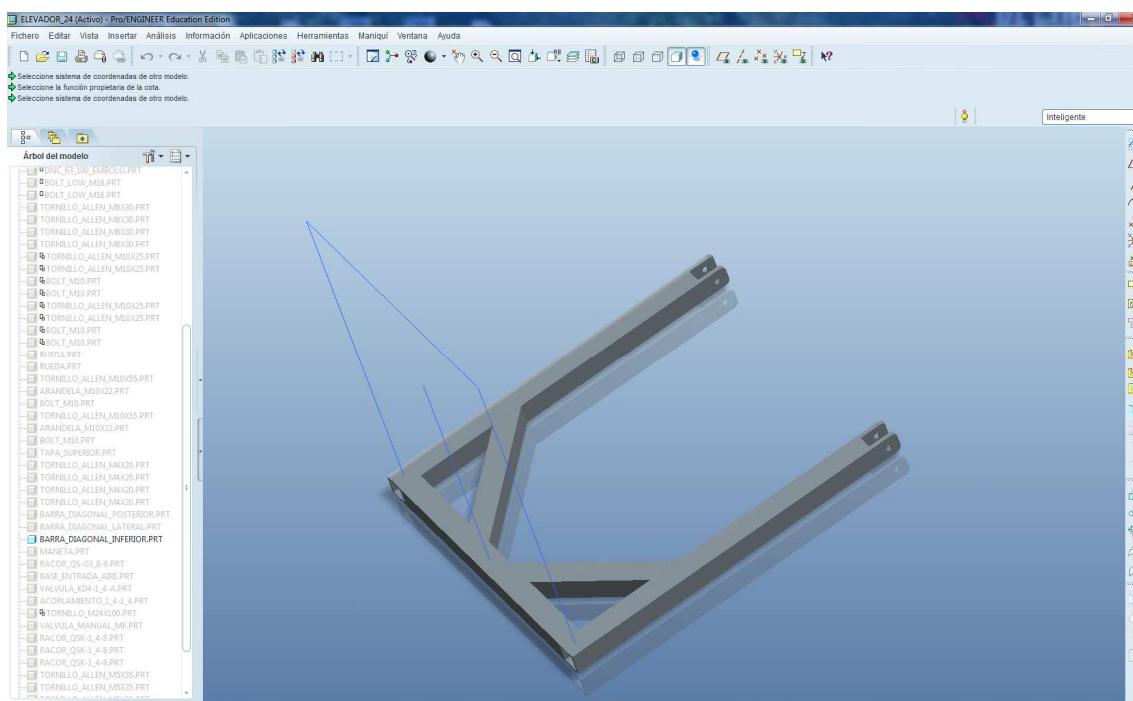


Topes de goma

Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



Para reforzar esta parte de la máquina hemos diseñado un par de nervios que irán soldados. Esto aumentará la rigidez estructural de la base del elevador.



Estructura con refuerzos

Para sujetar el cilindro neumático hemos puesto una placa de aluminio mecanizado que irá soldada a la base de la estructura con un espesor de 25mm. Este espesor viene determinado por las dimensiones de la motocicleta para la que ha sido diseñado en un principio este elevador (principalmente por la altura a la que está situado el alojamiento para el eje). Para su uso en futuras motocicletas hemos diseñado unas placas de chapa con diferentes espesores (1, 3, 5 y 10 mm) que actuarán de calce entre el cilindro y la placa de aluminio pudiendo así elevar el cilindro si el alojamiento está situado en una posición más alta.

Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



Además podemos afirmar que un alojamiento para el eje situado en una posición más baja de la motocicleta que la que hemos estudiado no es posible puesto que ahí se encuentran los tubos de escape de cualquier motocicleta (aparte de que cuanto más abajo pongamos este alojamiento más fácil es que la motocicleta se pueda llegar a volcar).

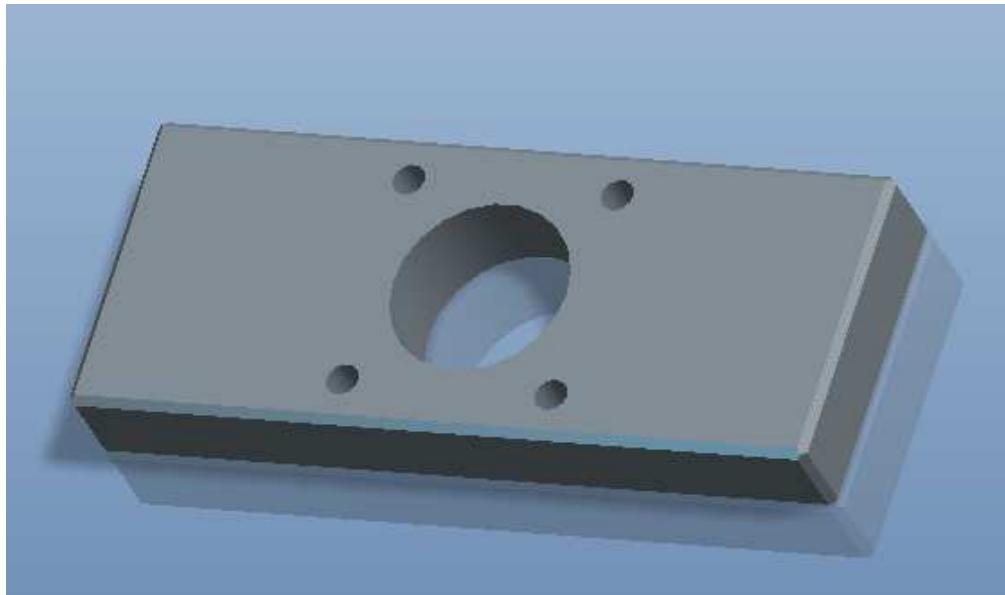
Normalmente la altura a la que tenemos que introducir el eje en el alojamiento de la motocicleta no va a variar en más de 20 mm.

En caso de tener que utilizar estos calces sólo será necesario cambiar los tornillos de sujeción del cilindro por otros más largos.

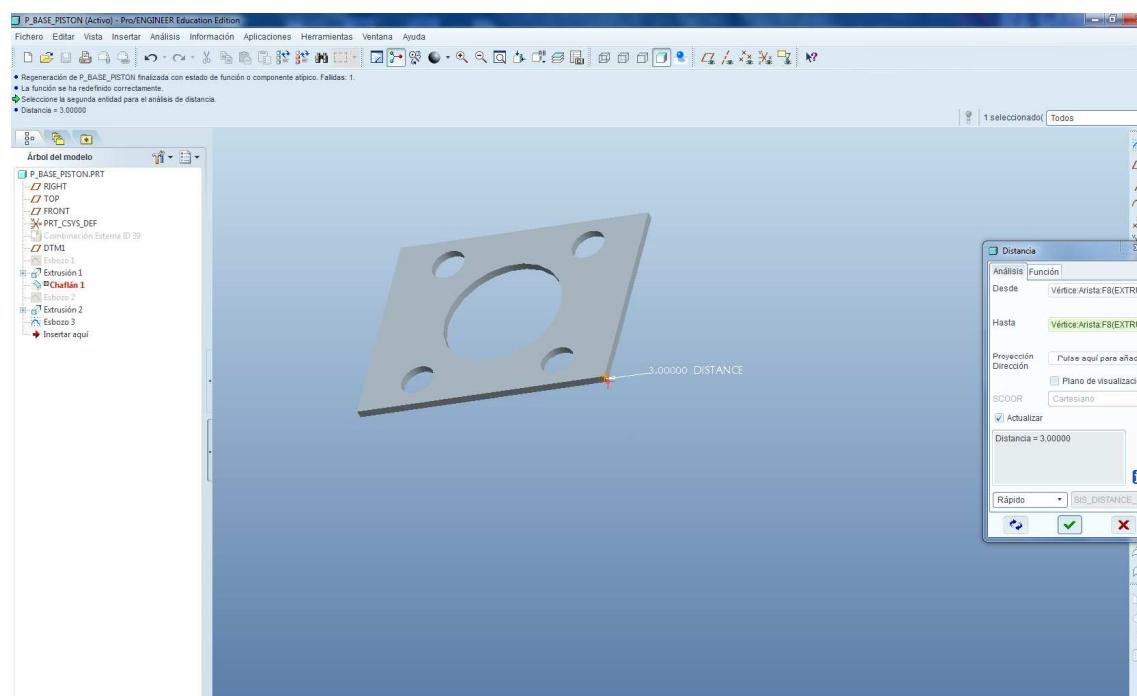
Estas piezas necesitan tener un agujero central puesto que el cilindro tiene una protusión en su parte inferior y de lo contrario el cilindro no nos quedaría perfectamente colocado. Estos agujeros los haremos pasantes y así aprovecharemos también para quitarle peso a la pieza que actúa como base.

El cilindro irá sujeto con 4 tornillos allen M8x30 mm como indica el fabricante.

Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición

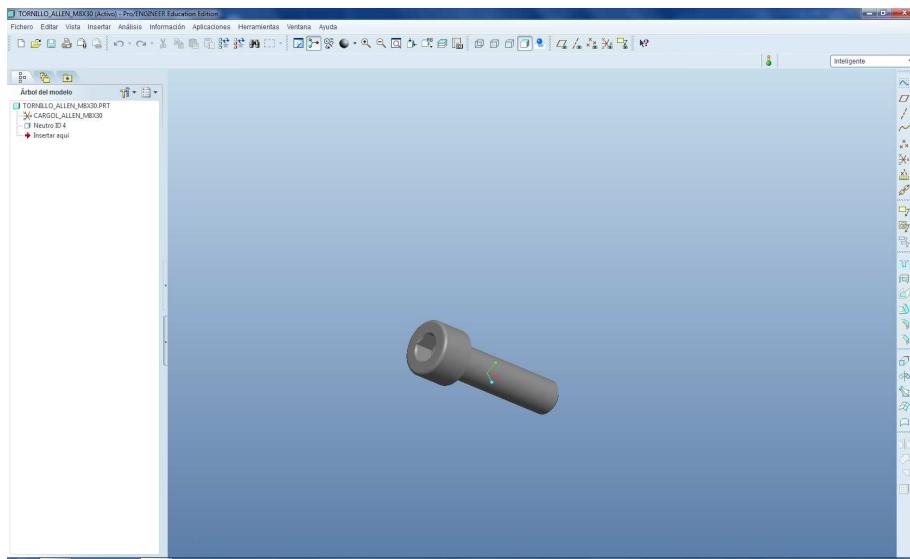


Placa de sujeción del cilindro



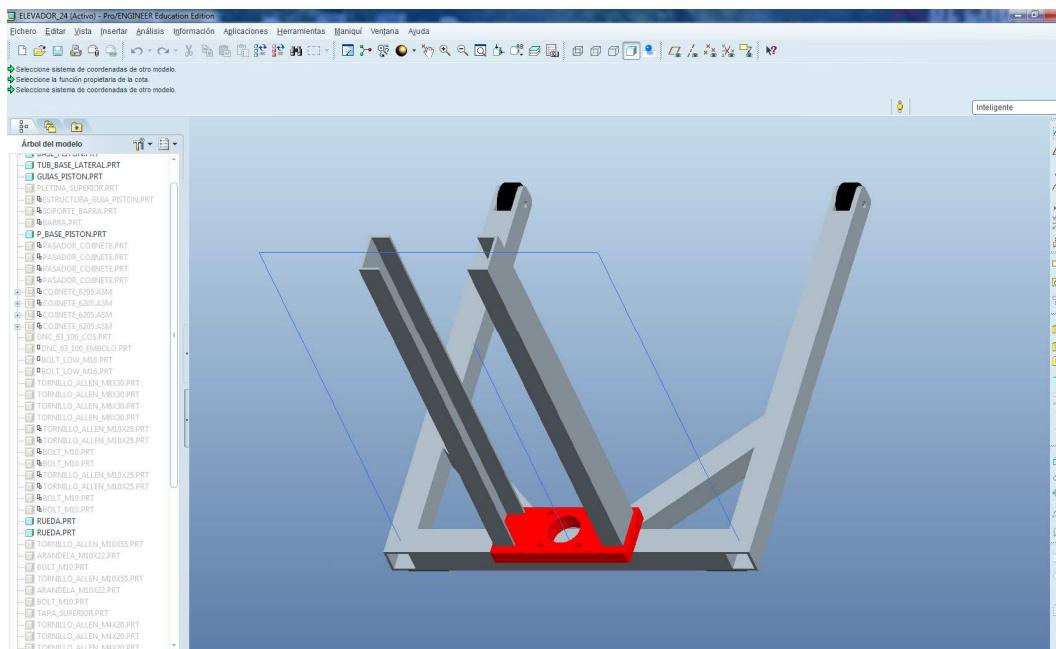
Calce de 3mm

Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



Tornillo de sujeción del cilindro

También podemos ver las guías por las que se desplazará la pieza movida por el cilindro. Estas guías tienen la longitud suficiente de cara a posibles variaciones en la altura a la que elevamos la motocicleta.

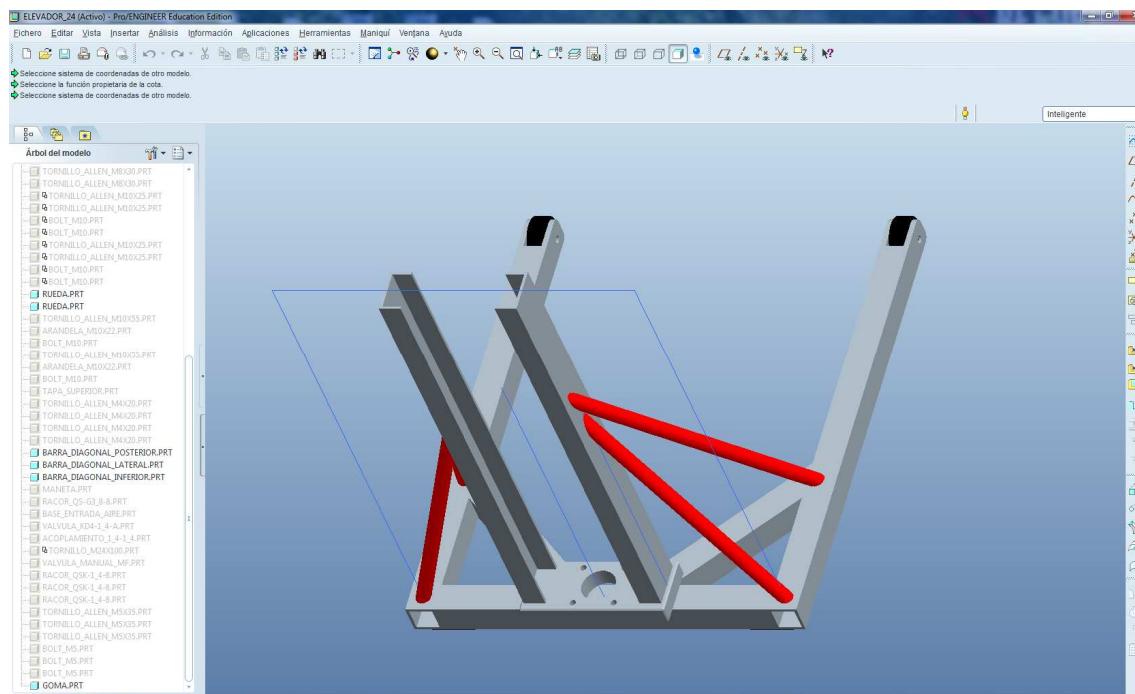


Placa colocada y guías

Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



Estas guías estarán sometidas a un momento flector proveniente del eje que sujetará la motocicleta, por eso hemos diseñado los refuerzos laterales que absorberán la mayor parte de este momento. Estos refuerzos irán soldados a la base de la estructura y serán barras de aluminio con un perfil circular hueco de 20 x 16 mm.

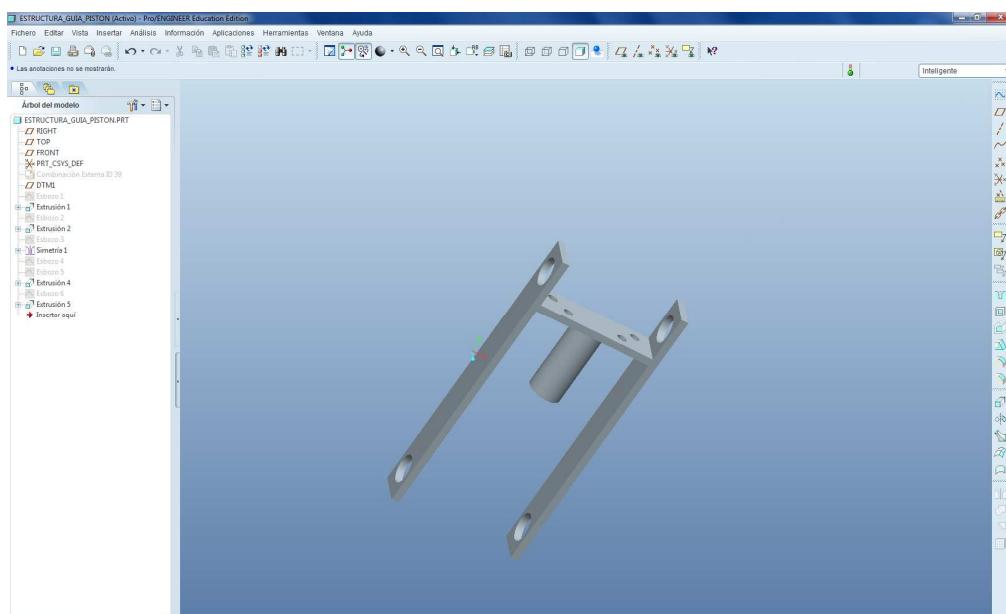


Refuerzos laterales

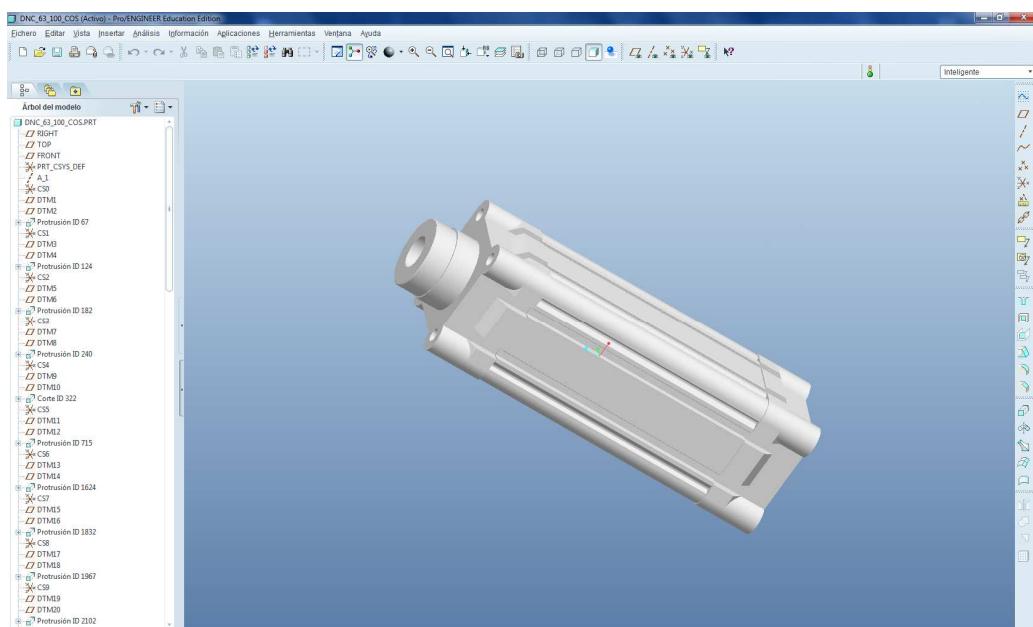
Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



Seguidamente colocamos el cilindro con la pieza en forma de H que va a ser desplazada por estas guías (corredera). Esta pieza será una de las sometidas a estudio tensional posteriormente.



Pieza en forma de H o corredera

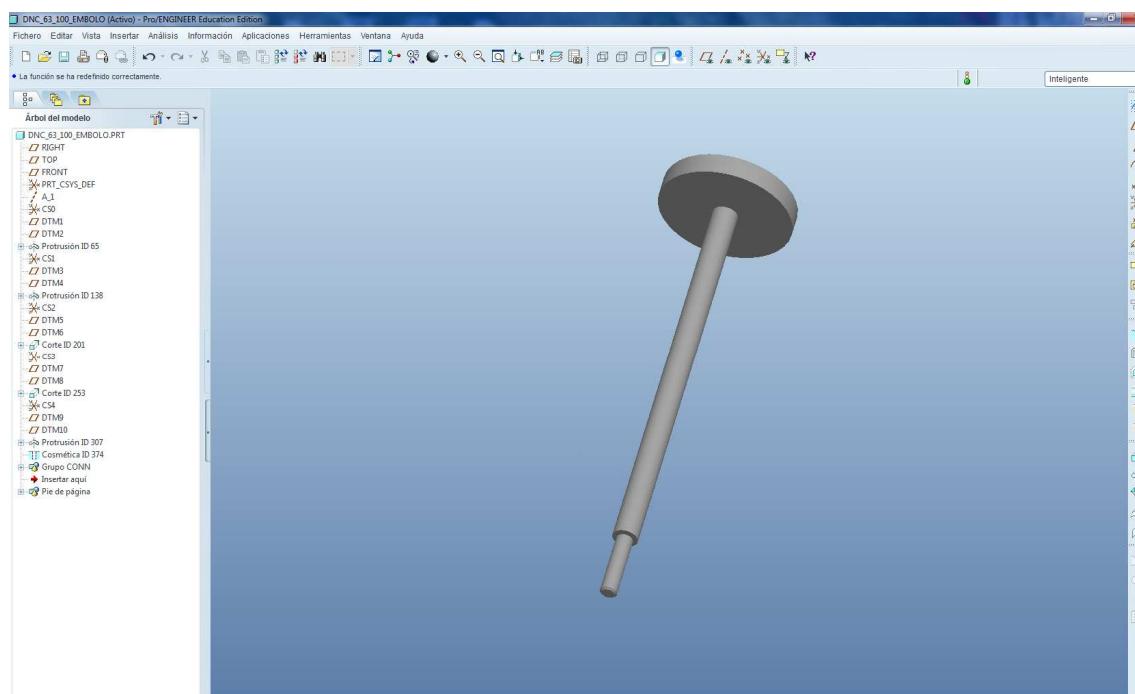


Cilindro con los 4 agujeros para los tornillos

Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



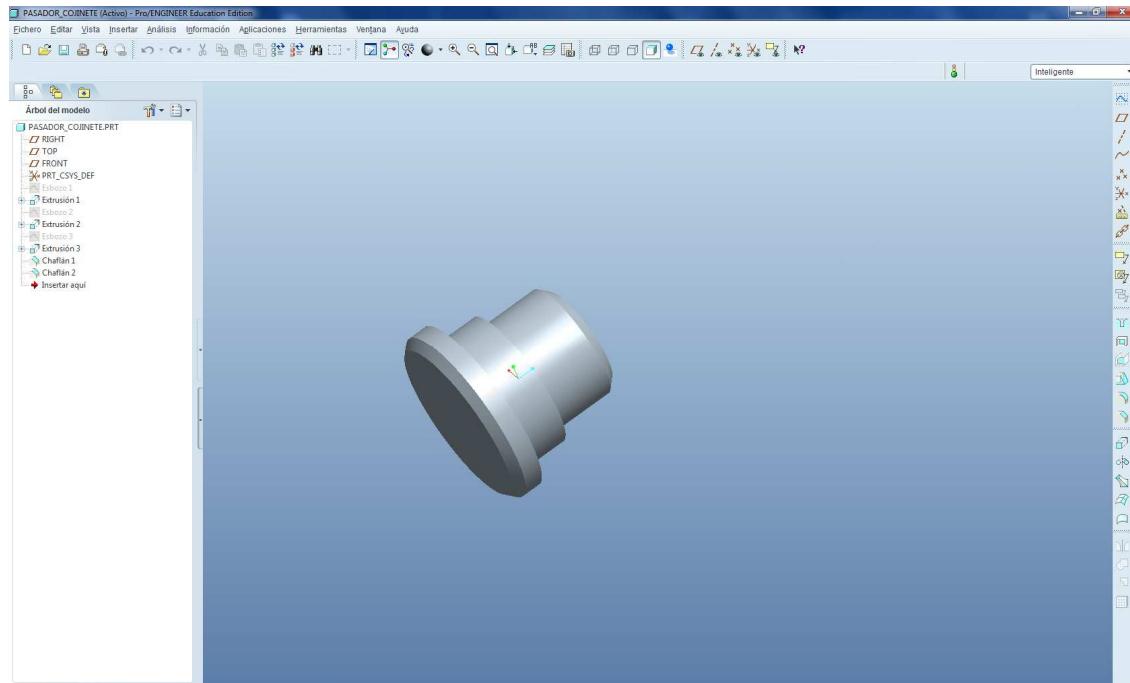
También podemos ver el vástagos del cilindro y el pistón diseñados a partir de los cálculos analíticos posteriormente descritos.



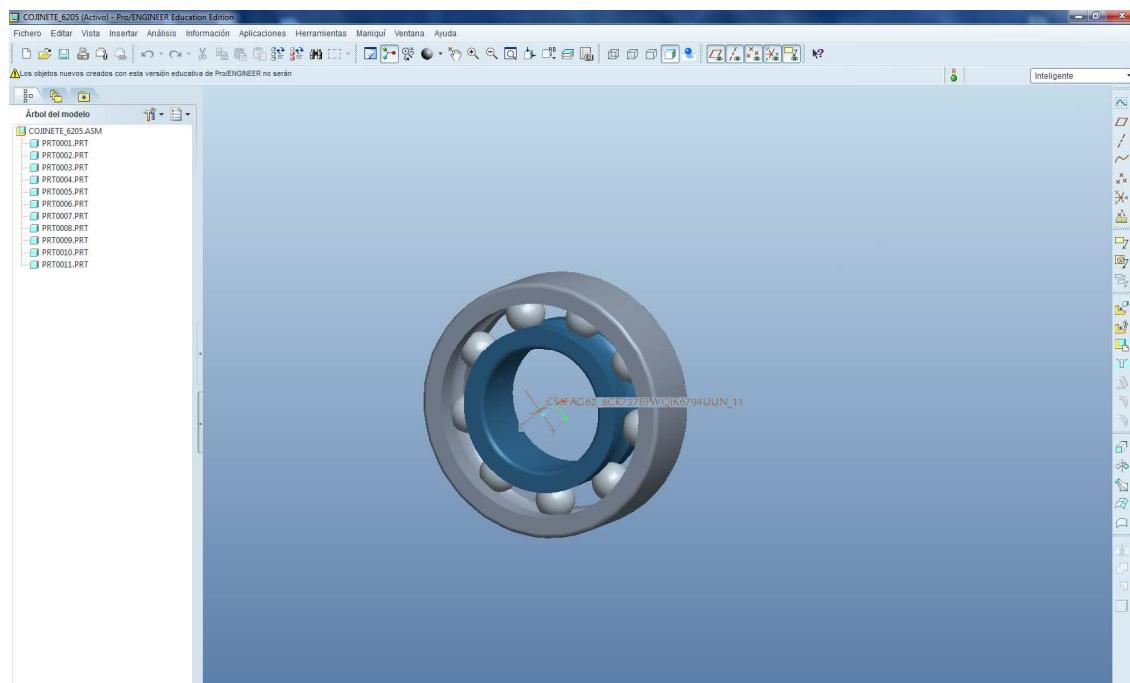
Vástago y pistón del cilindro

En la pieza en forma de H irán soldados 4 soportes en los que se alojarán los rodamientos de la serie 6205. Estos soportes al igual que la corredera serán de acero para que sean más fáciles de soldar.

Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición

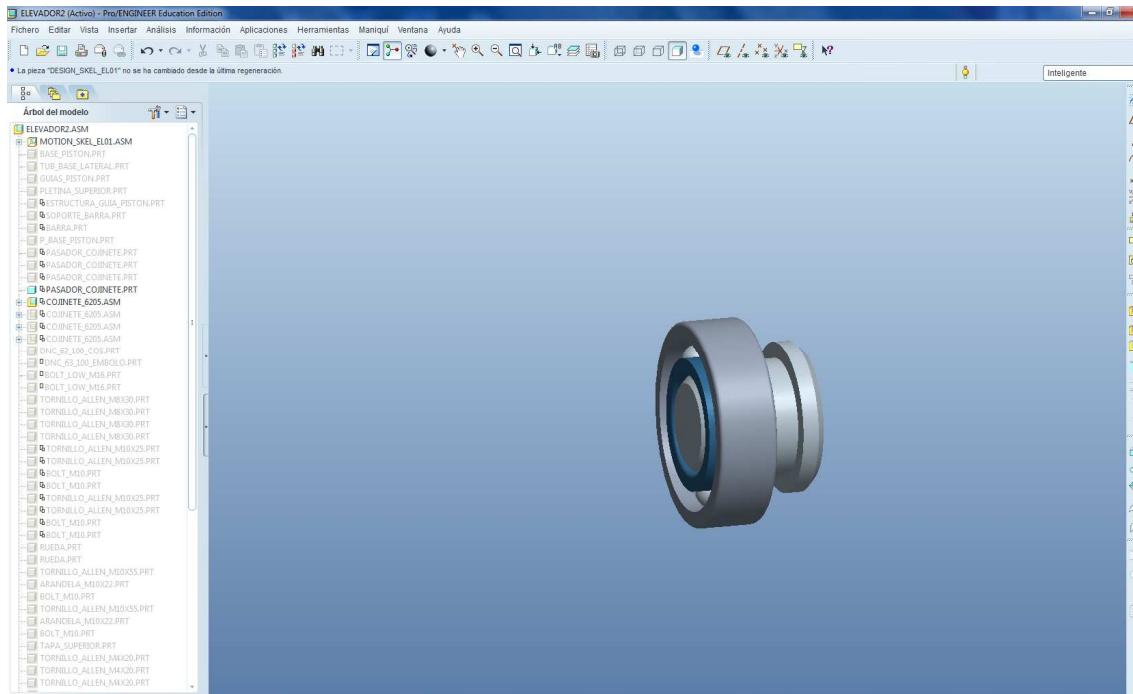


Alojamiento del rodamiento

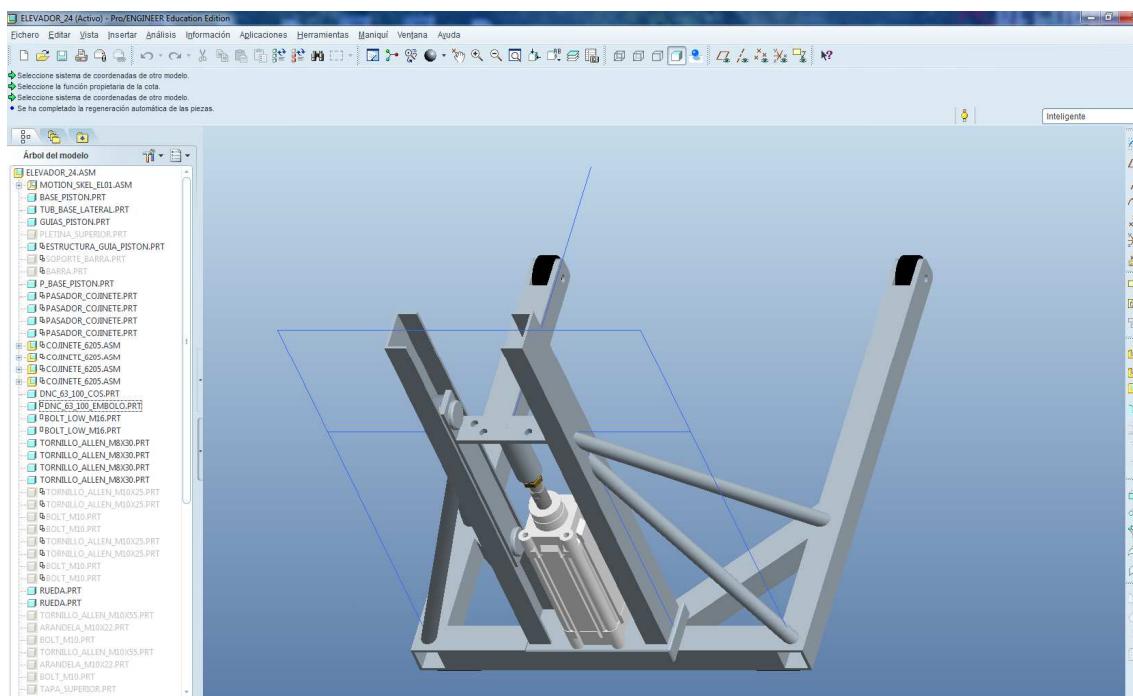


Rodamiento serie 6205

Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



Alojamiento y rodamiento



Cilindro colocado y pieza en forma de H con los rodamientos

Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



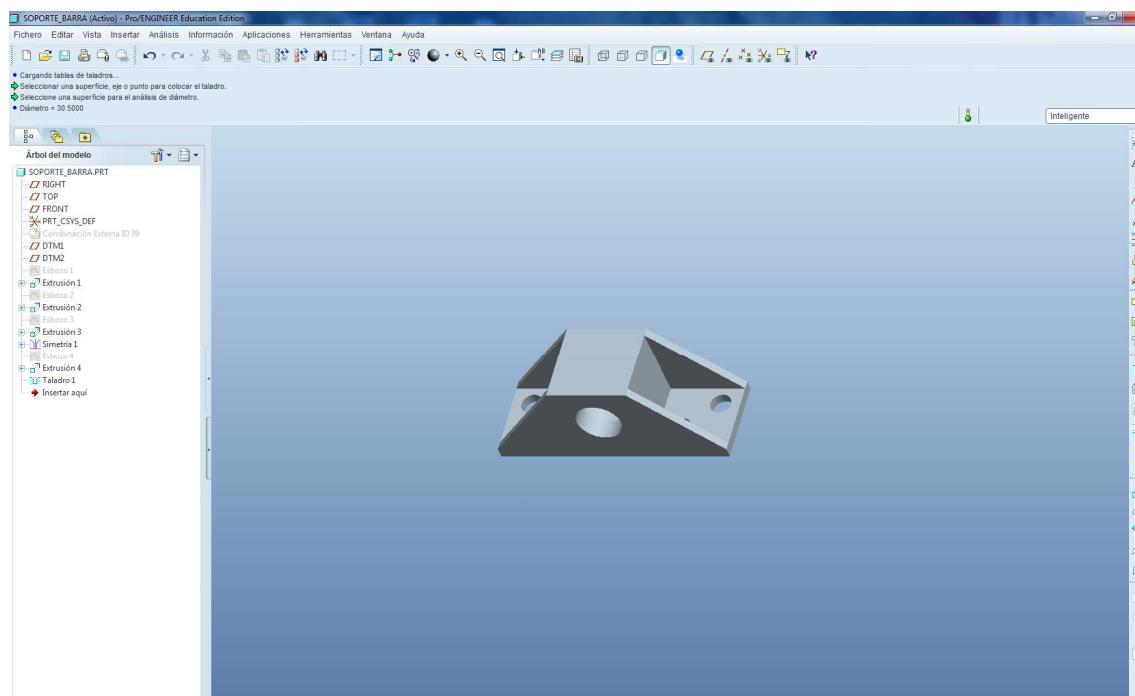
A esta pieza en forma de H irá atornillada mediante 4 tornillos M10x25 el soporte del eje.

En esta pieza irá fijado el eje que se introducirá en la motocicleta. Este eje tiene que ser fácilmente sustituible en caso de que se doble o rompa debido a su elevado uso.

El eje ha sido dimensionado a partir de unos cálculos analíticos posteriormente descritos. Tanto el eje como el soporte de éste han sido también piezas sometidas a estudio tensional.

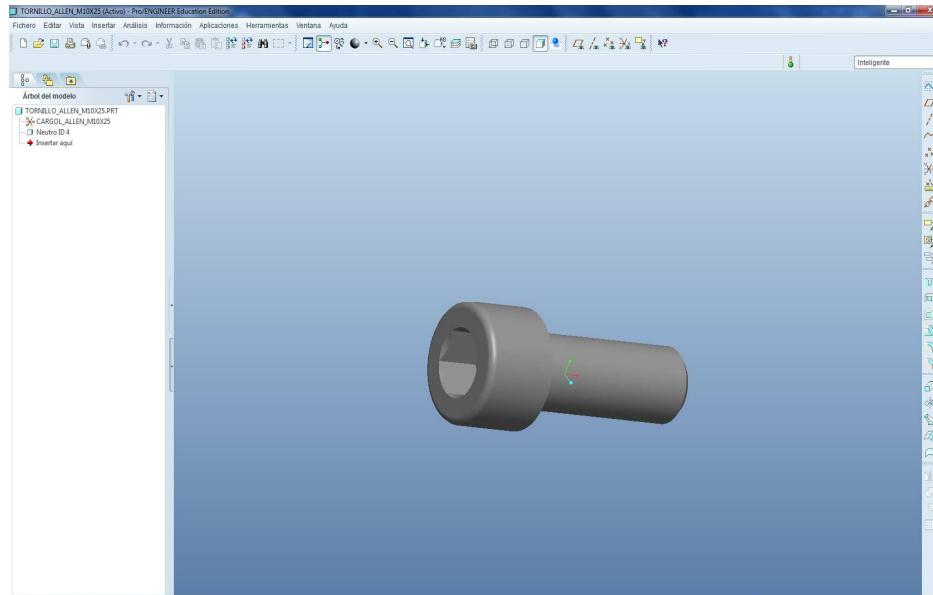
Este eje irá atornillado mediante un único tornillo M24x100 mm.

Como detalle, el eje termina en forma de punta para facilitar su inserción en el alojamiento de la motocicleta.

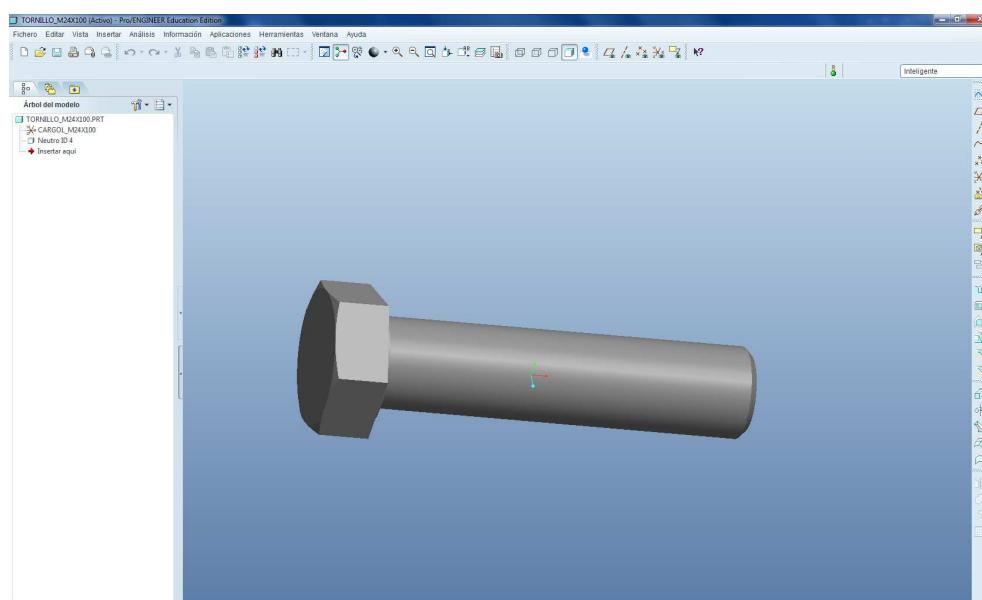


Soporte del eje

Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición

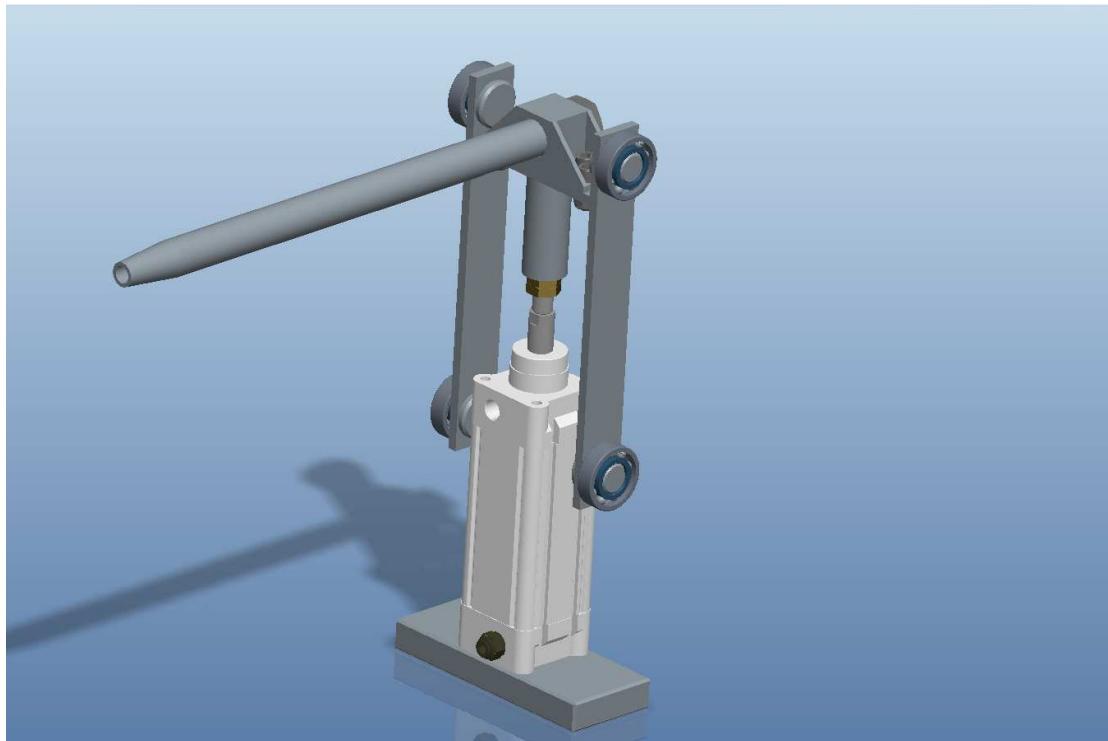


Tornillos de sujeción del soporte del eje

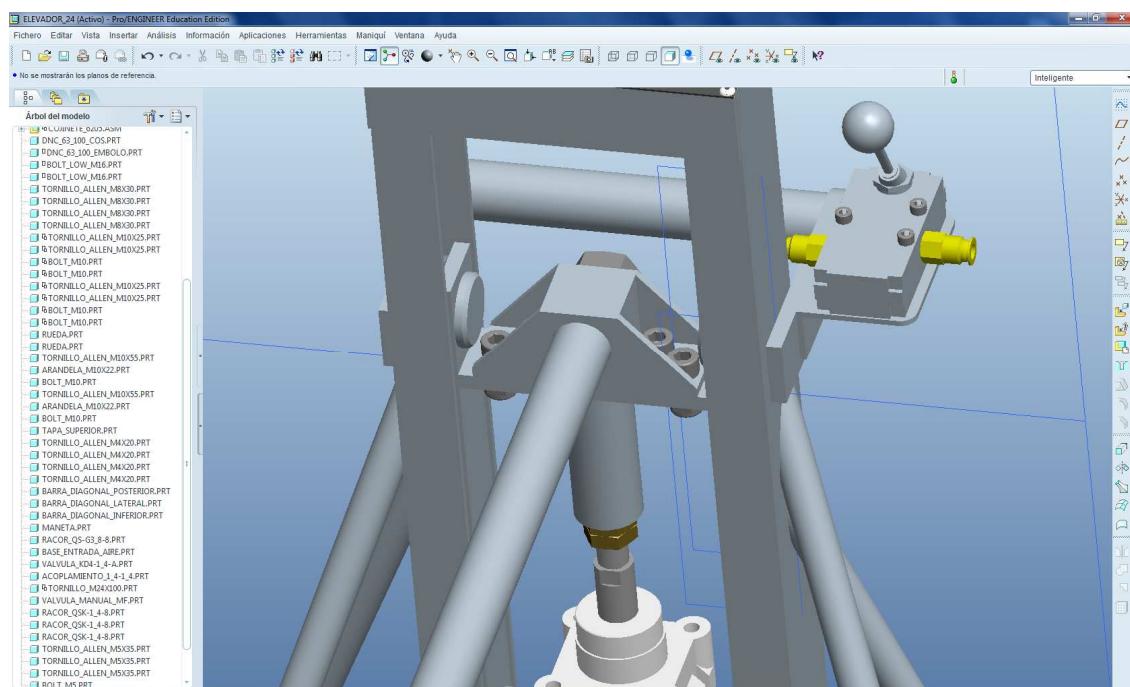


Tornillo de sujeción del eje

Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



Detalle del cilindro montado con el vástago y sujeto en la base, la pieza en forma de H, los rodamientos, el soporte del eje y el eje sujeto con el tornillo

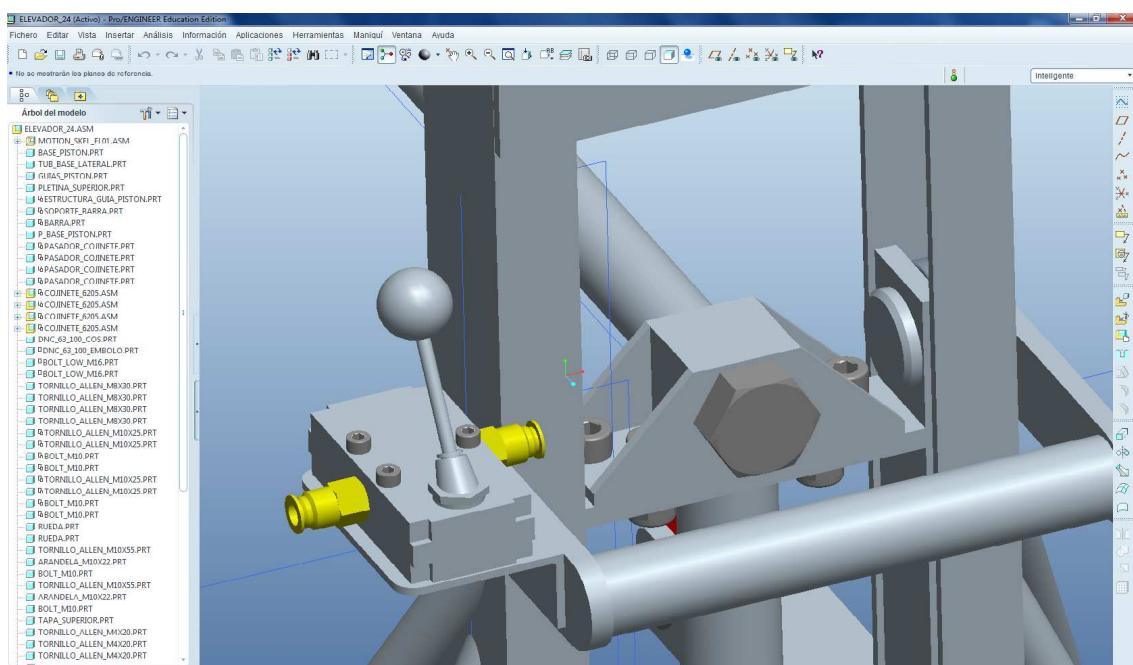


Detalle del soporte del eje fijado con los tornillos

Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



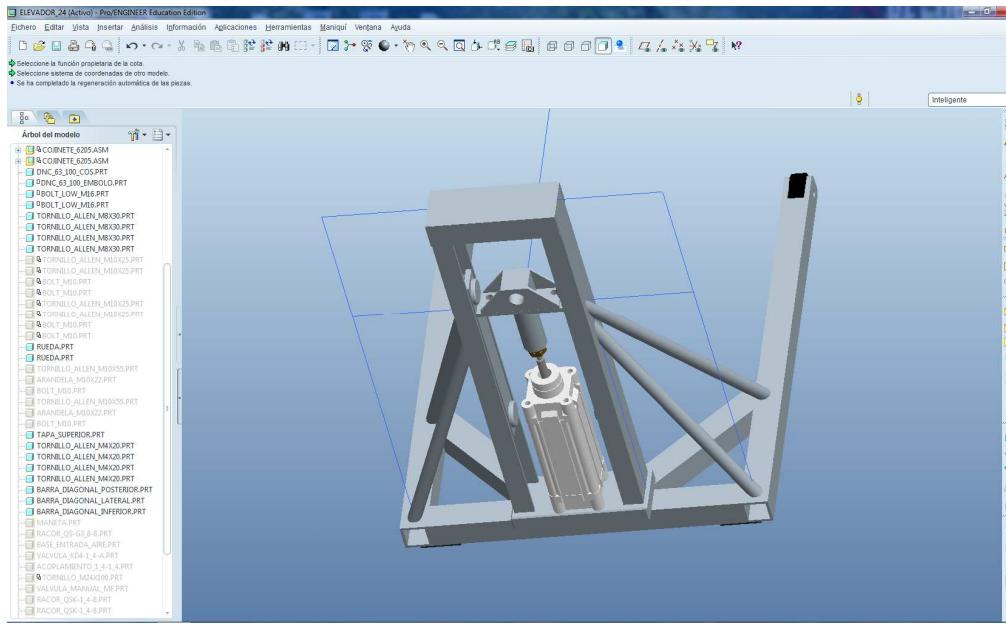
En esta foto también observamos la agarradera para manejar el elevador y la válvula neumática de 2 posiciones.



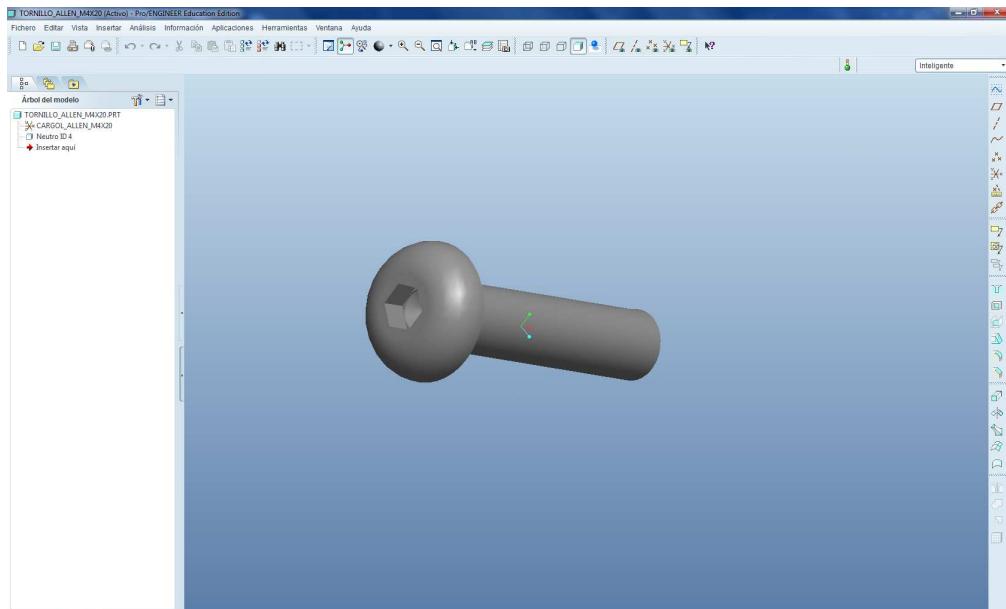
Agarradera y válvula neumática

Para facilitar el acceso a las piezas que se desplazan por dentro de las guías hemos hecho una tapa en la parte superior atornillada con 4 tornillos M4x20 y para dar rigidez a las guías hemos soldado una pletina de aluminio en cada uno de sus extremos (en el análisis con ProMechanica veremos el efecto de esta pletina).

Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



Tapa superior y placa trasera

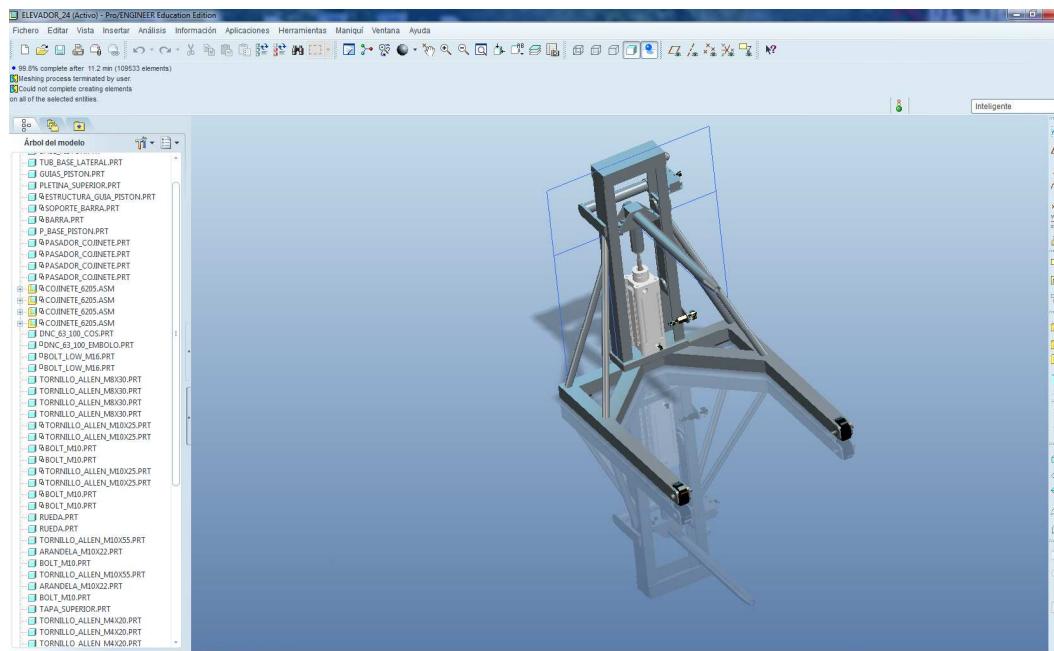


Tornillos de sujeción de la tapa superior

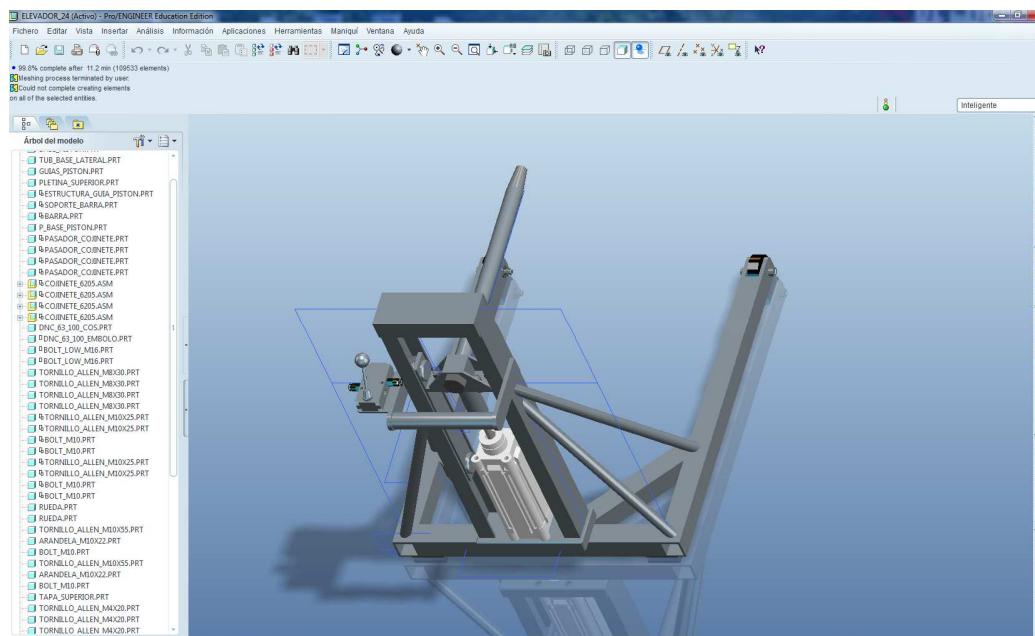
Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



Aquí podemos ver el elevador completo:



Vista frontal elevador completo

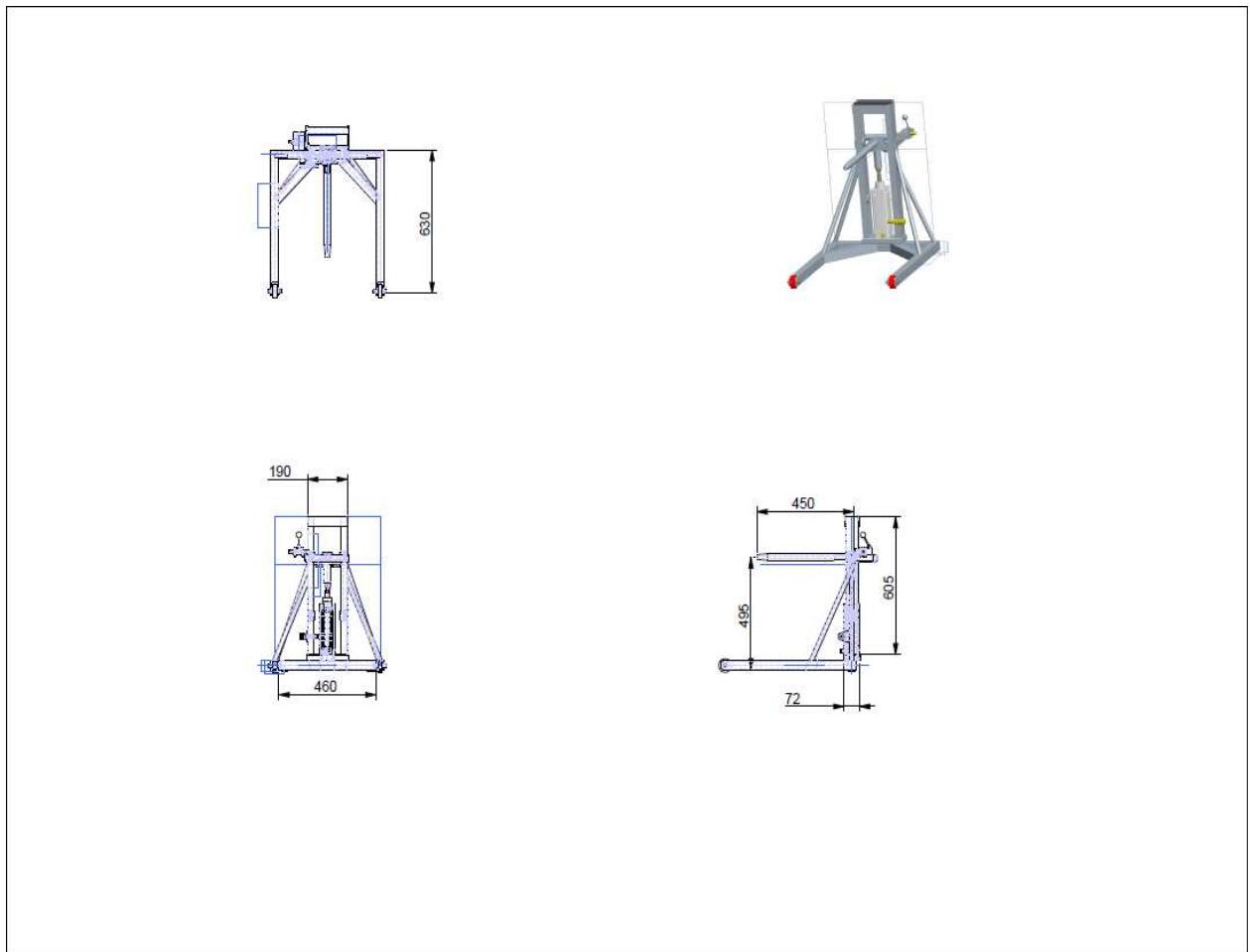


Vista posterior elevador completo

Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



Aquí podemos ver un plano con las dimensiones características de nuestra máquina:



Plano del elevador



6. Cálculos analíticos

En este apartado llevaremos a cabo los cálculos analíticos para el dimensionado de la máquina, aplicando la teoría de fallo de Von Mises.

