



**Universidad  
Zaragoza**

# Trabajo Fin de Grado

Título

## CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO.

Autor

Jesús Guardia Brunet

Director

Paula Canalís Martínez

Titulación

Grado en Ingeniería Mecánica

Escuela de Ingeniería y Arquitectura

Septiembre de 2015

# CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO



Escuela de  
Ingeniería y Arquitectura  
Universidad Zaragoza

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea depositado para su evaluación).

TRABAJOS DE FIN DE GRADO / FIN DE MÁSTER

D./D<sup>a</sup>. Jesús Guardia Brunet,

con nº de DNI 73211013N en aplicación de lo dispuesto en el art.

14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster) Grado \_\_\_\_\_, (Título del Trabajo)

Cálculo y análisis mediante herramientas CAD/CAE de una máquina hidráulica de gimnasio .

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza, a 4 de Septiembre de 2015

Fdo:

Jesús Guardia

# CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

## ÍNDICE GENERAL

1. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO .....	6
2. INTRODUCCIÓN A LAS MAQUINAS DE GIMNASIO. ....	7
2.1 Normativa en máquinas de gimnasio. ....	7
2.2 Tipos de máquinas para press de hombro. ....	9
2.2.1 Maquinas con discos.....	9
2.2.2 Maquinas con pilas de pesas .....	11
2.2.3 Maquinas con cilindro hidráulico .....	13
3. DEFINICION DE LOS DOS DISEÑOS DE MÁQUINAS HIDRAULICAS.....	15
3.1 DISEÑO 1 .....	15
3.1.1 Componentes principales del diseño .....	16
3.2 DISEÑO 2 .....	17
3.2.1 Componentes principales del diseño .....	18
4. HIPÓTESIS DE TRABAJO.....	19
4.1 Material .....	19
4.2 Fuerzas .....	19
4.3 Dimensiones .....	20
4.4 Coeficiente de seguridad .....	21
4.5 Posición de análisis.....	21
4.6 Lugar de aplicación de las cargas.....	22
4.7 Fuerza realizada por la persona.....	22
4.8 Datos del cilindro hidráulico. ....	22
4.9 Uniones.....	23
5. CÁLCULO ANALÍTICO.....	24
5.1 Cálculo de la posición más desfavorable .....	24
5.2 Diagrama de esfuerzos en cada elemento.....	32
5.3 Cálculo del coeficiente de seguridad de los perfiles.....	39
5.4 Cálculo del diámetro de los pasadores. ....	42
5.5 Cálculo de la presión del cilindro.....	45

# CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

5.6	Calculo del coeficiente de seguridad de la orejeta de amarre del cilindro.	46
6.	Modelado 3D	47
6.1	Piezas comunes para ambos diseños	48
6.2	Piezas particulares del diseño 1	51
6.3	Piezas particulares del diseño 2	54
7.	SIMULACIÓN MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS.	56
7.1	Proceso de análisis.	56
7.2	Comparación de los cálculos analíticos y cálculos con SolidWorks Simulation.	59
7.3	Análisis de los ensamblajes mediante Solidworks Simulation.	69
7.3.1	Diseño 1	70
7.3.2	Diseño 2	75
8.	MEJORAS EN LOS ENSAMBLAJES.	81
8.1	Mejoras en el diseño 1.	81
8.1.1	Modificación del pasador.	81
8.1.2	Reducción del máximo desplazamiento.	82
8.2	Mejoras en el diseño 2	85
8.2.1	Modificación del pasador	85
8.2.2	Reducción del concentrador de tensiones.	86
9.	COMPARACIONES DE LOS DISEÑOS.	89
9.1	Comparación del dimensionamiento entre ambos diseños.	89
9.1.1	Peso	89
9.1.2	Altura, anchura y longitud.	90
9.2	Comparación de los resultados obtenidos en el cálculo estático entre ambos diseños.	91
9.2.1	Tensiones	91
9.2.2	Desplazamientos	93
9.2.3	Coeficientes de seguridad mínimos.	96
9.2.4	Comparación de la base	96
9.2.5	Comparación entre el mismo diseño y dos posiciones diferentes	97
9.3	Ventajas de cada diseño.	99
10.	CONCLUSIONES	100
11.	BIBLIOGRAFIA.	102

# CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

11.1 Apuntes.....	102
11.2 Páginas web.....	102
11.3 Normativas.....	102
12. ANEXOS .....	103
12.1 Información del acero S275JR.....	103
12.2 Propiedades físicas del acero S275JR .....	105

# CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

## 1. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO

El objetivo de este trabajo es analizar una máquina de gimnasio con dos posibles diseños. Una vez realizados los cálculos analíticos de las partes principales de la máquina, se procederá a realizar un análisis de las variaciones entre ambos diseños mediante herramientas de cálculo, con el objetivo de encontrar la solución más adecuada.

La principal diferencia entre ambos diseños se trata de la base encargada de dar estabilidad a las máquinas. En el primer diseño dicha base está formada por 4 apoyos, y en el segundo diseño está formada por 5 barras unidas entre sí.

En primer lugar se realizará una fijación de hipótesis de las cargas, dimensiones, uniones y material de los diferentes elementos. Para realizar los cálculos se procederá a hacer una simplificación del diseño. Bastará con realizar un solo cálculo de un diseño, hasta que no simulemos con SolidWorks no se diferenciará entre ambos diseños.

Para obtener los cálculos se ha estudiado la posición más desfavorable en la que la máquina está sometida a más esfuerzos, seguidamente se realizará los diagramas de sólido libre para saber que partes de las barras sufren mayores tensiones y en dichas partes, estudiar si cumple con el mínimo coeficiente de seguridad fijado.

Una vez realizado el cálculo analítico de los elementos principales se procederá mediante SolidWorks a realizar el modelado de las máquinas en 3D. Seguidamente se comparará los datos obtenidos analíticamente con los datos obtenidos en SolidWorks. Sobre el ensamblaje de los dos diseños se realizará la simulación corrigiendo o mejorando los elementos en el caso de que no cumplieran. Para finalizar se comentará las diferencias principales entre los dos diseños simulados.

## 2. INTRODUCCIÓN A LAS MAQUINAS DE GIMNASIO.

### 2.1 Normativa en máquinas de gimnasio.

La normalización en equipamiento deportivo tiene por objeto el desarrollo y la revisión periódica de las normas de equipamiento específico para deportes, campos de juego y otras instalaciones y equipos recreativos, con especial atención a la terminología, las especificaciones de seguridad, la aptitud o adecuación a la función a que van destinados y los métodos de ensayo necesarios para verificar los requisitos establecidos, así como las marcas de cumplimiento de la norma, los carteles de advertencia, la instalación y el mantenimiento.

El órgano encargado de la normalización española en este campo es el Subcomité Técnico de AENOR AEN/CTN147.

Las normas de equipamiento deportivo consideran fundamentalmente los siguientes aspectos:

- Terminología: Es el apartado de definiciones, donde se recogen aquellos términos que deben ser utilizados en el desarrollo de la norma.

- Requisitos de seguridad: Garantizan la ausencia de riesgos y de peligro de accidente, los más generales son:

- Estabilidad frente a cargas horizontales y verticales, permanentes como el peso propio o variables, la estabilidad debe estar asegurada de forma que nunca se produzca el vuelco o el deslizamiento. Los anclajes, cuando existan, deben asegurar la estabilidad.

- Resistencia frente a acciones permanentes o variables, de forma que no se rompa o se deforme en exceso.

- Flexibilidad con deformación limitada frente a cargas, ausencia de flecha residual y resistencia a fatiga cuando lo requiera el equipamiento deportivo.

- Ausencia de aristas o bordes cortantes.

- Ausencia o protección de partes prominentes que constituyan un riesgo de impacto o de enganche.

- Ausencia de huecos o espacios entre las partes constituyentes del equipamiento que puedan producir aprisionamiento de partes del cuerpo.

- Almohadillado absorbente de impactos en las zonas de contacto con el deportista, donde haya riesgo de golpes y donde se permita.

## CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

- Ausencia de ganchos u otros elementos similares que originan lesiones corporales.
- Si existen partes móviles debe quedar impedido el riesgo de golpes, cortadura o aprisionamiento del deportista por los elementos móviles.
- Protección de los elementos metálicos frente a la corrosión.
- Requisitos funcionales: Aseguran que el producto se adecue a la función para la que se fabrica, generalmente se establecen dimensiones, criterios de diseño, materiales, etc.
- Métodos de ensayo: Se establecen en la propia norma o por referencia a otras normas los métodos de ensayo para verificar el cumplimiento de los requisitos anteriores
- Instrucciones de montaje y de uso: Las normas exigen que el fabricante o vendedor debe aportar, junto con el equipamiento, instrucciones de cómo montar correctamente el equipo así como las instrucciones de uso para que no se produzca un accidente por utilización incorrecta por desconocimiento.
- Mantenimiento: El equipamiento deportivo debe ser sometido a revisión periódica de acuerdo con las instrucciones que dé el fabricante o vendedor.
- Letrero de advertencia: En algunos equipamientos las normas requieren la existencia de un letrero o cartel de advertencia permanente y fijado en el mismo equipamiento que informe de la forma de uso, advierta de los usos no permitidos y del riesgo que esto origina.
- Marcado: El equipamiento que cumple la norma deberá marcarse con el nº de dicha norma EN, el nombre del fabricante, importador o vendedor, año de fabricación, etc. Esto supone una declaración de conformidad del fabricante y le hace responsable de ello. No se debe confundir este marcado con la certificación del producto.



## 2.2 Tipos de máquinas para press de hombro.

### 2.2.1 Maquinas con discos



Imagen 1. Máquina con discos

Las maquinas con discos fueron las primeras máquinas utilizadas en los gimnasios, hoy día aún se siguen viendo en algunos gimnasios, pero poco a poco se van reemplazando por nuevos diseños de máquinas para que los usuarios no tengan que ir moviendo discos de pesos.

La estructura de esta máquina está fabricada mayoritariamente de acero, exceptuado el asiento y el respaldo, que se utiliza una goma espuma que varía dependiendo del fabricante. Construida con un perfil rectangular para toda la maquina exceptuando los brazos, que utiliza un perfil cuadrado. Todos los perfiles están pintados para evitar corrosión y darle mejor estética a la máquina.

La estabilidad de la maquina se consigue mediante 3 patas, dos traseras y una delantera. Las dos patas traseras van unidas mediante un travesaño en cuyo centro va situado el pilar de la máquina y otro travesaño más largo que une el travesaño trasero con la pata delantera. En este travesaño se apoya el asiento donde se acomoda el usuario. Las patas disponen de placas perforadas para un mejor amarre al suelo mediante tornillos.

## CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

En este tipo de máquina el peso (en forma de discos) se carga en las barras cilíndricas soldadas a los brazos que hacen de palanca. Los brazos van unidos a un eje situado en el extremo superior del pilar donde se permite la rotación pero no la traslación.

Para el funcionamiento de la maquina el usuario debe sentarse apoyando completamente la espalda en el respaldo, se agarrará las palancas y se extienden los brazos hacia arriba intentando mantener los hombros, codos y muñecas en el mismo plano.

A continuación, en la imagen 2, se mostrará como el usuario debe realizar el movimiento de los brazos en la máquina:

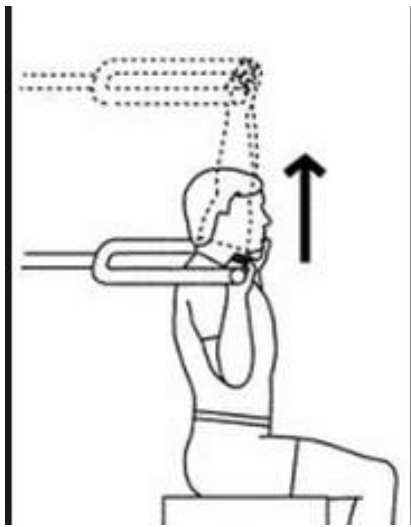


Imagen 2. Movimiento de brazos

### 2.2.2 Maquinas con pilas de pesas



Imagen 3. Máquina con pilas de pesas

A diferencia de la maquina anterior, la fuerza de resistencia en lugar de producirse mediante discos se produce con placas de pesas, estas placas deben de tener un alojamiento, lo que conlleva que la maquina ocupe un mayor espacio.

En esta máquina podemos diferenciar dos diferentes estructuras, una será la estructura de la máquina, muy similar a la anterior, y otra estructura que hace de alojamiento y de guía a las placas de pesas, ambas van unidas mediante dos perfiles rectangulares de acero.

Esta máquina tiene características similares a la anterior, construida casi toda la estructura con perfiles rectangulares de acero y los brazos de la maquina contruidos con un perfil cuadrado de acero.

Otra diferencia será la construcción de la estructura, la estabilidad de la maquina es debido a tres perfiles rectangulares que serán los que se apoyen en el suelo, uno es la base del alojamiento de las pesas, otro es el perfil que sostiene el asiento y va unido con el pilar, y el ultimo perfil que hace que la maquina sea estable es el perfil que une la maquina con la base de las pesas.

Igual que en la maquina anterior los brazo palanca, van unidos con el pilar mediante un pasador.

## CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

Este tipo de máquinas disponen de un mecanismo de poleas (5 poleas) que hacen de guía a un cable de acero plastificado, siendo este el encargado de transmitir la fuerza desde las placas de pesas hasta los brazos palanca. La primera polea debe estar situada justo encima de las pesas y la última estará unida al brazo palanca mediante dos orejetas soldadas y un pasador.

A continuación se muestra un esquema de cómo van situadas las poleas en las maquinas con pesas:

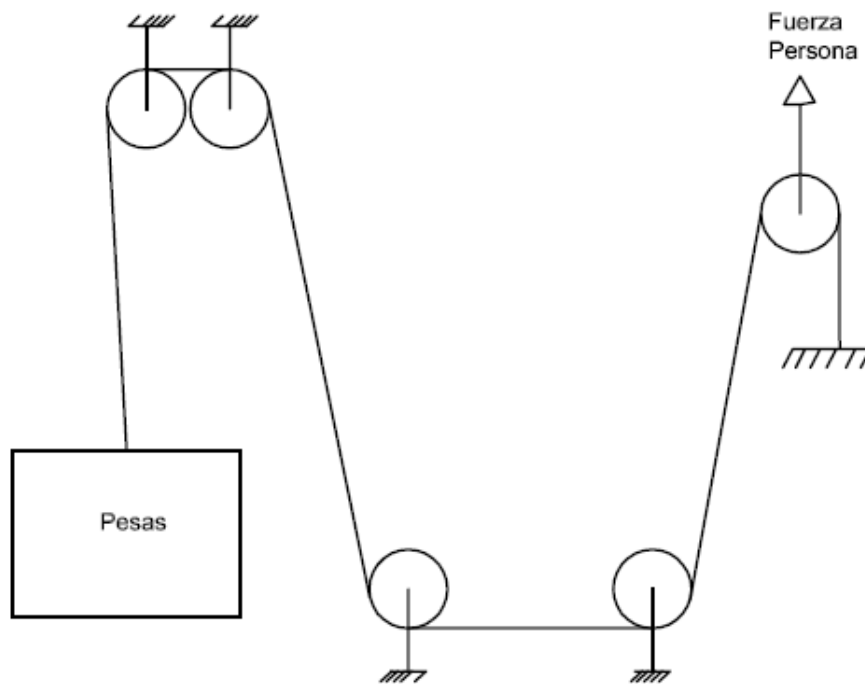


Imagen 4. Esquema de las poleas

Los cables de acero plastificado anteriormente citados, se caracterizan por un recubrimiento plástico de alta calidad, resistente a la abrasión, flexible y con una muy alta durabilidad. Además, el cable de acero interior, galvanizado y resistente a la corrosión, también está fabricado para que esté provisto de una alta flexibilidad y una gran resistencia a la fatiga producida por las poleas.

### 2.2.3 Maquinas con cilindro hidráulico



Imagen 5. Máquina con cilindro hidráulico

A diferencia de las máquinas anteriores que utilizan pilas de pesas o discos para producir la resistencia, las máquinas hidráulicas disponen de un cilindro hidráulico encargado de producir resistencia para cada ejercicio. Los cilindros hidráulicos están llenos de aceite y permite a los usuarios ajustar la intensidad mediante un regulador. Estas máquinas hoy día son muy populares en los gimnasios ya que los usuarios tienen a su alcance varios tipos de equipos hidráulicos de levantamiento de pesas.

Para el funcionamiento de la máquina, igual que las anteriores, el usuario debe sentarse apoyando completamente la espalda en el respaldo sin realizar fuerza con la espalda, se agarrará las palancas con las manos y se extenderán los brazos hacia arriba intentando mantener los hombros, codos y muñecas en el mismo plano.

El cilindro hidráulico tiene 6 niveles de resistencia que pueden ser seleccionados por el usuario. Cuando el usuario aplica una fuerza en un punto hace que el aceite interior de los cilindros transfiera la fuerza a otro punto provocando una resistencia suave y constante. La resistencia dependerá de la fuerza y de la velocidad con la que se realice el ejercicio.

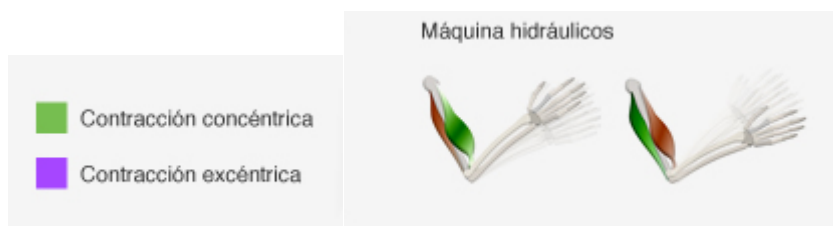
Estos equipos hidráulicos están dedicados al entrenamiento de fuerza en el campo de rehabilitación y el deporte, ya que es muy fácil de usar, tiene un

## CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

diseño muy simple y no requiero de un entrenador ni tampoco experiencia previa.

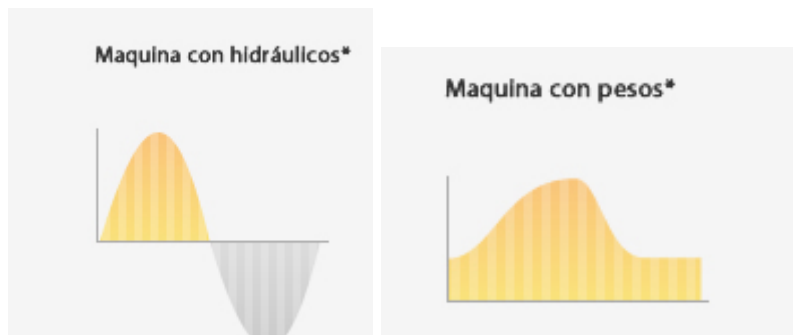
El principal problema de las máquinas hidráulicas es que en el ejercicio no se realizan contracciones excéntricas (Aquellas que se realizan durante la elongación del músculo), dichas contracciones tienen una gran importancia en el entrenamiento de la fuerza, ya que aumentan la ganancia de masa y volumen muscular, además de ser beneficiosas para la prevención de lesiones articulares.

Elongación: es el alargamiento de un músculo, asociado principalmente con la ejercitación física.



**Imagen 6. Contracción excéntrica**

A continuación se mostrara unas graficas donde se aprecia la diferencia de fuerzas que debe aplicar el usuario en la dirección que ejercita el musculo. Suponiendo que se está realizando el mismo tipo de ejercicio y tienen ambas maquinas la misma configuración de resistencia.



**Imagen 7. Diferencia de fuerzas**

Como se observa en la imagen 7 y aplicando estas graficas a las maquinas anteriormente mostradas, en las maquinas con cilindro hidraulico solo trabaja el músculo en el momento que estamos levantando o estirando los brazos, sin embargo en las maquinas con pesos como discos o placas, aparte de aplicar fuerza cuando se levantan los brazos tambien se sigue aplciando fuerza en la bajada para controlar el movimineto, siendo esto un inconveniente de las maquinas con cilindro hidraulico.