El principal material que emplearemos para fabricar el elevador va a ser aluminio (un **aluminio de la serie 6060** con un límite elástico de **190 MPa**), pero ciertas partes sometidas a un desgaste mayor serán de **acero E-450**. De aquí, la letra nos indica el tipo de acero del que se trata, y las cifras posteriores indican el límite elástico o tensión de fluencia del material expresado en megapascales (MPa).

Una vez que tenemos claro los materiales que van a formar parte en el elevador, debemos tener en cuenta el coeficiente de seguridad que en nuestro caso será **siempre $C_s \geq 2$** .

La metodología para llevar a cabo los cálculos analíticos consta de una serie de pasos que a continuación se detallan:

- **Diagrama de sólido libre:** es un croquis de que muestra todas las acciones externas (fuerzas y momentos) que actúan sobre él. El término libre implica que se han retirado todos los enlaces del cuerpo y que estos se han reemplazado por las reacciones (fuerzas y momentos) que éstos ejercen sobre el cuerpo. Para ello es importante tener claro las cargas que actúan y las restricciones que definen las reacciones que habrá en los apoyos.

Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición

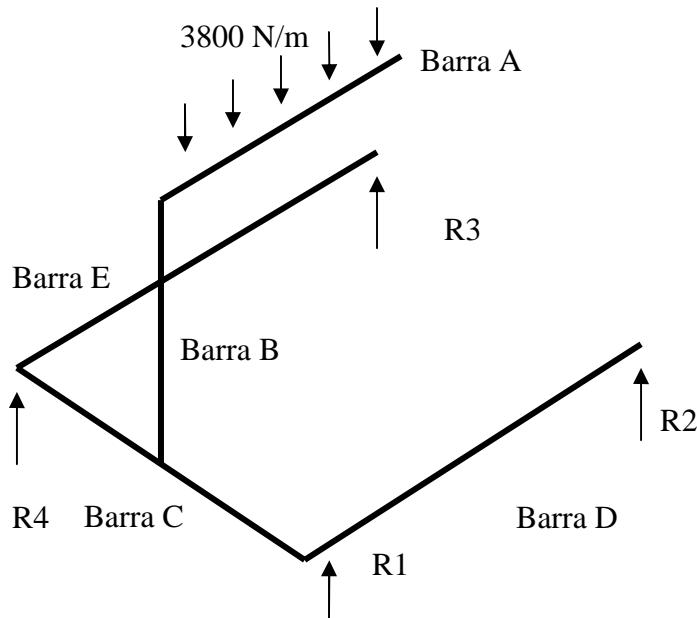


- **Plantear las ecuaciones de la estática:** Consiste en incluir, en las ecuaciones de equilibrio, todas las fuerzas y pares aplicados sobre el sólido y representados en el diagrama de sólido libre. Se resuelve el sumatorio de fuerzas respecto a unos ejes cartesianos, de donde salen 2 ecuaciones si estamos en un diagrama de sólido libre de una dimensión. También se resuelve la ecuación de momentos flectores que es una ecuación en una dimensión.
- **Resolver las ecuaciones de la estática:** Las ecuaciones de la estática equivalen, en el caso más general, a seis ecuaciones escalares para cada sólido rígido en equilibrio y no permiten, por lo tanto, resolver más de seis incógnitas escalares. Si el número de incógnitas es igual al número de ecuaciones independientes el problema está resuelto (salvo dificultades matemáticas), pero si es mayor no tiene solución por el método indicado y decimos que es un problema estáticamente indeterminado.
- **Dimensionamiento:** Una vez resueltas las ecuaciones de estática, mediante la Teoría de Von Mises, con un $C_s \geq 2$ y con las hipótesis iniciales adoptadas se calculan las dimensiones de los perfiles estructurales, del cilindro...

Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición

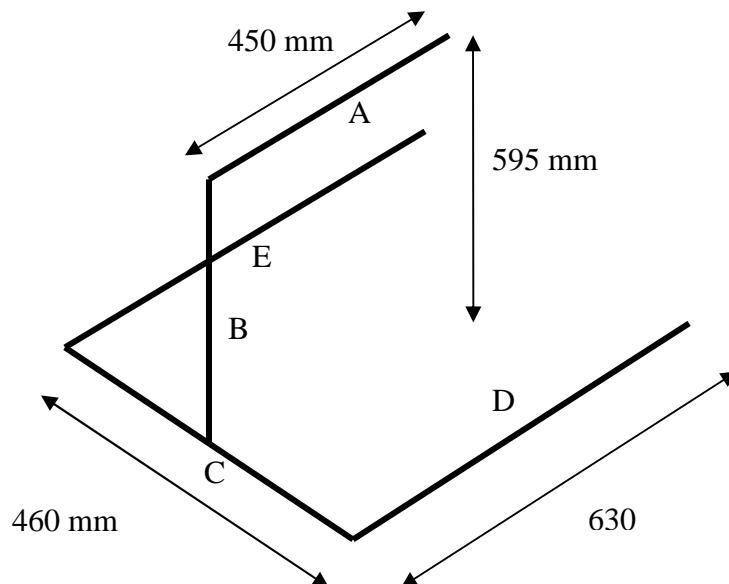


Nuestras **hipótesis iniciales** de cálculo serán las siguientes:



Simplificación de nuestro modelo

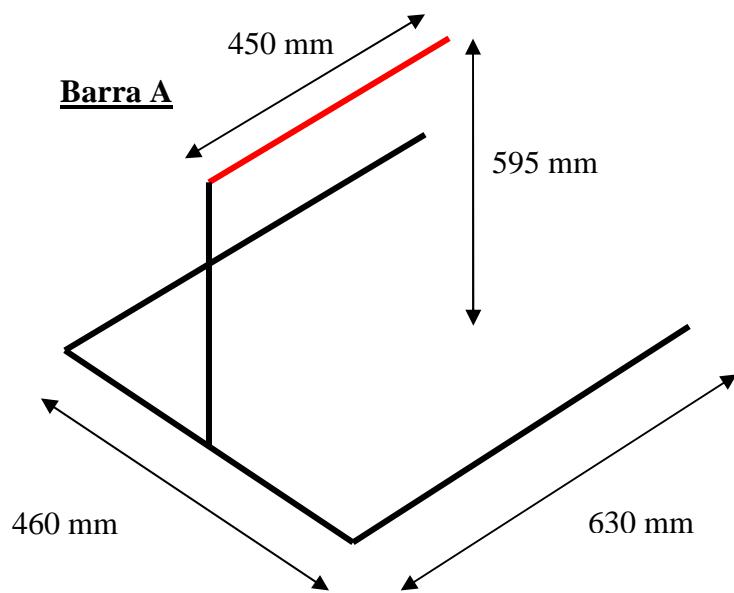
La fuerza de 3800N/m viene determinada por el peso de la moto que supondremos de 1710N repartidos en la longitud de la barra.



Dimensiones características de nuestro modelo simplificado en la posición de estudio

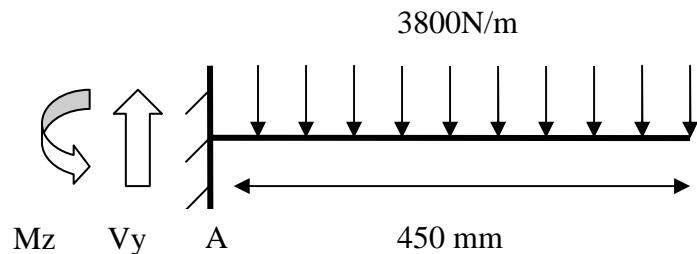


6.1 Barra A



Esta barra es la que se va a introducir en el alojamiento de la motocicleta por ello la haremos de perfil circular. Su longitud de 450 mm viene determinada por la anchura de la moto. Este es un dato facilitado por el equipo.

Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



Hacemos los sumatorios de fuerzas y momentos en A:

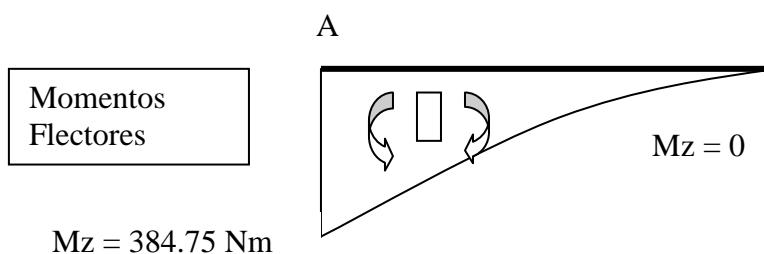
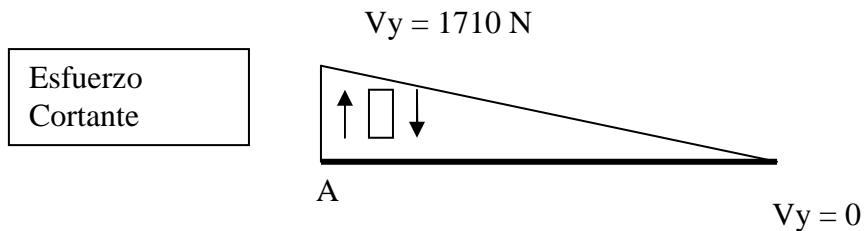
$$\sum F_y = 0; \quad Vy = 3800 \text{ N/m} * 0.450 \text{ m}$$

$$\mathbf{Vy = 1710 \text{ N};}$$

$$\sum M_z = 0;$$

$$\mathbf{Mz = F * x = 1710 \text{ N} * (0.450 / 2) \text{ m} = 384.75 \text{ Nm}}$$

Dibujamos los diagramas de sólido libre:



Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición

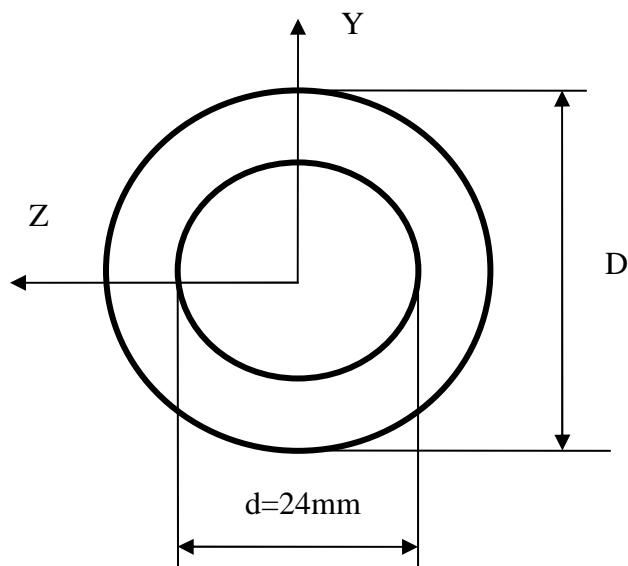


Una vez hallamos los diagramas de sólido libre vemos que la sección más desfavorable es el empotramiento:

$$M_z = 384.75 \text{ Nm};$$

Los esfuerzos que más influyen a la hora de dimensionar son los esfuerzos axiles y los momentos flectores, teniendo más peso en importancia los momentos flectores. En nuestro caso no tenemos esfuerzos axiles.

Nuestro objetivo es obtener el diámetro externo de la barra puesto que el diámetro interno viene determinado por el tornillo de sujeción que va roscado en la parte trasera de la barra. En nuestro caso $d = 24 \text{ mm}$.



Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



Queremos obtener un C_s de 2 para esta parte de la estructura:

$$\sigma_t = \frac{\sigma_F}{C_s} = \frac{450}{2} = 225 \text{ MPa}$$

$$\sigma_x = \frac{M_z}{I_z} \text{ y}_{\max} = \frac{384.75 \text{ Nm} * 10^3 \text{ mm/m}}{\frac{\prod}{64} (D^4 - d^4) \text{ mm}^4} \frac{D}{2} \text{ mm}$$

Igualamos todo a 225 MPa y con una $d = 24 \text{ mm}$ obtenemos D :

D ext barraA = 32 mm

d int barraA = 24 mm

Esta barra irá atornillada a un soporte, mediante un tornillo de M24x100 mm, y que a su vez este soporte irá atornillado mediante 4 tornillos de M10x25 mm a la corredera que es movida por el cilindro.

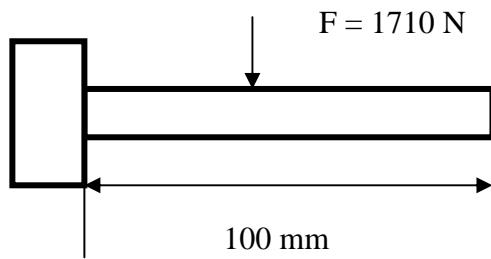
Ahora examinaremos las solicitudes en estos tornillos.

Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



6.1.1 Tornillo del eje M24

Este tornillo está sometido a cortadura simple debido a la reacción del cortante en la barra A:



$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$A \text{ tornillo} = \frac{\pi * D^2}{4} = 452.4 \text{ mm}^2$$

$$\text{Luego: } \tau = \frac{1710N}{452.4mm^2} = 3.75 \text{ MPa}$$

Podemos ver que la solicitud de este tornillo es muy pequeña por lo que podremos utilizar un acero con poco límite elástico y por consiguiente más económico.



6.1.2 Tornillos de sujeción del soporte de la barra A con la corredera

Estos tornillos como hemos visto en fotos anteriores son los que unen el soporte de la barra A con la corredera. Hemos colocado 4 tornillos de M10x25.

Estos tornillos están sometidos únicamente a un esfuerzo axil de tracción.

En este caso los tornillos nos pueden fallar por 3 situaciones diferentes:

- a) Por tracción
- b) Por aplastamiento de la cabeza del tornillo
- c) Por cortadura de la cabeza del tornillo

Estudiaremos caso por caso viendo cual es el más desfavorable.

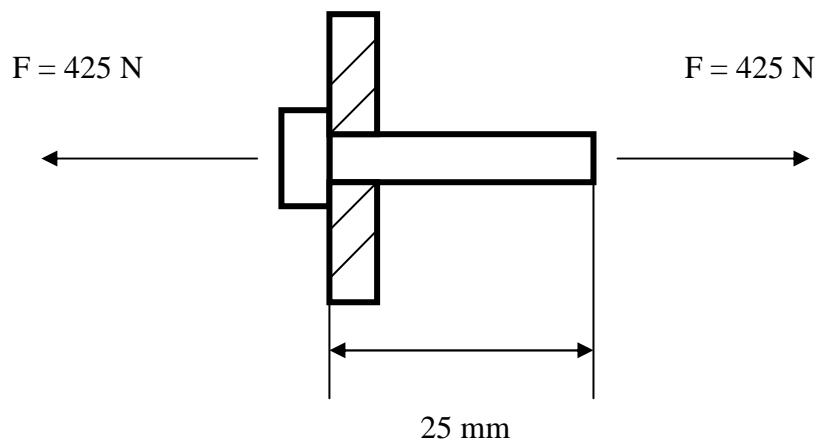
Como tenemos 4 tornillos en total la fuerza en cada tornillo será la siguiente:

$$F_{\text{tornillo}} = \frac{F_{\text{total}}}{4} = 1710 \text{ N} / 4 = 425 \text{ N}$$

Diseño de un elevador neumático
para su uso en
motocicletas de competición



a) Tracción



$$\sigma_T = \frac{F}{A}$$

$$A \text{ tornillo} = \frac{\pi * D^2}{4} = 78.54 \text{ mm}^2$$

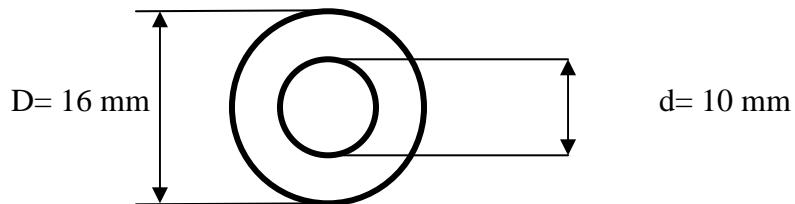
Luego:

$$\sigma_T = \frac{425N}{78.54mm^2} = 5.41 \text{ MPa}$$

Diseño de un elevador neumático
para su uso en
motocicletas de competición



b) Aplastamiento de la cabeza del tornillo



$$\sigma_{aplast} = \frac{F}{A_2}$$

$$A \text{ tornillo} = \frac{\pi * (D^2 - d^2)}{4} = 122.5 \text{ mm}^2$$

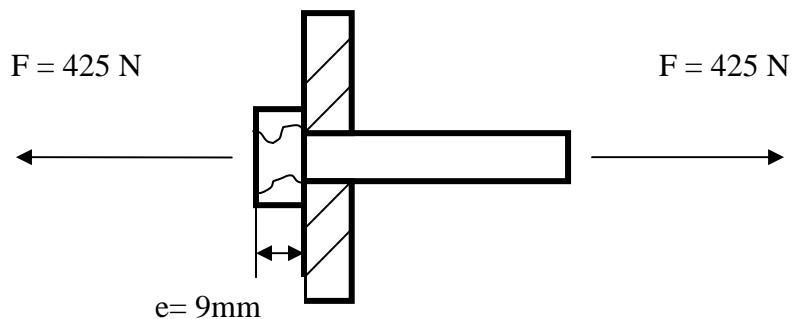
Con lo que nos queda:

$$\sigma_{aplast} = \frac{425N}{122.5mm^2} = 3.47 \text{ MPa}$$

Diseño de un elevador neumático
para su uso en
motocicletas de competición



c) Cortadura de la cabeza del tornillo



Igual que antes:

$$\tau = \frac{F}{A_3}$$

Siendo $A_3 = \pi * d * e = \pi * 10 \text{ mm} * 9 \text{ mm} = 282.7 \text{ mm}^2$

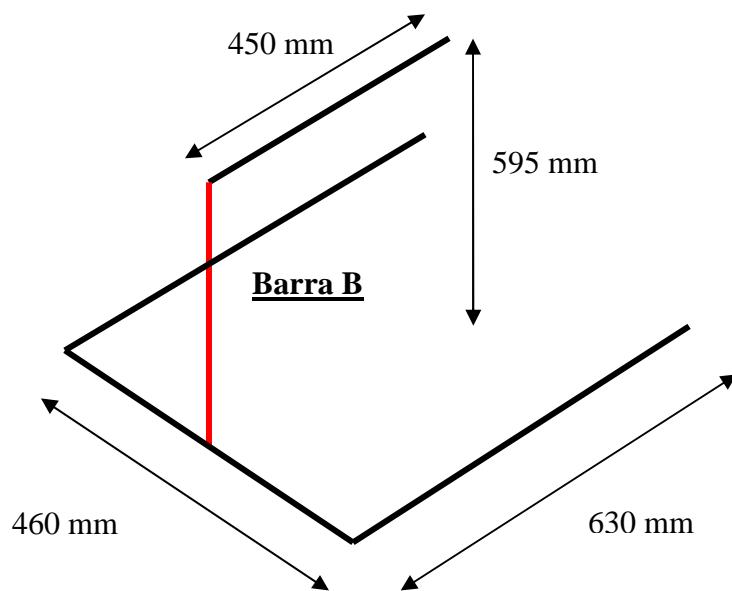
Luego nos queda una tensión:

$$\tau = \frac{425N}{282.7mm^2} = 1.5 \text{ MPa}$$

Podemos concluir que el **caso más desfavorable es el de tracción**. No obstante la solicitud de estos tornillos es muy pequeña y también podremos utilizar para estos tornillos un acero de bajo límite elástico.



6.2 Barra B



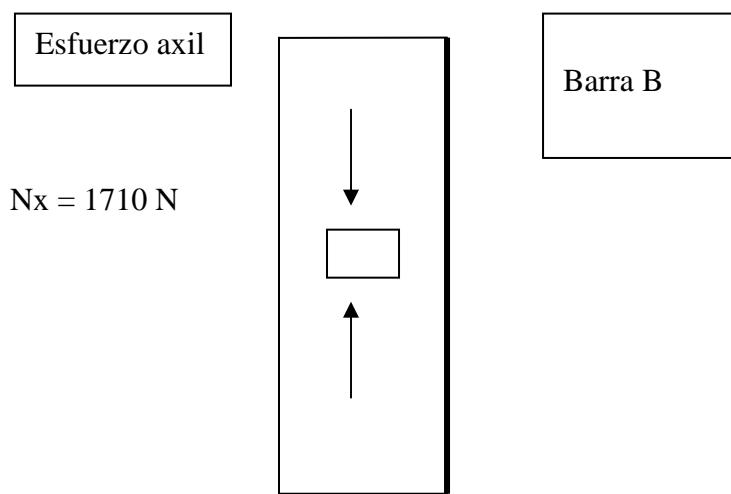
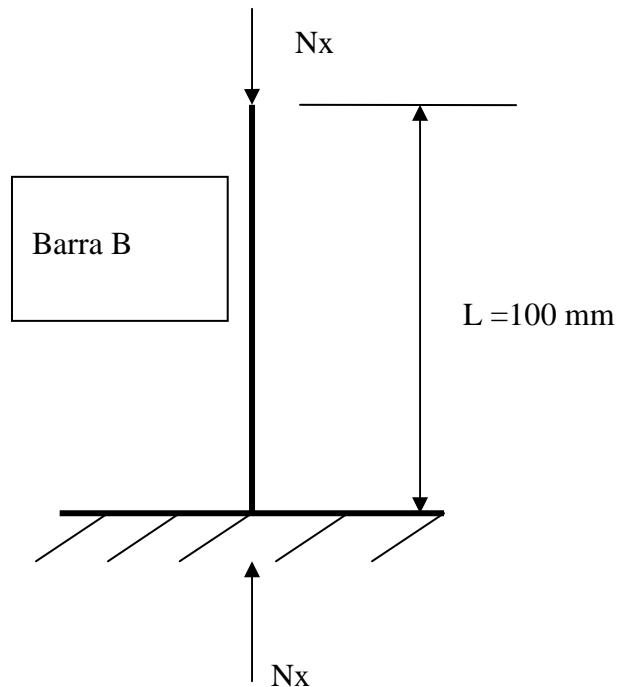
Esta barra la analizaremos mediante el cálculo de pandeo del cilindro ya que está sometida a un esfuerzo axial proveniente de la Barra A.

Posteriormente analizaremos el efecto del momento flector en las guías y más adelante mediante ProMechanica analizaremos este efecto también en los refuerzos de la estructura.

Nuestros datos de partida son:

- * Carrera cilindro = 100 mm (Datos facilitados por el equipo, ya que es la altura a la que quieren que se levante la motocicleta).
- * $F = 1710 \text{ N}$ (Esfuerzo axial que se transmite de la Barra A y que coincide con el peso de la motocicleta que queremos levantar).
- * $P = 6 \text{ bar}$ (Datos facilitados por el equipo).

Diseño de un elevador neumático
para su uso en
motocicletas de competición



Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



Lo primero que queremos calcular es el Área del pistón:

$$\text{Apiston} = \frac{F}{P} = \frac{1710N}{0.6N/mm^2} = 2850 \text{ mm}^2$$

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}; \quad D = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 2850}{\pi}} = 60.24 \text{ mm}$$

El diámetro del pistón debe tener un valor mínimo de 60.24 mm, por lo que hay que seleccionar el inmediato superior de los diámetros normalizados que será 63 mm.

D piston = 63 mm

Cilindro hidráulico y neumáticos. Dimensionado.

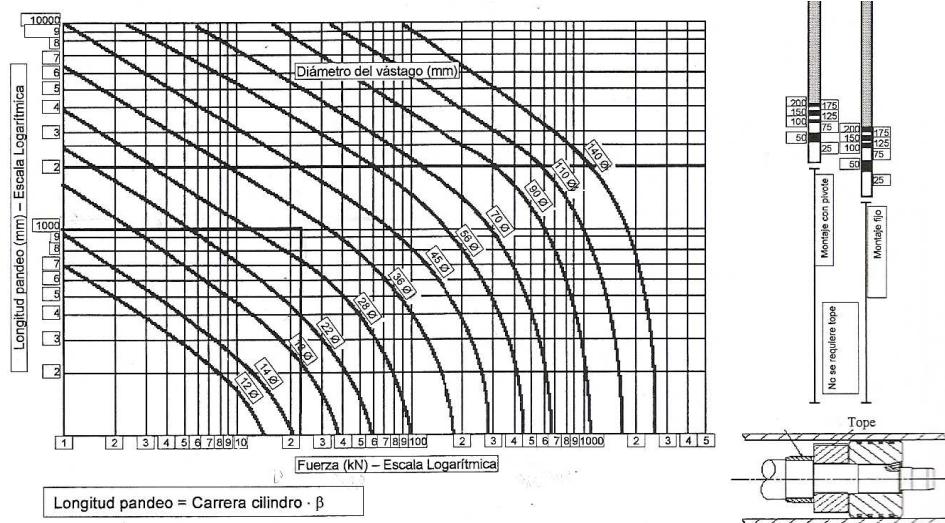


Tabla 1: Gráfico del dimensionado a pandeo del vástago de cilindros hidráulicos y neumáticos

Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



Para calcular el diámetro normalizado del vástago hay que mirar en la Tabla1.

En la tabla anterior entramos con la fuerza máxima del pistón ($F = 1710 \text{ N}$) y la longitud equivalente (L_e).

Tipo de fijación cilindro	Esquema de montaje	Factor de pandeo (β)
Fija y rígidamente guiada		0.5
Articulado y rígidamente guiado		0.7
Fija y rígidamente guiada		1.0
Articulado y rígidamente guiado		1.0

Tipo de fijación cilindro	Esquema de montaje	Factor de pandeo (β)
Articulado y rígidamente guiado		1.5
Apoyado, pero no rígidamente guiado		2.0
Articulado y rígidamente guiado		2.0
Articulado y apoyado, pero no rígidamente guiado		3.0

Figura 11. Tabla de coeficientes de pandeo según el tipo de fijación del cilindro.

Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



La longitud equivalente se calcula $L_e = \beta * L$, siendo β el coeficiente a pandoe que depende del agarre en los extremos del cilindro y según vemos el agarre de nuestra mesa elevadora le corresponde el valor $\beta = 1.5$ porque es articulado y rígidamente guiado.

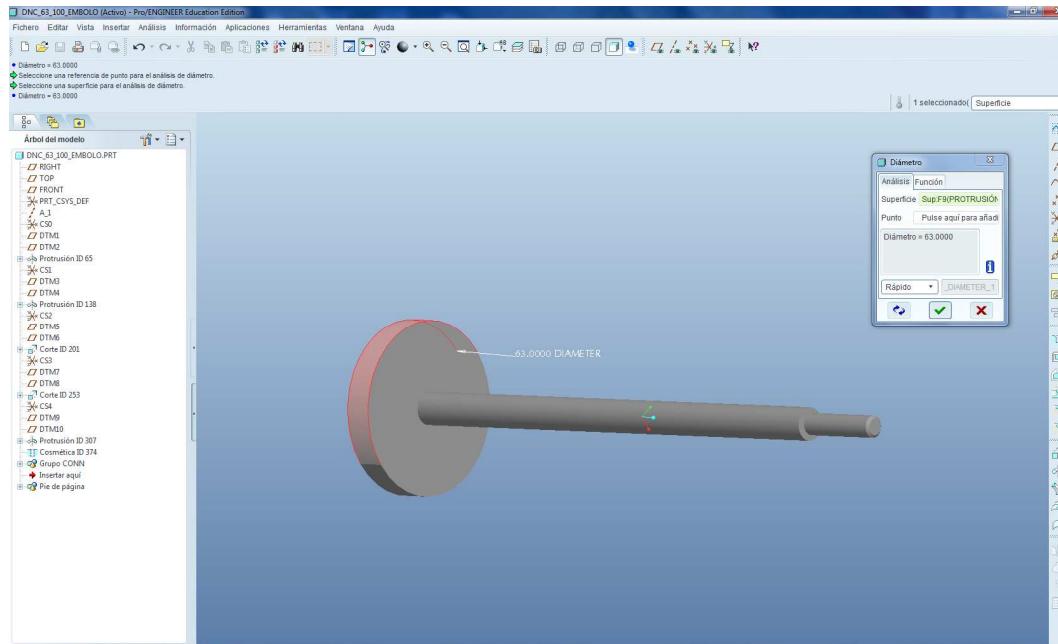
$$L_e = \beta * L = 1.5 * 100 \text{ mm} = 150 \text{ mm}$$

Entrando con estos dos valores vemos que el valor del diámetro del vástago es el menor de todos, 12 mm, debido a la poca fuerza que necesitamos y a la longitud de pandoe tan pequeña.

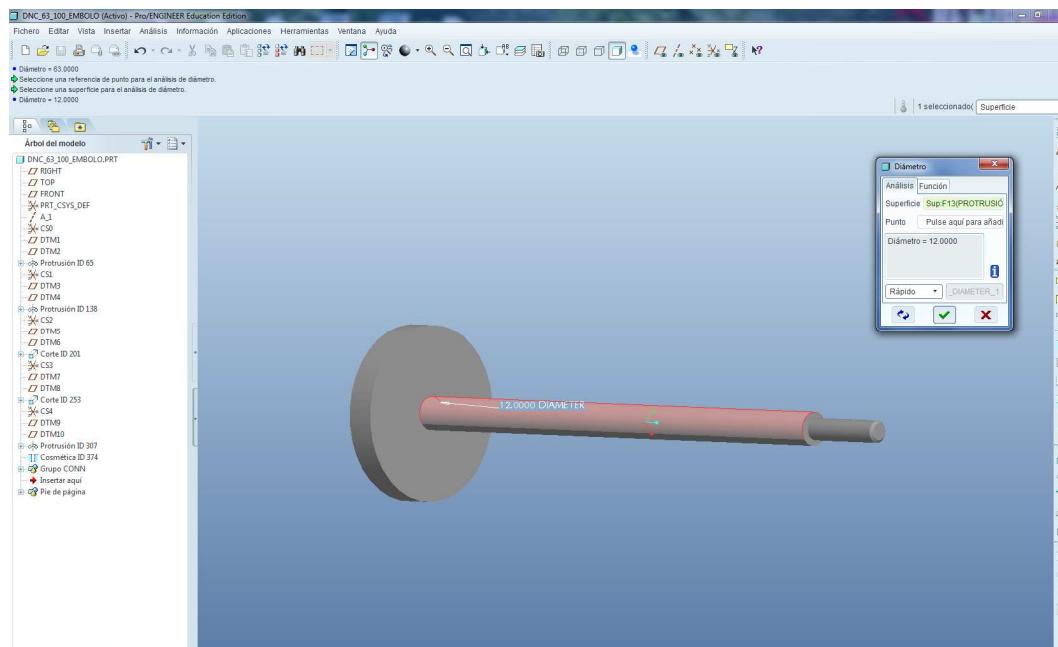
D vástago = 12 mm

Con estos datos ya podemos ir al catálogo de la marca Waircom y seleccionamos un cilindro CPUIM de 6 bar y con 63 mm de diámetro de pistón.

Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



Detalle del diámetro del pistón neumático diseñado en ProEngineer

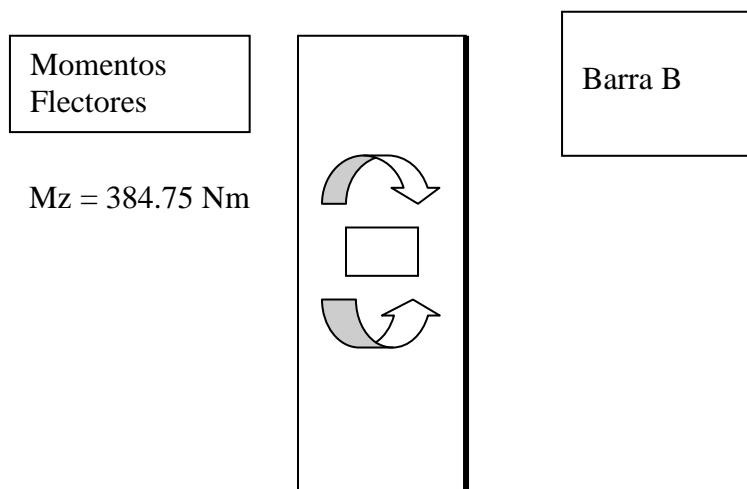
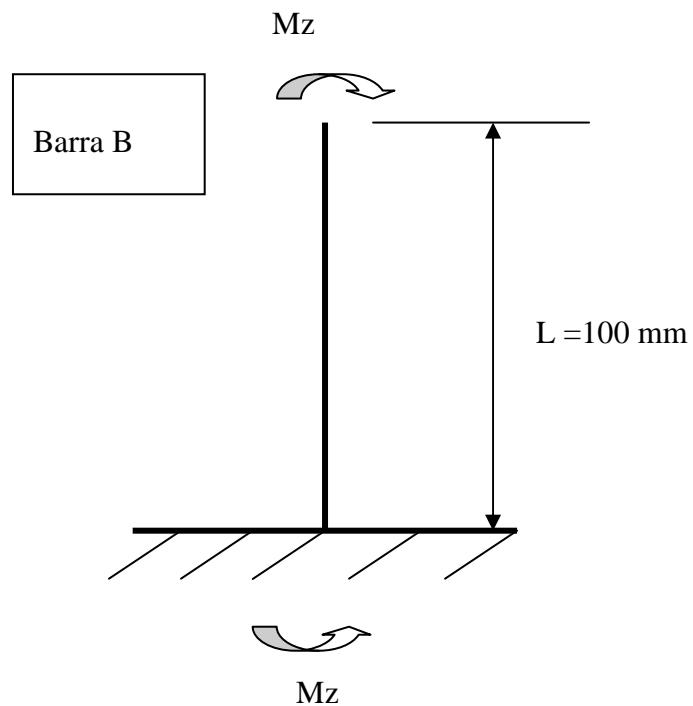


Detalle del diámetro del vástago diseñado en ProEngineer

Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



Ahora calculamos el esfuerzo al que están sometidas las guías debido al momento flector proveniente de la Barra A:

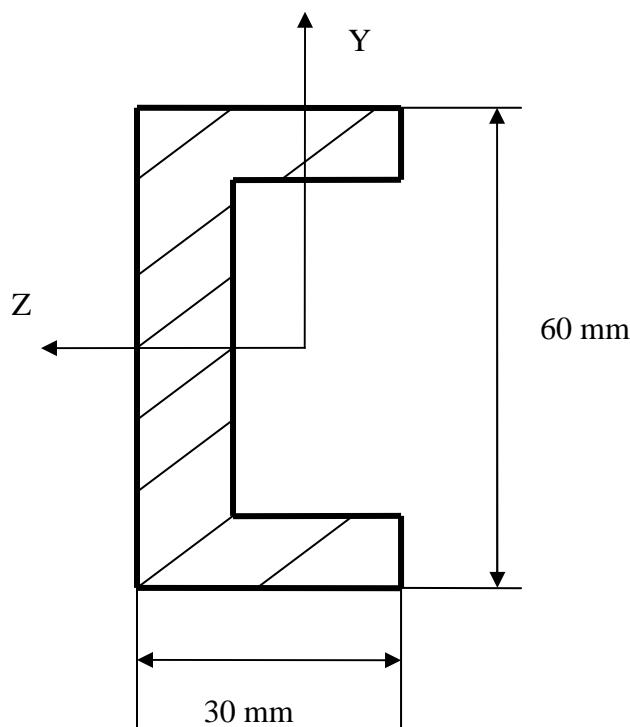


Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



Queremos ver el valor de tensión que tenemos en esta zona de la estructura con los perfiles UPN 60x30 que hemos montado como guías.

Si miramos en el anexo 1 tenemos un $W_z = 10.5 \text{ cm}^3$



$$\sigma_x = \frac{M_z}{W_z} = \frac{384.75 \text{ Nm} * 10^3 \text{ mm/m}}{10.5 \text{ cm}^3 * 10^3 \text{ mm/cm}} = 37 \text{ MPa}$$

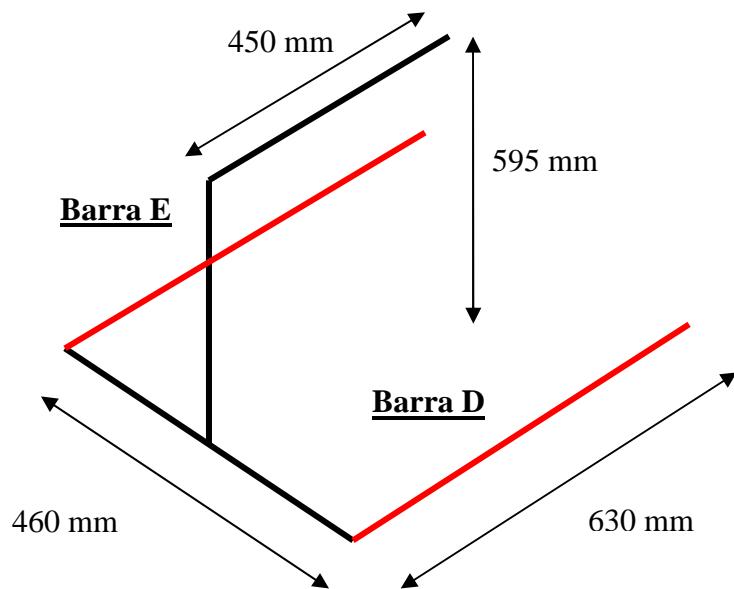
Estos perfiles están fabricados con un Al 6060 con un límite elástico de 190 MPa con lo que:

$$\sigma_t = \frac{\sigma_F}{C_s} \longrightarrow C_s = \frac{190 \text{ MPa}}{37 \text{ MPa}} = 5 > 2 \text{ Que era nuestro requisito inicial}$$

Diseño de un elevador neumático
para su uso en
motocicletas de competición



6.3 Barras D y E

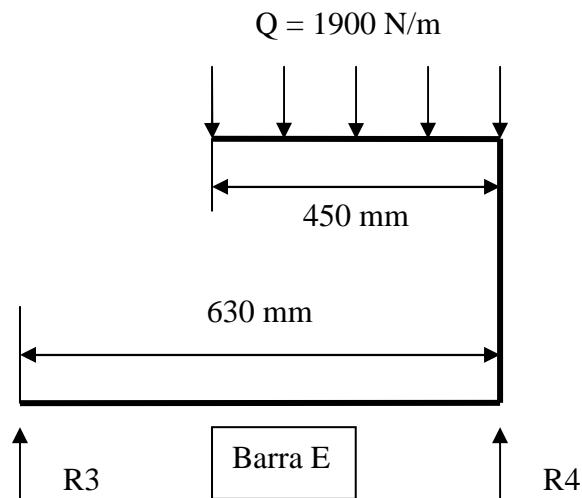


Estas barras junto con la barra C forman la parte inferior de la estructura. Tanto la barra D como la E son iguales y están sometidas a los mismos esfuerzos por lo que estudiaremos sólo una de ellas y el resultado será el mismo para la otra.

Estas 3 barras están fabricadas con Aluminio 6060 de límite elástico 190 MPa y con un perfil de 40 x 40 mm y espesor de pared de 4 mm.

Estudiaremos la mitad de la estructura con lo que nuestras condiciones iniciales serán las siguientes:

Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



Donde R3 y R4 son las reacciones de nuestra estructura global y coincidirán con R2 y R1 respectivamente.

Hacemos los sumatorios de fuerzas y de momentos en nuestra estructura:

$$\Sigma F_v = 0; \quad R3+R4 = 1900 \text{ N/m} * 0.450 \text{ m}$$

$$R3 = 855 N - R4$$

$$\Sigma M_A = 0;$$

$$R3 * 0.630 \text{ m} = 855 \text{ N} * 0.225 \text{ m}$$

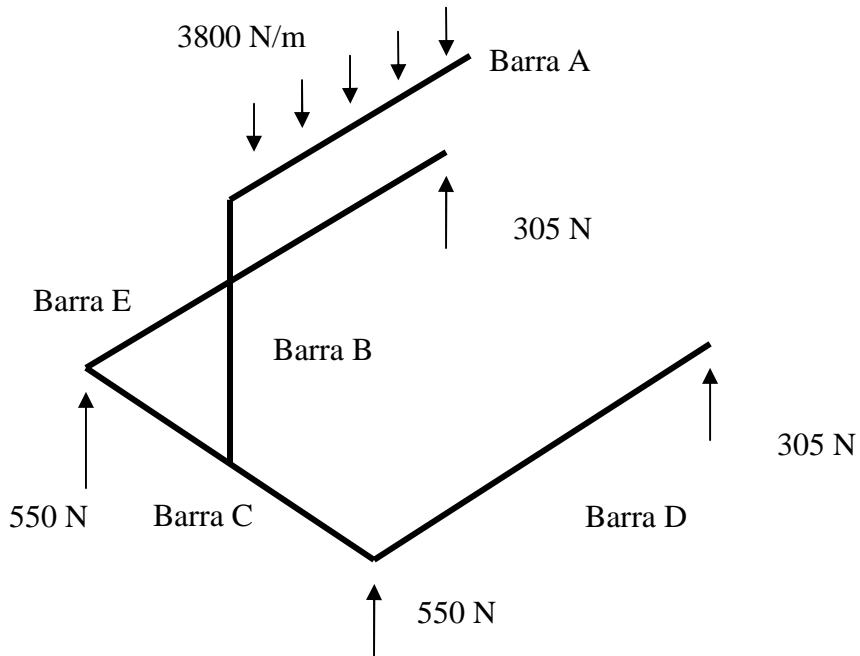
Obtenemos R3:

$$R3 = 305 \text{ N} = R2$$

Del sumatorio de Fuerzas verticales obtenemos R4:

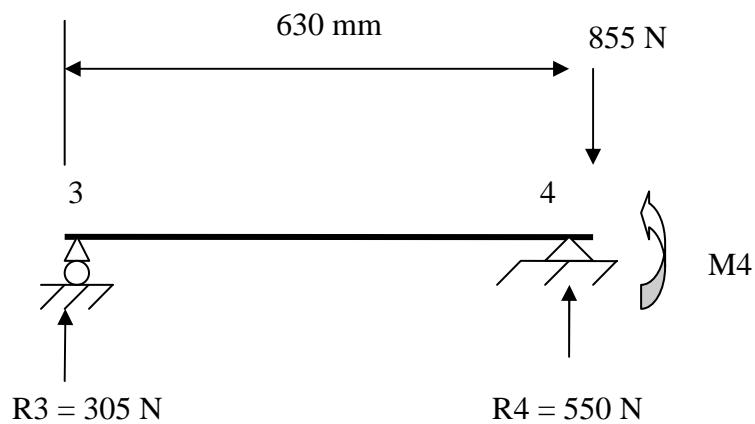
$$\mathbf{R4} = 550 \text{ N} = \mathbf{R1}$$

Diseño de un elevador neumático
para su uso en
motocicletas de competición



Valor de las reacciones en la estructura global

Analizamos únicamente la barra E:



Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición

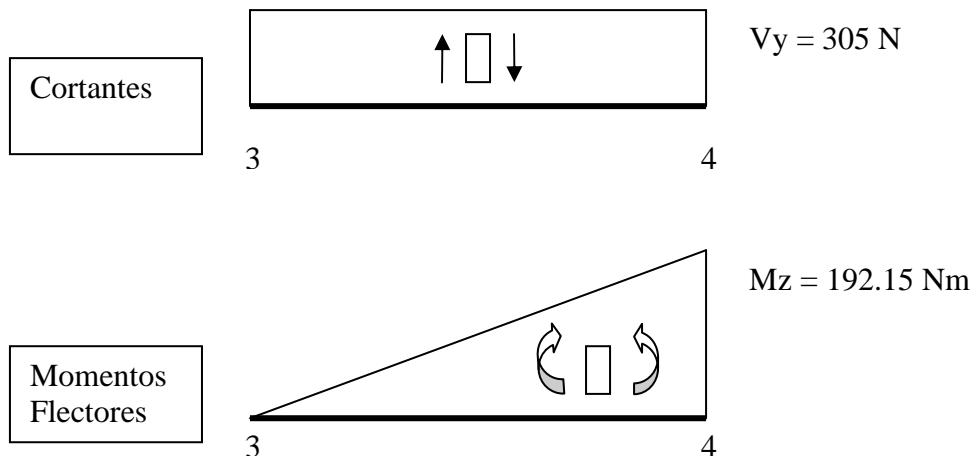


Siendo M4 el momento torsor proveniente de la barra C que se nos transformará en un momento flector en la barra E.

$$\Sigma M_4 = 0; \quad 305 \text{ N} * (630 \text{ mm}) = M4$$

$$M4 = 192150 \text{ Nmm}$$

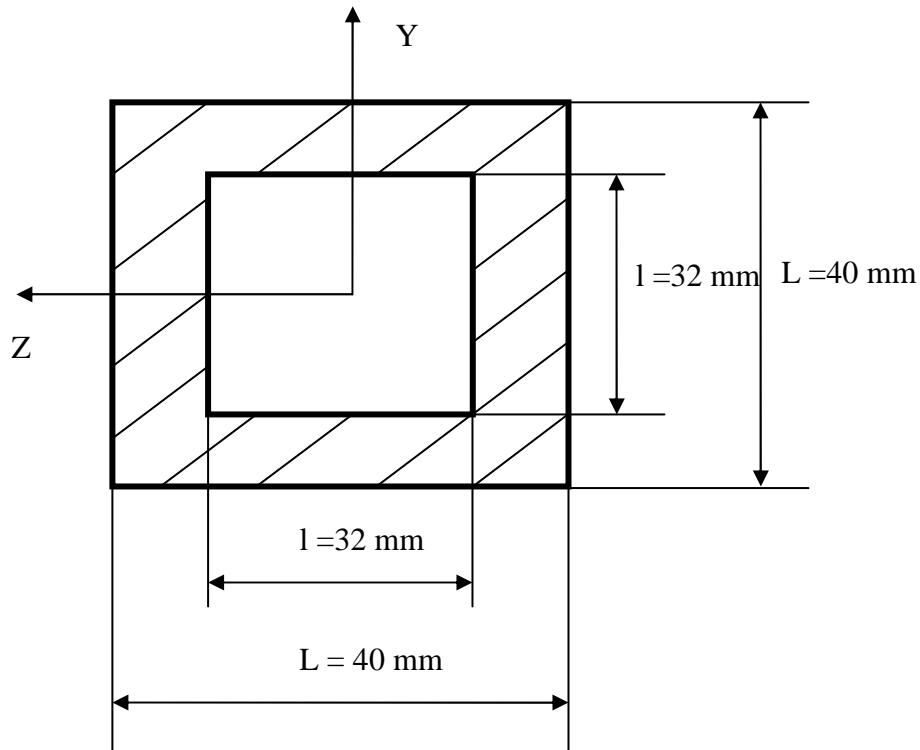
Dibujamos nuestros diagramas de cortantes y flectores:



Vemos que el punto donde el flector es máximo es en el punto 4 y este tiene un valor de **192.15 Nm**.

Teniendo en cuenta el perfil de nuestra barra, calculamos las tensiones correspondientes:

Diseño de un elevador neumático
para su uso en
motocicletas de competición



$$\sigma_x = \frac{M_z}{I_z} y_{\max} = \frac{M_z Nmm}{\frac{1}{12} (L^4 - l^4) mm^4} \frac{L}{2} mm = \frac{192150 Nmm}{\frac{1}{12} (40^4 - 32^4) mm^4} \frac{40}{2} mm = 30.51 \text{ MPa}$$

El material del que están fabricadas las barras es un Aluminio 6060 con límite elástico 190 MPa con lo que:

$$\sigma_t = \frac{\sigma_F}{C_s} \quad \text{Despejando el } C_s : \quad C_s = \frac{190 Mpa}{30.5 Mpa} = 6.23 > 2$$

Con lo que cumplimos sobradamente con nuestra condición inicial.

Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición

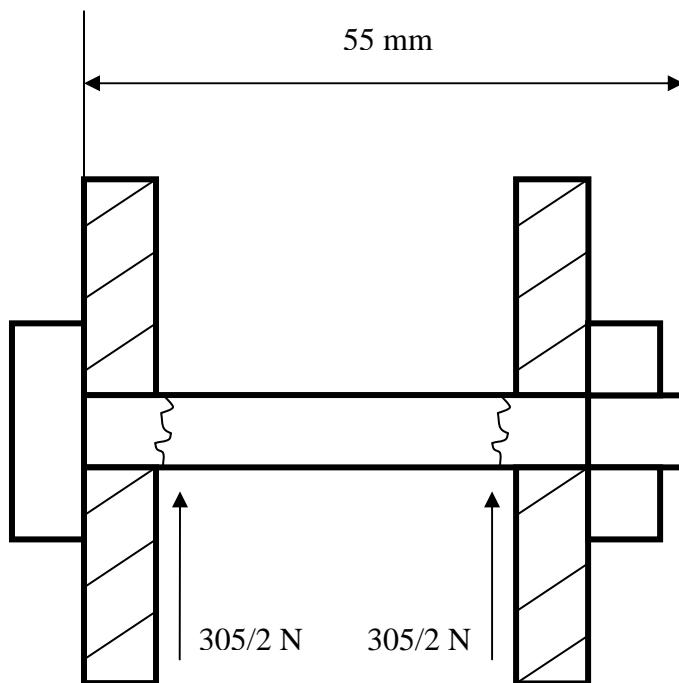


6.3.1 Tornillos de sujeción de las ruedas

En estas barras encontramos las ruedas que facilitan el movimiento del elevador.

Estas ruedas están sujetas mediante un tornillo M10 x 55mm cada una.

Vamos a ver la solicitud de este tornillo.



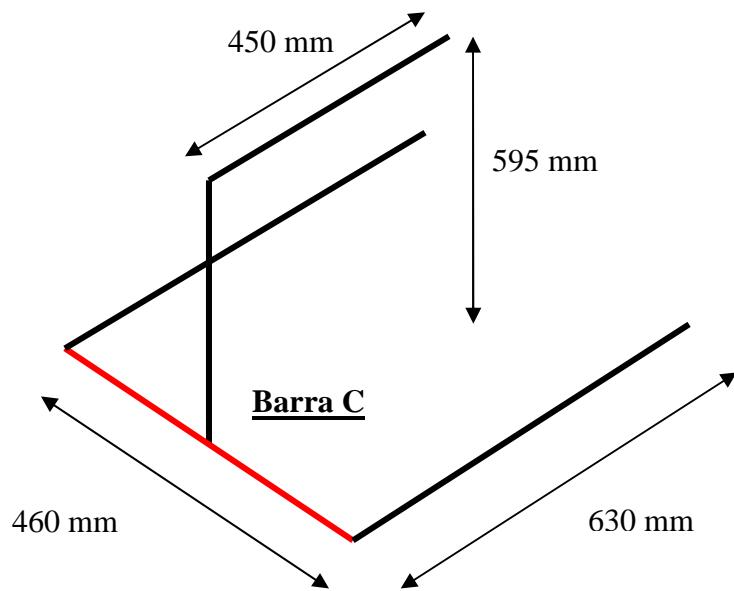
Podemos ver que tenemos un caso de cortadura doble. Con lo cual tenemos que:

$$\tau = \frac{F}{2} = \frac{152.5N}{\pi * 5^2 \text{ mm}^2} = 1.94 \text{ MPa}$$

Con lo que podemos concluir que nuevamente la tensión que soporta el tornillo es muy pequeña y que podemos poner un tornillo de acero de bajo límite elástico sin que nos cause problemas.



6.4 Barra C



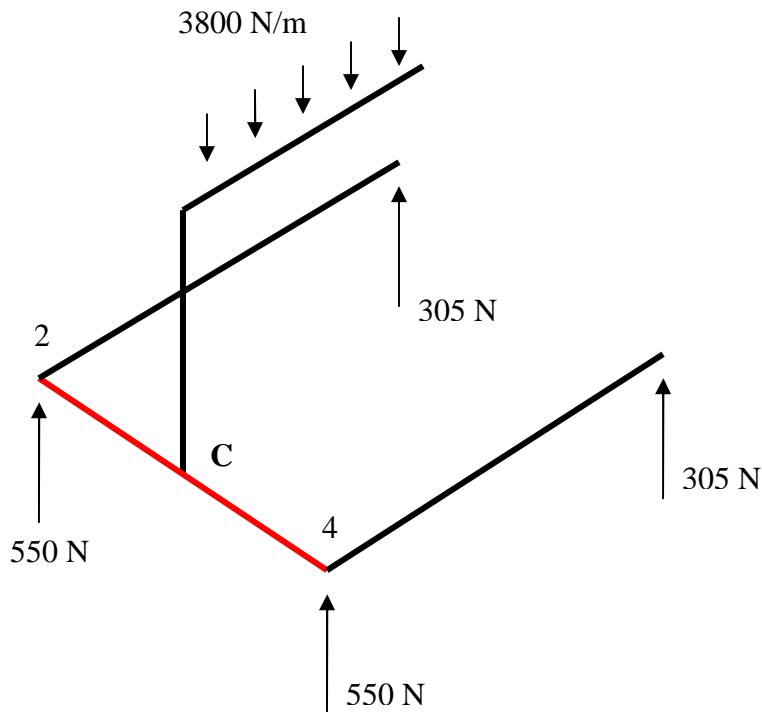
En esta barra irá apoyado el cilindro neumático. Por la posición de la carga respecto a esta barra tendremos:

- Un momento flector debido a los apoyos de la barra con el suelo
- Un momento torsor proveniente del momento flector de la barra B.