### 3. DEFINICION DE LOS DOS DISEÑOS DE MÁQUINAS HIDRAULICAS

#### 3.1 DISEÑO 1

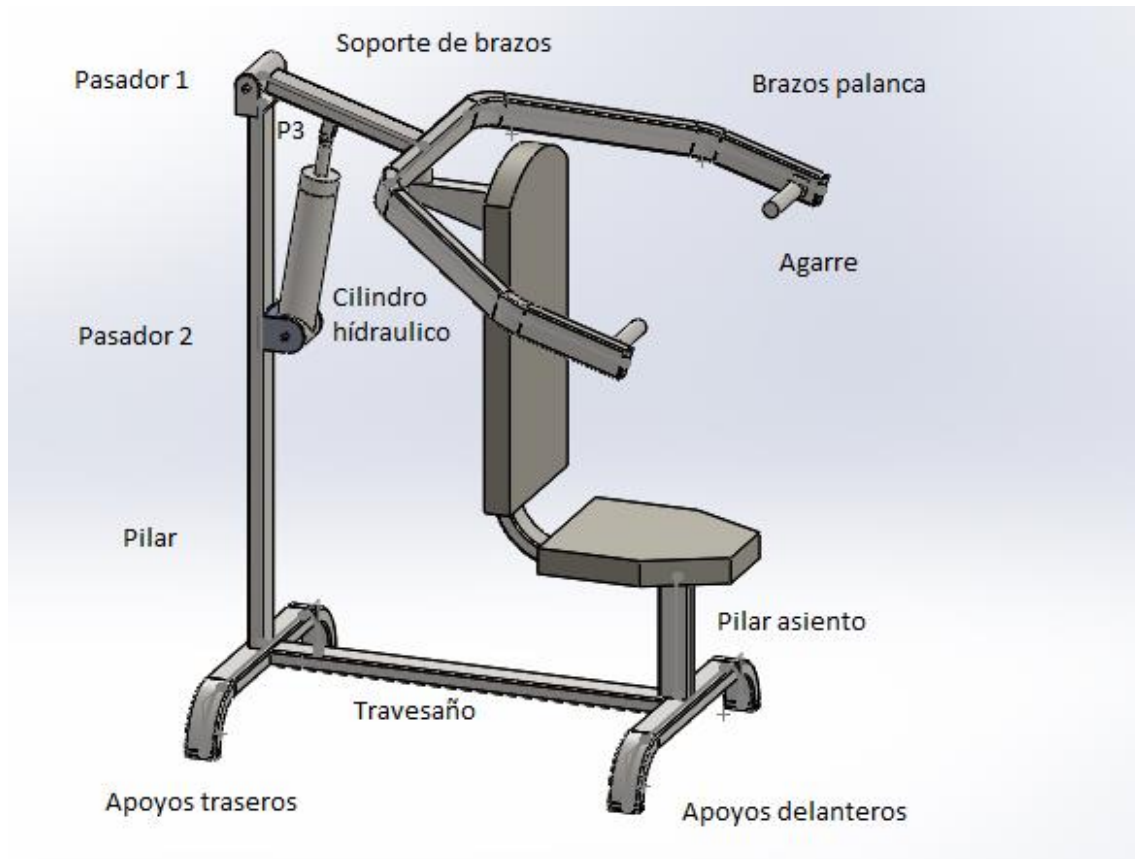


Imagen 8. Diseño 1

P3 = Pasador 3

Este modelo se trata de una máquina de gimnasio ya existente, que opone fuerza de resistencia mediante un cilindro hidráulico, toda su estructura está hecha con tubos de acero S275JR de sección rectangular y las uniones entre elementos se realizan por soldadura o mediante pasador.

Para estabilizar la máquina dispone de cuatro apoyos, dos delanteros y dos traseros, unidos mediante un travesaño, cuya función es rigidizar la estructura. Los apoyos delanteros sostienen el pilar del asiento, recibiendo mayoritariamente el peso del usuario, y en los apoyos traseros se sitúa el pilar. En el pilar va amarrado el cilindro hidráulico mediante un pasador (P2) y en el extremo superior, mediante un pasador (P1), va unido el soporte de los brazos. En él, realiza el cilindro hidráulico la fuerza de retroceso, unido mediante pasador (P3). En el extremo contrario de donde está unido con el pilar, van empotrados los brazos palanca. Estos brazos palanca en sus extremos tendrán empotrados los agarres donde el usuario realizará una fuerza vertical.

## CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

Los brazos palanca estarán apoyados en la posición de reposo sobre un apoyo que ira soldado a la barra que sostiene el respaldo.

El asiento y el respaldo esta hecho de goma espuma para mejorar la comodidad del usuario.

### 3.1.1 Componentes principales del diseño

Apoyos: Su función es la de dar estabilidad a la máquina, cada apoyo se compone de dos patas verticales y una barra horizontal que las une.

Travesaño: Es el encargado de unir los apoyos delanteros con las traseros, dando mayor rigidez al sistema.

Pilar: Se trata de una barra totalmente vertical, soldada sobre los apoyos traseros y siendo la pieza que hace de unión entre los apoyos y el soporte de los brazos. En él se localiza la unión con la parte inferior del cilindro hidráulico. Se trata de la parte de la máquina la cual está sometida a mayores tensiones.

Soporte brazos: Se trata de una de las partes móviles de la maquina junto a los brazos, que van unidos entre sí mediante soldadura. En el otro extremo de la barra irá soldado una pieza cilíndrica con un taladro pasante donde ira alojado el pasador 1. Esta barra también tendrá unido con un pasador el extremo superior del cilindro hidráulico, produciéndose en ese punto la fuerza de retroceso.

Brazos palanca: Esta es la otra parte móvil de la máquina, tiene soldados los agarras donde el usuario ejercerá la fuerza y va unido al soporte de los brazos mediante soldadura.

Pilar asiento: Tiene la función de soportar la barra que sujeta el asiento y el respaldo con su extremo superior, al cual va unido mediante soldadura. Su extremo inferior esta soldado en el centro de los apoyos delanteros.

Cilindro hidráulico: Formado por el cuerpo del cilindro y el vástago, es el encargado de realizar la fuerza de retroceso en el soporte de los brazos. El vástago está unido en el soporte de los brazos y el cuerpo del cilindro en el pilar de la máquina.



### 3.2 DISEÑO 2

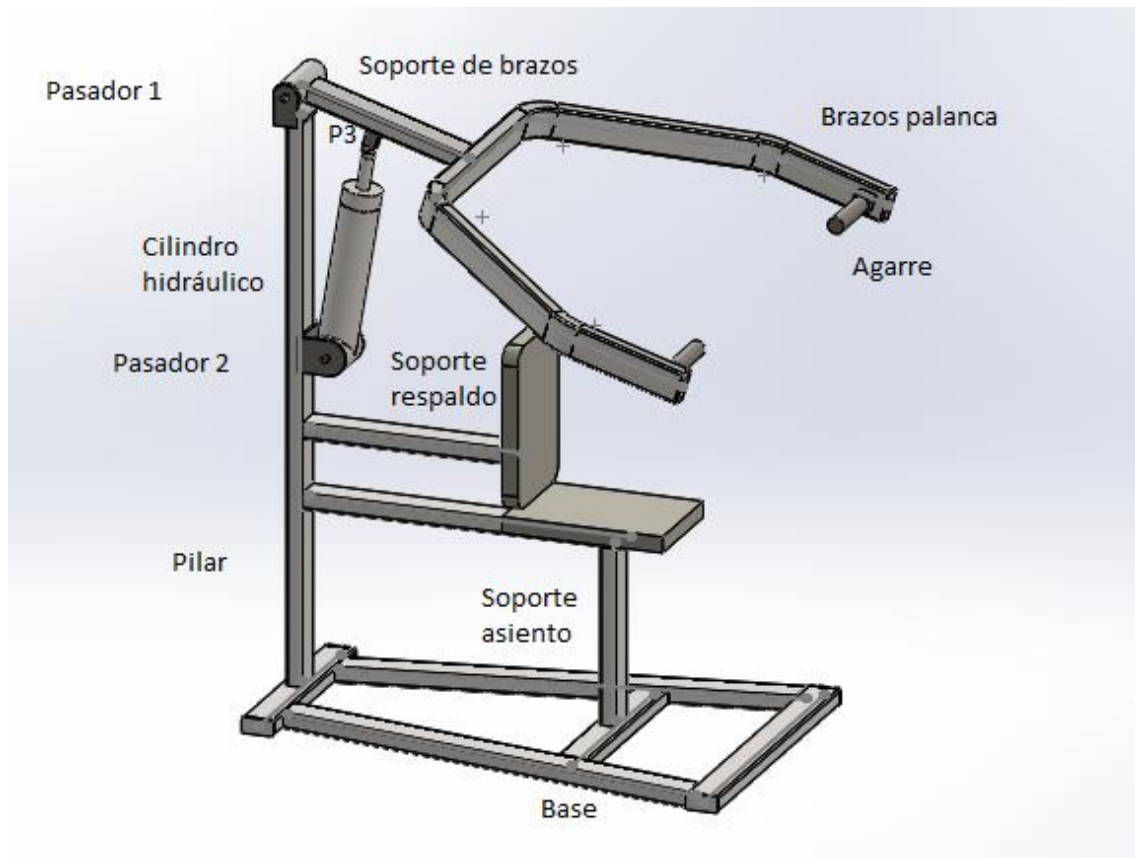


Imagen 9. Diseño 2

P3 = Pasador 3

Este diseño se ha tomado la idea de una máquina ya existente pero se han adaptado medidas para no tener que volver a calcular la máquina analíticamente. Se ha utilizado el mismo material y mismo perfil que en el diseño 1.

Este diseño igual que el anterior, también se trata de una máquina que opone resistencia mediante cilindro hidráulico y está construido con tubo de acero de sección rectangular.

A diferencia del diseño 1, la estabilidad se consigue mediante una base formada por cinco barras, unidas entre sí por soldadura. El respaldo va unido mediante una barra horizontal al pilar, y el asiento se sostiene gracias a dos barras unidas al pilar y al travesaño de la base. El resto de la máquina es igual que el diseño 1.

### 3.2.1 Componentes principales del diseño

Base: Se trata de 5 barras unidas entre ellas mediante soldadura y tiene la función de estabilizar la máquina.

Pilar: Barra soldada en la base, que a lo largo de ella tiene soldadas dos barras horizontales para formar el conjunto del asiento. Mediante un pasador sostiene la parte inferior del cilindro, y en el extremo superior se une el soporte de los brazos con otro pasador.

Soporte asiento: Formado por dos barras, una horizontal y una vertical, estas barras están sometidas a las cargas del peso del usuario. La barra horizontal va soldada al pilar y la vertical a la base.

Soporte respaldo: Se trata de una barra totalmente horizontal soldada al pilar cuya función es sostener el respaldo de la máquina.

Soporte brazos y brazos palanca: Se trata de las partes móviles de la máquina y tienen las mismas características del diseño 1 anteriormente citadas.

Cilindro hidráulico: Formado por el cuerpo del cilindro y el vástago, es el encargado de realizar la fuerza de retroceso en el soporte de los brazos.

## 4. HIPÓTESIS DE TRABAJO.

Para realizar el diseño se parte de un diseño ya existente del cual se tomaran las referencias de dicha máquina.

### 4.1 Material

El material utilizado para todos los elementos excepto para el asiento, se trata de un acero para construcción S275JR debido a que es un material que se emplea para piezas de resistencia media, buena tenacidad y un fácil conformado (curvado, plegado...). Este material es soldable y se utiliza básicamente para elementos de máquinas que exijan poca responsabilidad. Su límite elástico será de 275 MPa.

Más información sobre el material en el apartado de anexos.

### 4.2 Fuerzas

Las fuerzas se establecen cogiendo los casos más desfavorables para la máquina

El cilindro puede aplicar una fuerza de retroceso entre 5 y 100 kg, pudiéndose regular en 6 niveles diferentes. Por lo tanto la fuerza de retroceso del cilindro que se ha tomado es 980N (100kg)

El peso de una persona que se ha tomado corresponde al peso máximo indicado por el fabricante. Peso máximo de una persona = 1176N (120kg)

# CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

## 4.3 Dimensiones

Las dimensiones y el perfil utilizado se han tomado de la maquina ya existente.

El diseño de la estructura de la maquina será el mostrado en la imagen 10, estando todas las medidas en milímetros:

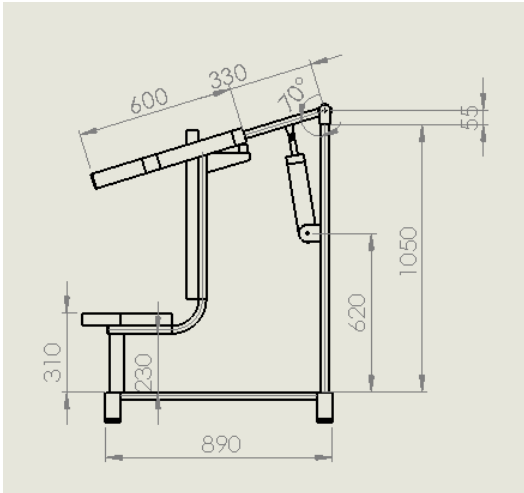


Imagen 10. Dimensiones máquina

El perfil que se utilizará es el mismo que el fabricante.

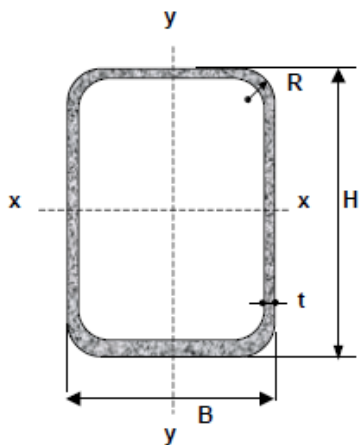


Imagen 11. Perfil

$$H = 60 \text{ mm}$$

$$B = 30 \text{ mm}$$

$$R = 2 \cdot t = 4 \text{ mm}$$

$$t = 2 \text{ mm}$$

# CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

Orejeta A:

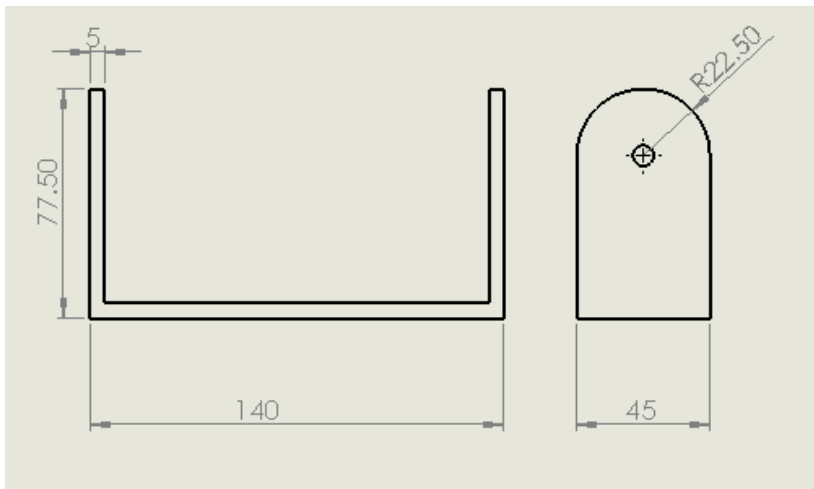


Imagen 12. Orejeta A

Orejeta B:

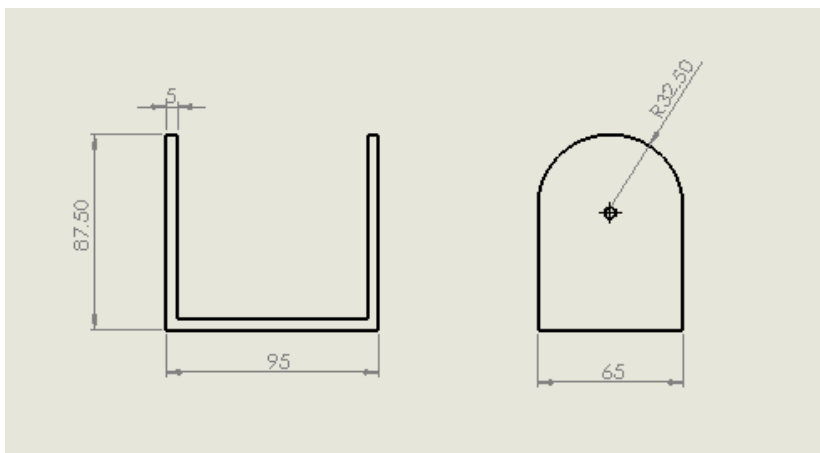


Imagen 13. Orejeta B

## 4.4 Coeficiente de seguridad

Para todos los cálculos se exigirá como mínimo un coeficiente de seguridad de 3, esto quiere decir que la capacidad máxima de los elementos debe ser al menos 3 veces mayor que el requerimiento real al que está sometido.

## 4.5 Posición de análisis

Para averiguar la posición más desfavorable a la que la maquina va a verse sometido a mayores esfuerzos, se ha estudiado 2 posiciones diferentes, la primera en el momento del arranque cuando el brazo forma 70 grados con el pilar. La segunda en el instante que el brazo forma 90 grados con el pilar.

#### 4.6 Lugar de aplicación de las cargas

Las cargas a las que está sometida la maquina se trata de una carga repartida de 1176 N en el asiento y en dirección totalmente vertical. En la barra soporte de los brazos, a una distancia de 170 mm desde el pasador (el cual hace de eje de rotación al brazo) se aplica una fuerza resultante de 980N, dicha fuerza es la que se regula en el cilindro hidráulico. En el pilar a 620 mm de las patas se aplicara la fuerza resultante anterior pero en sentido opuesto.

#### 4.7 Fuerza realizada por la persona.

La fuerza que tiene que aplicar una persona a los agarres para desplazar la maquina dependerá de la posición en la que este la máquina.

#### 4.8 Datos del cilindro hidráulico.

Se utilizaran los datos del cilindro hidráulico de la maquina ya existente.

La carrera del cilindro hidráulico será de 150 milímetros.

Radio interno = 25 milímetros.

Radio externo = 35 milímetros.

Espesor = Radio interno – Radio externo = 10 milímetros.

Diámetro vástago = 22 milímetros.

Diámetro pistón = 50 milímetros.

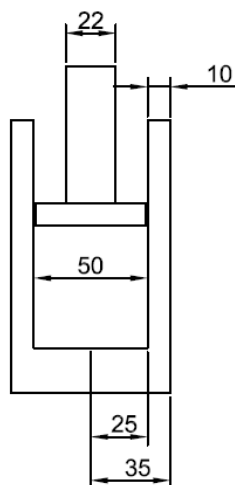


Imagen 14. Cilindro hidráulico

# CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

## 4.9 Uniones

Las uniones entre los perfiles se realizaran mediante soldadura.

La unión del cilindro hidráulico con sus correspondientes soportes se realizará con pasador (Pasador 2, Pasador 3).

La unión entre el soporte del brazo y el pilar se realizará con un pasador (pasador 1).

Las dimensiones mínimas de los pasadores se calcularan más adelante.

## 5. CÁLCULO ANALÍTICO.

Para los cálculos analíticos, solo se ha calculado de un solo diseño, ya que las medidas de las barras principales y las fuerzas que actúan sobre ellas son las mismas. Cuando se simule con SolidWorks se diferenciará entre los dos diferentes diseños.

La metodología utilizada para los cálculos analíticos consta de los siguientes pasos:

- Diagrama de sólido libre: Concretamente, el diagrama de sólido libre (DSL) de un cuerpo es un croquis de éste 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.
- Planteamiento de ecuaciones: Este apartado consiste en incluir, en las ecuaciones de equilibrio, todas las fuerzas y pares aplicados sobre el sólido y representado en el diagrama de sólido libre.
- Resolver las ecuaciones: 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 pero si es mayor no tiene solución por el método indicado y decimos que es un problema estáticamente indeterminado.
- Diagramas de esfuerzos: Nos servirán para determinar las sollicitaciones que soporta cada punto de las diferentes barras.
- Comprobación del coeficiente de seguridad: Una vez que se ha realizado los pasos anteriores y con las hipótesis del apartado 4, se procederá a obtener los coeficientes de seguridad para comprobar que cumplen.

### 5.1 Cálculo de la posición más desfavorable

Se van a calcular las fuerzas y reacciones que actúan en cada componente principal, para ello se hará el equilibrio de fuerzas en cada barra, estudiando dos posiciones diferentes.

Seguidamente se plantearán las ecuaciones en cada barra y posteriormente, con ayuda del programa EES (Engineering Equation Solver), se obtendrán todas las incógnitas. Para finalizar se comparará entre las dos posiciones analizando cual está sometida a mayores cargas.



# CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

## POSICIÓN 1

La primera posición se trata de la posición de arranque en la que la barra soporte de brazos está formando 70 grados con el pilar.

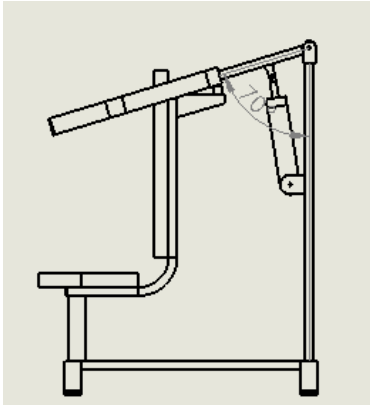


Imagen 15. Posición 1

Se ha de tener en cuenta que todas las medidas se anotarán en metros y todas las fuerzas en Newton.

### Caso general:

Análisis del conjunto que se realizará para averiguar si es estable la máquina y que no exista vuelco: Para eso  $FG_1$  y  $FG_2$ , que son las fuerzas en los apoyos, deben ser mayor que 0.  $2F$  se refiere a que hay dos brazos idénticos, siendo  $F$  la fuerza que ejerce el usuario en un solo brazo.  $P$  se trata del peso del usuario que se sienta en la máquina. A continuación se mostrará una imagen simplificada del diseño con sus medidas correspondientes en metros y el punto donde van situadas las cargas en Newton.