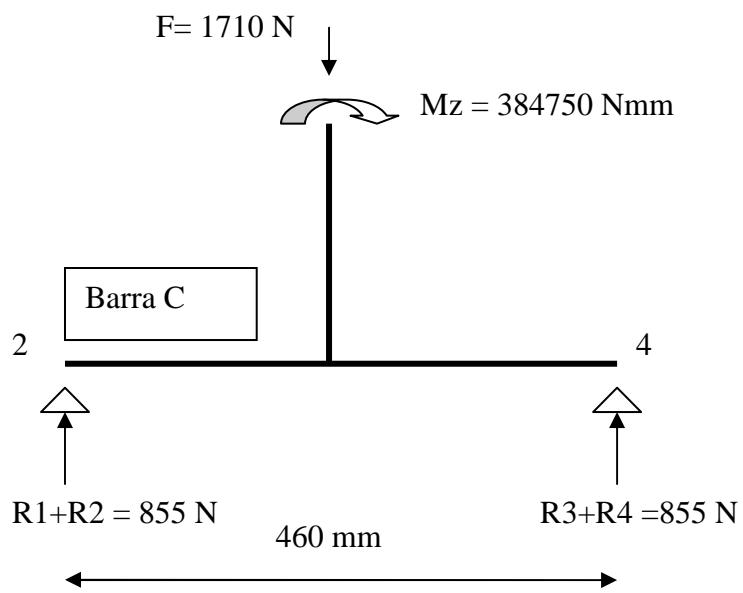
Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



Nuestras condiciones iniciales de estudio serán estas:



Analizaremos la barra C transmitiéndole todas las cargas que le llegan:

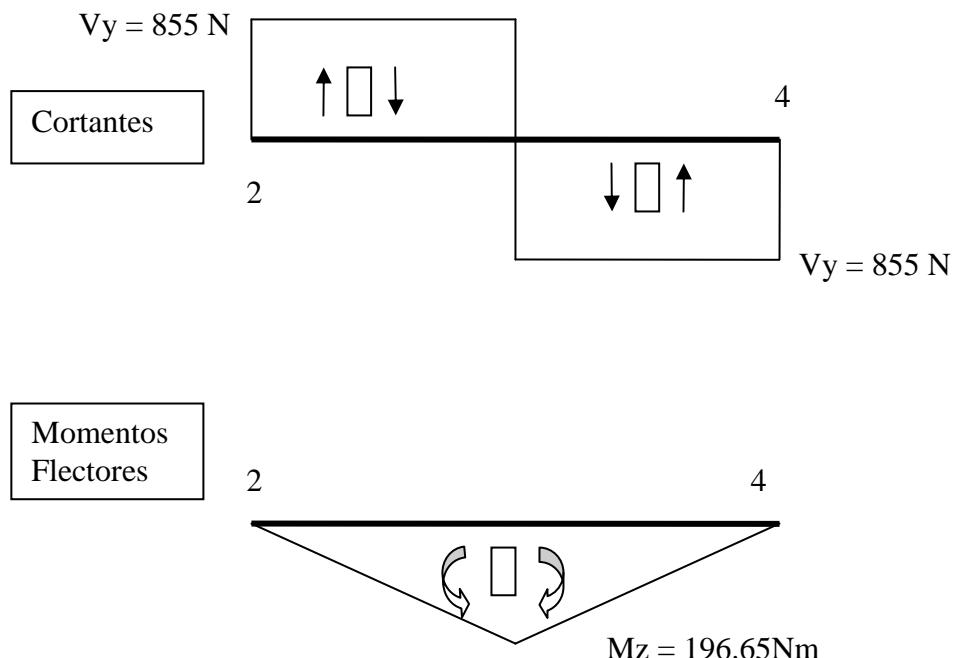


Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



Idealizaremos el apoyo 4 y el apoyo 2 suponiendo que permiten transmitir el momento torsor de la barra C transformándolo en un momento flector en las barras D y E, pero no permiten transmitir el momento flector de la barra C que se transformaría en un momento torsor en las barras D y E. Esto nos facilitará los cálculos analíticos.

Dibujamos nuestros diagramas de esfuerzos:

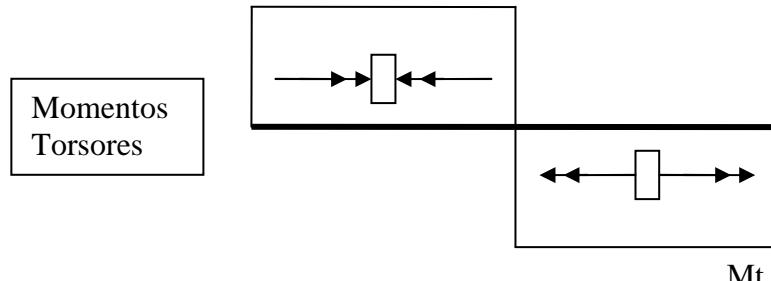


El momento flector que nos llega de la barra B se nos transforma en un momento torsor en la barra C, que se nos contrarrestará en los extremos con los momentos torsores provenientes de las barras D y E.

Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición

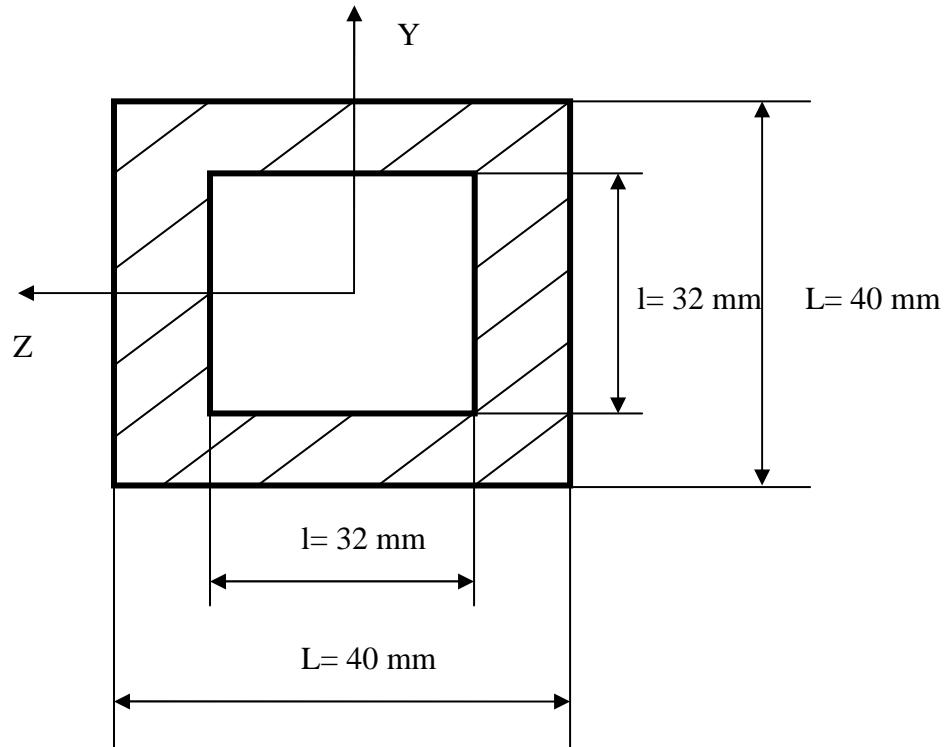


$$Mt = 192.15 \text{ Nm}$$



$$Mt = 192.15 \text{ Nm}$$

Teniendo en cuenta el perfil de nuestra barra calculamos las tensiones que tenemos en nuestra barra en el punto de máximo momento flector.



Diseño de un elevador neumático
para su uso en
motocicletas de competición



Calculamos la tensión que produce el **momento flector**:

$$\sigma_x = \frac{M_z}{I_z} \text{ y } y_{\max} = \frac{M_z Nmm}{\frac{1}{12} (L^4 - l^4) mm^4} \frac{L}{2} mm = \frac{196650 Nmm}{\frac{1}{12} (40^4 - 32^4) mm^4} \frac{40}{2} mm = 31.23 \text{ MPa}$$

Ahora calculamos la tensión que nos produce el **momento torsor**:

$$\tau_{xy} = \frac{M_x}{W_0} = \frac{192150 Nmm}{\left(\frac{40^3 - 32^3}{6} \right) mm^3} = 37 \text{ MPa}$$

Calculamos las tensiones equivalentes según la **combinación de acciones** que tenemos:

$$\sigma_{1,3} = \frac{\sigma_x}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2} \right)^2 + \tau_{xy}^2} = \frac{31.23}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{31.23}{2} \right)^2 + 37^2}$$

De aquí sacamos las **tensiones principales**:

$$\sigma_1 = 55.76 \text{ MPa}$$

$$\sigma_3 = -24.55 \text{ MPa}$$

Aplicamos la Teoría de Von Mises:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\frac{\sigma_1^2 + \sigma_3^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} = \sqrt{\frac{55.76^2 + (-24.55)^2 + (-24.55 - 55.76)^2}{2}}$$

Obtenemos una tensión equivalente de **71.3 MPa**

Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



$$\sigma_t = \frac{\sigma_F}{C_s} \quad \text{Despejando el } C_s : \quad C_s = \frac{190 \text{ MPa}}{71.3 \text{ MPa}} = 2.7$$

Con lo que es **suficiente** para cumplir nuestras condiciones iniciales

6.4.1 Tornillos de sujeción del cilindro

En esta barra es en donde se apoya el cilindro, y este va sujeto mediante 4 tornillos M8 x 30 mm. Vamos a proceder a ver las tensiones que aparecen en estos tornillos.

Por la forma en la que están dispuestos en la estructura, estos tornillos están sometidos únicamente a tracción y a compresión.

Es por esto que como en el apartado 6.1.2, los tornillos pueden fallar por 3 motivos:

- a) Por tracción
- b) Por aplastamiento de la cabeza del tornillo
- c) Por cortadura de la cabeza del tornillo

Vamos a estudiar cada uno de los casos.

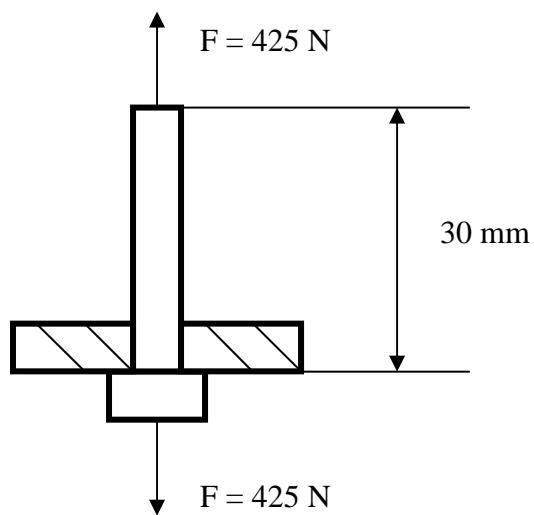
Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



Como tenemos 4 tornillos en total la fuerza en cada tornillo será la siguiente:

$$F_{\text{tornillo}} = \frac{F_{\text{total}}}{4} = 1710 \text{ N} / 4 = 425 \text{ N}$$

a) Tracción



$$\sigma_T = \frac{F}{A}$$

$$A_{\text{tornillo}} = \frac{\pi * D^2}{4} = \frac{\pi * 4^2}{4} = 50.26 \text{ mm}^2$$

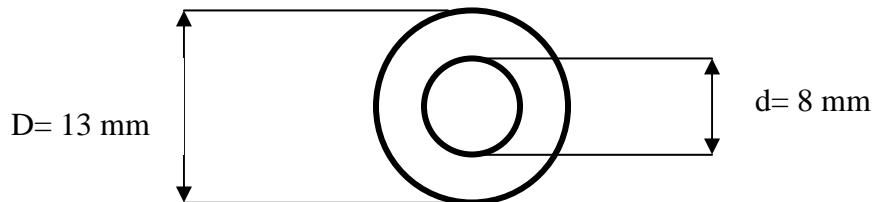
Luego:

$$\sigma_T = \frac{425N}{50.26mm^2} = 8.45 \text{ MPa}$$

Diseño de un elevador neumático
para su uso en
motocicletas de competición



b) Aplastamiento de la cabeza del tornillo



Tenemos:

$$\sigma_{aplast} = \frac{F}{A_2}$$

$$A \text{ tornillo} = \frac{\pi * (D^2 - d^2)}{4} = \frac{\pi * (13^2 - 8^2)}{4} = 82.47 \text{ mm}^2$$

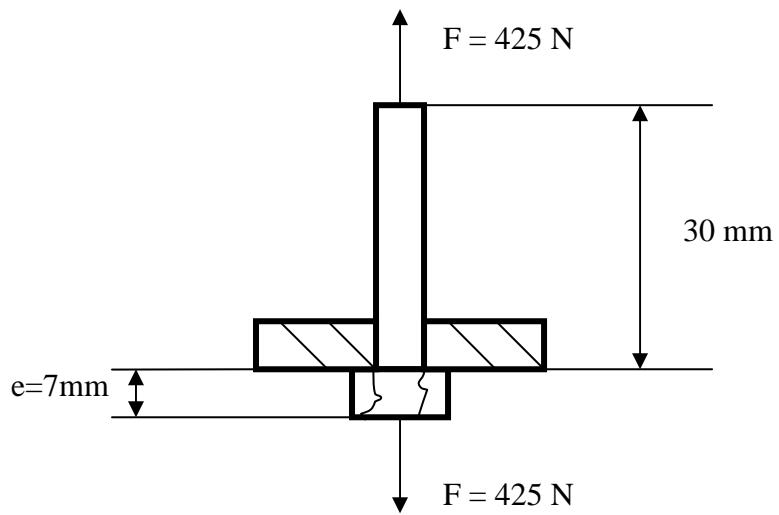
Con lo que nos queda:

$$\sigma_{aplast} = \frac{425N}{82.47mm^2} = \mathbf{5.15 \text{ MPa}}$$

Diseño de un elevador neumático
para su uso en
motocicletas de competición



b) Cortadura de la cabeza del tornillo



Igual que antes:

$$\tau = \frac{F}{A_3}$$

Siendo $A_3 = \pi * d * e = \pi * 8 \text{ mm} * 7 \text{ mm} = 176 \text{ mm}^2$

Luego nos queda una tensión:

$$\tau = \frac{425N}{176mm^2} = 2.42 \text{ MPa}$$

Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



Podemos observar que, como ocurría en los casos anteriores, los tornillos están sometidos a muy poco esfuerzo debido a que la carga a la que están solicitados es muy pequeña.

Nuevamente **el caso más desfavorable es el de tracción** y para su construcción bastará con utilizar un acero de bajo límite elástico.



7. Análisis con la herramienta ProMechanica

Seguidamente de los cálculos analíticos procederemos a analizar las tensiones en nuestra máquina, con la herramienta de ProEngineer para resistencia de materiales y cálculos con elementos finitos llamada ProMechanica, para poder establecer una comparativa entre ambos resultados.

Una ventaja de utilizar ProMechanica es que podemos simular mucho mejor las condiciones reales de apoyo que son las que nos dificultan el cálculo analítico.

Hemos sometido a estudio cada una de las barras de la estructura por separado, la estructura entera con diferentes variantes y diferentes piezas de la estructura que por su complejidad resultaría muy difícil calcularlas analíticamente. En cada subapartado siguiente se explican las condiciones de estudio para cada pieza y se explican los resultados obtenidos.

7.1 Análisis de la Barra A

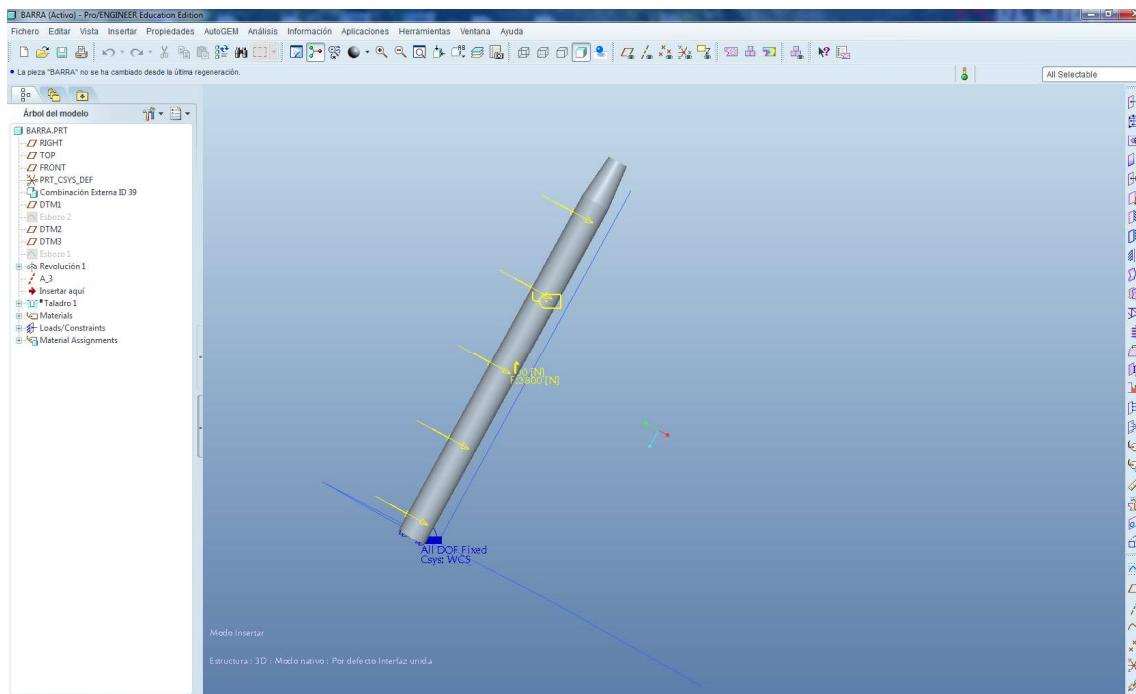
Como hemos mencionado anteriormente, esta barra de sección circular es la que se tiene que introducir en el alojamiento de la motocicleta y soportar todo el peso de esta. Como su solicitud es muy grande se ha optado por un acero E450 para su construcción.

Esta pieza la hemos diseñado con un diámetro externo de 32 mm y un diámetro interno de 24 mm gracias a los cálculos analíticos efectuados anteriormente.

Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



Vamos a ver cuales son las condiciones de estudio de esta pieza:



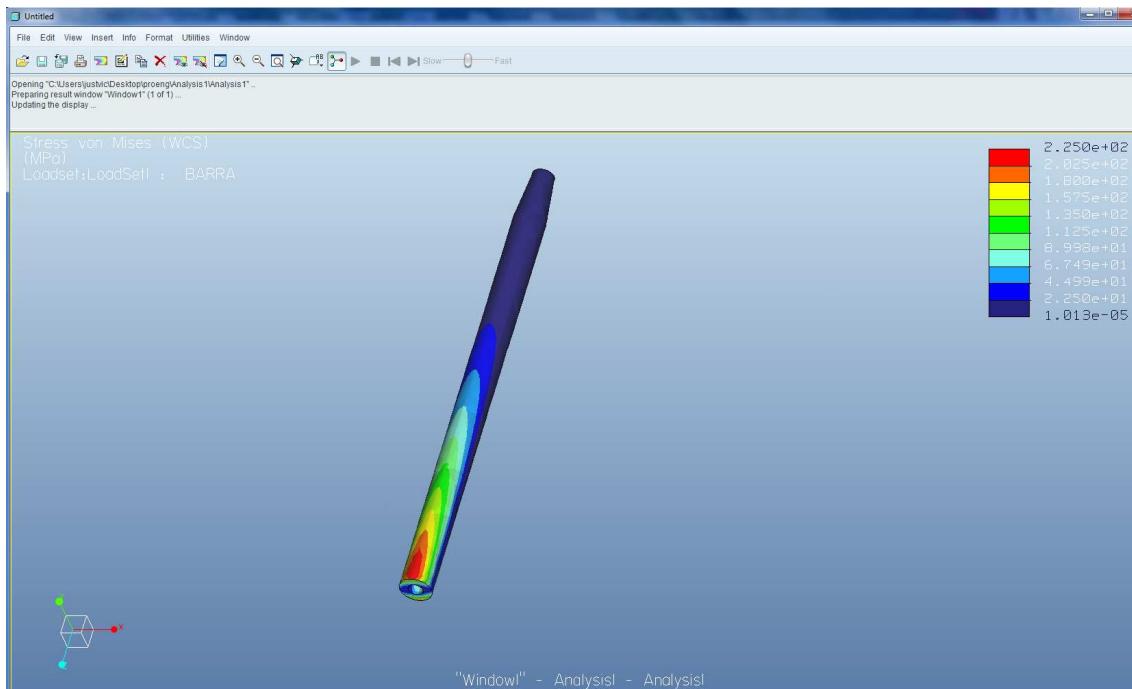
Condiciones de estudio de la barra A

Como podemos observar, el estudio se puede simplificar como si fuera una barra con una carga distribuida en voladizo. Así lo hemos hecho y en la foto podemos ver el apoyo fijo en un extremo de la barra impidiendo su movimiento en cualquiera de los ejes de coordenadas, la asignación de material mediante la tarjeta puesta en la barra y la carga distribuida de valor 3800 N/m que se corresponde con el peso de la moto de una carga de 1700 N aplicados en los 450 mm de longitud de la barra.

Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



Ahora vamos a ver las tensiones en la barra:



Tensiones en la barra A

Como podemos observar, la mayor concentración de tensiones se produce en la zona del apoyo fijo.

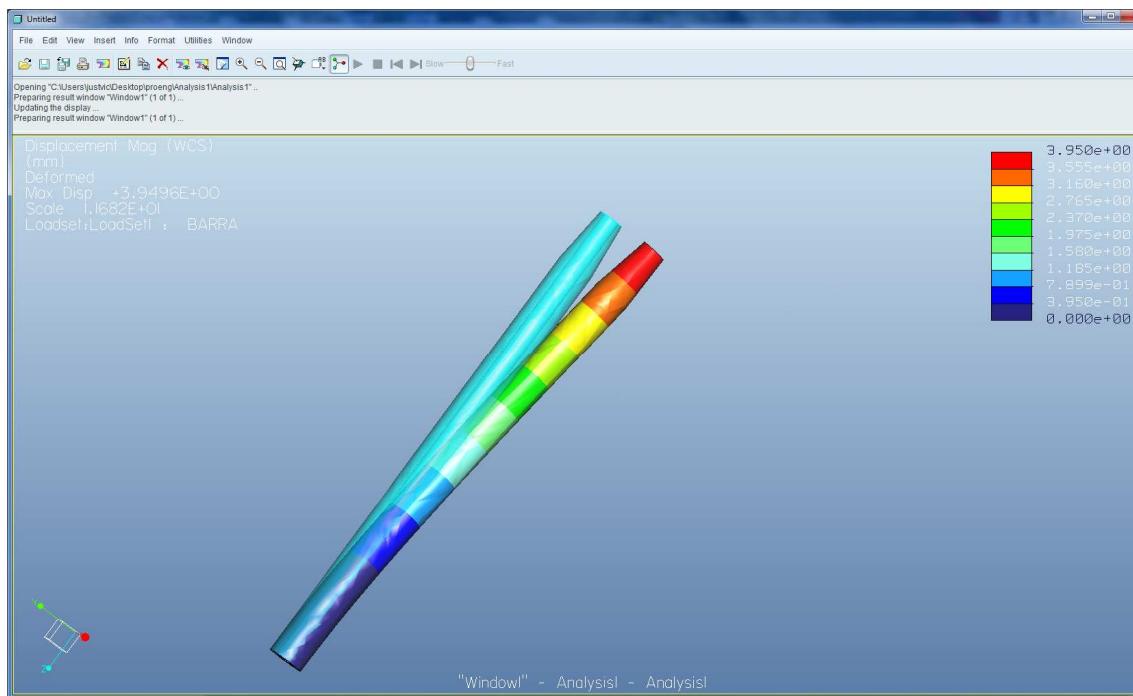
El valor máximo que alcanzan estas tensiones es de **225 MPa** y como hemos escogido un acero E450, nuestro **coeficiente de seguridad en esta pieza es de 2**, que es justo el requisito que hemos puesto anteriormente para diseñar la pieza.

Esto será suficiente para garantizarnos que esta pieza no va a trabajar en la zona de deformaciones permanentes del material.

Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



Ahora vamos a ver los desplazamientos en esta pieza:



Desplazamientos en la barra A

Podemos ver, como es lógico en estos casos, que el mayor desplazamiento en la barra se da en la parte del voladizo y este tiene un valor máximo de **3.95 mm**.

También, y gracias a una función de ProMechanica, vemos la deformada de la barra respecto a su posición original.

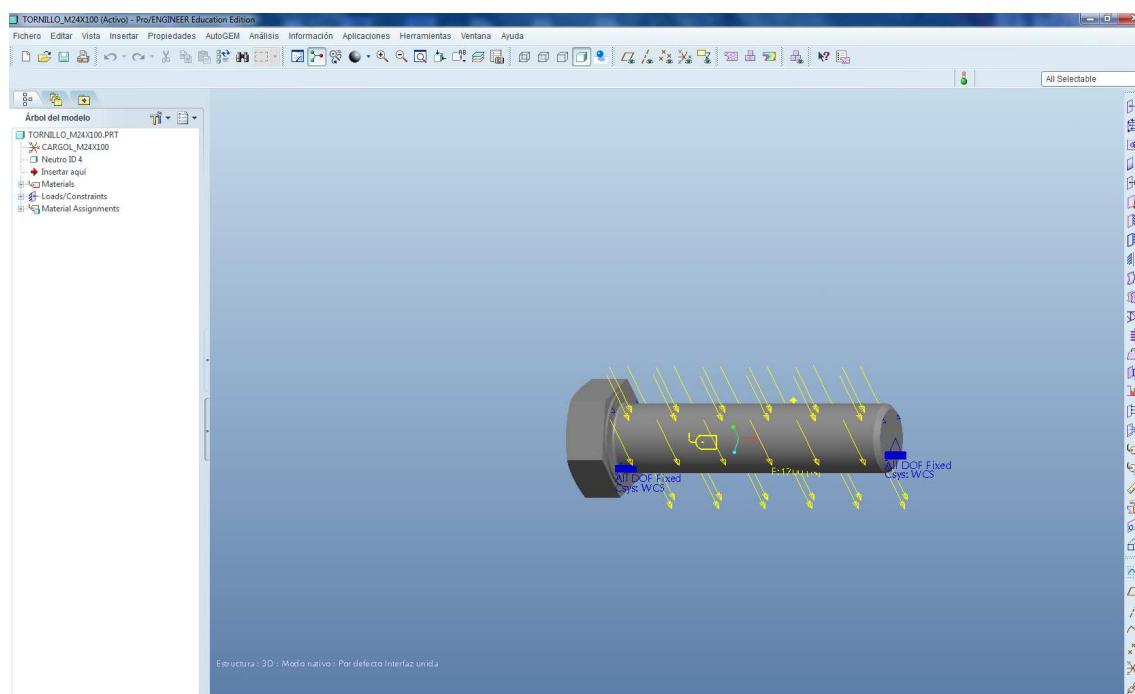
Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



7.2 Análisis del tornillo de sujeción de la barra A

Seguidamente estudiaremos el tornillo que sujeta la barra A con el soporte diseñado para aguantar a esta barra.

Como antes, vemos las condiciones de estudio de esta pieza:



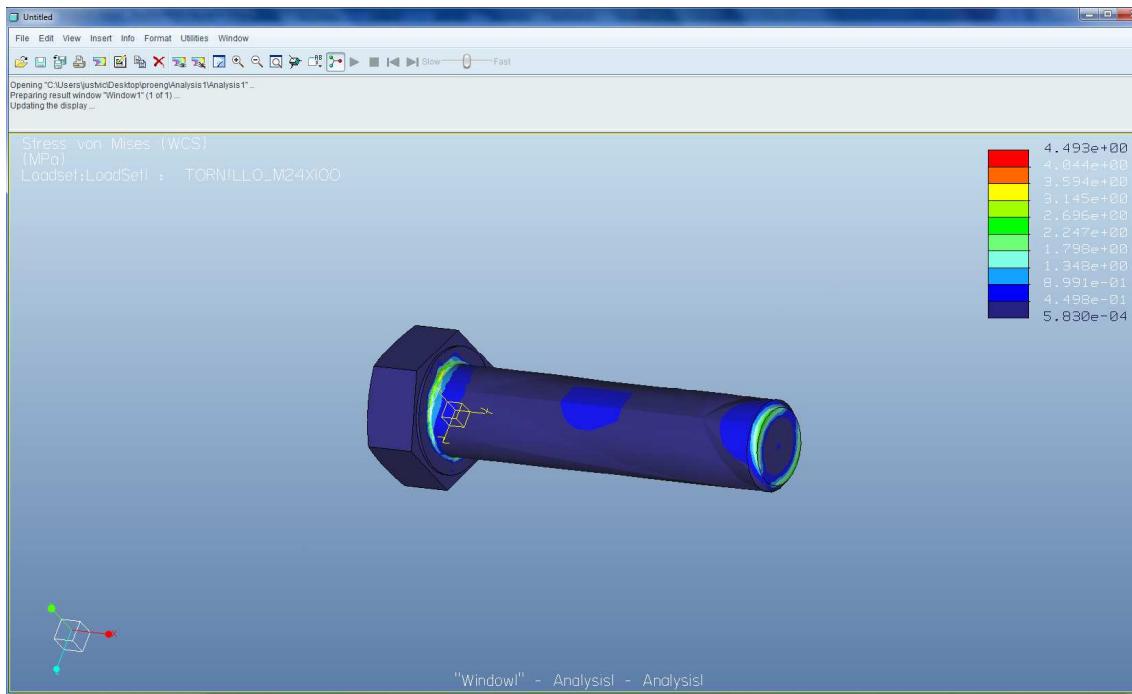
Condiciones de estudio del tornillo M24 x 100mm

Hemos supuesto la carga de 1700 N, que es el valor de la reacción del cortante en el voladizo, repartida por toda la superficie del tornillo, los extremos del tornillo totalmente restringidos en sus movimientos y acero como material para el estudio.

Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



Con estas condiciones hemos obtenido estos resultados:



Tensiones del tornillo M24 x 100mm

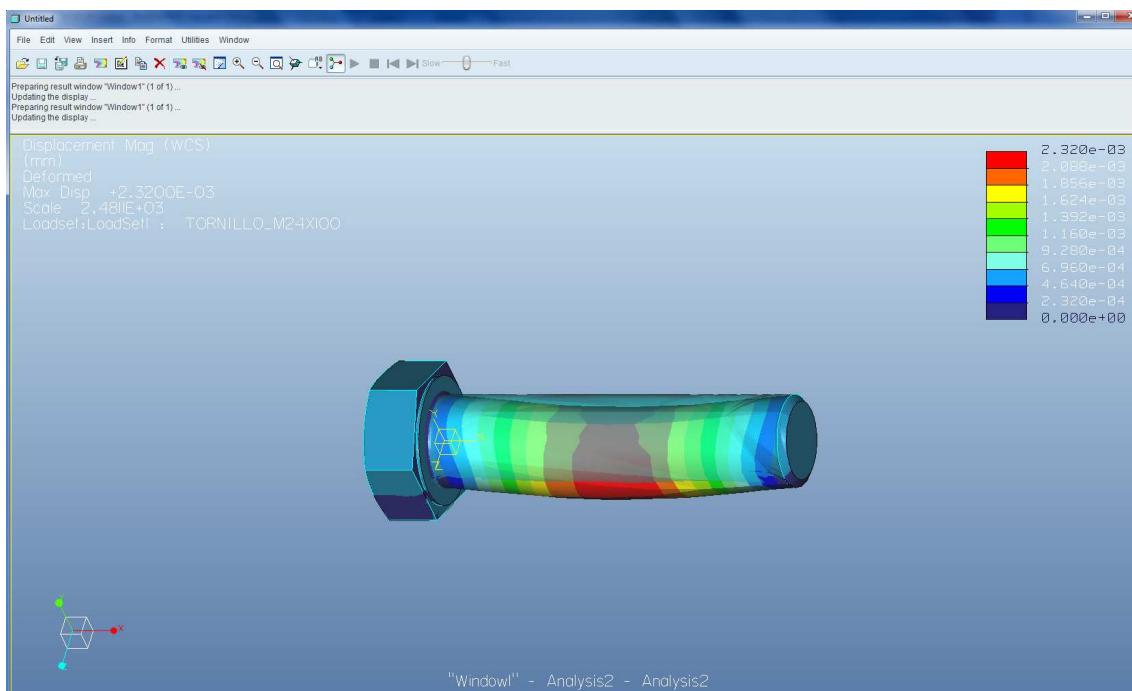
Los resultados obtenidos con ProMechanica son muy parecidos a los resultados obtenidos mediante el cálculo analítico (**4.49 MPa** en ProMechanica frente a **3.75 MPa** obtenidos analíticamente). Esta diferencia se debe al efecto de la flexión que en el caso del cálculo analítico no se ha tenido en cuenta y se ha considerado cortadura pura.

También aquí podemos ver que la solicitud de esfuerzos en este tornillo es muy pequeña.

Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



También nos podemos hacer a la idea del poco esfuerzo que se le solicita al tornillo viendo los desplazamientos:



Desplazamientos del tornillo M24 x 100 mm

Como era de suponer el mayor desplazamiento se va a dar en la mitad del tornillo y este valor es de **0.00232 mm**.

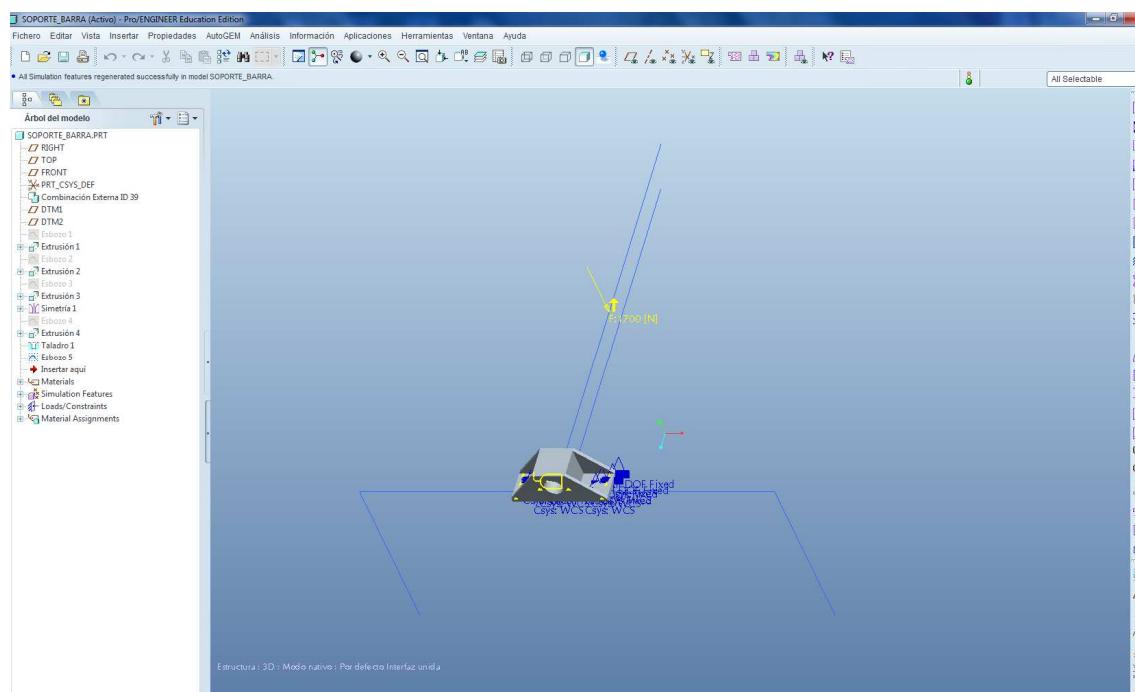
Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



7.3 Análisis del soporte de la barra A

En este subapartado llevaremos a cabo el estudio de esta pieza que sirve para unir la barra A con la corredera que es movida por el cilindro neumático.

Veamos las condiciones de estudio:



Condiciones de estudio del soporte de la barra A

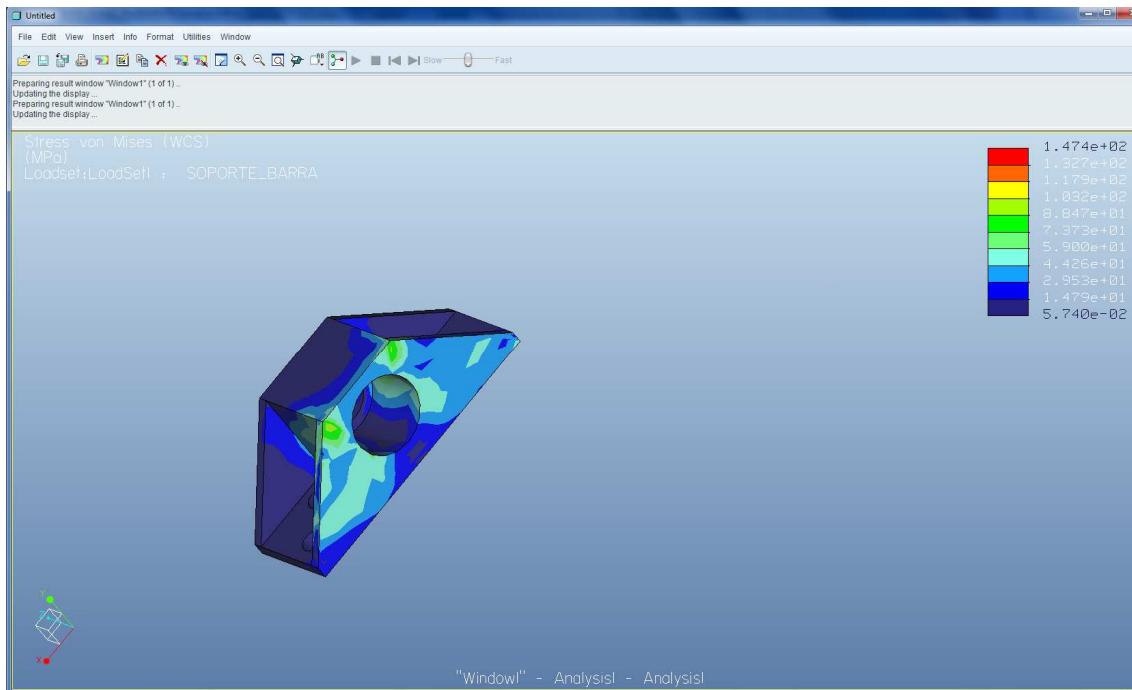
Para sujetar esta pieza hemos decidido hacer que las 4 superficies que alojan los tornillos estén fijadas totalmente, impidiendo tanto cualquier movimiento como cualquier giro de la pieza.

También hemos asignado el material a esta pieza, siendo el escogido nuevamente un acero E450 debido a la alta solicitud de carga de esta pieza.

Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



Podemos ver que el estudio lo realizamos situando la carga puntual de 1700 N a una distancia equivalente a la mitad de la longitud de la barra (225mm), para ver el efecto que esta fuerza provoca sobre nuestra pieza. Esta opción en ProMechanica se llama “Total load at Point” y es muy útil para ver el efecto que crea una carga desplazada respecto de la pieza a estudiar.



Tensiones en el soporte de la barra A

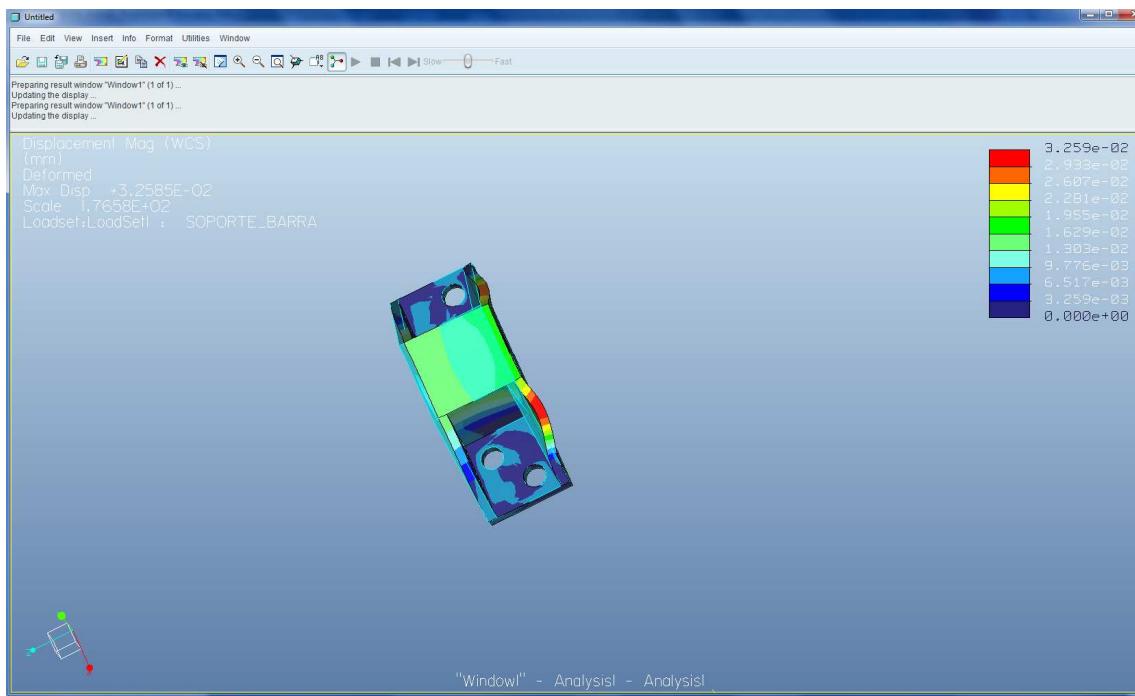
En esta foto vemos la distribución de tensiones en la pieza, siendo el mayor valor de **147 MPa** localizado en los soportes de los tornillos que unen esta pieza con la corredera.

Como hemos utilizado para su construcción un acero E450, podemos deducir que tenemos un **coeficiente de seguridad de 3**, algo más que suficiente para satisfacer nuestras condiciones iniciales.

Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



Procedemos a ver los desplazamientos:



Desplazamientos del soporte de la barra A

En la foto vemos que el mayor desplazamiento de **0.0325 mm** se da en los nervios de la pieza que están más próximos a la barra A. Este desplazamiento es muy pequeño y no nos va a causar ningún tipo de problema.

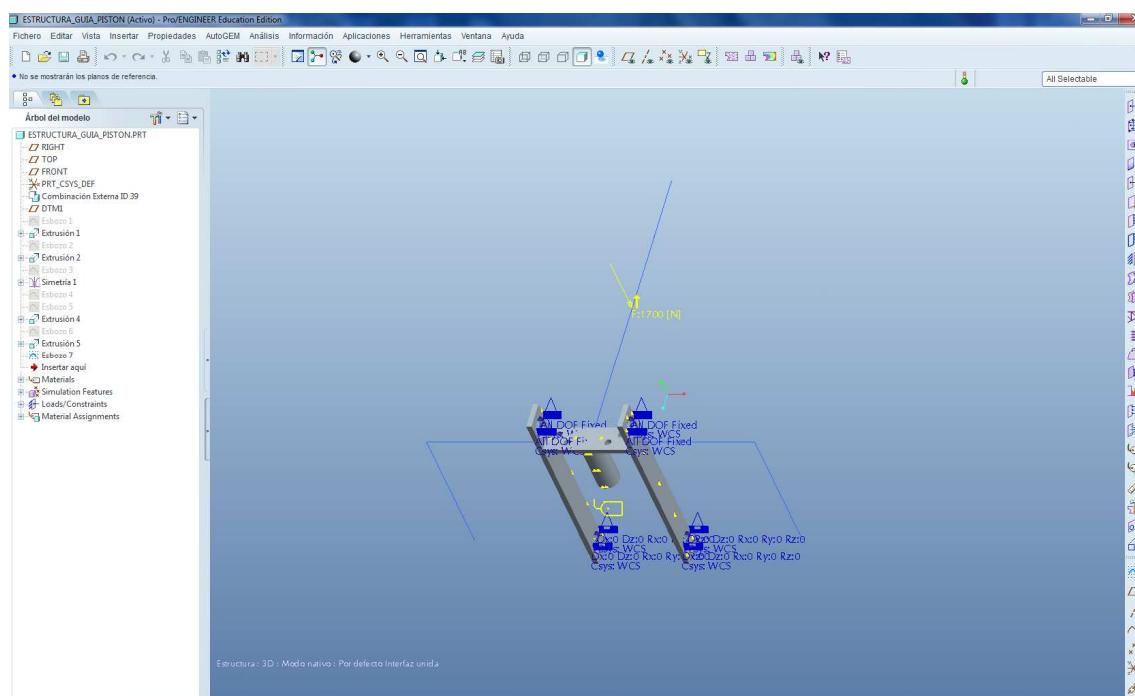
Nuevamente en la foto vemos la pieza original y la pieza deformada.

Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



7.4 Análisis de la corredera o pieza en forma de H

Esta pieza es la que se va a desplazar por dentro de las guías y es la que va a soportar la fuerza del cilindro neumático por un lado y la fuerza debida al peso de la motocicleta transmitida a través del soporte de la barra A por el otro.



Condiciones de estudio de la corredera

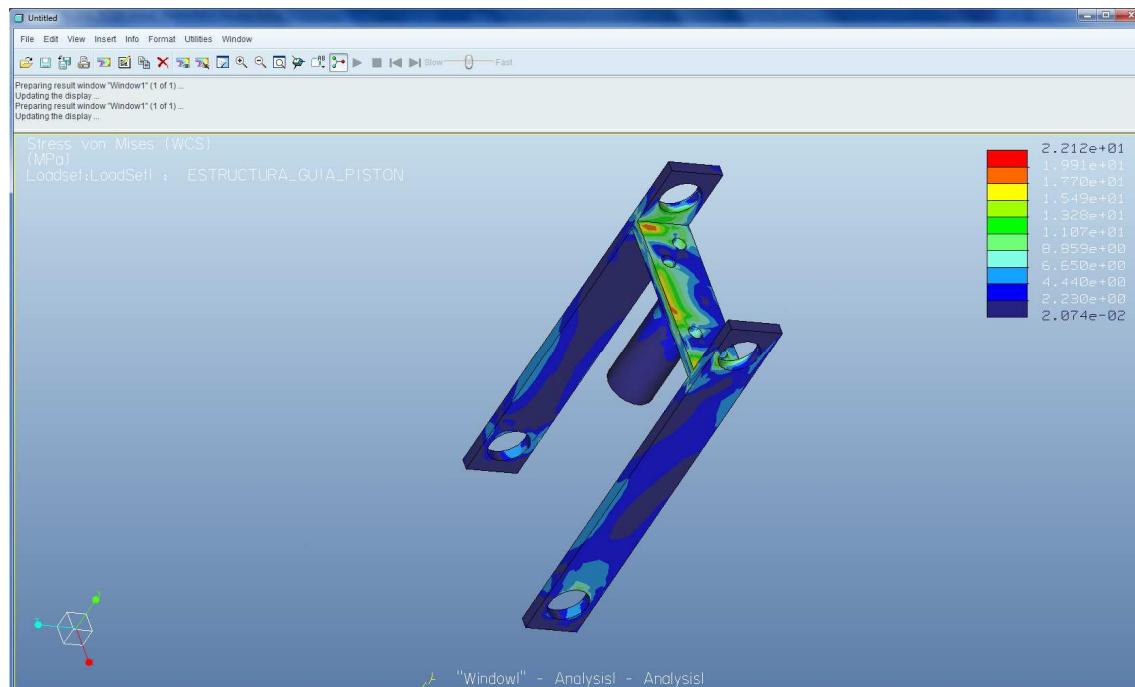
Para su estudio, esta pieza la hemos fijado en las 4 superficies que alojarán a los rodamientos.

Esta pieza la fabricaremos en acero E90 (un acero de bajo límite elástico), en vez de en aluminio, ya que contiene numerosas partes soldadas. Esto es debido a la mayor complejidad de soldar el aluminio frente al acero.

Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



Esta pieza está formada por las 2 pletinas laterales y la pletina central que tienen que ir soldadas, además de por el tubo soldado a esta pletina central que es donde actúa el vástago del cilindro neumático. También cuenta con 4 soldaduras adicionales provenientes de los soportes que alojan a los rodamientos.



Tensiones en la corredera

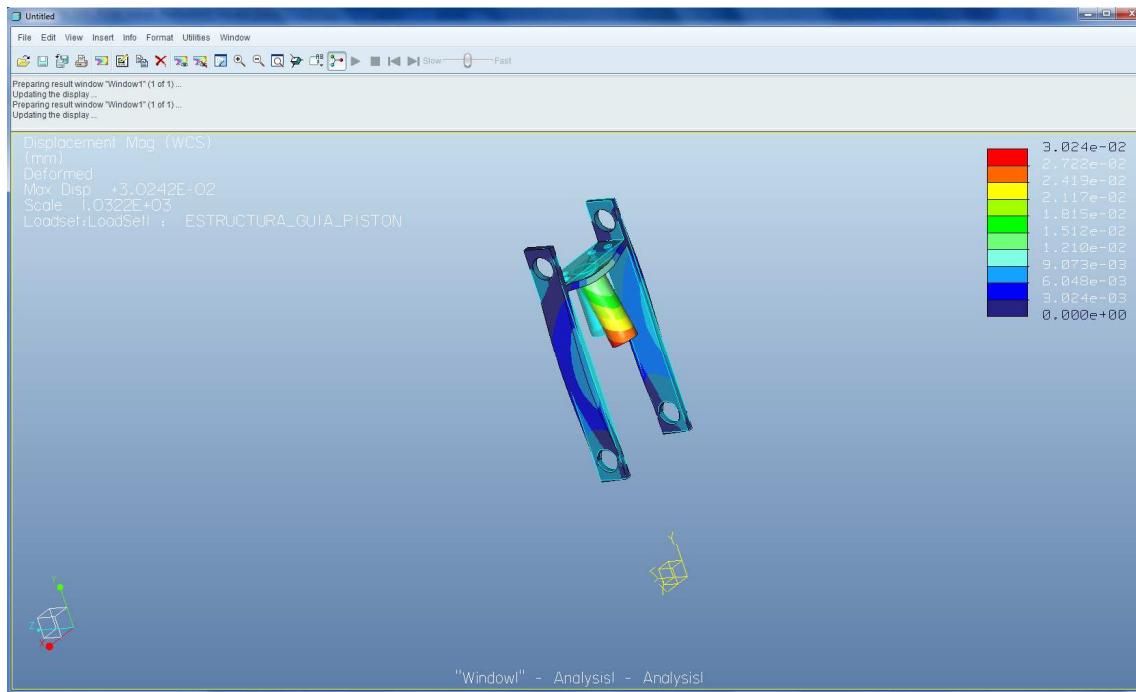
En la foto anterior vemos la distribución de tensiones y los puntos rojos que es donde se localizan los máximos valores de tensión.

El máximo valor que nos aparece es de **22 MPa** y al utilizar un acero E90, obtenemos un **coeficiente de seguridad de 4**, lo que es suficiente para nosotros.

Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



Seguidamente vemos los desplazamientos en esta pieza:



Desplazamientos de la corredera

En la foto podemos apreciar el valor máximo del desplazamiento (**0.0302 mm**) situado en el tubo que une esta pieza con el vástago del cilindro neumático, así como la deformada de esta pieza respecto a su posición original.

En la foto parece que el desplazamiento de esta pieza es muy grande, pero esto es debido a que los desplazamientos en la deformada están ampliados con una escala de 1:1000.

Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición

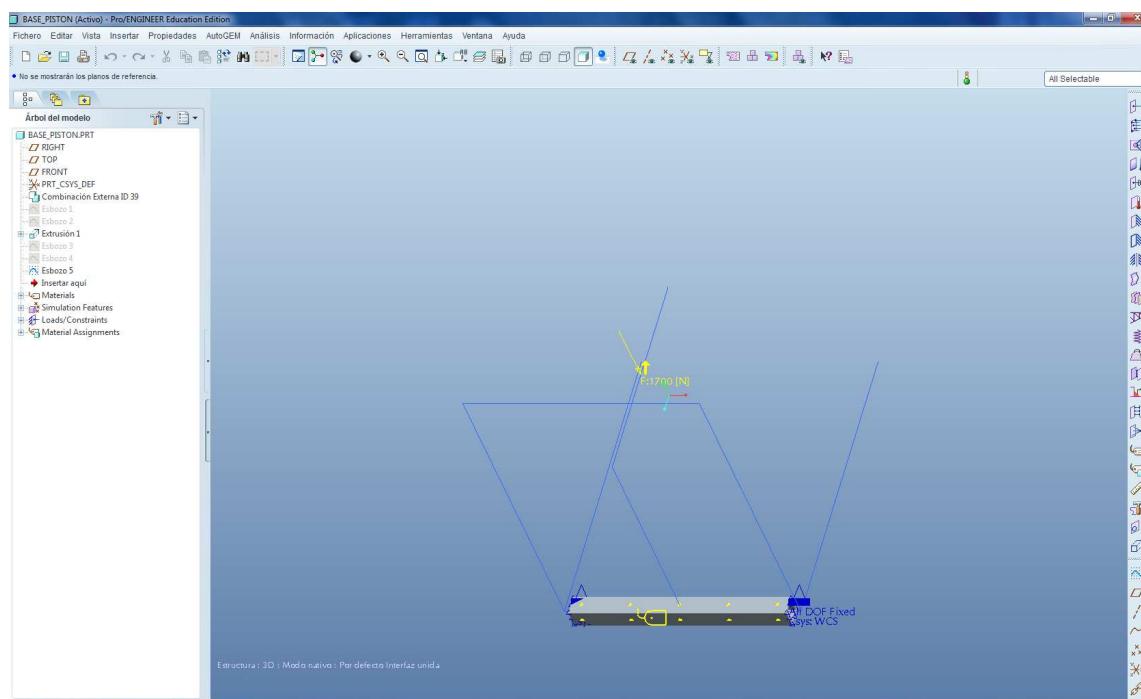


7.5 Análisis de la barra C

En este subapartado veremos los esfuerzos a los que están sometidos la barra inferior de la estructura que es en la que va sujeto el cilindro neumático.

Como hemos visto en los cálculos analíticos, esta barra va a estar sometida a un momento flector.

Veamos las condiciones de estudio de esta barra:



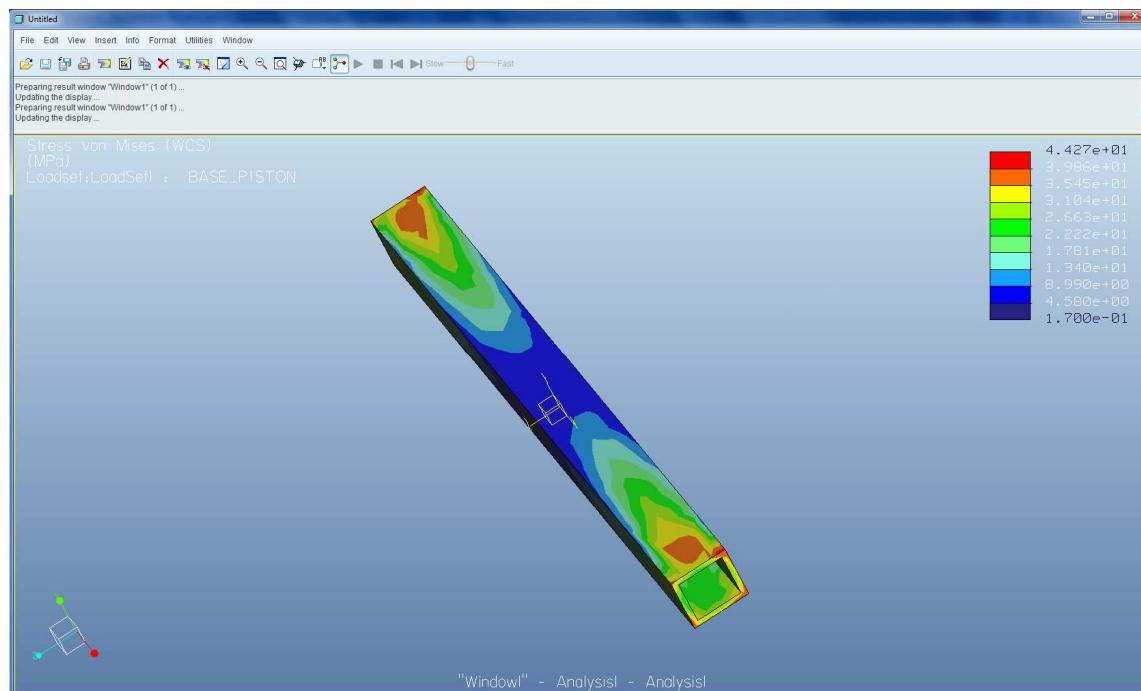
Condiciones de estudio de la barra C

Como podemos observar, hemos colocado la carga puntual que actúa en la barra A (1700 N) a una distancia de 225 mm (la mitad de la longitud de la barra A) respecto de la barra C.

Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



Hemos supuesto los extremos de la barra totalmente restringidos en sus movimientos y una asignación de material de aluminio 6060 con un límite elástico de 190 MPa.



Tensiones de la barra C

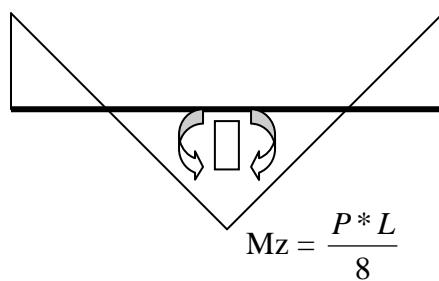
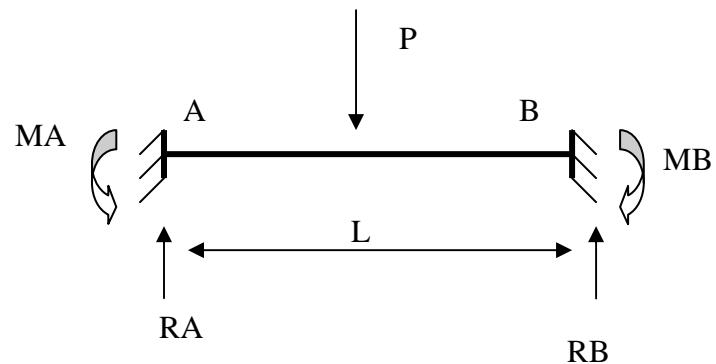
Como vemos en la foto, los valores máximos de concentración de tensiones se dan en los extremos de la barra.

Este máximo tiene un valor de **44.27 MPa**, bastante inferior al calculado analíticamente debido a que en ProMechanica hemos supuesto los extremos de la barra totalmente fijados y analíticamente los hemos considerado apoyados. Esto quiere decir que analíticamente hemos considerado el valor del momento flector el doble que lo que considera ProMechanica con estas condiciones de estudio:

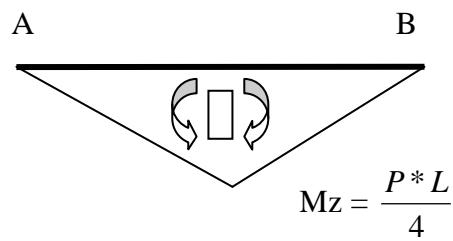
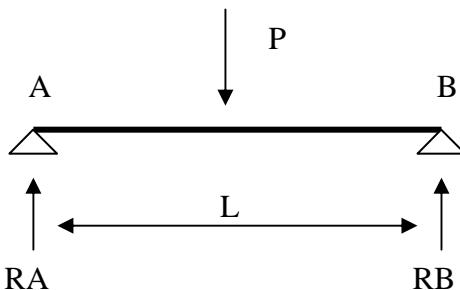
Diseño de un elevador neumático
para su uso en
motocicletas de competición



ProMechanica:



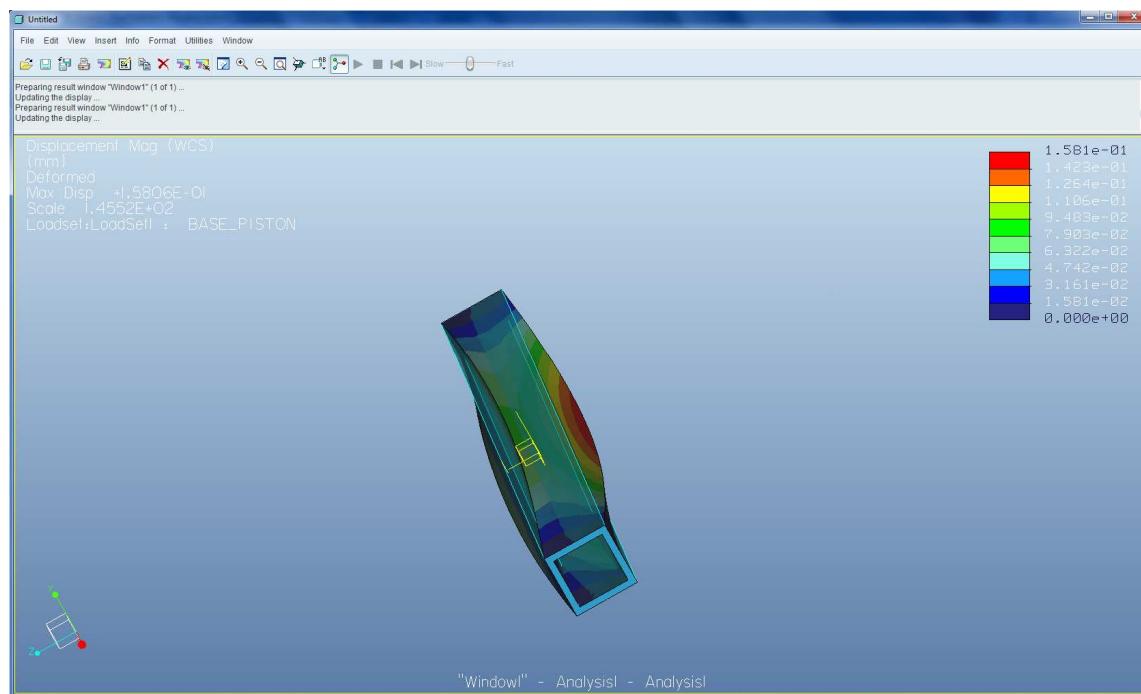
Analíticamente



Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



Al utilizar un aluminio de 190 MPa de límite elástico obtenemos **un coeficiente de seguridad de 4.3.**



Desplazamientos barra C

Podemos apreciar en la fotografía anterior la combinación de movimientos en la deformada (torsor y flector) y el valor máximo de desplazamientos que calculado con ProMechanica nos da un valor de **0.134 mm.**

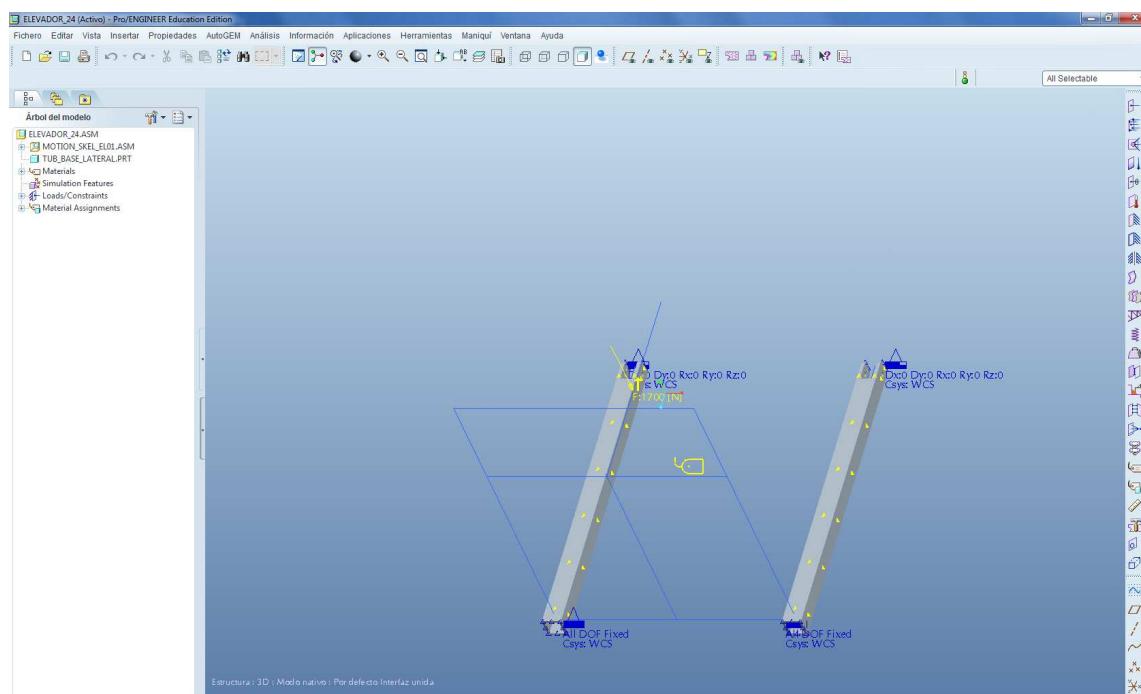
Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



7.6 Análisis de las barras D y E

Estas barras simétricas son las que dan la estabilidad necesaria a la estructura. También han sido sometidas a estudio analítico y ahora veremos el resultado de ProMechanica.

Veamos las condiciones de estudio:



Condiciones de estudio de las barras D y E

Como podemos observar, hemos colocado la carga de 1700 N en el punto real de aplicación de esta (en mitad de la barra A) y nuevamente mediante la opción “Total Load at Point” veremos el efecto que provoca esta carga en las barras inferiores.

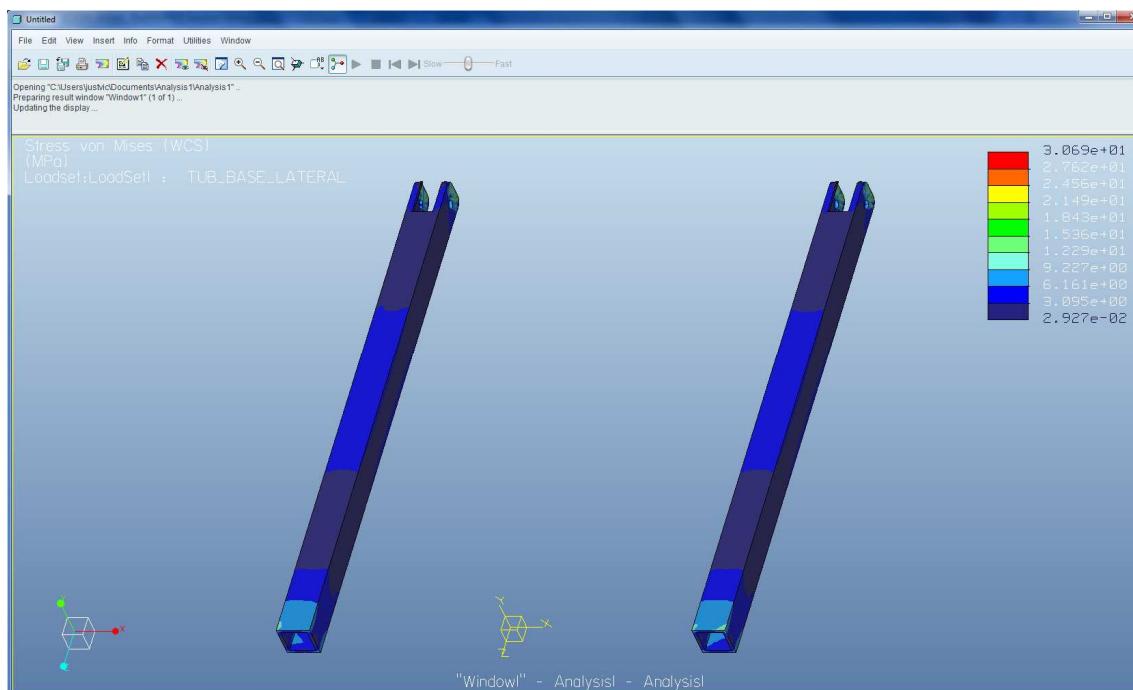
Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



La asignación de material que corresponde a un aluminio 6060 de límite elástico 190 MPa y las diferentes restricciones de movimientos que son:

- Totalmente restringidos los movimientos en un extremo de las barras ya que en este extremo están soldadas con la barra C.
- Parcialmente restringidos los movimientos, con la única posibilidad de movimiento horizontal (en nuestro eje Z), en el extremo donde irán colocadas las ruedas.

Con estas condiciones tenemos estas tensiones en las barras:



Tensiones en las barras D y E

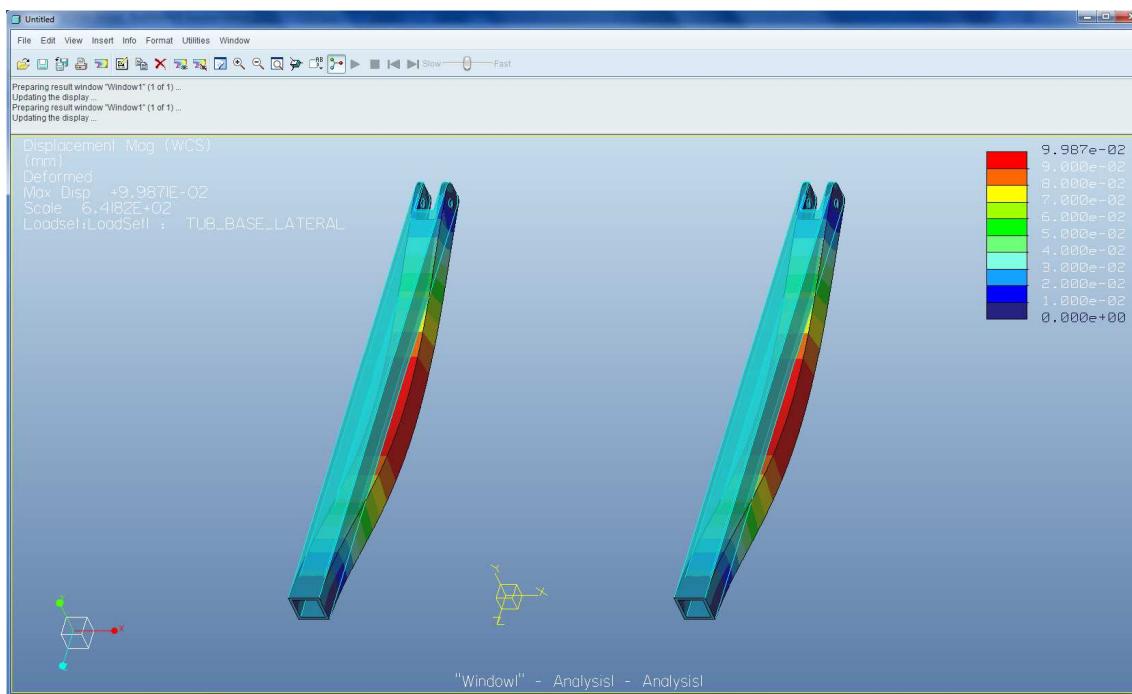
Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



Podemos ver el valor máximo de tensión localizado en los extremos de las barras de valor **30.69 MPa**, idéntico al valor obtenido mediante los cálculos analíticos (**30.51 MPa**). Con un aluminio de la serie 6060 de límite elástico 190 MPa, tenemos un **coeficiente de seguridad de 6.2**.

Estas barras se pueden optimizar, o bien, escoger otro aluminio más sencillo para su fabricación, no obstante, no lo vamos a hacer y fabricaremos toda la estructura con el mismo tipo de aluminio.

Veamos los desplazamientos en esta parte de la estructura:



Desplazamientos de las barras D y E

En la foto anterior podemos observar el mayor desplazamiento que se produce en mitad de las barras y que tiene un valor de **0.0998mm**.

Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición

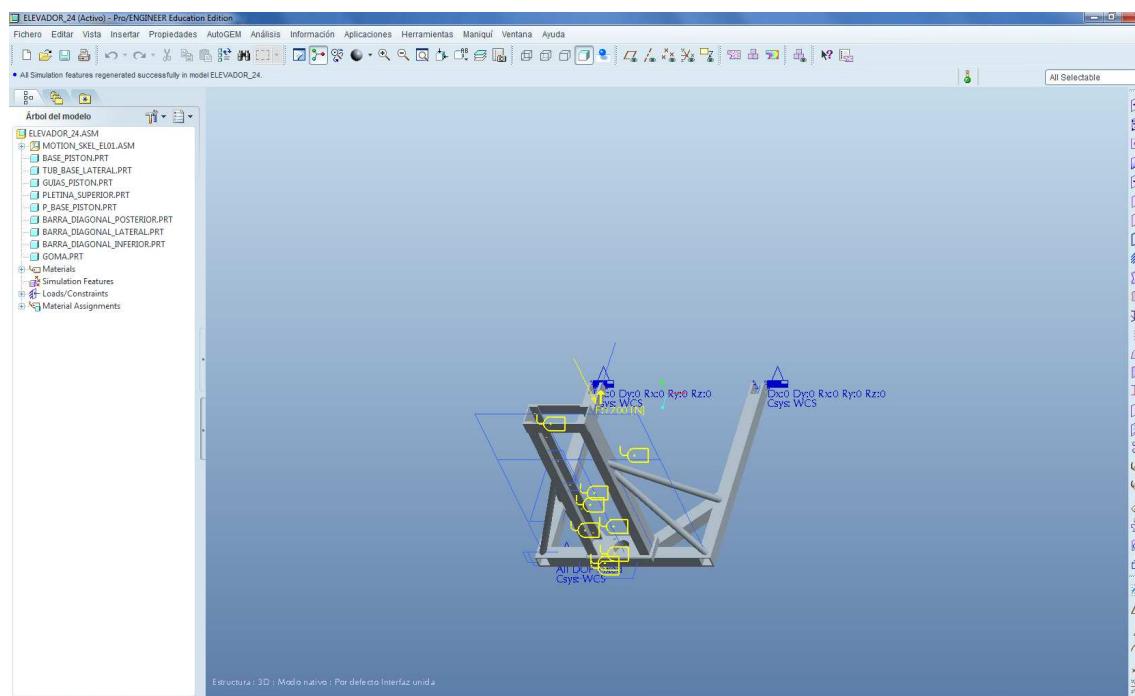


7.7 Análisis de la estructura completa

Seguidamente hemos estudiado la estructura completa, compuesta por las barras inferiores de la estructura (barras D y E), la barra de sujeción del cilindro neumático (barra C), la base donde apoya el cilindro neumático, las guías por las que se desplaza la corredera, y los refuerzos de la estructura, tanto los laterales como los inferiores.

Esto es posible gracias a la ayuda que nos ofrece ProMechanica, ya que es imposible analizar todas estas piezas en conjunto analíticamente.

Veamos las condiciones de estudio:



Condiciones de estudio de la estructura completa

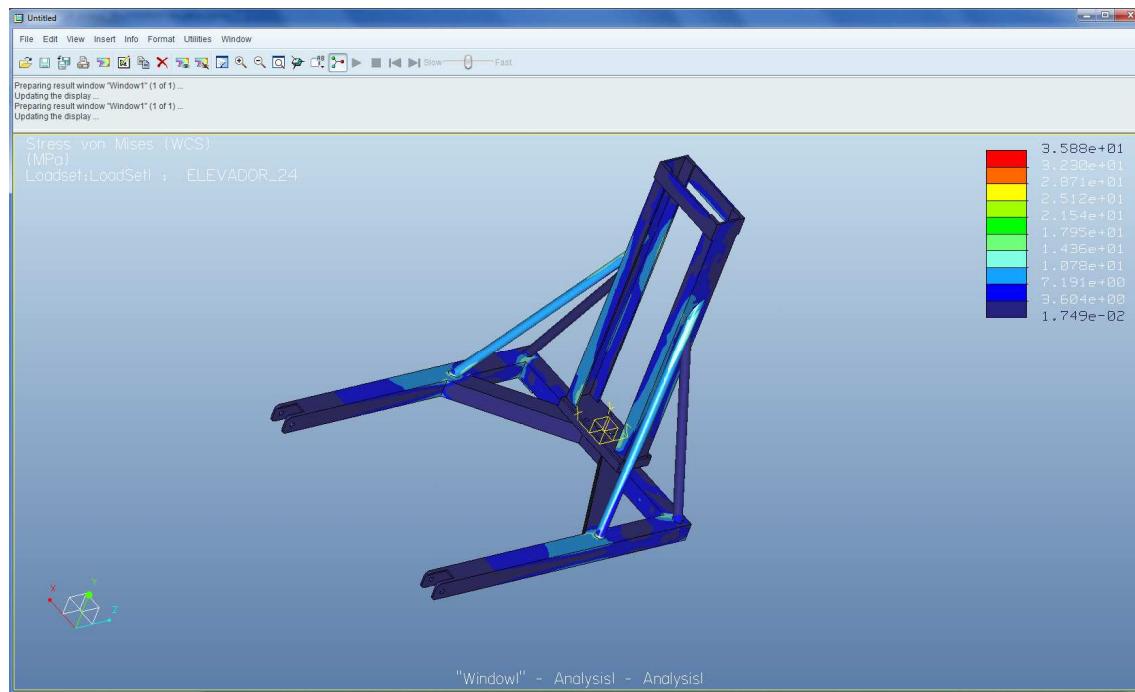
Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



Podemos ver que lo hemos realizado mediante la opción “Total Load at Point” para ver los efectos que la carga de 1700 N provoca en toda la estructura.

También vemos las asignaciones de material, que son del mismo tipo de aluminio 6060 para todas las piezas, y las restricciones en el movimiento que consisten en fijar todos los movimientos (menos el horizontal en el eje Z) en el extremo donde se encuentran las ruedas en las barras D y E, y restringir también todos los movimientos en la zona donde apoya la estructura con el suelo en la barra C (que es donde se encuentran los topes de nylon).

Una vez explicado esto, vemos la distribución de tensiones en la estructura:



Tensiones de la estructura completa

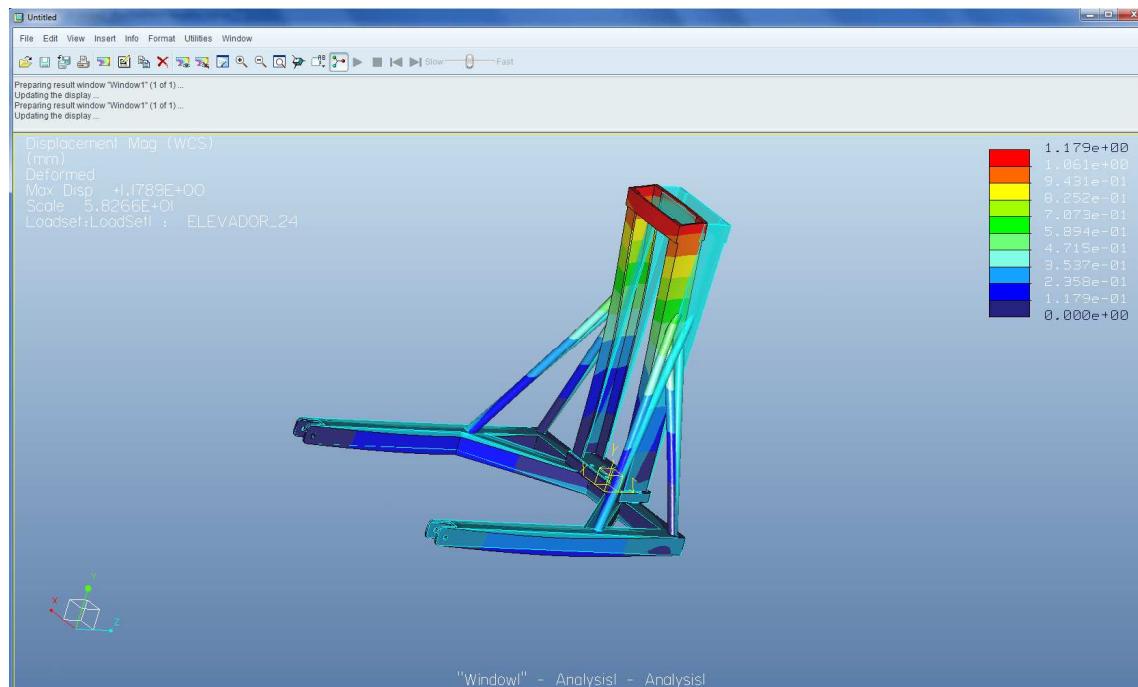
Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



Podemos ver que el valor máximo de tensión se encuentra en la unión de las guías con la base del pistón y esta tiene un valor de **35 MPa** muy similar al obtenido en los cálculos analíticos de las guías en el apartado 6.2 (**37 MPa**).

Luego podemos concluir que al utilizar un aluminio 6060 en toda la estructura, con un límite elástico de 190 MPa, tenemos un **coeficiente de seguridad de 5.4** en la estructura completa.

Veamos ahora los desplazamientos en nuestra estructura completa:



Desplazamientos estructura entera

Aquí vemos el máximo valor de desplazamiento, localizado en la parte superior de las guías y con un módulo de **1.179 mm**.

El hecho de visualizar la deformada nos ayuda a comprender como se va a mover el elevador cuando esté en funcionamiento.

Diseño de un elevador neumático
para su uso en
motocicletas de competición

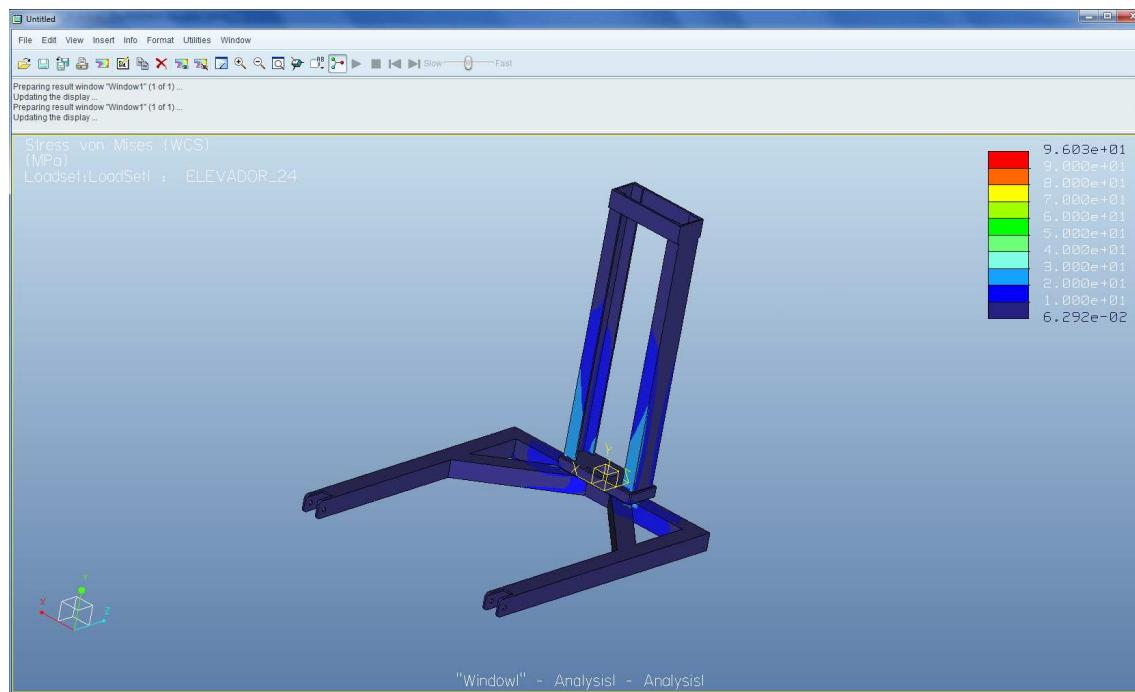


7.8 Análisis de la estructura sin los refuerzos laterales

En los 3 siguientes subapartados hemos experimentado el cambio de esfuerzos al que está sometida la estructura prescindiendo de los refuerzos laterales, de los refuerzos inferiores y finalmente de todos los refuerzos.

En este subapartado en concreto analizaremos la estructura completa sin los refuerzos laterales.

Las condiciones de estudio son exactamente iguales que en el caso de la estructura completa, por lo que vamos a ver directamente el análisis tensional:



Tensiones de la estructura sin los refuerzos laterales

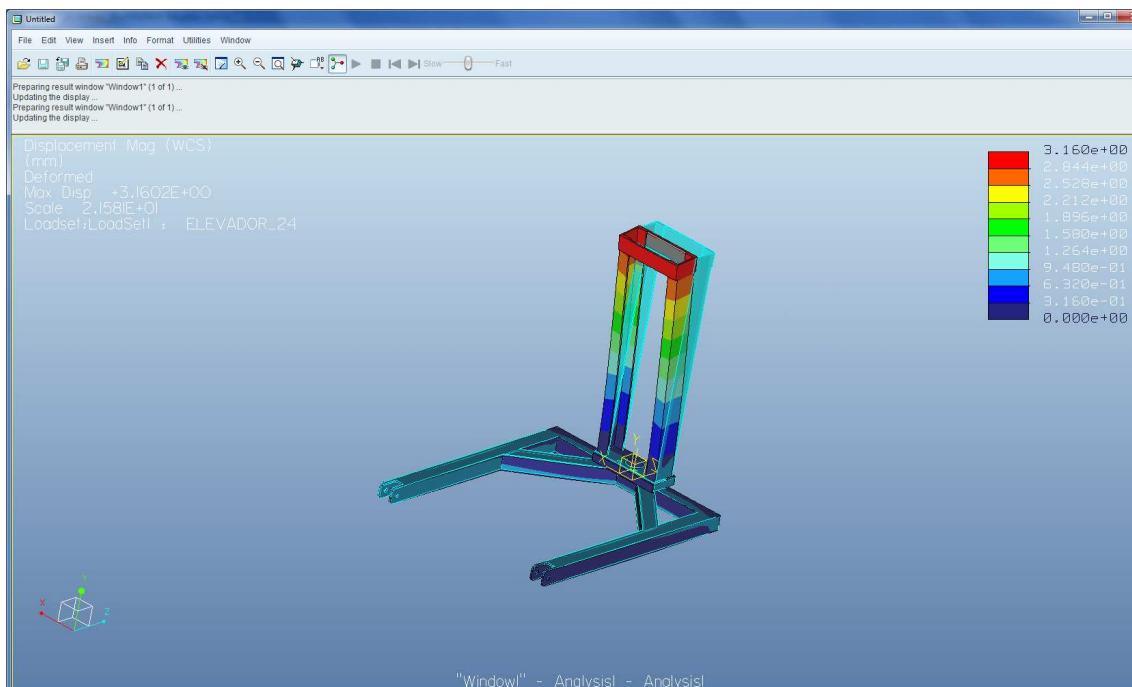
Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



Como podemos ver en la fotografía, el valor máximo de tensión que alcanzamos en esta estructura es de aproximadamente **96 MPa**, lo que, comparado con la estructura completa tenemos un **aumento de 60 MPa**.