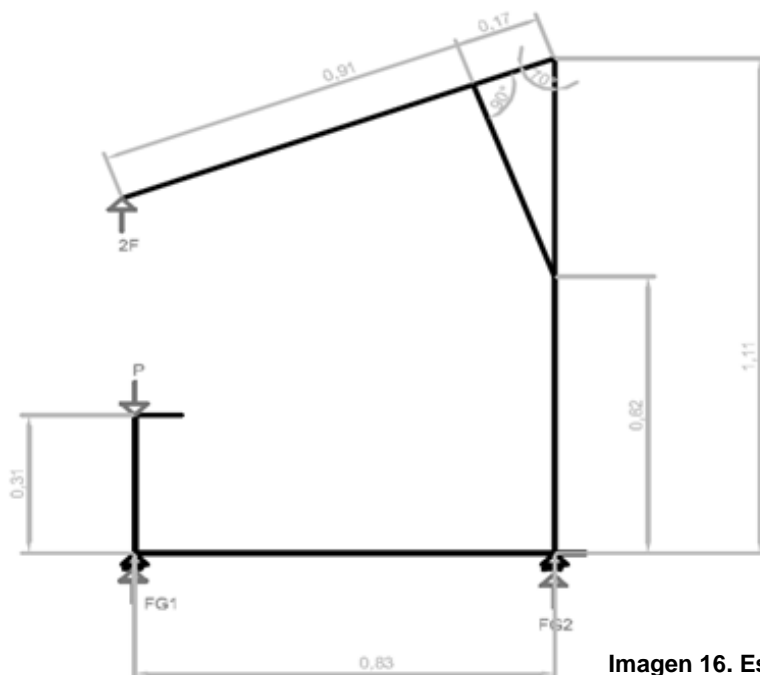


Imagen 16. Estructura general posición 1

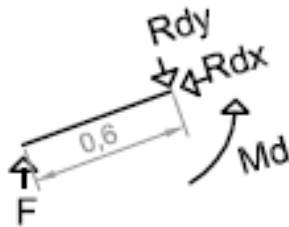
## CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

$$\sum Fy = 0 \quad FG1 + FG2 - P + 2 * F = 0$$

$$\sum MG2 = 0 \quad -FG1 * 0.83 + P * 0.83 - 2 * F * 0.91 * \text{sen}70 = 0$$

### Brazos:

Para realizar el cálculo solo se ha tenido en cuenta un brazo debido a que es simétrico. La barra esta dibujada en ejes locales. El momento llamado Md, se produce debido a la unión por soldadura entre los brazos y la barra soporte de los brazos, tratándose de un empotramiento.



$$\sum Fx = 0 \quad -RDz + F * \cos 70 = 0$$

$$\sum Fy = 0 \quad -RDy + F * \text{sen} 70 = 0$$

$$\sum MD = 0 \quad Md - F * \text{sen} 70 * 0.6 = 0$$

Imagen 17. Esquema brazos

### Soporte brazos:

A esta barra le llegará los esfuerzos de los dos brazos, que al ser simétricos serán el doble de la barra anterior. La barra se representa en ejes locales.

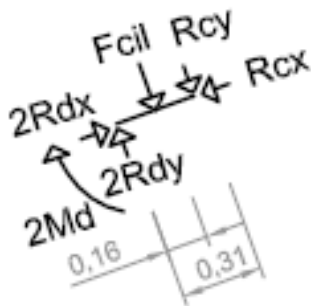


Imagen 18. Esquema soporte brazos

$$\sum Fx = 0 \quad 2Rdx - Rcx = 0$$

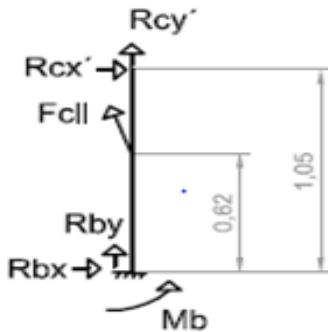
$$\sum Fy = 0 \quad 2Rdy - Rcy - Fcil = 0$$

$$\sum MD = 0 \quad -2Md - Fcil * 0.16 - Rcy * 0.31 = 0$$

## CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

### Pilar:

A continuación se cambiará  $R_{cx}$  y  $R_{cy}$  de ejes locales a ejes globales llamándolos  $R_{cx'}$  y  $R_{cy'}$ . Se sabe que el cilindro forma 20 grados respecto del pilar.



**Imagen 19. Esquema pilar**

$$F_{cilx} = F_{cil} * \text{sen}20$$

$$F_{cily} = F_{cil} * \text{cos}20$$

$$R_{cx'} = R_{cx} * \text{cos}(20) - R_{cy} * \text{sen}(20)$$

$$R_{cy'} = R_{cx} * \text{sen}(20) + R_{cy} * \text{cos}(20)$$

$$\sum F_x = 0 \quad R_{cx'} - F_{cilx} + R_{bx} = 0$$

$$\sum F_y = 0 \quad R_{cy'} + F_{cily} + R_{by} = 0$$

$$\sum M_B = 0 \quad M_b - R_{cx'} * 1,05 + F_{cilx} * 0,62 - F_{cily} * 0,055 = 0$$

### Pilar asiento:

Esta barra solo sufre la carga vertical producida por el peso del usuario.



**Imagen 20. Esquema pilar asiento**

$$\sum F_x = 0 \quad R_{ax} = 0$$

$$\sum F_y = 0 \quad -P + R_{ay} = 0$$

$$\sum M_A = 0 \quad M_a = 0$$

## CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

### Apoyo delantero:

FG1 se trata de la fuerza puntual que sufre el apoyo delantero, esta fuerza se obtiene del caso general anteriormente descrito.

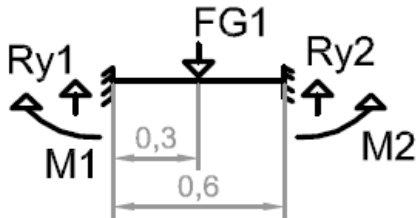


Imagen 21. Esquema apoyo delantero

$$\sum Fy = 0 \quad Ry1 + Ry2 - FG1 = 0$$

$$\sum M1 = 0 \quad Ry2 * 0.6 - FG1 * 0.3 = 0$$

### Apoyo trasero:

Igual que en el caso anterior la fuerza FG2 se obtiene del caso general y es la fuerza que sufre el apoyo trasero.

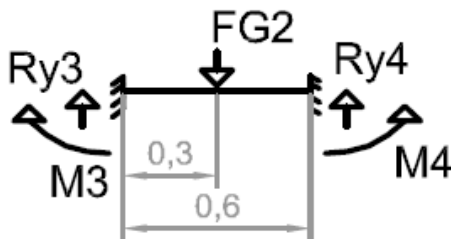


Imagen 22. Esquema apoyo trasero

$$\sum Fy = 0 \quad Ry3 + Ry4 - FG2 = 0$$

$$\sum M3 = 0 \quad Ry4 * 0.6 - FG2 * 0.3 = 0$$

# CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

## POSICIÓN 2

La segunda posición se trata de una posición intermedia, cuando el usuario está realizando el movimiento y la barra soporte de brazos está formando 90 grados con el pilar. Solo se volverán a dibujar las barras que han cambiado de posición.

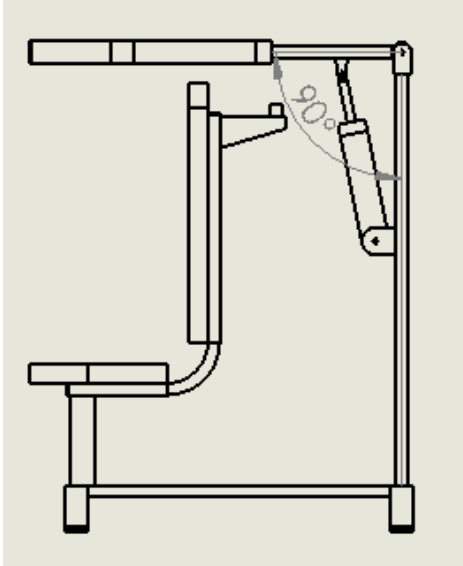


Imagen 23. Posición 2

### Caso general:

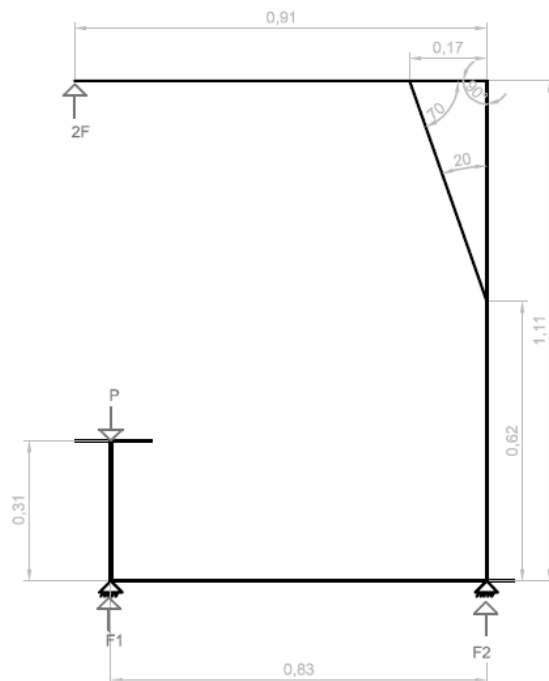


Imagen 24. Estructura general posición 2

## CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

$$\sum Fy = 0 \quad FG1 + FG2 - P + 2 * F = 0$$

$$\sum MG2 = 0 \quad -FG1 * 0.83 + P * 0.83 - 2 * F * 0.91 = 0$$

### Brazos:

En esta posición en los brazos no hay inclinación, se podrá trabajar en ejes globales a diferencia de la posición anterior. Se seguirá calculando un solo brazo debido a que son simétricos.

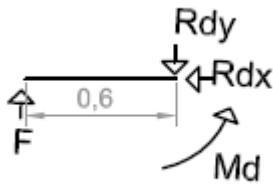


Imagen 25. Esquema brazos

$$\sum Fx = 0 \quad -RDx = 0$$

$$\sum Fy = 0 \quad -RDy + F = 0$$

$$\sum MD = 0 \quad Md - F * 0.6 = 0$$

### Soporte brazos:

Le llegara el doble de fuerzas y de momento en el punto D debido a que son dos brazos simétricos y que en la barra anterior solo se ha tenido en cuenta un solo brazo. La fuerza del cilindro ahora forma un ángulo de 70 grados respecto la barra.

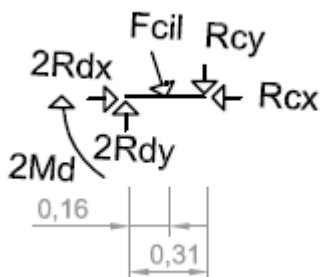


Imagen 26. Esquema soporte brazos

$$\sum Fx = 0 \quad 2Rdx - Rcx + Fcilx = 0$$

$$\sum Fy = 0 \quad 2Rdy - Rcy - Fcily = 0$$

$$\sum MD = 0 \quad -2Md + Fcily * 0.15 - 2 * Rdy * 0.31 = 0$$

## CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

### Pilar:

Debido a que las barras no tenían inclinación y se ha trabajado siempre en ejes globales:

$$Rcx' = Rcx$$

$$Rcy' = Rcy$$

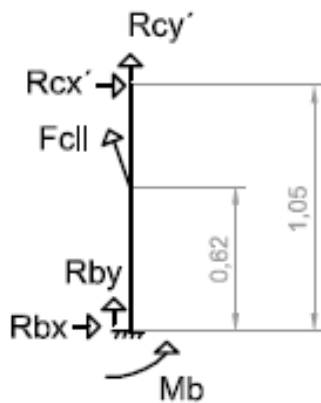


Imagen 27. Esquema pilar

$$Fcilx = Fcil * \text{sen}20$$

$$Fcily = Fcil * \text{cos}20$$

$$\sum Fx = 0 \quad Rcx' - Fcilx + Rbx = 0$$

$$\sum Fy = 0 \quad Rcy' + Fcily + Rby = 0$$

$$\sum MB = 0 \quad Mb - Rcx' * 1.05 + Fcilx * 0.62 - Fcily * 0.055 = 0$$

El resto de barras será igual que en la posición 1.

Con ayuda del programa EES se han calculado las fuerzas y reacciones en los diferentes elementos. En una tabla se recogerán dichas fuerzas y reacciones, posteriormente se comparará las dos diferentes posiciones averiguando cual será la más desfavorable.

## CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

	POSICIÓN 1	POSICIÓN 2
F(N)	85.95	75.9
Rdx(N)	29.4	0
Rdy(N)	80.77	75.9
Rcx(N)	58.8	335.2
Rcy(N)	-818.5	-769.1
Rcx'(N)	335.2	335.2
Rcy'(N)	-749	-769.1
Rbx(N)	0	0
Rby(N)	-171.9	-151.8
Ray(N)	1176	1176
P(N)	1176	1176
Md(Nm)	48.46	45.54
Mb(Nm)	221.6	160.9
Fcil(N)	980	980
Fcilx(N)	335.2	335.2
Fcily(N)	920.9	320.9
FG1(N)	998.9	1010
FG2(N)	5.203	14.63
Ry1(N)	499.4	504
Ry2(N)	499.4	504
Ry3(N)	2.6	7.3
Ry4(N)	2.6	7.3

**Tabla 1. Comparación fuerzas**

Todas las barras sufren mayores cargas en la posición 1, exceptuando los apoyos, cuyas fuerzas soportadas son mayores en la posición 2. Por lo tanto para realizar el cálculo analítico se cogerá las posiciones más desfavorables individualmente para cada barra.

### 5.2 Diagrama de esfuerzos en cada elemento.

#### Brazos:

Simplificación de la barra en ejes globales:



**Imagen 28. Cargas brazos**



# CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

Esfuerzo Axil:

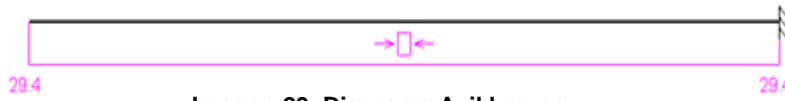


Imagen 29. Diagrama Axil brazos

Esfuerzo Cortante:



Imagen 30. Diagrama Cortante brazos

Momento Flector:

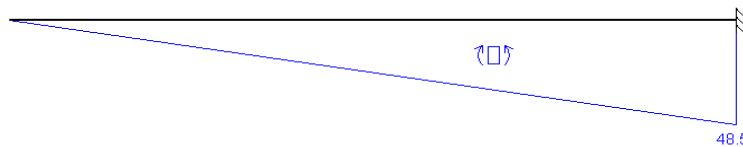


Imagen 31. Diagrama Momento brazos

Una vez hallados los diagramas de esfuerzos observamos que el punto más desfavorable en esta barra se encuentra en la unión entre los brazos y la barra soporte de brazos (punto D), ya que se trata de un empotramiento y se produce el mayor momento de 48,5 Newton por metro.

Soporte de brazos:

Simplificación de la barra en ejes globales:

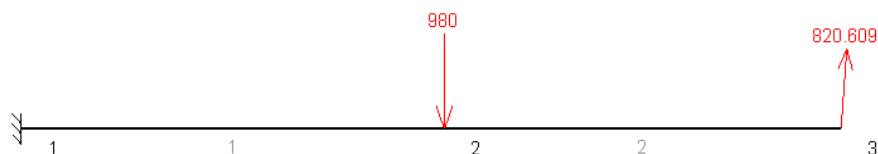


Imagen 32. Cargas soporte brazos

# CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

Esfuerzo Axil:



Imagen 33. Diagrama Axil soporte brazos

Esfuerzo Cortante:

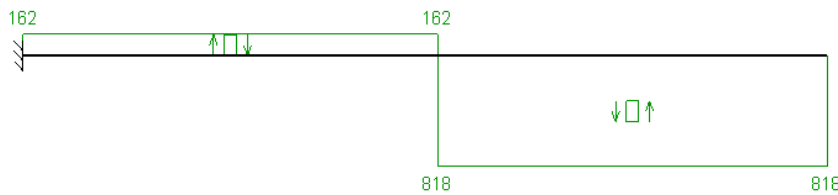


Imagen 34. Diagrama Cortante soporte brazos

Momento Flector:

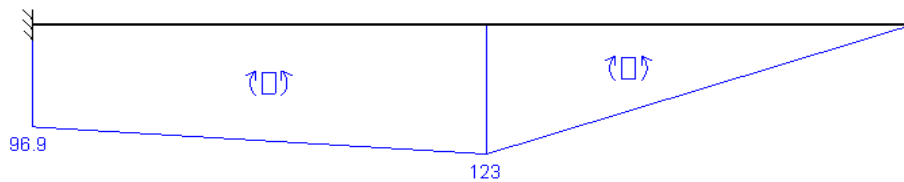


Imagen 35. Diagrama Momento soporte brazos

En esta barra el punto más desfavorable se encuentra en el punto donde el cilindro aplica la fuerza de retroceso, produciéndose el máximo momento flector de 123 Newton por metro.

# CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

## Pilar:

Simplificación de la barra en ejes globales

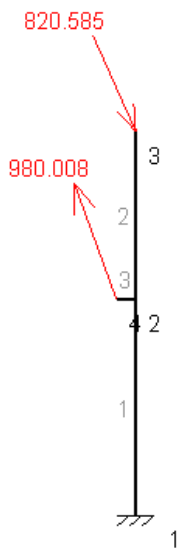


Imagen 36. Cargas pilar

Esfuerzo Axil:

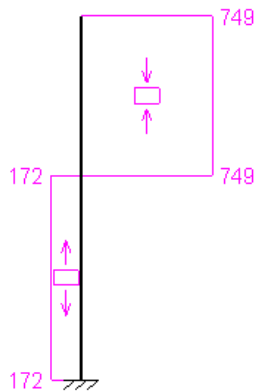


Imagen 37. Diagrama Axil pilar

Esfuerzo Cortante:



Imagen 38. Diagrama Cortante pilar

# CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

Momento Flector:

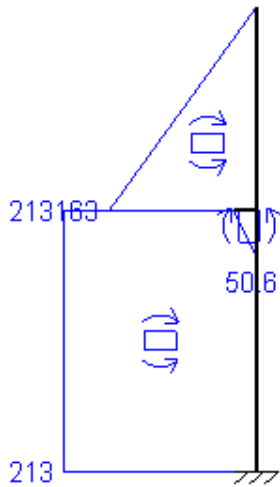


Imagen 39. Diagrama Momento pilar

En el pilar, el punto más desfavorable se trata del lugar donde se aplica la fuerza del cilindro, produciéndose el máximo momento flector de 213 Newton por metro y el máximo esfuerzo axial de 921 Newton.

Pilar asiento:

Simplificación de la barra:

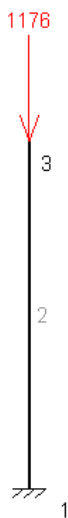


Imagen 40. Cargas pilar asiento

# CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

Esfuerzo Axil:

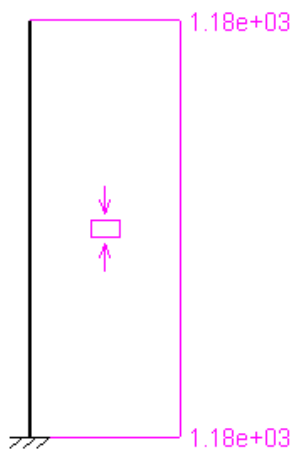


Imagen 41. Diagrama Axil pilar asiento

Esta barra solamente está sometida a esfuerzo axial debido a que solo se aplica una fuerza vertical producida por el peso del usuario. Toda la barra tiene un axil constante, por lo tanto se puede coger cualquier punto de la barra para analizar.

Apoyo delantero:

Simplificación de la barra:

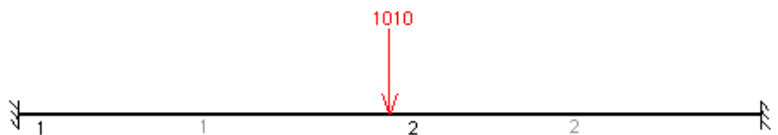


Imagen 42. Cargas apoyo delantero

Esfuerzo Cortante:

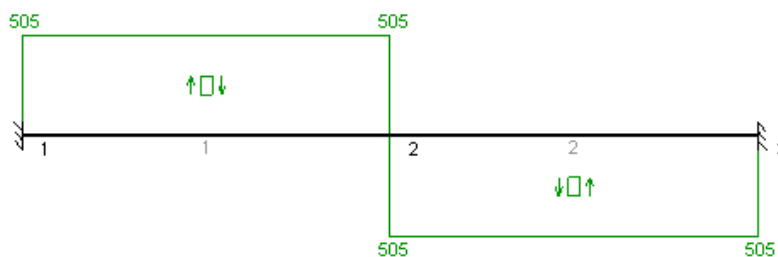


Imagen 43. Diagrama Cortante apoyo delantero

# CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

Momento Flector:

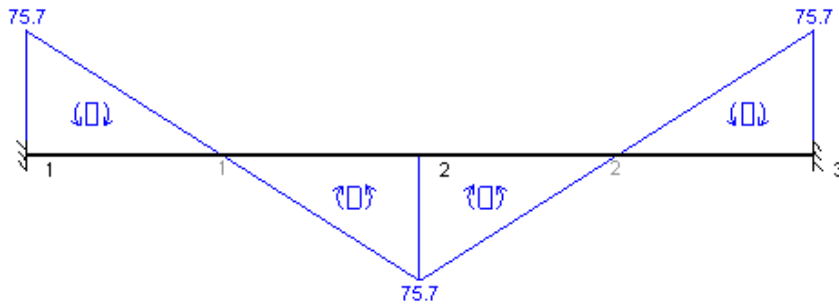


Imagen 44. Diagrama Momento apoyos delanteros

El punto más desfavorable se encuentra en el lugar donde está unido el pilar del asiento con las patas delanteras, soportando el peso de la persona y produciendo un esfuerzo cortante.

Apoyo trasero:

Simplificación de la barra:



Imagen 45. Cargas apoyo trasero

Esfuerzo Cortante:

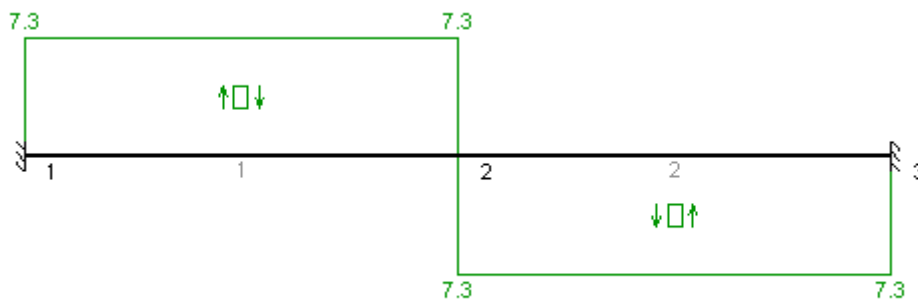


Imagen 46. Diagrama Cortante apoyo trasero

# CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

Momento flector:

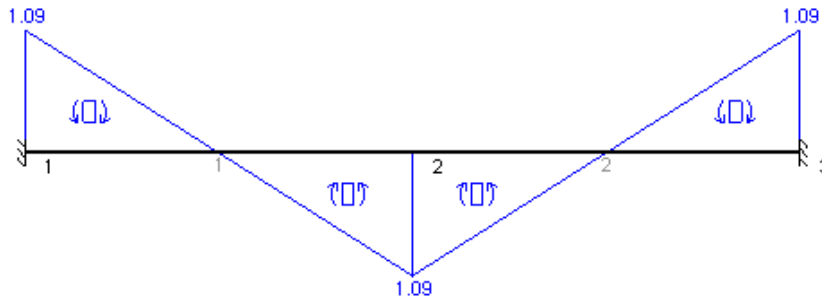


Imagen 47. Diagrama Momento apoyo trasero

Ya que las patas delanteras son iguales a estas pero están sometidas a mayores esfuerzos, con realizar el cálculo de las patas delanteras servirá.

## 5.3 Cálculo del coeficiente de seguridad de los perfiles.

Debido a que partimos de una máquina ya existente, se ha utilizado el perfil con el cual está construida la máquina y con ello se comprobará que el coeficiente de seguridad es mayor que 3. Para realizar estos cálculos se cogerá el punto más desfavorable de la barra.

Se debe tener en cuenta que el perfil es de acero S275 (límite elástico 275 MPa) y con unas medidas citadas anteriormente de 60x30x2. La tabla de propiedades está adjunta en el apartado de anexos.

Con la ayuda de dicha tabla se ha obtenido los siguientes valores:

Área:  $A=3,337 \text{ cm}^2 = 333,7 \text{ mm}^2$

Module elástico resistente en x:  $W_x = 5,012 \text{ cm}^3 = 5012 \text{ mm}^3$

Module elástico resistente en y:  $W_y = 3,381 \text{ cm}^3 = 3381 \text{ mm}^3$

Brazo:

El punto más desfavorable en esta barra aparece en el punto D, debido a que se trata de un empotramiento. El perfil según su posicionamiento flexa respecto a su eje x.

Para realizar estos cálculos se tomará los valores obtenidos anteriormente en los diagramas de sólido libre:

$N \text{ (Axil)} = 29,4 \text{ N}$

$M_f \text{ (Momento flector)} = 48,5 \text{ Nm} = 48500 \text{ Nmm}$

## CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

$$\sigma_x = \frac{Mf}{Wx} + \frac{N}{A} = \frac{48500 \text{ Nmm}}{5012 \text{ mm}^3} + \frac{29.4 \text{ N}}{333,7 \text{ mm}^2} = 9,76 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$C_s = \frac{\sigma_f}{\sigma_x} = \frac{275 \text{ Mpa}}{9,76 \text{ Mpa}} = 28,17$$

Este coeficiente es mucho mayor que 3, por lo tanto cumple.

### Barra soporte de brazo:

El punto más desfavorable será el punto donde el cilindro hidráulico aplica la fuerza de retroceso. En esta barra habrá que tener en cuenta que el perfil flexa respecto del eje y debido a su posicionamiento.

$$N (\text{Axil}) = 58.8 \text{ N}$$

$$Mf (\text{Momento flector}) = 123 \text{ Nm} = 123000 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_x = \frac{Mf}{Wy} + \frac{N}{A} = \frac{123000 \text{ Nmm}}{3381 \text{ mm}^3} + \frac{58,8 \text{ N}}{333,7 \text{ mm}^2} = 36,55 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$C_s = \frac{\sigma_f}{\sigma_x} = \frac{275 \text{ Mpa}}{36,55 \text{ Mpa}} = 7,52$$

Este coeficiente es mayor que 3, por lo tanto el perfil cumple.

### Pilar:

El punto más desfavorable será el punto donde está amarrado el cilindro hidráulico. En esta barra habrá que tener en cuenta que el perfil flexa respecto del eje y debido a su posicionamiento.

$$N (\text{Axil}) = 921 \text{ N}$$

$$Mf (\text{Momento flector}) = 213 \text{ Nm} = 213000 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_x = \frac{Mf}{Wy} + \frac{N}{A} = \frac{213000 \text{ Nmm}}{3381 \text{ mm}^3} + \frac{921 \text{ N}}{333,7 \text{ mm}^2} = 65,76 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$C_s = \frac{\sigma_f}{\sigma_x} = \frac{275 \text{ Mpa}}{65,76 \text{ Mpa}} = 4,18$$

Este coeficiente es mayor que 3, por lo tanto el perfil cumple.



## CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

### Barra soporte asiento:

Esta barra solo estará sometida a esfuerzo axial, debido al peso de la persona.

Sus valores son:

$$N (\text{Axil}) = 1180 \text{ N}$$

$$\sigma_x = \frac{Mf}{Wy} + \frac{N}{A} = \frac{1180 \text{ N}}{333,7 \text{ mm}^2} = 3,53 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$C_s = \frac{\sigma_f}{\sigma_x} = \frac{275 \text{ Mpa}}{3,53} = 77,9$$

Este coeficiente es mayor que 3, por lo tanto el perfil cumple.

### Apoyo delantero:

Los puntos más desfavorables serán en los extremos de la barra o en el centro. En esta barra habrá que tener en cuenta que el perfil flexa respecto del eje y debido a su posicionamiento.

$$Mf (\text{Momento flector}) = 75 \text{ Nm} = 75000 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_x = \frac{Mf}{Wy} + \frac{N}{A} = \frac{75000 \text{ Nmm}}{3381 \text{ mm}^3} = 22,18 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$C_s = \frac{\sigma_f}{\sigma_x} = \frac{275 \text{ Mpa}}{22,18 \text{ Mpa}} = 12,39$$

Este coeficiente es mayor que 3, por lo tanto el perfil cumple.

#### 5.4 Cálculo del diámetro de los pasadores.

Se va a calcular los diámetros mínimos de los pasadores a doble cortadura, dos de ellos serán iguales debido a que tienen la misma fuerza resultante del cilindro hidráulico. Los pasadores serán también de acero S275 y deben tener un coeficiente de seguridad de 3. También se va a calcular el coeficiente de seguridad de la pared del pasador sabiendo que cada pared tiene 5 milímetros de espesor.

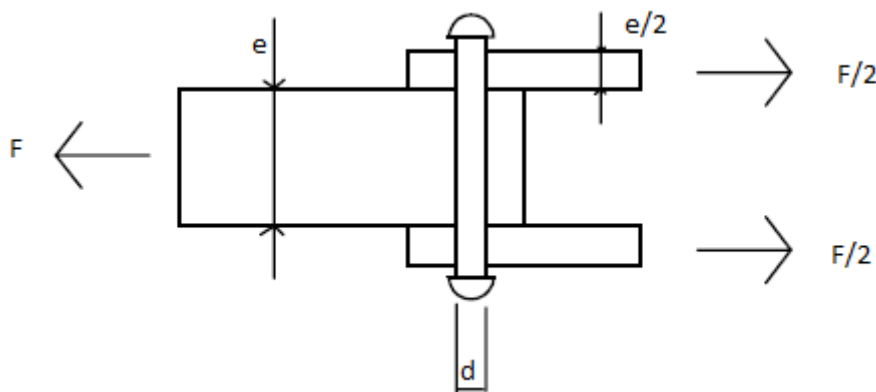


Imagen 48. Esquema pasador

$F$  se trata de la fuerza resultante que actúa en cada pasador.

$d$  = será el diámetro mínimo que debe tener el pasador.

#### PASADOR A

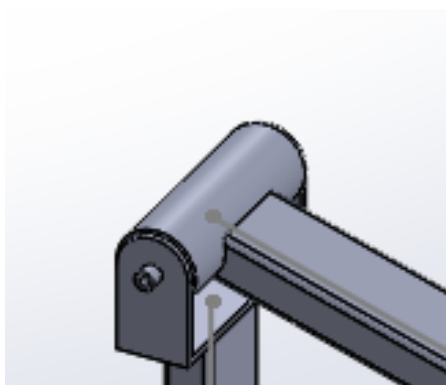


Imagen 49. Pasador A

Este pasador es el encargado de unir el pilar con la barra soporte de brazos.

Primero se analizará el fallo a doble cortadura para obtener el diámetro mínimo del pasador, posteriormente se calculará a tracción y compresión para comprobar que el espesor de la pared cumple con el coeficiente de seguridad fijado en 3.

## CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

Se debe saber la fuerza resultante a la que está sometido este pasador:

Estas fuerzas se obtienen de la tabla del apartado 5.1 y son las que aparecen en el punto C.

$$F_{res} = \sqrt{749^2 + 335,2^2} = 820,5 \text{ N}$$

A doble cortadura:

$$\tau_{adm} = \frac{1}{2} \frac{\sigma_f}{C_s} = \frac{1}{2} \frac{275}{3} = 45,83 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}.$$

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

$$\tau = \tau_{adm}$$

$$A = 8,95 \text{ mm}^2$$

$$A = \pi d^2 / 4$$

$d = 3,37$  milímetros como mínimo.

Por lo tanto el diámetro elegido para el pasador A se trata de 5 milímetros

A tracción y compresión:

$$\sigma_{aplastamiento} = \frac{F_{placa} / 2}{d * e} = \frac{820,5 / 2}{8 * 5} = 10,25 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}.$$

$$\sigma_{aplastamiento} = \frac{\sigma_f}{C_s} \quad C_s = 26$$

El coeficiente de seguridad es mayor que 3 y por lo tanto cumple.

## PASADOR B

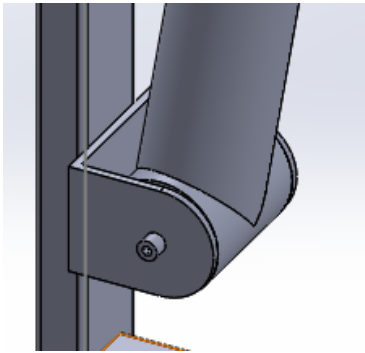


Imagen 50. Pasador B

Este pasador es el encargado de unir el soporte que está soldado en el pilar con el cilindro hidráulico, para hallar su diámetro mínimo se analizará a doble cortadura.

Lo primero que se debe conocer es la fuerza resultante que actúa en el pasador, en este caso será la ejercida por el cilindro.  $F_{res} = 980 \text{ N}$ .

$$\tau_{adm} = \frac{1}{2} \frac{\sigma_f}{C_s} = \frac{1}{2} \frac{275}{3} = 45,83 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}.$$

$$\tau = \frac{\frac{F}{2}}{A}$$

$$\tau = \tau_{adm}$$

$$A = 10,69 \text{ mm}^2$$

$$A = \pi d^2 / 4$$

$d = 3,68$  milímetros como mínimo.

Por lo tanto, el diámetro elegido será de 5 mm

A tracción y compresión:

$$\sigma_{aplastamiento} = \frac{F_{placa} / 2}{d * e} = \frac{980 / 2}{5 * 5} = 19,6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}.$$

$$\sigma_{aplastamiento} = \frac{\sigma_f}{C_s} \quad C_s = 14$$

Al ser mayor que 3 cumple.

### PASADOR C

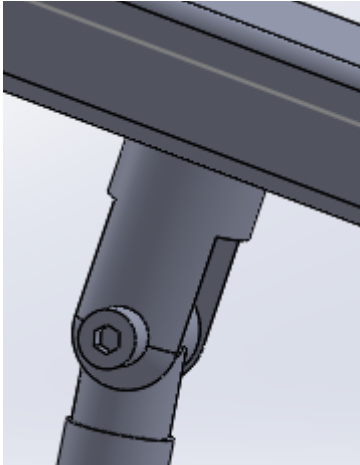


Imagen 51. Pasador C

Este pasador hace de unión entre la barra soporte de los brazos y el vástago del cilindro hidráulico, debido a que se le aplica la misma fuerza resultante y está hecho del mismo material, los cálculos serán los mismo que para el pasador B, por lo tanto el diámetro elegido será de 5 milímetros.

#### 5.5 Cálculo de la presión del cilindro.

En este apartado se va a calcular la presión con la que esta trabajando el cilindro hidráulico cuando está ejerciendo una fuerza de retroceso de 980 N y con las dimensiones anteriormente citadas en el apartado 4.

Con los datos citados en las hipótesis y aplicando la siguiente formula:

$$d_{ext} = 50 \text{ milímetros}$$

$$d_{vástago} = 22 \text{ milímetros}$$

$$F_{retroceso} = 980 \text{ Newton}$$

$$F_{retroceso} = P * \pi * (d_{ext}^2 - d_{vástago}^2)/9,81$$

$$P = F_{retroceso} * 9,81 / (d_{ext}^2 - d_{vástago}^2) \pi$$

$$P = 980 * 9,81 / (50^2 - 22^2) \pi = 1,51 \frac{N}{mm^2}.$$

Esta será la presión con la que trabaja el cilindro hidráulico.

## 5.6 Calculo del coeficiente de seguridad de la orejeta de amarre del cilindro.

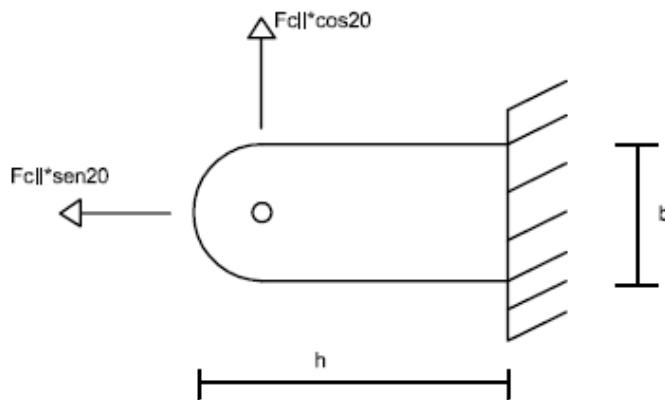


Imagen 52. Esquema orejeta

En la imagen 52 podemos ver un dibujo en el que se representa la forma de la orejeta donde va amarrado el cilindro, ya que conocemos su altura y anchura comprobaremos cuál es su coeficiente de seguridad. Lo primero que se debe tener en cuenta es que la fuerza del cilindro estará dividida de dos, debido a que son dos orejetas iguales.

$$(Axil) N = \frac{F_{cil} * \text{sen}20}{2}$$

$$N = 167,5 \text{ N}$$

$$A = b * e = 65 \text{ mm} * 5 \text{ mm} = 325 \text{ mm}^2$$

$$M_z = h * \frac{F_{cil} * \text{cos}20}{2} = 87,5 * \frac{980 * \text{cos}20}{2} = 40289 \text{ Nmm}$$

$$W_z = \frac{1}{6} e * b^2 = \frac{1}{6} 5 * 65^2 = 3520,8 \text{ mm}^3$$

$$\sigma = \frac{M_z}{W_z} + \frac{N}{A} = \frac{40289 \text{ Nmm}}{3520,8 \text{ mm}^3} + \frac{167,5 \text{ N}}{325 \text{ mm}^2} = 11,96 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma = \frac{\sigma_f}{C_s}$$

$$C_s = \frac{275}{11,96} = 22,9$$

El coeficiente de seguridad es mayor que 3.

## 6. Modelado 3D

Para el modelado se ha utilizado el programa Solidworks 2014.

SolidWorks es un programa de diseño mecánico en 3D que utiliza un entorno gráfico basado en Microsoft Windows, intuitivo y fácil de manejar. Su filosofía de trabajo permite plasmar sus ideas de forma rápida sin necesidad de realizar operaciones complejas y lentas.

Las principales características que hace de SolidWorks una herramienta versátil y precisa es su capacidad de ser asociativo, variacional y paramétrico de forma bidireccional con todas sus aplicaciones. Además utiliza el Gestor de diseño (FeatureManager) que facilita enormemente la modificación rápida de operaciones tridimensionales y de croquis de operación sin tener que rehacer los diseños ya plasmados en el resto de sus documentos asociados.

Junto con las herramientas de diseño de Pieza, Ensamblajes y Dibujo, SolidWorks incluye Herramientas de Productividad, de Gestión de Proyectos, de Presentación y de Análisis y Simulación que lo hacen uno de los estándares de diseño mecánico más competitivo del mercado.

A continuación se explicará cómo se han modelado las piezas en 3D, primero se mostraran las piezas y barras que son comunes para ambos diseños y seguidamente las piezas o barras particulares de los dos diseños.

# CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

## 6.1 Piezas comunes para ambos diseños.

Estructura de los Brazos y pilar: Para modelar las barras de las imágenes 53 y 54, primero se ha creado el perfil estructural hueco con sus dimensiones citadas anteriormente, seguidamente, en un croquis, se ha ido dibujando mediante líneas la longitud y forma de cada barra, para que finalmente, al croquis se le asigna el perfil estructural creado y queden de la siguiente manera:

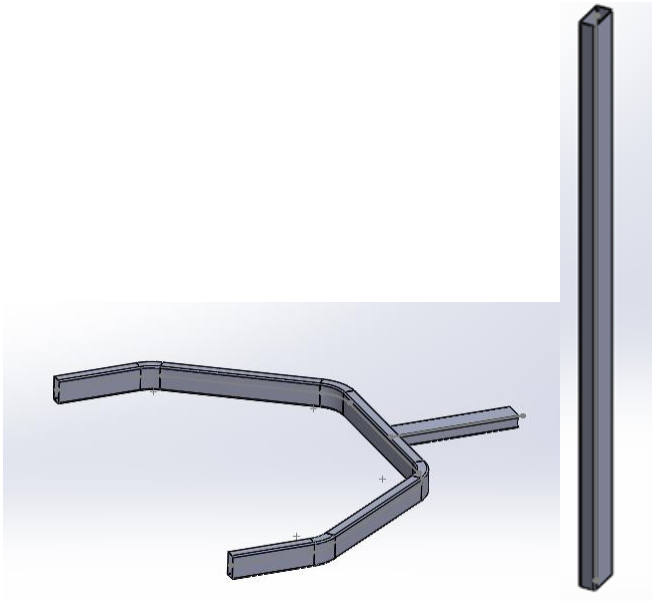


Imagen 53. Modelado brazos

Imagen 54. Modelado pilar

Agarres: Esta es la pieza que el usuario sujetará con la mano y donde ejercerá la fuerza. A la hora de modelarlo se ha dibujado dos croquis con las dos formas correspondiente (cuadrada y circular) y se ha extruido a la longitud correspondiente.

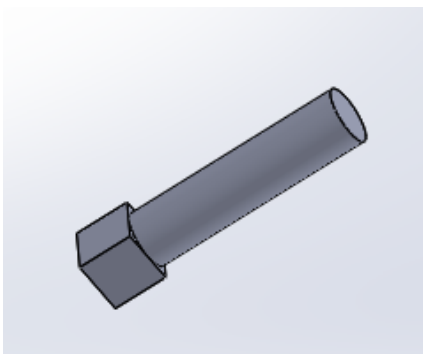
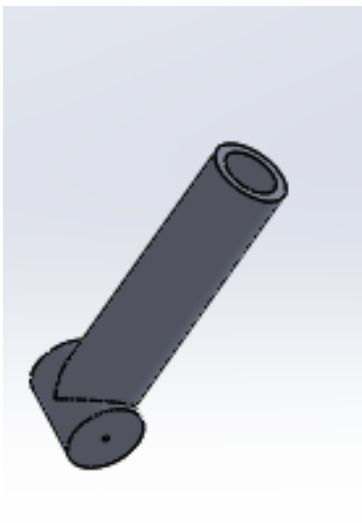


Imagen 55. Modelado agarres

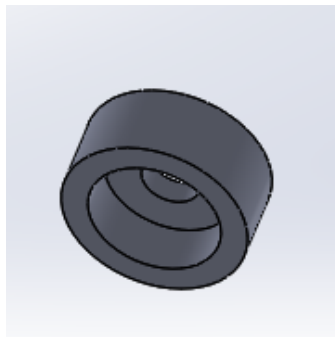


## CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

Cuerpo cilindro y tapa: Ambas piezas se han modelado de la misma manera, haciendo un croquis circular con su diámetro exterior y seguidamente una extrusión con su medida real, para finalizar se ha hecho un croquis con el diámetro interior y se ha aplicado el comando extruir corte, con la profundidad de 150 milímetros, que será la carrera del cilindro para el cuerpo, y de 20 milímetros para la tapa. El cuerpo del cilindro en la parte inferior, está ensamblado con un cilindro, que será el encargado de realizar la unión del cuerpo del cilindro con el pilar mediante un pasador. Antes se ha tenido que quitar material en la parte inferior del cuerpo para que asiente bien el cilindro. Para modelar dicho cilindro donde va el pasador se ha dibujado un círculo para luego realizar una extrusión y seguidamente se ha realizado un taladro pasante con el diámetro del pasador.

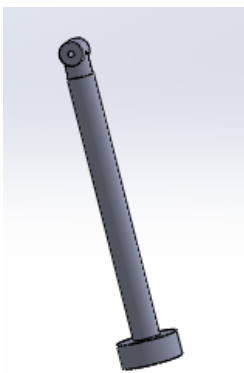


**Imagen 56. Modelado cuerpo cilindro**



**Imagen 57. Modelado tapa cilindro**

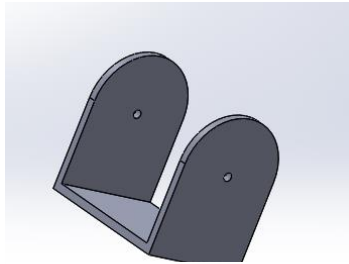
Vástago: Se han dibujado dos croquis con sus diámetros correspondientes para seguidamente extruirlos a la medida necesaria, finalmente se ha ensamblado un cilindro perforado, que mediante un pasador irá unido al soporte de los brazos.