Con lo cual podemos afirmar que estos refuerzos ayudan a rebajar la tensión en un **36.5 %** principalmente en la zona de la soldadura de las guías con la base del cilindro neumático.

Ahora veamos los desplazamientos:



Desplazamientos de la estructura sin refuerzos laterales

Como vemos, el desplazamiento máximo se da en la parte superior de las guías (al igual que ocurría en la estructura completa) con un valor de **3.160 mm**.

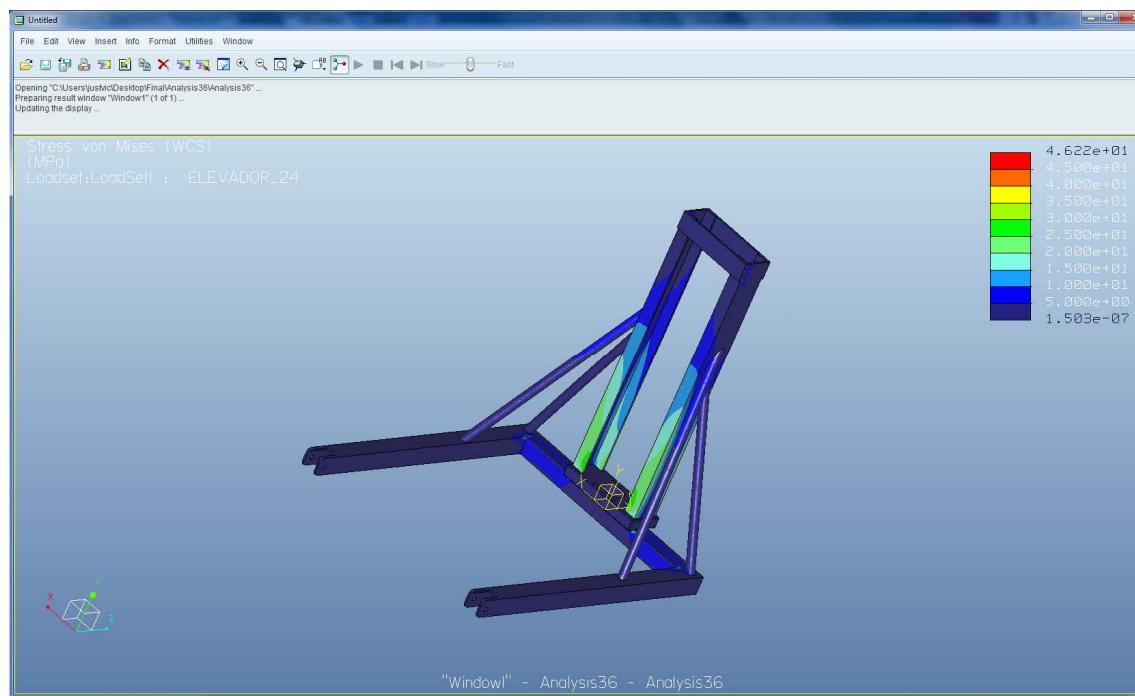
Si comparamos este valor con el de la estructura completa, tenemos un aumento de **2.06 mm**, algo muy significativo.



7.9 Análisis de la estructura sin los refuerzos inferiores

En este subapartado llevaremos a cabo el estudio de nuestra estructura completa pero sin los refuerzos inferiores que ayudan a aumentar la rigidez en la zona baja de la estructura.

Nuevamente las condiciones de estudio son las mismas que en el caso de la estructura completa, por lo que pasamos a ver directamente en análisis tensional.



Tensiones en la estructura sin refuerzos inferiores

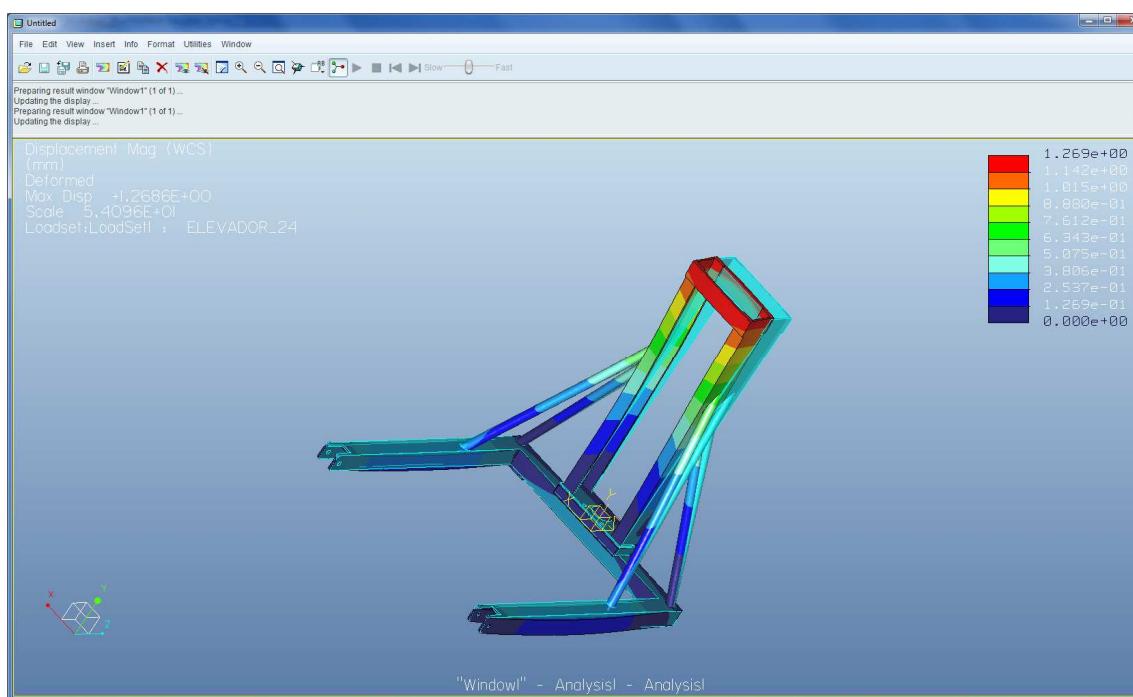
En la imagen anterior vemos la distribución de tensiones, con un valor máximo de **46.22 MPa** localizado nuevamente en la soldadura de las guías con la base del cilindro neumático y en la unión entre las barras C y D y las barras C y E.

Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



Si comparamos este valor de **46.22 MPa** frente a los **35 MPa** de la estructura completa podemos ver que tenemos un **incremento de 11 MPa**.

Si vemos los desplazamientos de la estructura:



Desplazamientos en la estructura sin refuerzos inferiores

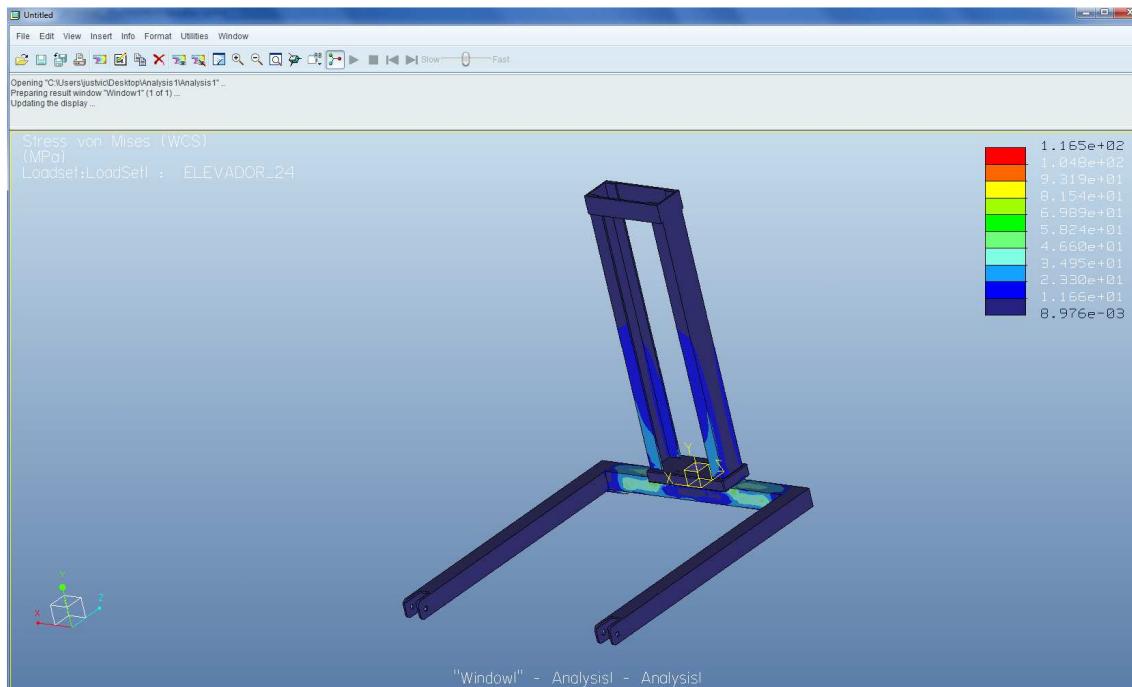
Vemos en la imagen que el máximo valor de desplazamientos es de **1.269 mm**, localizado nuevamente en la parte superior de las guías, y un **8 % superior** respecto a la estructura completa.



7.10 Análisis de la estructura sin refuerzos

En este subapartado vamos a estudiar la estructura sin ningún tipo de refuerzo, ni lateral ni inferior. A priori este debería ser el caso más desfavorable de todos los que hemos estudiado.

Volvemos a tener las mismas condiciones de estudio, así que pasamos a ver directamente las tensiones en la estructura.



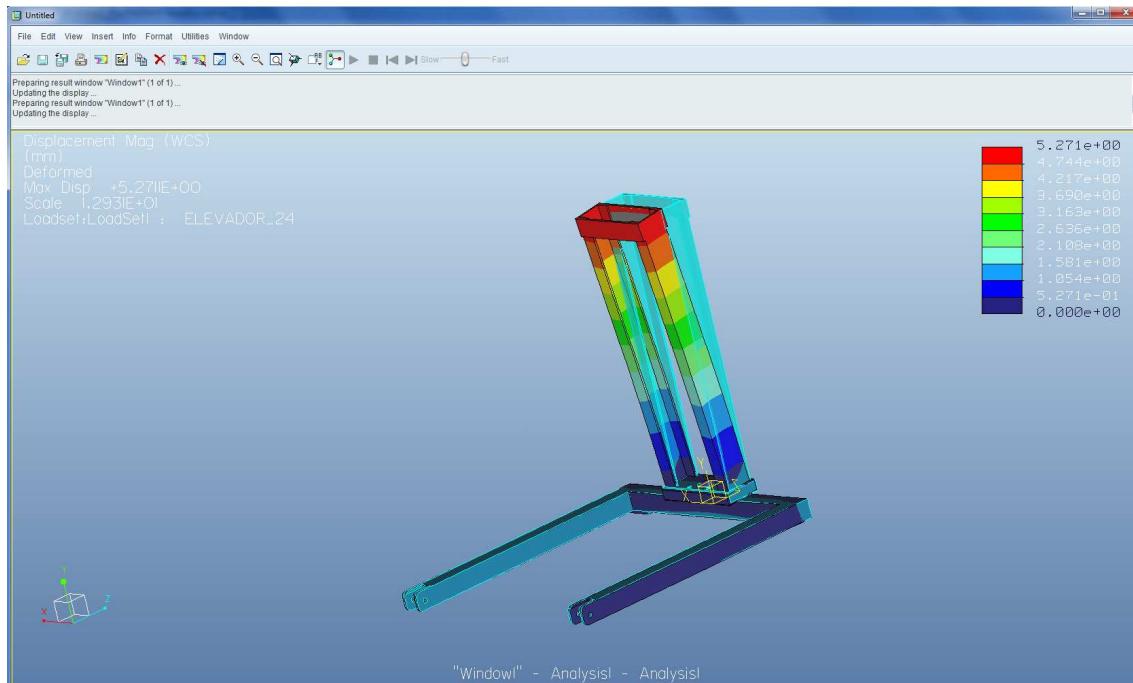
Tensiones de la estructura sin ningún tipo de refuerzo

Aquí vemos las tensiones de la estructura sin ningún refuerzo (**116.5 MPa**) y si las comparamos frente a las tensiones en la estructura completa (**35 MPa**) vemos que tenemos **más del triple de tensión máxima en este caso**.

Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



Si vemos los desplazamientos:



Desplazamientos de la estructura sin ningún tipo de refuerzos

Podemos ver que este es el caso más desfavorable en cuanto a desplazamientos de la estructura ya que tenemos **5.271 mm** de valor máximo, frente a **1.169 mm** de valor máximo en la estructura completa, un **450 % superior**.

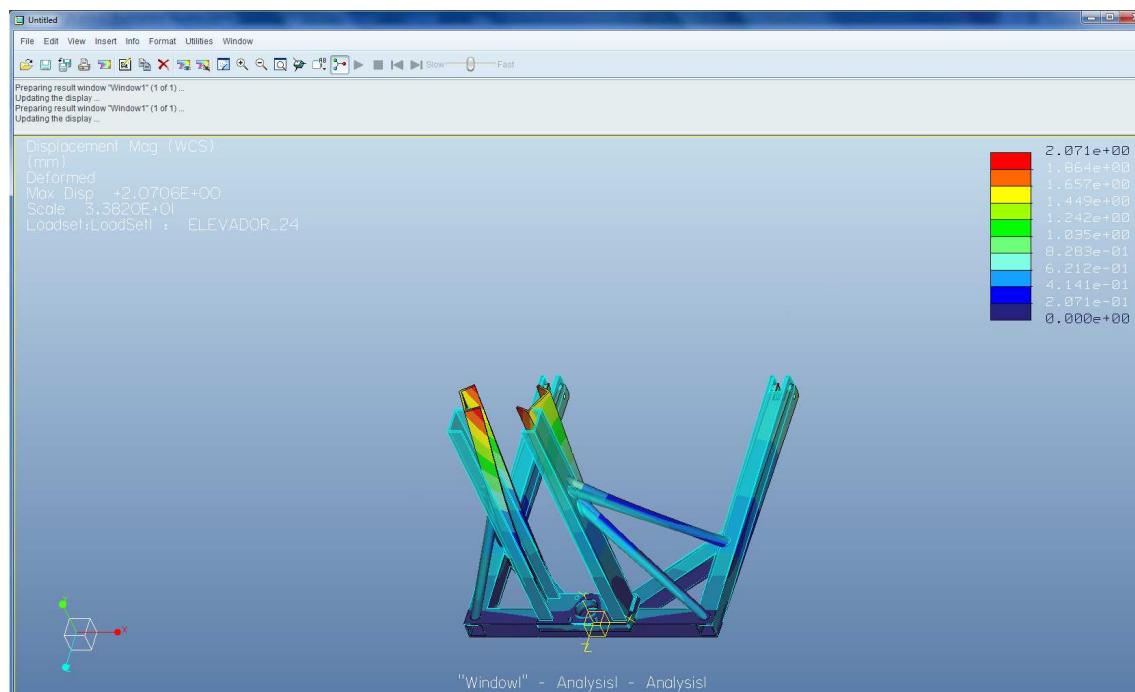
Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición



7.11 Análisis de la estructura sin la pletina superior

Aprovechando las ventajas que nos ofrece ProMechanica, también podemos visualizar el efecto que provocaría nuestra carga en las guías sin la pletina que hemos diseñado para la parte superior.

Las condiciones de estudio son las mismas que en los apartados anteriores, la carga de 1700 N aplicada en el centro de la barra A y mediante la opción “Total Load at Point” vemos su efecto en las guías:



Desplazamientos en la estructura sin la pletina superior

Podemos ver que las guías se deforman considerablemente ya que el valor máximo se da en la zona superior (**2.071 mm**)

Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición

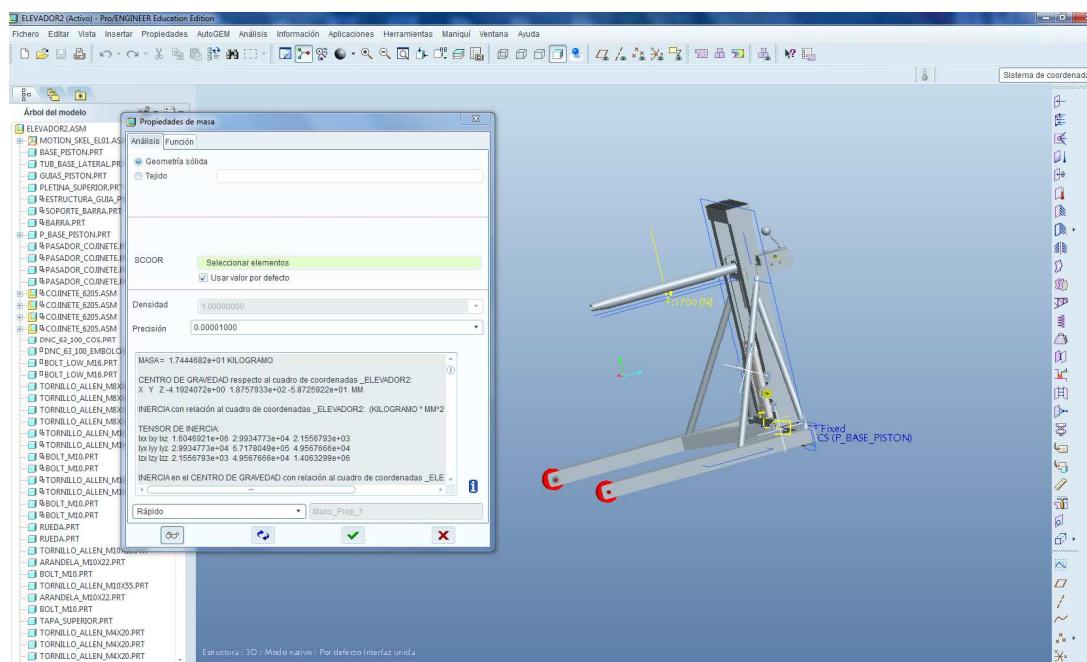


7.12 Análisis de masa de la estructura

Otra de las ventajas de la herramienta informática ProMechanica es la de obtener la masa de un conjunto diseñado en ProEngineer.

El programa calcula, él solo, la masa total en función de dos cosas:

- La densidad del material de cada pieza por separado que tú has de introducir
- Del volumen que cada pieza ocupa en el espacio.



Detalle del peso total de la estructura

Así pues nuestra estructura completa según ProMechanica tiene una masa total de **17.44 kg**, algo bastante aceptable para un conjunto mecánico compuesto de aluminio 6060, con una densidad de 2700 kg/m^3 , y de acero E450 con una densidad de 7850 kg/m^3 .



8. Conclusiones

Recordando los objetivos iniciales de nuestro proyecto que son:

- 1) Integración de la herramienta ProEngineer como herramienta CAD/CAE
- 2) Diseño de un conjunto mecánico a partir de las directrices de un equipo de carreras.

Podemos concluir que se han cumplido todos los objetivos iniciales, ya que hemos utilizado la herramienta ProEngineer para diseñar todas las piezas y su aplicación ProMechanica para calcular las tensiones en toda la estructura (incluidas piezas muy difíciles de calcular analíticamente) y para visualizar como se van a deformar todas las piezas del conjunto.

Además hemos sido capaces de diseñar satisfactoriamente un conjunto mecánico para un equipo de carreras en el que el **menor coeficiente de seguridad que tenemos es 2**, pudiendo garantizar por completo la seguridad de nuestra máquina ya que ninguna de nuestras piezas diseñadas va a trabajar en la zona de deformaciones permanentes.



9. Presupuestos

9.1 Parte neumática

Cantidad	Descripción	Fabricante	Referencia	Precio unitario (€)	Precio total (€)
1	Cilindro de doble acción, magnético, serie CPU1, diámetro 63mm, recorrido 100 mm	Waircom	63/100 CPUIM	125,20	125,20
1	Válvula 3/2 biestable, rosca G1/4, pilot:lateral knob, retorno: mechanical spring	Waircom	EK4/MF	42,34	42,34
1	Válvula de escape rápido, rosca G1/4	Waircom	D3/4	12,00	12,00
3	Racor de entrada recto, macho bsp cil. y métrica, rosca: G1/4, diámetro tubo: 10mm	Legris	3101 10 13	2,70	8,10
1	Racor de entrada recto, macho bsp cil. y métrica, rosca: G3/8, diámetro tubo: 10mm	Legris	3101 10 17	2,70	2,70
1	Cuerpo macho bsp cilíndrica, rosca G1/4	Legris	9201x25 13	9,00	9,00
1	Manguito hexagonal, doble hembra, rosca bsp cil., rosca G1/4	Legris	0155 13 13	4,50	4,50
2	Silenciador simple, macho bsp cil. y métrica, rosca G3/8	Legris	0673 00 17	2,70	5,40
				Subtotal	209,24
				Descuento (20%)	-41,85
				Subtotal después de descuento	167,39
				IVA (16%)	26,78
				TOTAL	194,17



Diseño de un elevador neumático
para su uso en
motocicletas de competición



9.2 Parte estructural

Descripción	Material	Longitud (mm)	Precio unitario (€)	Precio total (€)
Perfil cuadrado 40x40x4	Aluminio	2156	10,50	22,64
Perfil en forma de "U" 60x30x4	Aluminio	1210	18,18	22,00
Perfil redondo 20x16	Aluminio	2080	11,71	24,36
Perfil redondo 30x22	Aluminio	190	11,10	2,11
Perfil en forma de "L" 60x30x3	Aluminio	90	26,33	2,37
Pletina 143x35x8 (2 unidades)	Aluminio	1	2,80	5,60
Pletina 50x65x3 (1 unidad)	Aluminio	1	0,75	0,75
Pletina 200x80x25 (1 unidad)	Aluminio	1	23,53	23,53
Pletina 190x40x5 (2 unidades)	Aluminio	1	1,70	3,40
Tubo redondo 32x24	Acero	450	26,53	11,94
Pletina 130x40x8 (1 unidad)	Acero	1	1,42	1,42
Pletina 310x40x8 (2 unidades)	Acero	1	3,38	6,76
Tubo redondo 35x30	Acero	75	28,82	2,16
Tubo redondo diámetro 38	Acero	120	40,00	4,80
Tubo redondo diámetro 60 (2 unidades)	Nylon	60	10,00	20,00
Soldadura	N/A	N/A	35,00	350,00
				Subtotal 503,83
				IVA (16%) 80,61
				TOTAL 584,44

Diseño de un elevador neumático para su uso en motocicletas de competición

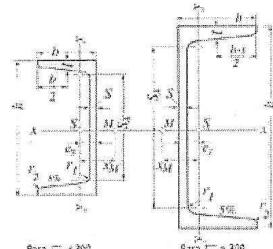


10. Anexos

10.1 Anexo 1

Perfil Normal "U" - UPN

F= Sección
G= Peso
J= Momento de inercia
U= Superficie exterior por metro de perfil
W= Momento resistente
i= Radio de giro
S_x= Momento estático de media sección del perfil
s_x= J_x/S_x - Separación entre los centros de tracción y compresión
X_m= Distancia del centro del esfuerzo cortante al eje y-y



Denominación	Dimensiones en mm					Eje flexión x-x			Eje flexión y-y			Distancia del eje y-y			X _m			
	h	b	s	t	r	F	G	U	J _x	W _x	I _x	J _y	W _y	I _y				
						cm ²	Kg/m	m ² /m	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm				
30x15	30	15	4.0	4.5	2.0	2.21	1.74	0.103	2.53	1.69	1.07	0.38	0.39	0.42	-	-	0.52	0.74
30	30	33	5.0	7.0	3.5	5.44	4.27	0.174	6.39	4.26	1.08	5.33	2.68	0.99	-	-	1.31	2.22
40x20	40	20	5.0	5.5 - 5	2.5	3.66	2.78	0.142	7.58	3.79	1.44	1.14	0.86	0.56	-	-	0.67	1.01
4	40	35	5.0	7.0	3.5	6.21	4.87	0.199	14.1	7.1	1.50	6.68	3.08	1.04	-	-	1.33	2.32
50x25	50	25	5.0	6.0	3.0	4.92	3.86	0.181	16.8	6.7	1.85	2.49	1.48	0.71	-	-	0.81	1.34
50	50	38	5.0	7.0	3.5	7.12	5.59	0.232	26.4	10.6	1.92	9.12	3.75	1.13	-	-	1.37	2.47
60	60	30	6.0	6.0	3.0	4.46	5.07	0.215	31.6	10.5	2.21	4.51	2.16	0.84	-	-	0.91	1.50
65	65	42	5.5	7.5	4.0	9.03	7.09	0.273	57.5	17.7	2.52	14.1	5.07	1.25	-	-	1.42	2.60
80	80	45	6.0	8.0	4.0	11.00	8.64	0.312	106	26.5	3.10	19.4	6.36	1.33	15.9	6.65	1.45	2.67
100	100	50	6.0	8.5	4.5	13.50	10.60	0.372	206	41.2	3.91	29.3	8.49	1.47	24.5	8.42	1.55	2.93
120	120	55	7.0	9.0	4.5	17.00	13.40	0.434	364	60.7	4.62	43.2	11.1	1.59	36.3	10.0	1.60	3.03
140	140	60	7.0	10.0	5.0	20.40	16.00	0.489	605	86.4	5.45	62.7	14.8	1.75	51.4	11.8	1.75	3.37
160	160	65	7.5	10.5	5.5	24.00	18.80	0.546	925	116	6.21	85.3	18.3	1.89	68.8	13.3	1.84	3.56
180	180	70	8.0	11.0	5.5	28.00	22.00	0.611	1.350	150	6.95	114	22.4	2.02	89.6	15.1	1.92	3.75
200	200	75	8.5	11.5	6.0	32.20	25.30	0.661	1.910	191	7.70	148	27.0	2.14	114	16.8	2.01	3.94
220	220	80	9.0	12.5	6.5	37.40	29.40	0.718	2.690	245	8.48	197	33.6	2.30	146	18.5	2.14	4.20
240	240	85	9.5	13.0	6.5	42.30	33.20	0.775	3.600	300	9.22	248	39.6	2.42	179	20.1	2.23	4.39
260	260	90	10.0	14.0	7.0	46.30	37.90	0.834	4.820	371	9.99	317	47.7	2.56	221	21.8	2.36	4.66
280	280	95	10.0	15.0	7.5	53.30	41.80	0.890	6.280	448	10.90	395	57.2	2.74	266	23.6	2.53	5.02
300	300	100	10.0	16.0	8.0	58.80	46.20	0.950	8.030	535	11.70	495	67.8	2.90	316	25.4	2.70	5.41
320	320	100	14.0	17.5	8.75	75.80	59.50	0.982	10.870	679	12.10	597	80.6	2.81	413	26.3	2.60	4.82
350	350	100	14.0	16.0	8.0	77.30	60.60	1.047	12.840	734	12.90	570	75.0	2.72	459	28.6	2.40	4.45
380	380	102	13.5	16.0	8.0	80.40	63.10	1.110	15.760	829	14.00	615	78.7	2.77	507	31.1	2.38	4.58
400	400	110	14.0	18.0	9.0	91.50	71.8	1.182	20.350	1.020	14.9	846	102	3.04	618	32.9	2.65	5.11



11. Bibliografía

LIBROS

- “Ingeniería de materiales para industria y construcción”
Jesús Martín San José, María Antonieta Madre Sediles y José Manuel Franco
Gimeno. MIRA EDITORES.
- Apuntes de la asignatura de Diseño de Máquinas 2007/2008 impartida por Javier
Abad Blasco, Paula Canalís Martínez y Fernando Pardos Catalán.

INTERNET

- www.waircom.com
www.alu-stock.es
www.legris.com