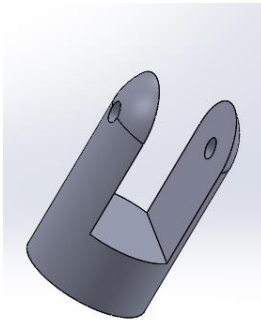
**Imagen 58. Modelado vástago**

## CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

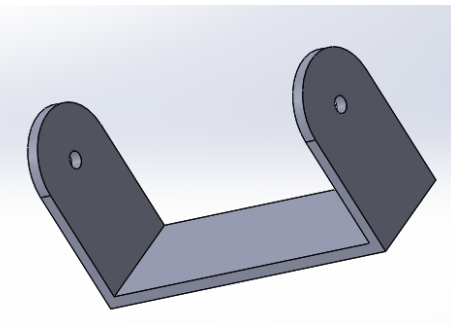
Soportes: Para modelar las piezas primero se ha dibujado en un croquis la forma de la pieza lateral, para que seguidamente mediante el comando extruir le hayamos dado la anchura del soporte necesaria. El siguiente paso ha sido dibujar un croquis con la forma de las ranuras centrales y hemos utilizado el comando extruir corte quedando solo las orejetas y quitando todo el material del centro. Para finalizar el modelado de los soportes se ha realizado un taladro pasante con el diámetro del pasador.



**Imagen 59. Modelado soporte B**

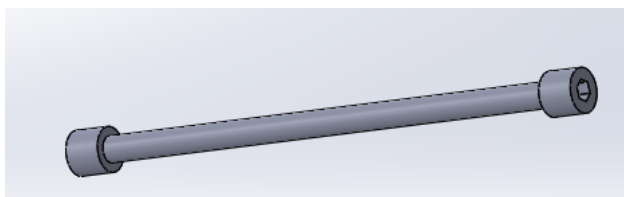


**Imagen 60. Modelado soporte C**



**Imagen 61. Modelado soporte A**

Pasadores: Primero se ha dibujado el croquis circular de mayor diámetro, se ha utilizado el comando extruir dándole la longitud total del pasador y posteriormente se ha quitado material sobrante del centro del pasador para dejar el diámetro real que le corresponde. Finalmente se ha realizado los agujeros en las caras laterales creando un croquis y utilizando el comando extruir corte.



**Imagen 62. Modelado pasador**

## CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

Tapetas: Serán las encargadas de dar un buen acabado a los perfiles de la máquina. Se ha realizado un croquis con la forma de la imagen y las medidas exteriores del perfil estructural, seguidamente se ha realizado una extrusión. Para el rectángulo interior se ha repetido de la misma manera con las medidas interiores del perfil. A la hora de modelizar este componente se ha optado por hacer solo una y luego duplicarlas en el ensamblaje final.

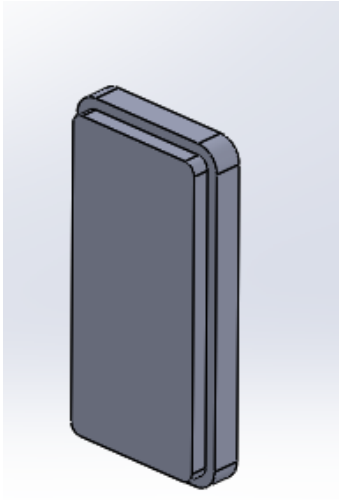


Imagen 63. Modelado tapetas

### 6.2 Piezas particulares del diseño 1

Base de la maquina: La base de la maquina se ha modelado dibujando con una línea la forma en U de los apoyos, y se ha asignado el perfil estructural ya creado, luego se ha dibujado con una línea la longitud que tendrá el travesaño que une los dos apoyos y se le ha vuelto asignar el mismo perfil. Para finalizar se han ensamblado las tres partes. La unión entre las 3 barras se trata de una soldadura.

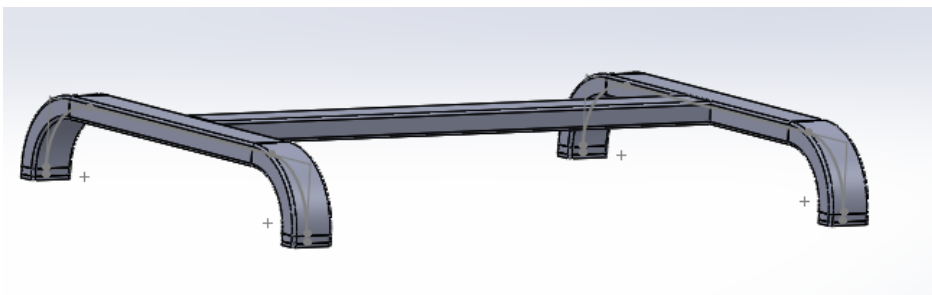


Imagen 64. Modelado base máquina diseño 1

## CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

Barras apoyo asiento: Se trata de la unión por soldadura de dos barras:

La barra inferior que se unirá en un punto medio del apoyo delantero, y sostiene a todo el asiento y la barra superior donde se apoyaran las gomas de respaldo y de asiento.

Su modelado ha sido igual que las barras anteriores, se crea un croquis donde se dibuja una línea con la forma de cada barra, posteriormente se le asigna al croquis creado el perfil estructural que le corresponda y finalmente se realiza el ensamblaje de las dos barras.

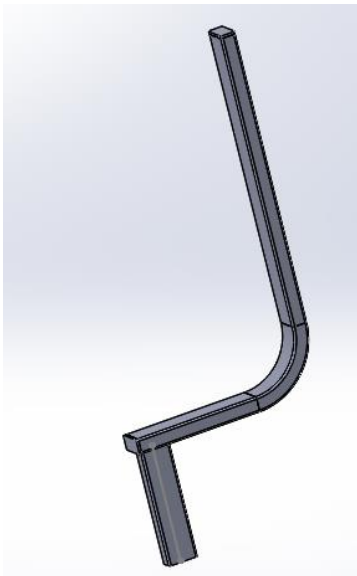


Imagen 65. Modelado barra asiento diseño 1

Apoyo brazos: Esta pieza se situará en la parte superior de la barra anterior que sostiene el respaldo, su función será que apoyen los brazos de la máquina.

A la hora del modelado de esta pieza, primero se ha creado un croquis dibujando el alzado (se corresponde a la pieza inferior vista desde el frente) de la pieza, posteriormente se ha extruido el espesor que le corresponde. Por último se ha vuelto a crear un nuevo croquis en la cara superior de la pieza, con forma circular y se ha extruido la longitud necesaria para que apoyen los brazos.

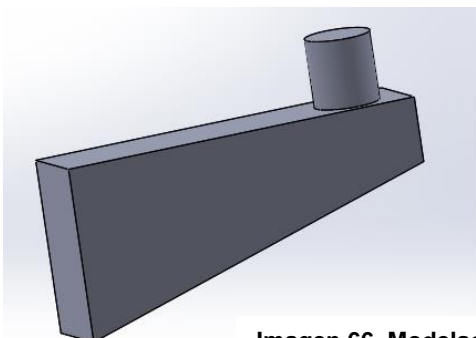


Imagen 66. Modelado apoyo brazos

## CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

Ensamblaje final. Una vez ya se ha modelado todas las barras y piezas, solo nos queda unir las todas formando el ensamblaje final. Para finalizar el ensamblaje se unirá el asiento, que para modelarlo se ha creado un croquis con su forma y se ha extruido el espesor que necesitaba.

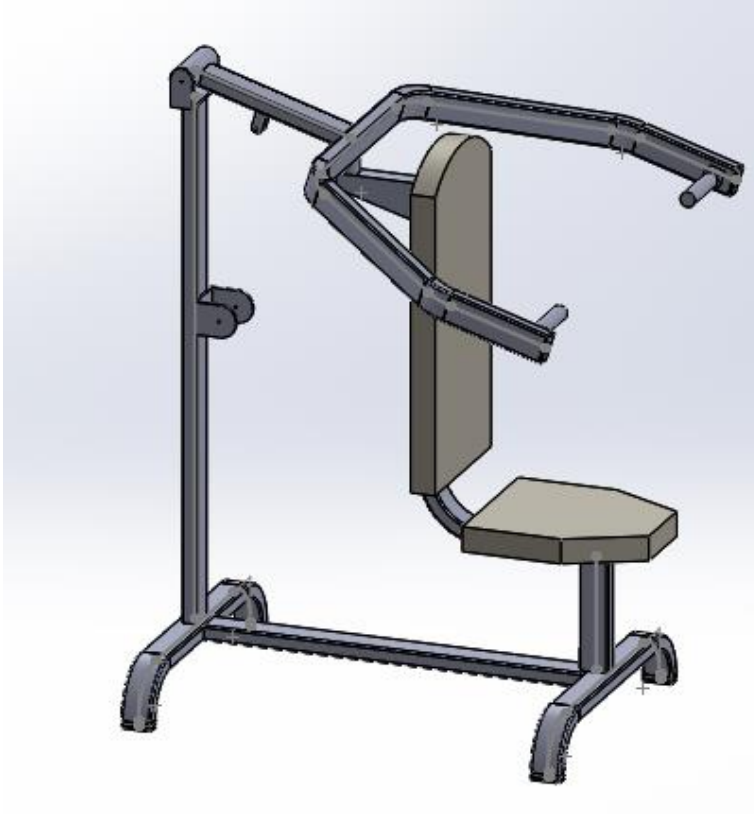


Imagen 67. Ensamblaje diseño 1

### 6.3 Piezas particulares del diseño 2

Base de la maquina: Se trata de cinco barras, dos de ellas iguales, unidas por soldadura. Para modelizar se ha hecho cada barra individualmente y posteriormente se han ensamblado. Primero se ha dibujado una línea con la longitud de cada barra y seguidamente se ha asignado el perfil estructural. Pero para las dos barras simétricas y el travesaño que las une, se ha realizado un corte en los extremos con una inclinación de 10 grados para que su ensamblaje se realice correctamente.

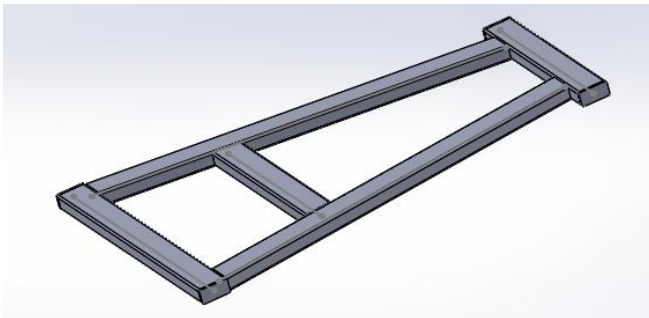


Imagen 68. Modelado base maquina diseño 2

Conjunto de asiento: Formado por tres barras, una que sostiene al respaldo y va unida al pilar, otro que sostiene el asiento y va también unida al pilar y otra que sirve de ayuda para que no rompa a la barra que sostiene el asiento.

Su modelado como todas las barras, se ha creado el croquis de las barras con su longitud y forma para que posteriormente se haya asignado el perfil estructural. También aparecen las gomas donde el usuario ira sentado cuyo modelado se ha realizado igual que los respaldos del diseño 1.

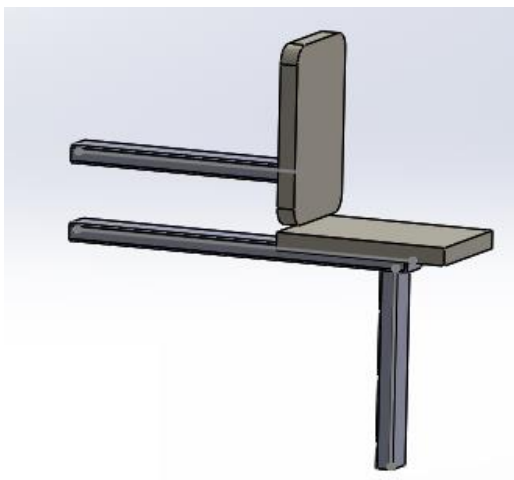


Imagen 69. Modelado conjunto asiento diseño 2

## CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

Ensamblaje final: Una vez se han modelado todos los componentes, se procede a la unión de ellos para obtener el ensamblaje final.

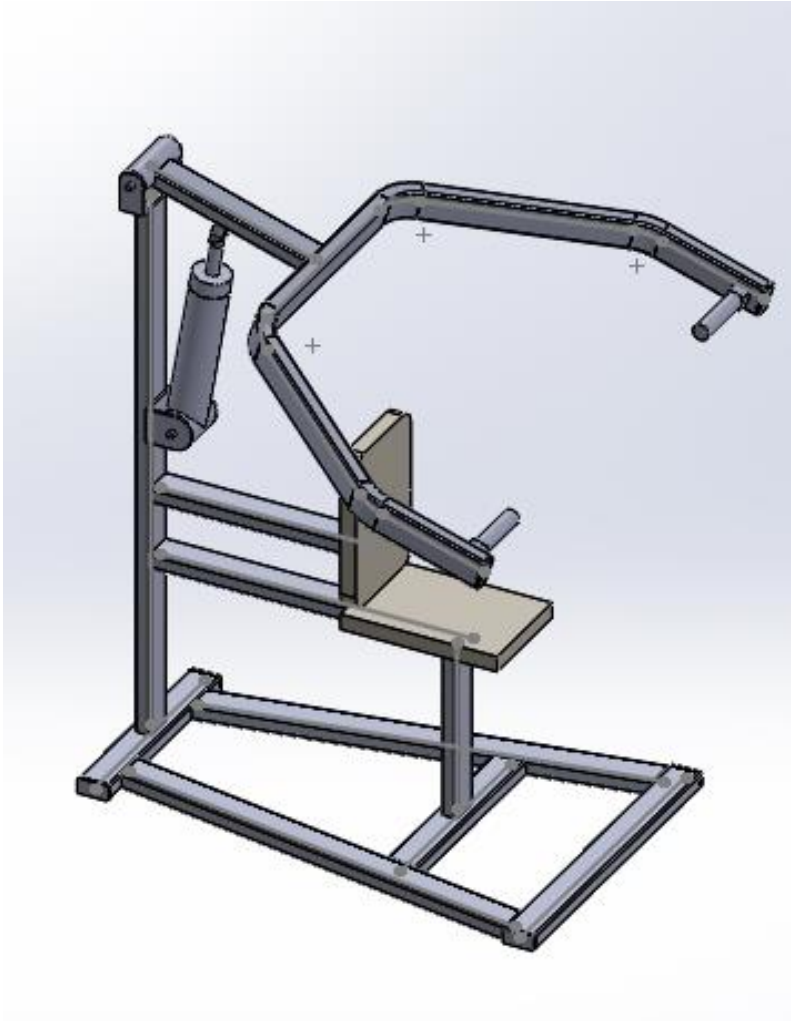


Imagen 70. Ensamblaje diseño 2

## 7. SIMULACIÓN MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS.

Con Solidworks Simulation se va a realizar la simulación de los dos diseños y de sus partes principales independientemente, para ello se aplicará el método de los elementos finitos (MEF).

El método de elementos finitos, se trata de un método numérico para la solución de problemas de ingeniería, empleado para la resolución de problemas que involucran un alto grado de complejidad, de matemáticas aplicadas así como las fisicomatemáticas, ya que la gran mayoría de los problemas que se presentan en estas áreas, comúnmente involucran geometrías complejas, cargas no distribuidas y determinación de propiedades de materiales, por lo que no es posible obtener alguna solución analítica directamente de la expresión.

### 7.1 Proceso de análisis.

Una vez que ya tenemos todas las piezas modeladas y ensambladas se debe definir varios parámetros para que se pueda realizar correctamente la simulación. A continuación se explicarán los pasos a seguir para la simulación.

**1-Aplicar material:** Se debe definir el material de cada una de los componentes que se van a analizar. SolidWorks dispone de una biblioteca con diferentes materiales y características, pero también tiene la opción de personalizar un material. Nuestro material elegido será un acero S275JR con un límite elástico de 275 Mega pascales para todos los elementos exceptuando el asiento y respaldo, que se tratara de espuma flexible de poliuretano.

Tipo de modelo:	Isotrópico elástico lineal
Unidades:	SI - N/mm <sup>2</sup> (MPa)
Categoría:	DIN Acero (estructural)
Nombre:	1.0044 (S275JR)
Criterio de fallos predeterminado:	Tensión de von Mises máx.
Descripción:	St44-2
Origen:	Límite de tracción y límite elástico para 3<t<=16 mm
Sostenibilidad:	Definido

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	210000	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson	0.28	N/D
Módulo cortante	79000	N/mm <sup>2</sup>
Densidad de masa	7800	kg/m <sup>3</sup>
Límite de tracción	410	N/mm <sup>2</sup>
Límite de compresión		N/mm <sup>2</sup>
Límite elástico	275	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente de expansión térmica	1.1e-005	/K
Conductividad térmica	14	W/(m·K)
Calor específico	440	J/(kg·K)
Cociente de amortiguamiento del material		N/D



# CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

Tipo de modelo:

Unidades:

Categoría:

Nombre:

Criterio de fallos predeterminado:

Descripción:

Origen:

Sostenibilidad:

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico		N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson		N/D
Módulo cortante		N/mm <sup>2</sup>
Densidad de masa	16.0185	kg/m <sup>3</sup>
Límite de tracción		N/mm <sup>2</sup>
Límite de compresión		N/mm <sup>2</sup>
Límite elástico		N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente de expansión térmica		/K
Conductividad térmica		W/(m·K)
Calor específico		J/(kg·K)
Cociente de amortiguamiento del material		N/D

Imagen 71. Propiedades materiales

**2-Asesor de sujeciones:** Este comando es el encargado de definir los puntos de apoyo de las máquinas. En nuestro caso las sujeciones irán variando dependiendo del diseño o barras que se analicen.

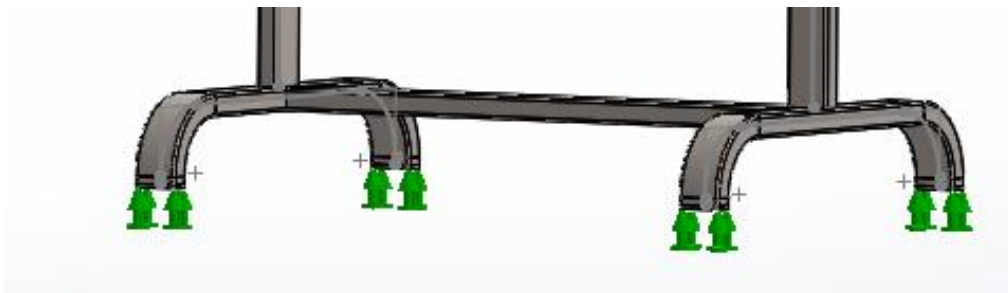


Imagen 72. Ejemplo asesor de sujeciones

## CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

**3-Asesor de cargas:** Con este comando podremos definir las cargas que actúan en diferentes puntos de la máquina así como también podremos definir la gravedad a la hora de analizar el vuelco.

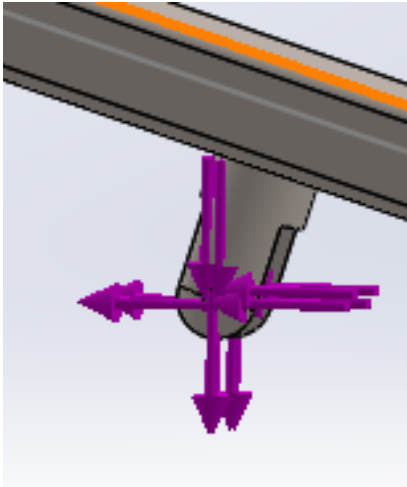


Imagen 73. Ejemplo asesor de cargas

**4-Asesor de conexiones:** En este punto se definirán las uniones entre los diferentes elementos. La unión entre todas las barras se realizará como unión rígida que es lo mismo que si fueran soldadas, y la unión entre el pilar y los brazos se tratará de un pasador, el cual permitirá que el brazo rote.

A la hora de editar este pasador, usaremos dos pasadores en lugar de uno, debido a que esta será la manera para que el programa calcule el pasador a doble cortadura.

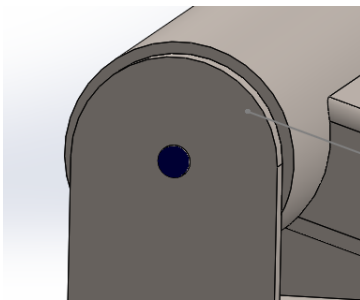


Imagen 74. Ejemplo asesor de conexiones

# CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

**5-Mallar:** Una vez asignados los diferentes parámetros anteriores hay que realizar el mallado para poder analizar mediante MEF. Debido a que hay barras que presentan pequeñas curvaturas se utilizará una malla basada en curvatura. También se puede regular que la malla sea fina, que conllevará resultados más exactos y más tiempo de mallado o malla gruesa.

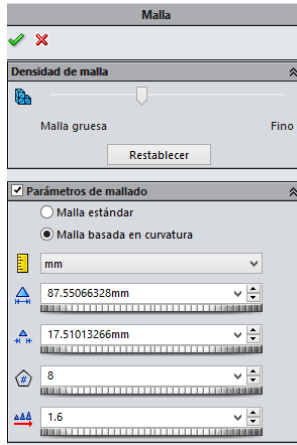


Imagen 75. Propiedades mallado

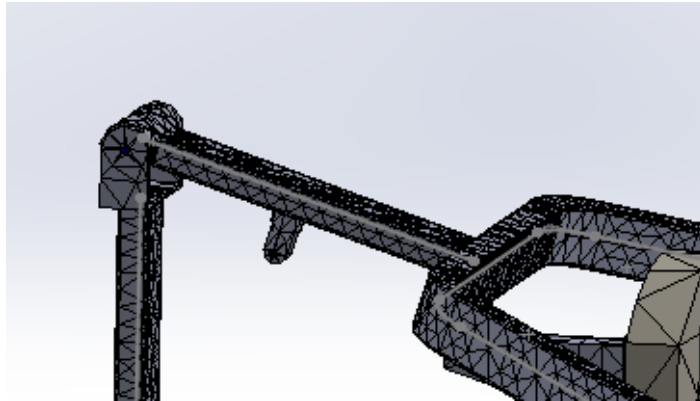


Imagen 76. Ejemplo mallado

**6-Ejecutar:** Por último y una vez que ya se ha mallado el programa realiza una ejecución para obtener el cálculo de tensiones, deformaciones, desplazamientos, coeficientes de seguridad y comprobación de los pasadores.

## 7.2 Comparación de los cálculos analíticos y cálculos con SolidWorks Simulation.

Una vez realizados los cálculos analíticos, en el cual se ha diseñado el diámetro de los pasadores y se ha comprobado que las barras con el perfil del fabricante tienen un coeficiente de seguridad mayor que 3, se va a realizar mediante SolidWorks una comparación de resultados. Primero se comprobará las partes principales de las máquinas individualmente y posteriormente se analizará el conjunto de los dos diseños.

### **ESTRUCTURA DE LOS BRAZOS:**

Este conjunto está formado por los brazos palanca, el soporte de dichos brazos, el cual tiene soldado un cilindro en el extremo (donde se aloja el pasador), y los agarres.

Este conjunto se ha sometido al estudio con las siguientes condiciones:

- En los agarres se aplica una fuerza vertical en y de 85,9 N en cada brazo.

## CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

- En el lugar donde va unido el cilindro mediante pasador se aplica una fuerza en dirección x de 335 N y en dirección y de 920,9 N cuya resultante sería 980 N.
- En el taladro donde va el pasador se aplica una fuerza de 335 N en dirección x y de 749 N en dirección y.

Nota: El sentido de las fuerzas será el indicado por las flechas en las imágenes.

### TENSIONES (MPa):

A continuación se realizará la simulación con las condiciones anteriores y se compararan las tensiones con los cálculos analíticos, observando si cumplen y si es necesaria alguna mejora.

En la imagen 77 se muestra las tensiones a las que está sometida la barra en MPa.

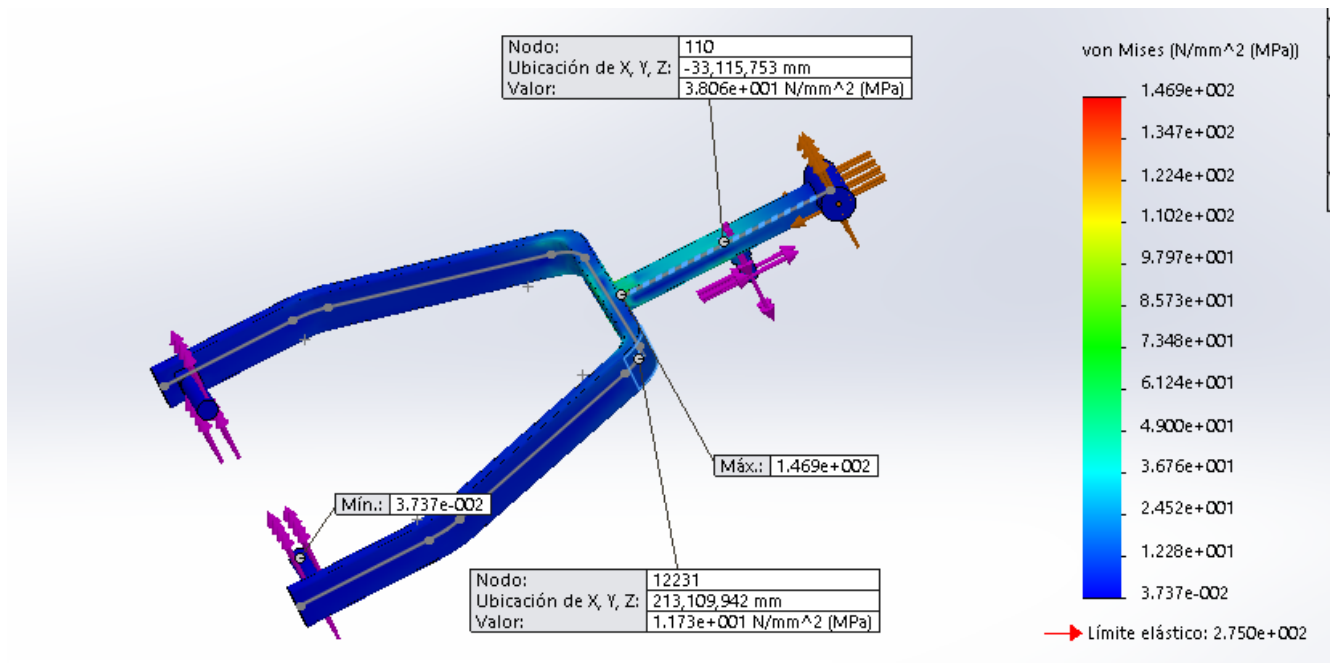


Imagen 77. Distribución de tensiones estructura de los brazos

Como se puede observar en el dibujo aparecen las máximas y las mínimas tensiones pero también aparecen dos tensiones en diferentes puntos que se trata de los puntos más desfavorables de cada barra calculada analíticamente. En el brazo aparece una tensión de 11 MPa que se corresponde con los 9,7 MPa del cálculo analítico. En la parte superior de la barra donde se sujeta el cilindro hay una tensión de 38 MPa, que también se corresponderá con los 36,55 MPa del cálculo analítico.

## CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

En el conjunto la máxima tensión de 146 MPa se produce en la unión mediante soldadura entre los brazos y el soporte, debido a que en el empotramiento se producen grandes momentos.

### DESPLAZAMIENTOS (mm)

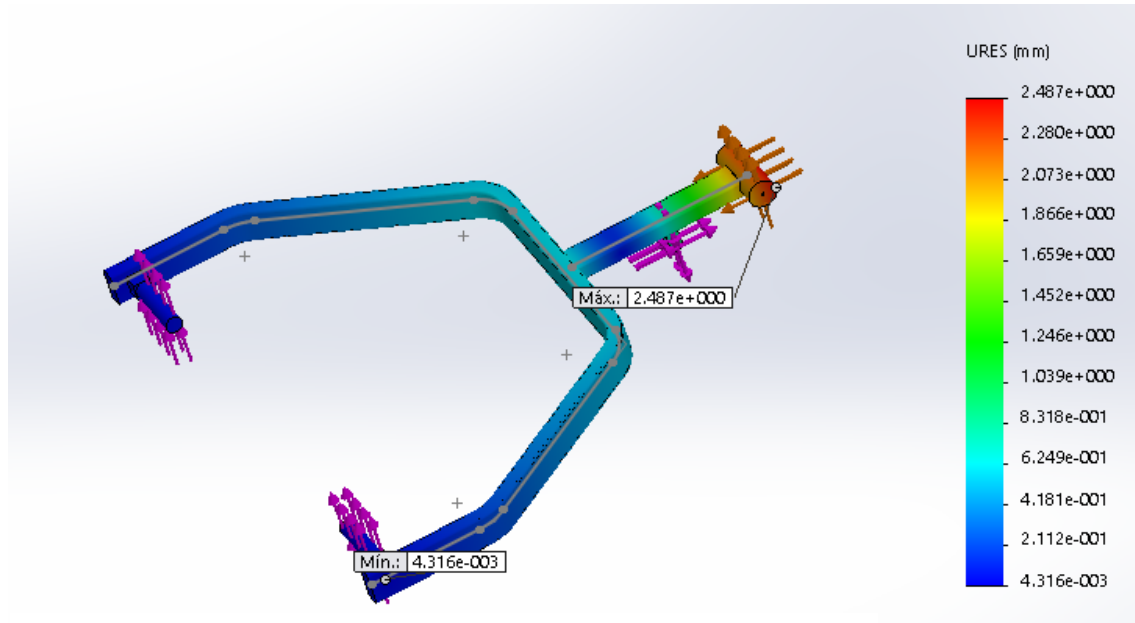


Imagen 78. Distribución de desplazamientos estructura brazos

Los máximos desplazamientos se darán en un extremo de la pieza cilíndrica y serán de 2,5 milímetros aproximadamente. Esto no sería correcto, ya que a la hora de simularlo, en la pieza cilíndrica, se han impuesto las fuerzas correspondientes en lugar de haber definido una conexión mediante pasador, lo cual haría que los desplazamientos en el cilindro fueran mínimos y los desplazamientos máximos se produjeran en los extremos de los brazos.

# CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

## COEFICIENTES DE SEGURIDAD:

Se ha cogido una escala del 0 al 20, estando en azul los coeficientes mayores de 20.

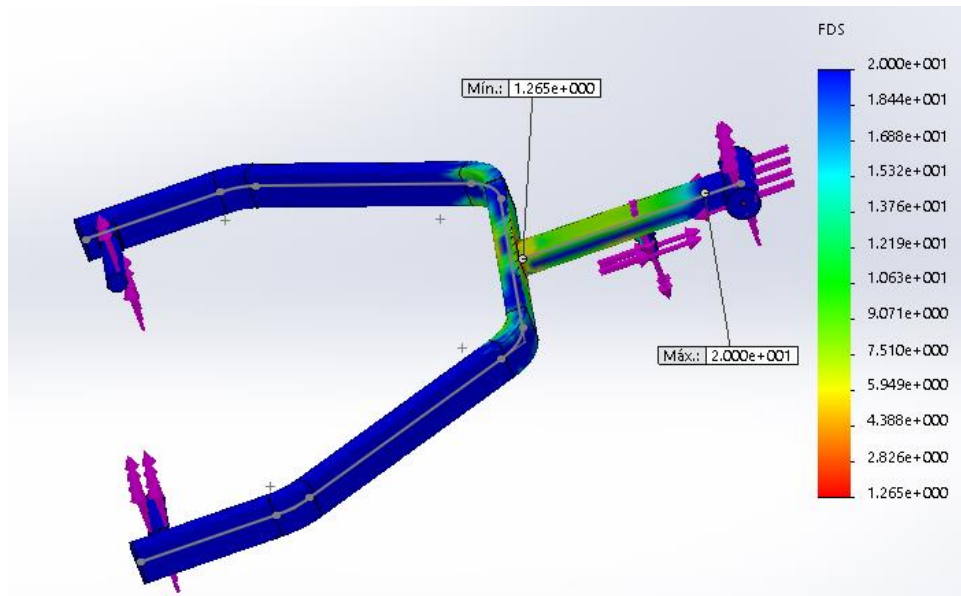


Imagen 79. Distribución CDS estructura brazos

Las zonas en verde dan lugar a los menores coeficientes de seguridad, estando aproximadamente entre 7,5 y 10 según la escala, que se corresponden con los 7,5 calculados analíticamente. Pero el menor coeficiente de seguridad aparece en la unión entre los brazos y la barra soporte, en cuyo punto se aprecia un coeficiente de seguridad de 1,2 y se debe al concentrador de tensiones anteriormente citado.

## CONJUNTO PILAR:

Este conjunto está formado por la barra principal del pilar y dos soportes. En el soporte superior irá unido mediante pasador el conjunto de los brazos, y en el soporte inferior se sujeta el cilindro hidráulico.

Este conjunto se ha sometido al estudio con las siguientes condiciones:

- En el soporte superior se aplica una fuerza de 335 N en dirección x y 749 N en dirección y.
- En el lugar donde va unido el cilindro mediante pasador se aplica una fuerza en dirección x de 335 N y en dirección y de 920,9 N cuya resultante sería 980 N.
- La barra del pilar irá empotrada a la base.

# CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

## TENSIONES (MPa):

A continuación se muestra en la imagen 80 las tensiones que sufre la barra.

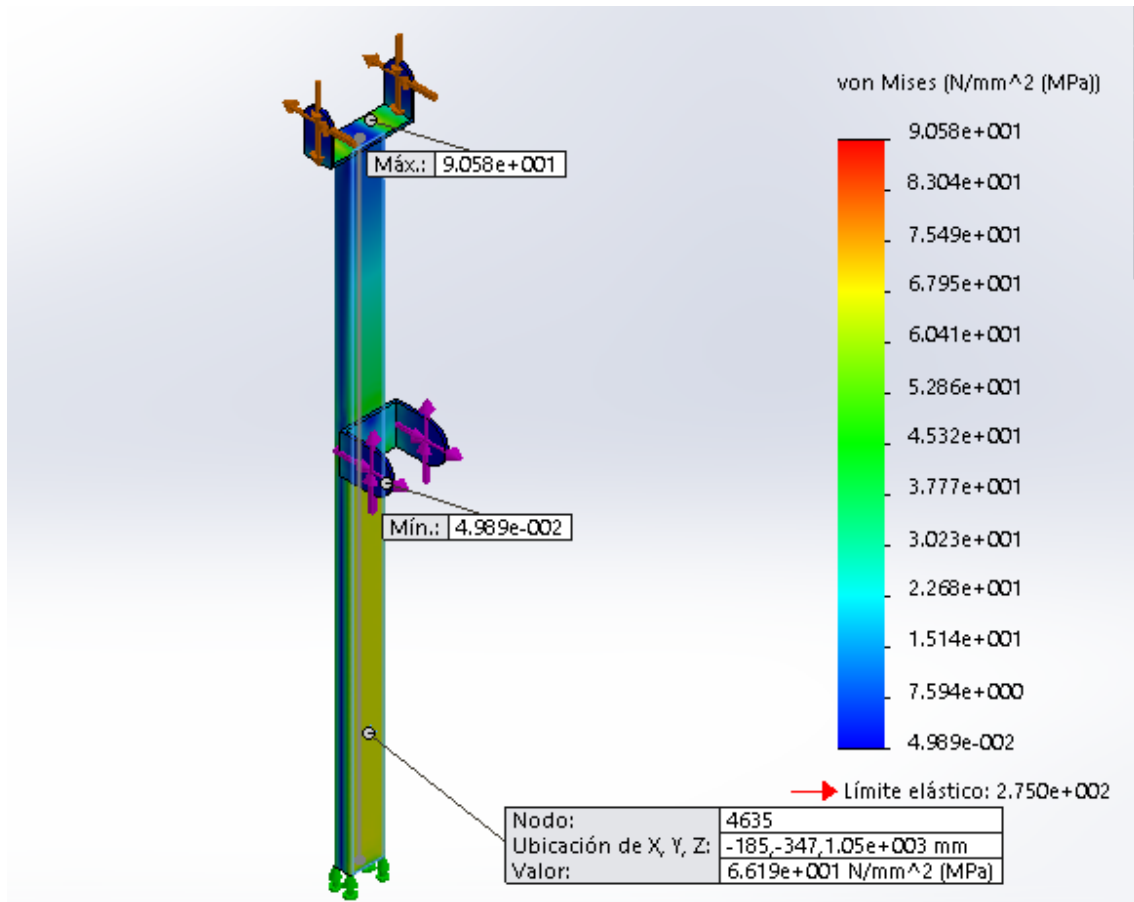


Imagen 80. Distribución de tensiones pilar

Gráfico de las tensiones en la barra.

Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)  
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1

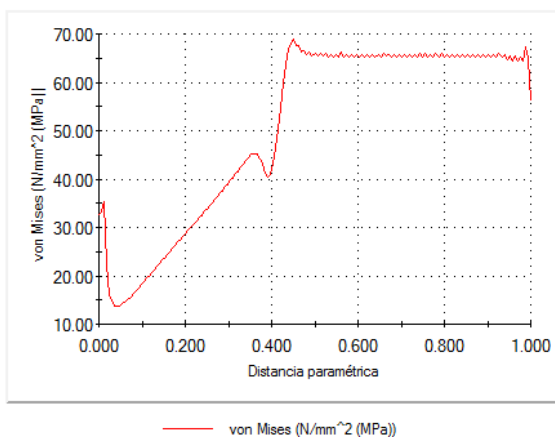


Imagen 81. Gráfico de tensiones pilar

## CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

Según el cálculo analítico la barra estaba sometida a mayores tensiones en el punto donde se aplica la fuerza del cilindro hidráulico, con una tensión de 65 MPa. Como se puede observar en el grafico el pico más alto, que se trata de unos 68 MPa, aparece a una distancia aproximada de 0,45 metros desde el soporte superior. Dicho punto se corresponde a la posición donde va aplicada la fuerza del cilindro.

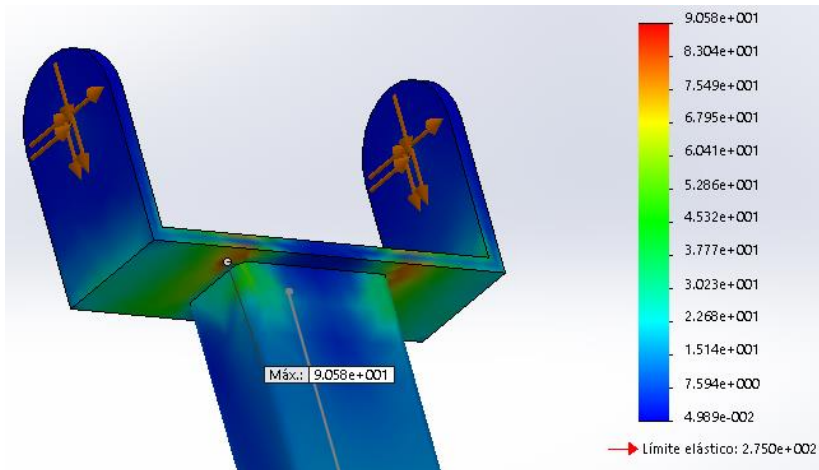


Imagen 82. Detalle distribución de tensiones pilar

La máxima tensión en este conjunto aparece en la unión de este soporte con un valor de 90 MPa y es debido a un concentrador de tensiones que analíticamente no se podía calcular.

### DESPLAZAMIENTOS (mm)

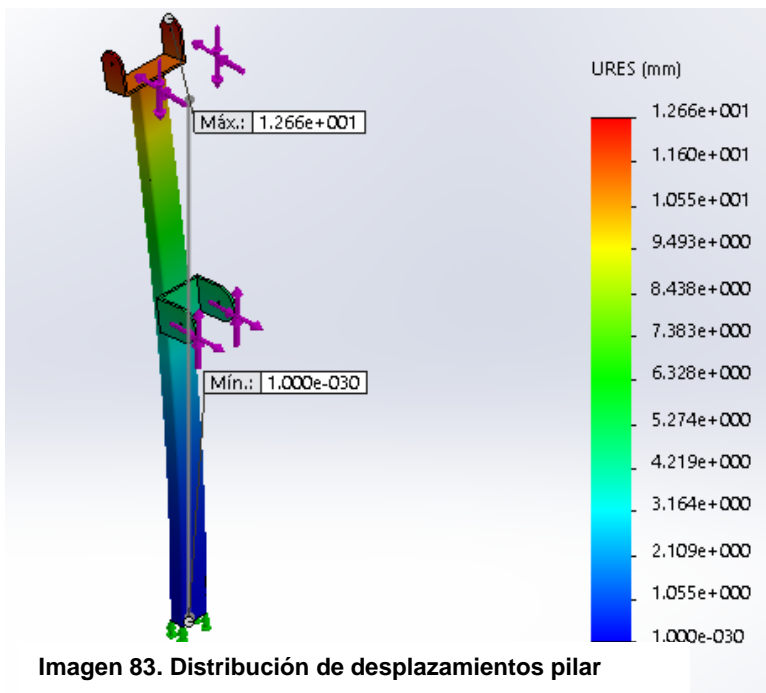


Imagen 83. Distribución de desplazamientos pilar



## CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

El mayor desplazamiento es de 12 milímetros y se produce en el extremo superior del conjunto, debido a que es la parte más alejada del apoyo que se ha impuesto.

### COEFICIENTES DE SEGURIDAD:

Se ha cogido una escala del 0 al 20, estando en azul los coeficientes mayores de 20.

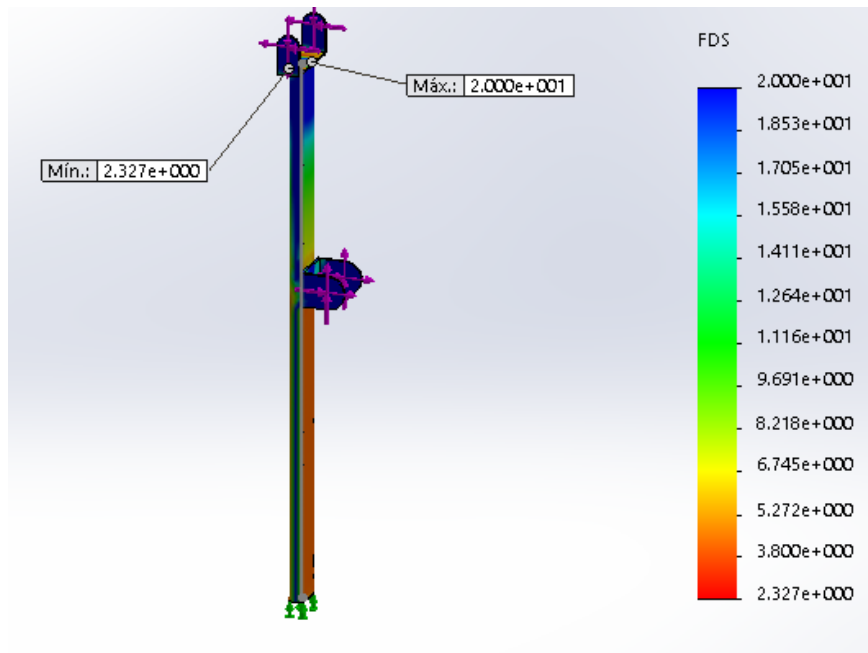


Imagen 84. Distribución CDS pilar

El mínimo coeficiente de seguridad de 2,3 se encuentra en la unión entre el soporte superior y el pilar ya que se produce un concentrador de tensiones. Las zonas en rojo están en un rango entre 3,8 y 5,2 correspondiéndose con los resultados obtenidos analíticamente de 4,18.

### APOYO DELANTERO:

Son los apoyos situados en la parte delantera de la máquina, estando sometidos a mayores esfuerzos que los apoyos traseros, en el centro va soldado perpendicularmente el pilar del asiento, transmitiendo el peso de la persona a los apoyos delanteros.

El apoyo se ha sometido al estudio con las siguientes condiciones:

- En el centro de la barra se aplica una fuerza vertical debido al peso de la persona, que se trata de 1176 N
- Los extremos estarán empotrados en el suelo.

# CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

## TENSIONES (MPa):

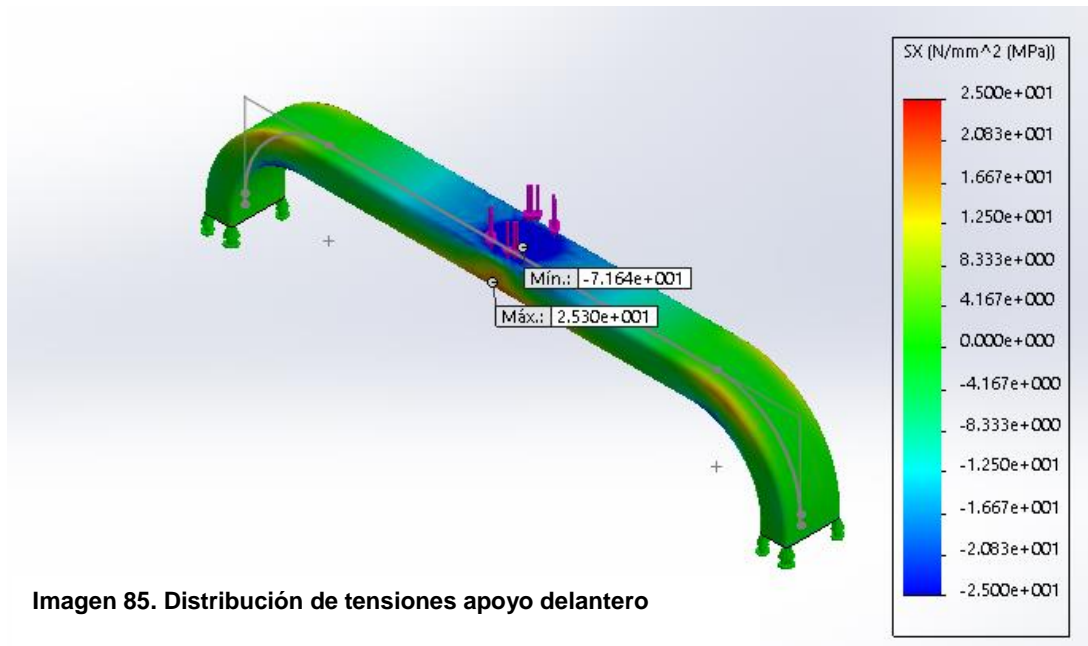


Imagen 85. Distribución de tensiones apoyo delantero

Como se puede observar en la imagen 85, se aprecia un punto de mayor tensión a tracción en color rojo tratándose de 25 MPa y comparando con los resultados analíticos nos salía 22 MPa. En color azul se observa la máxima tensión a compresión tratándose de 25 MPa

## DESPLAZAMIENTOS (mm)

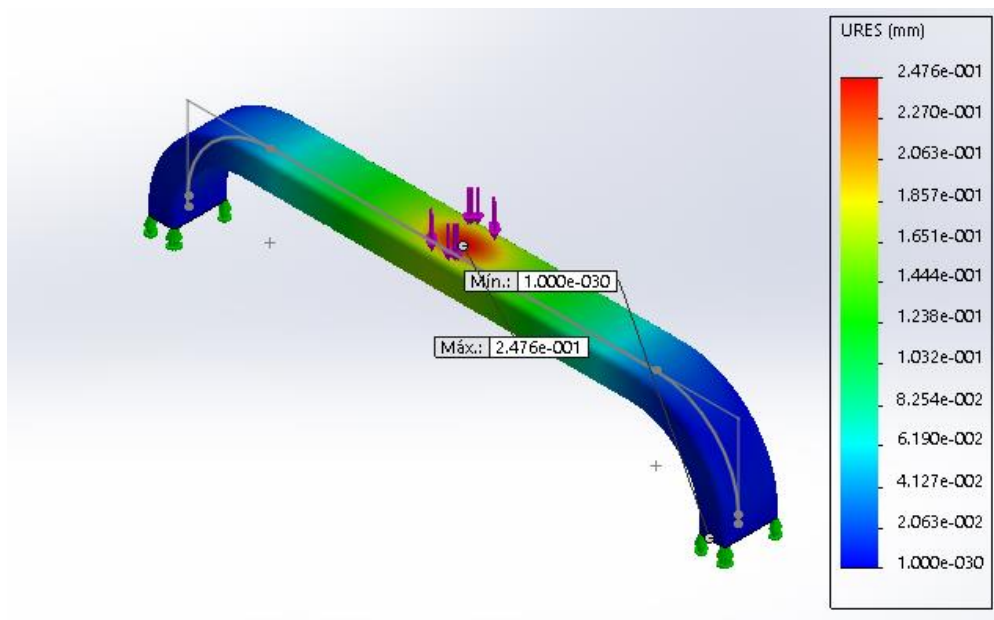


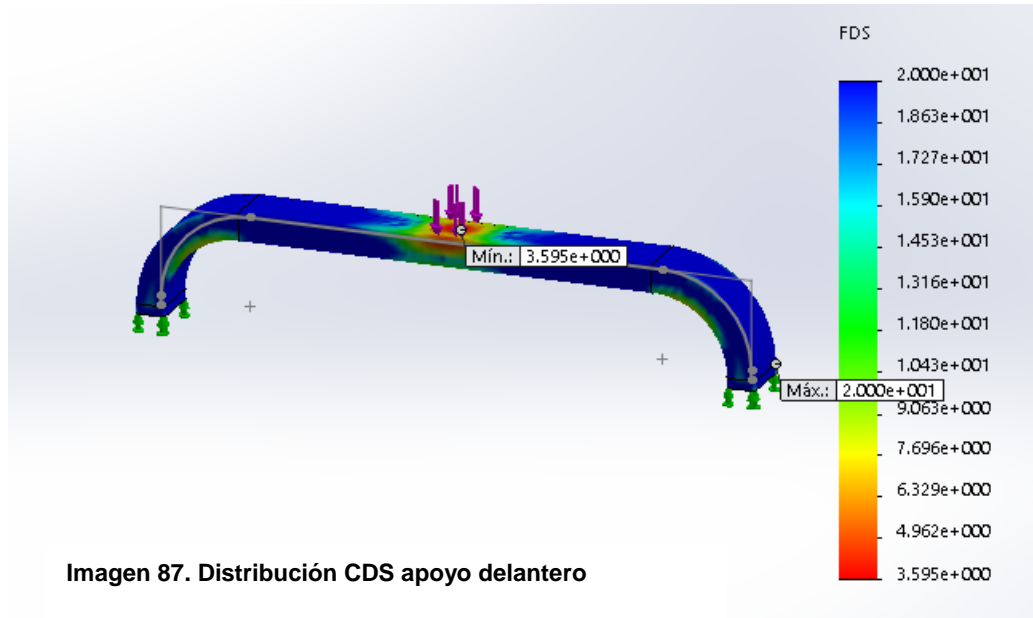
Imagen 86. Distribución de desplazamientos apoyo delantero

Los máximos desplazamientos se aprecian en el centro de las patas, donde se aplica el peso del conjunto. Dichos desplazamientos tienen un valor de 0,24 milímetros.

# CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

## COEFICIENTES DE SEGURIDAD:

Se ha cogido una escala del 0 al 20, estando en azul los coeficientes mayores de 20.



El menor coeficiente de seguridad se observa que aparece en el punto donde va unida la barra que hace de pilar al asiento, este valor se trata de 3,5.

## PILAR ASIENTO:

Esta barra une las patas delanteras con la barra donde se apoyan el conjunto del asiento.

Esta barra se ha sometido al análisis con las siguientes condiciones:

- Una fuerza en la cara superior de 1176 N.
- La cara inferior estará empotrada en los apoyos delanteros.

# CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

## TENSIONES (MPa):

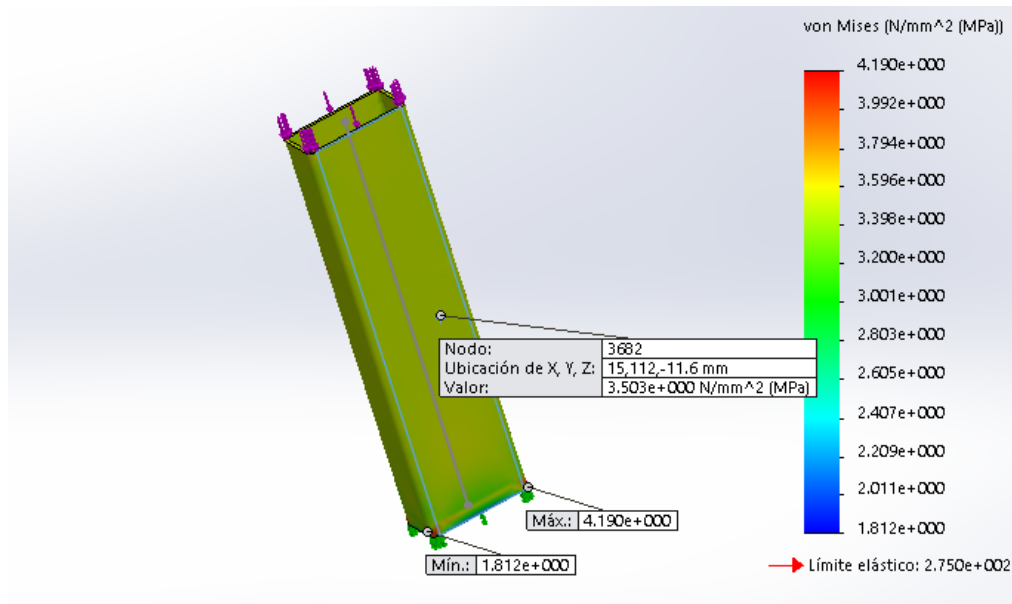


Imagen 88. Distribución de tensiones apoyo asiento

Según los cálculos analíticos toda la barra está sometida a una tensión de 3,53 MPa debido al esfuerzo axial que se produce. Como se puede apreciar en la imagen 88 toda la barra está del mismo color, esto quiere decir que toda la barra está sometida a la misma tensión de 3,5 MPa. La máxima tensión en esta barra aparece en los redondeos del perfil en la cara que esta empotrada, tratándose de 4,2 MPa, Esto se debe a un concentrador de tensiones.

## DESPLAZAMIENTOS (mm):

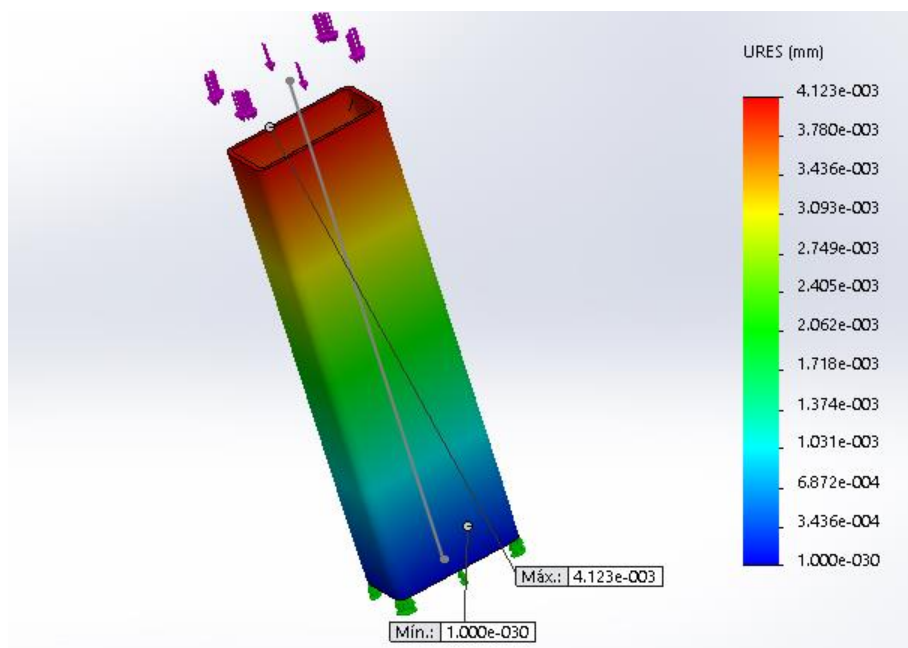


Imagen 89. Distribución de desplazamientos apoyo asiento

## CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

Los desplazamientos en esta barra son mínimos, con unos valores de 0,004 milímetros.

### COEFICIENTES DE SEGURIDAD:

Se ha cogido una escala del 0 a 100 ya que los coeficientes de seguridad en esta barra son muy elevados.

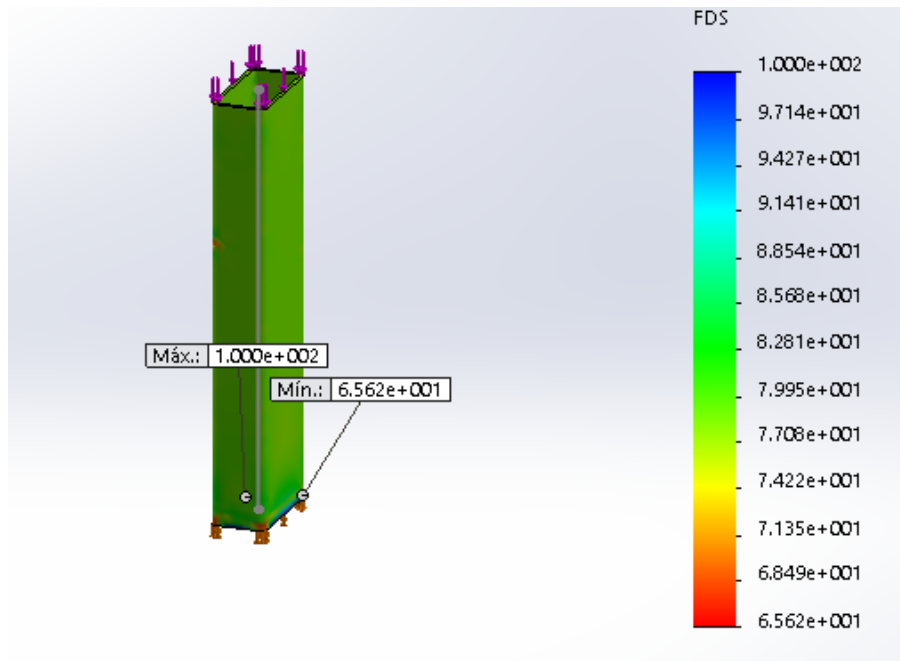


Imagen 90. Distribución CDS apoyo asiento

El menor coeficiente de seguridad se encuentra en la esquina inferior donde va empotrado, y cuyo valor es 65. Estos valores son muy elevados ya que las tensiones en esta barra son muy bajas.

### 7.3 Análisis de los ensamblajes mediante Solidworks Simulation.

En este apartado se va a realizar el análisis de los dos diferentes ensamblajes. Se realizarán dos simulaciones para cada diseño, con la primera simulación teniendo en cuenta el peso de la estructura se comprobará que no vuelca el ensamblaje. Y la segunda simulación sin tener en cuenta el peso de la estructura se analizará:

- Diagrama de tensiones.
- Diagrama de desplazamientos
- Coeficientes de seguridad.
- Comprobación de pasadores.

# CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

## 7.3.1 Diseño 1

### 1ª Simulación:

Para analizar el vuelco se simulará con las condiciones más desfavorables y se comprobará que las fuerzas en los 4 apoyos en dirección y son mayor que 0. Eso quiere decir que el conjunto es estable y no vuelca.

Las hipótesis de trabajo serán las siguientes:

- En los agarres se aplica una fuerza vertical de 85,9 N en cada uno.
- El peso de la persona se trata de 1176 N que se aplica en el asiento en dirección vertical.
- El cilindro ejerce una fuerza resultante de 980 N que se aplica en los dos puntos de unión.
- Se tendrá en cuenta el peso de la estructura.
- La máquina se sujeta al suelo mediante geometría fija en los 4 apoyos.
- Los brazos están apoyados sin penetración.
- Toda la estructura se toma como unión rígida.

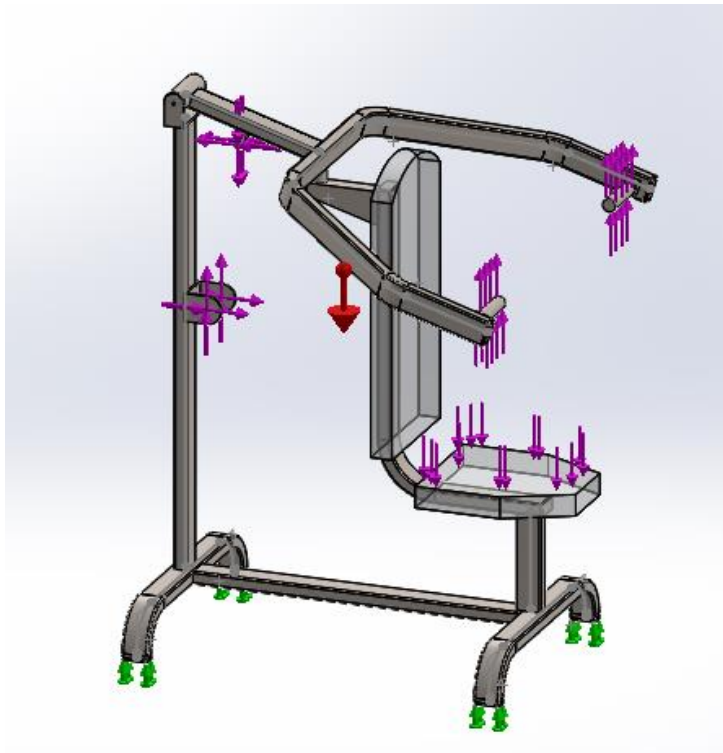


Imagen 91. Hipótesis de trabajo ensamblaje Diseño 1

Una vez se ha simulado con las condiciones anteriores, se averiguarán las fuerzas resultantes en dirección y en los 4 apoyos.

# CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

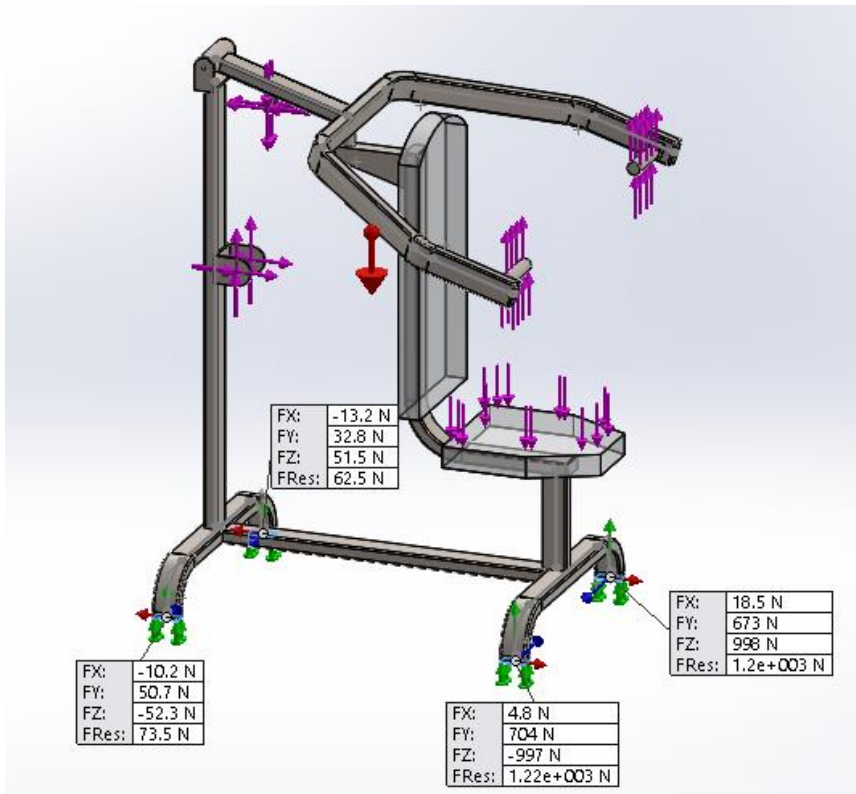


Imagen 92. Fuerzas resultantes apoyos Diseño 1

Como se puede observar en la imagen 92, FY es mayor a 0 en los 4 apoyos, esto nos indica que el conjunto no vuelca y coincide con lo calculado analíticamente.

## 2ª Simulación:

En esta simulación las condiciones serán las mismas exceptuando que no se tendrá en cuenta el peso de la estructura:

- En los agarres se aplica una fuerza vertical de 85,9 N en cada uno.
- El peso de la persona se trata de 1176 N que se aplica en el asiento en dirección vertical.
- El cilindro ejerce una fuerza resultante de 980 N que se aplica en los dos puntos de unión.
- No se tendrá en cuenta el peso de la estructura.
- La estructura de los brazos va unido con el pilar mediante dos pasadores de 5 milímetros de diámetro.
- El resto de uniones entre barras se trata de unión rígida.
- La máquina se sujeta al suelo mediante geometría fija en las 4 patas.
- Coeficiente de seguridad debe ser mayor o igual a 3.
- Los brazos están apoyados sin penetración.

# CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

## TENSIONES (MPa):

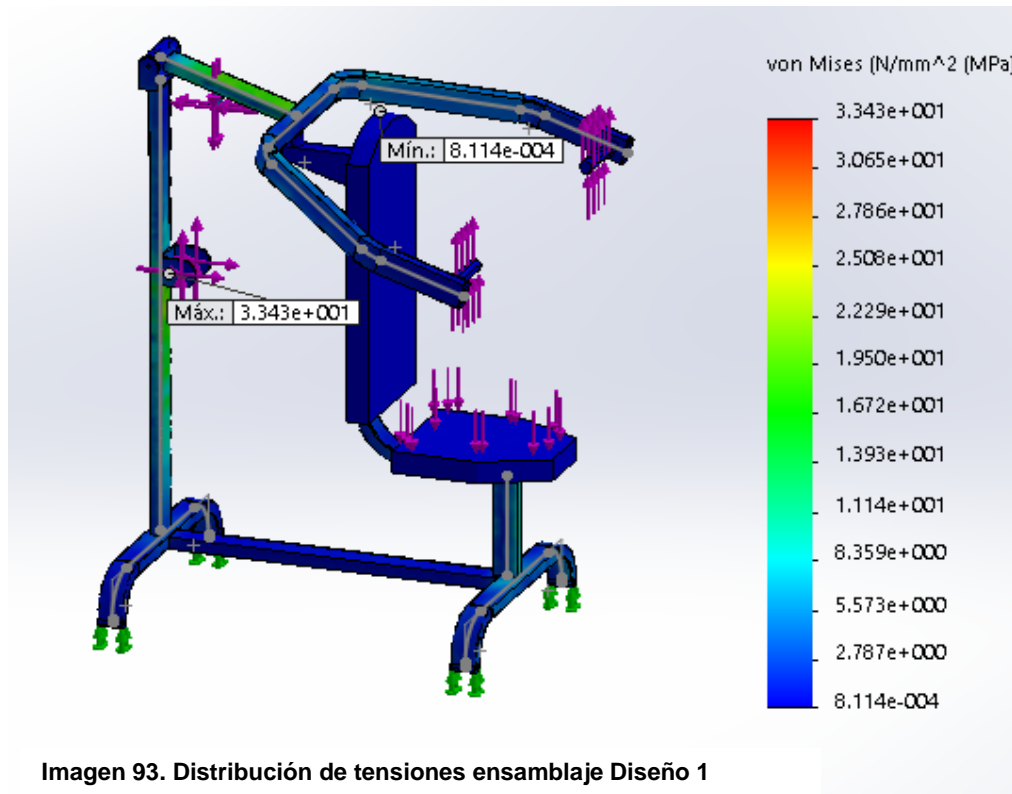


Imagen 93. Distribución de tensiones ensamblaje Diseño 1

Las zonas de color azul quiere decir que la maquina en general está sometida a tensiones bajas. La máxima tensión de 33 MPa se produce en la unión del soporte inferior del cilindro con el pilar y se trata de un concentrador de tensiones, a continuación se mostrará la imagen 94 más detallada.

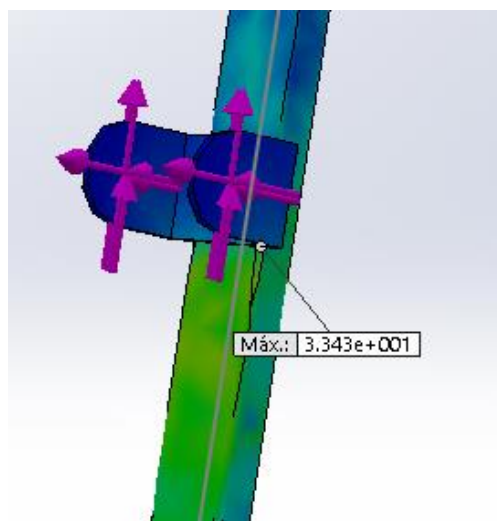


Imagen 94. Detalle distribución de tensiones ensamblaje 1



# CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

## DESPLAZAMIENTOS (mm):

El máximo desplazamiento se encuentra en el extremo de los brazos y se trata de 3,6 mm, este valor más adelante, se intentará reducir al máximo. A continuación se mostrara una imagen de cómo se deformará la estructura de manera exagerada:

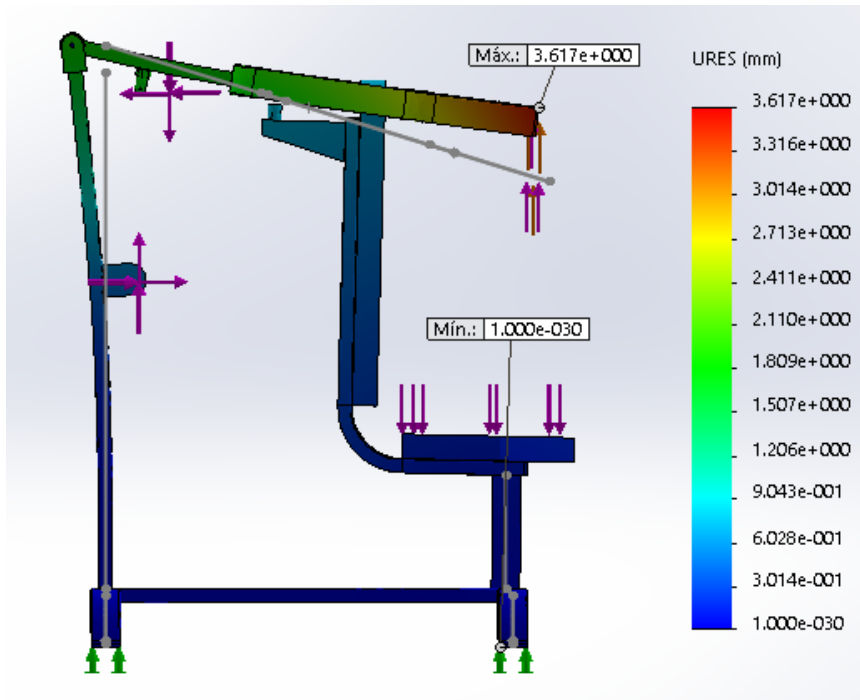


Imagen 95. Distribución de desplazamientos ensamblaje Diseño 1

# CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

## COEFICIENTES DE SEGURIDAD:

El coeficiente de seguridad en toda la maquina es muy elevado en todo el conjunto, para que pueda visualizarse mejor, se aplicará un rango entre 0 y 20.

La zona en azul quiere decir que el coeficiente de seguridad será mayor a 20. Como era de esperar el menor coeficiente de seguridad estará en la unión entre el soporte inferior del cilindro hidráulico y el pilar, ya que se trata del punto donde hay mayor tensión. Este coeficiente será de 8.

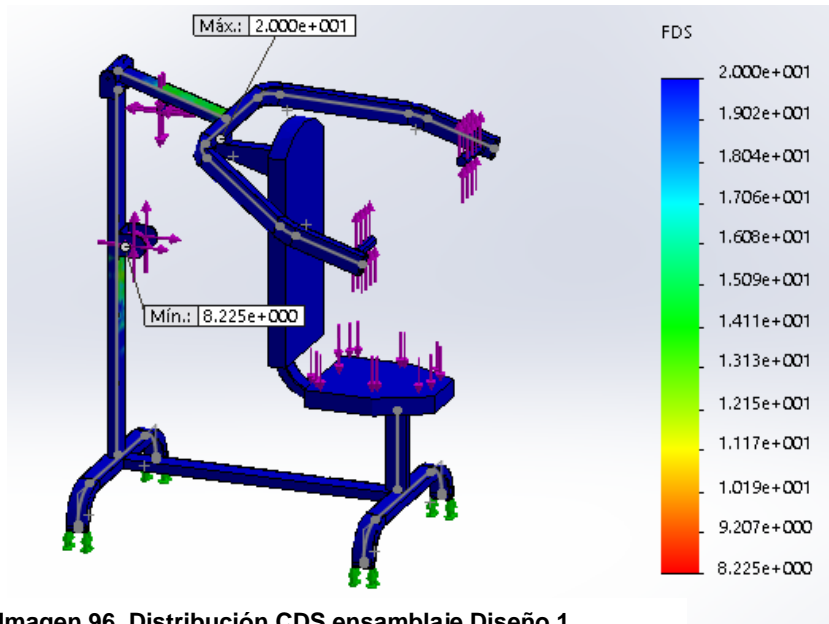


Imagen 96. Distribución CDS ensamblaje Diseño 1

## COMPROBADOR DEL PASADOR:

Según los cálculos analíticos se ha elegido un diámetro del pasador de 5 milímetros, cuya área es  $19,6 \text{ mm}^2$ . También se ha asignado un coeficiente de seguridad mínimo de 3. El material del pasador se trata del mismo acero S275JR.

The image shows a software dialog box for defining pin properties. It contains the following fields and values:

- Zona del límite de tensión:** 19.6 mm<sup>2</sup>
- Resistencia del pasador:** 275 N/mm<sup>2</sup> (MPa)
- Factor de seguridad:** 3

Imagen 97. Propiedades pasador Diseño 1

# CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

Nombre de estudio: Analisis estatico con desahogo

Conector: Todos los pasadores Unidades: SI

Tipo de conector: Pasador

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante	Conector
Fuerza cortante (N)	128.02	350.79	0	373.42	Conector tipo Pasador-7
Fuerza axial (N)	0	0	-67.815	67.815	Conector tipo Pasador-7
Momento flector (N.m)	-4.3122	2.0839	0	4.7893	Conector tipo Pasador-7
Torsor (N.m)	0	0	-0	0	Conector tipo Pasador-7
Fuerza cortante (N)	124.96	356.83	0	378.07	Conector tipo Pasador-8
Fuerza axial (N)	0	0	67.272	67.272	Conector tipo Pasador-8
Momento flector (N.m)	4.4134	-2.2481	0	4.953	Conector tipo Pasador-8
Torsor (N.m)	0	0	0	0	Conector tipo Pasador-8

Imagen 98. Tabla resultados pasadores Diseño 1

Una vez realizada la simulación, SolidWorks Simulation determina que no ha sido dimensionado correctamente el diámetro del pasador ya que la tabla de la imagen 98 aparece de color rojo. Esto es debido a que el pasador es muy largo (140 milímetros) respecto el espesor de la pared donde se apoya (5 milímetros) y está sometido a una flexión que en los cálculos analíticos no se ha tenido en cuenta, solamente se ha analizado el fallo a cortadura. El programa nos dice que el momento flector resultante al que está sometido es de 4,789 Newton por metro. En el apartado de mejoras se calculará el diámetro mínimo del pasador si está sometido a flexión.

## 7.3.2 Diseño 2

### 1ª Simulación:

Para analizar el vuelco se simulará con las condiciones más desfavorables y se comprobará que las fuerzas en dirección y de toda la base son mayores que 0. Eso quiere decir que el conjunto es estable y no vuelca.

Las hipótesis de trabajo serán las siguientes:

- En los agarres se aplica una fuerza vertical de 85,9 N en cada uno.
- El peso de la persona se trata de 1176 N que se aplica en el asiento en dirección vertical.
- El cilindro ejerce una fuerza resultante de 980 N que se aplica en los dos puntos de unión.
- Se tendrá en cuenta el peso de la estructura.
- La máquina se sujeta al suelo mediante geometría fija en toda la base.
- Toda la estructura se toma como unión rígida.

## CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

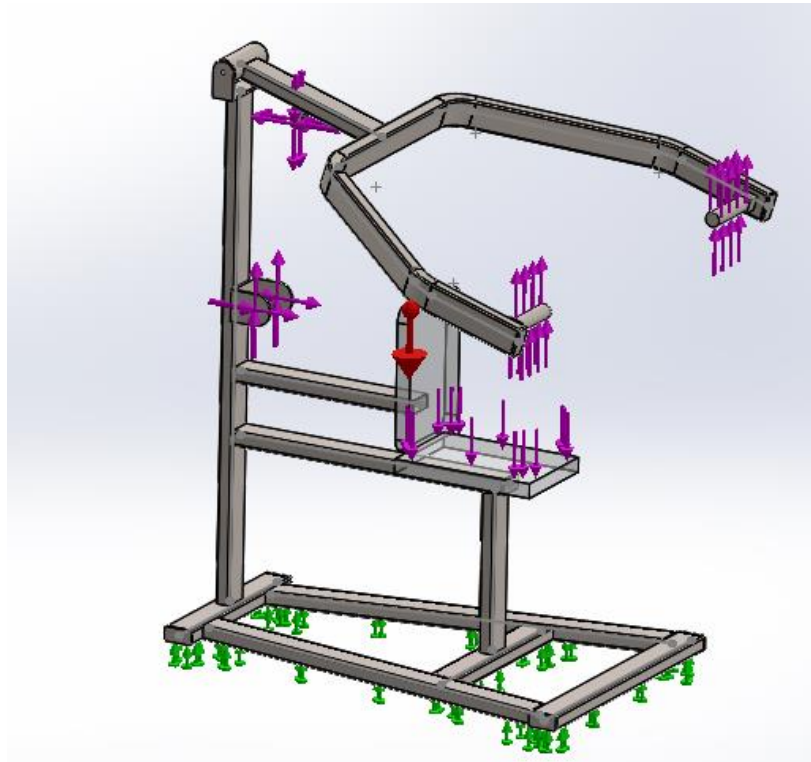


Imagen 99. Hipótesis de trabajo ensamblaje Diseño 2

Una vez se ha simulado con las condiciones anteriores, se averiguarán las fuerzas resultantes en las zonas donde se ha aplicado la geometría fija.

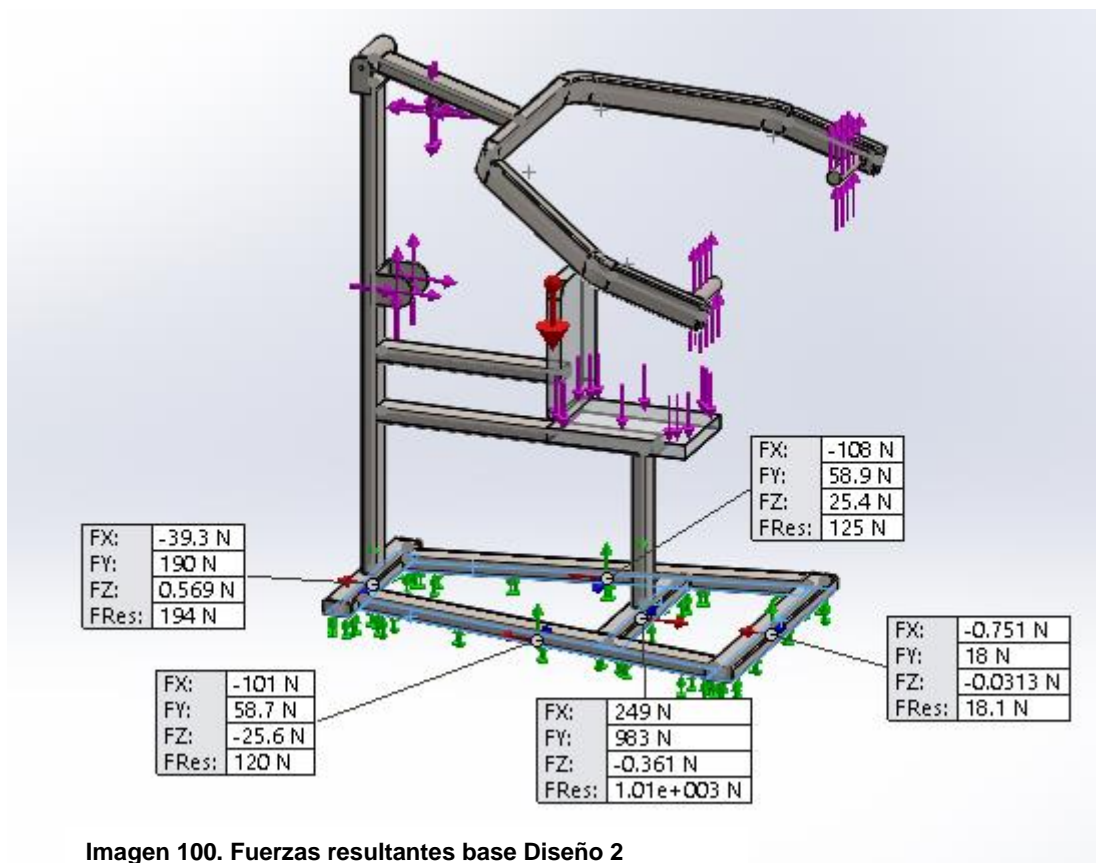


Imagen 100. Fuerzas resultantes base Diseño 2

## CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

Como se puede observar en la imagen 100, FY es mayor a 0 en todas las barras que forman la base y hacen de apoyo de la máquina, esto nos indica que no existe vuelco.

### 2ª Simulación:

En esta simulación las condiciones serán las mismas que la primera simulación, pero no se tendrá en cuenta el peso de la estructura:

- En los agarres se aplica una fuerza vertical de 85,9 N en cada uno.
- El peso de la persona se trata de 1176 N que se aplica en el asiento en dirección vertical.
- El cilindro ejerce una fuerza resultante de 980 N que se aplica en los dos puntos de unión.
- No se tendrá en cuenta el peso de la estructura.
- La estructura de los brazos va unido con el pilar mediante dos pasadores de 5 milímetros de diámetro.
- El resto de uniones entre barras se trata de unión rígida.
- La máquina se sujeta al suelo mediante geometría fija en toda la base formada por 5 barras.
- Coeficiente de seguridad debe mayor o igual a 3.

### TENSIONES (MPa):

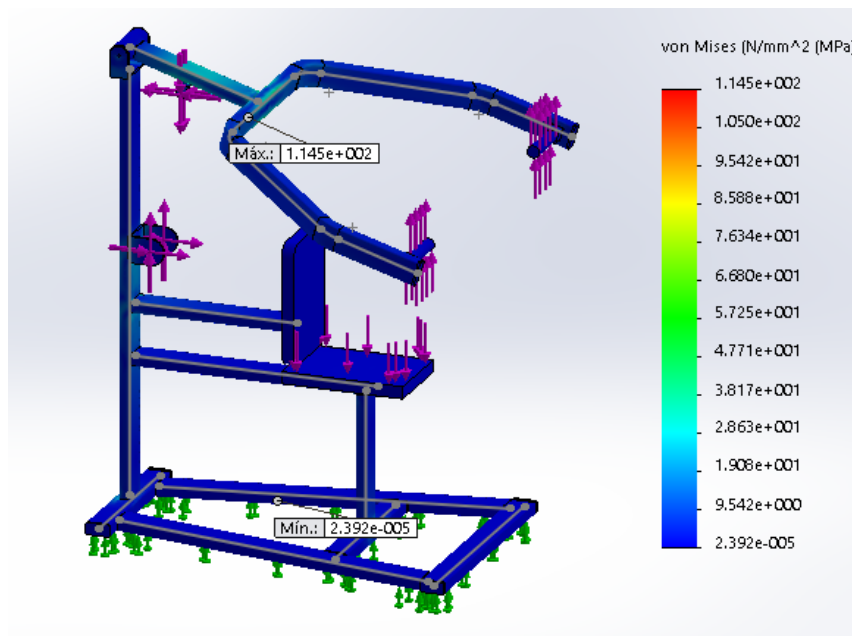


Imagen 101. Distribución de tensiones ensamblaje Diseño 2

Como se puede observar el color azul quiere decir que la máquina en general está sometida a tensiones bajas. La máxima tensión de 114,5 MPa se observa en la unión de los brazos con la barra soporte de los brazos y se trata de un

# CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

concentrador de tensiones, a continuación se mostrará la imagen 102 más detallada:

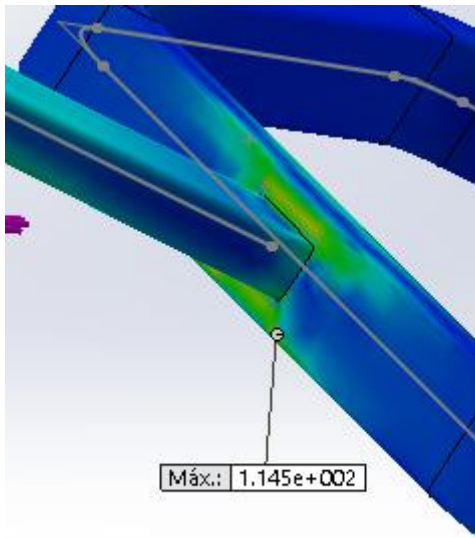


Imagen 102. Detalle distribución de tensiones

## DESPLAZAMIENTOS (mm):

El máximo desplazamiento se encuentra en el extremo de los brazos y se trata de 2,1 milímetros. A continuación se mostrara una imagen 103 de cómo se deformará la estructura de manera exagerada:

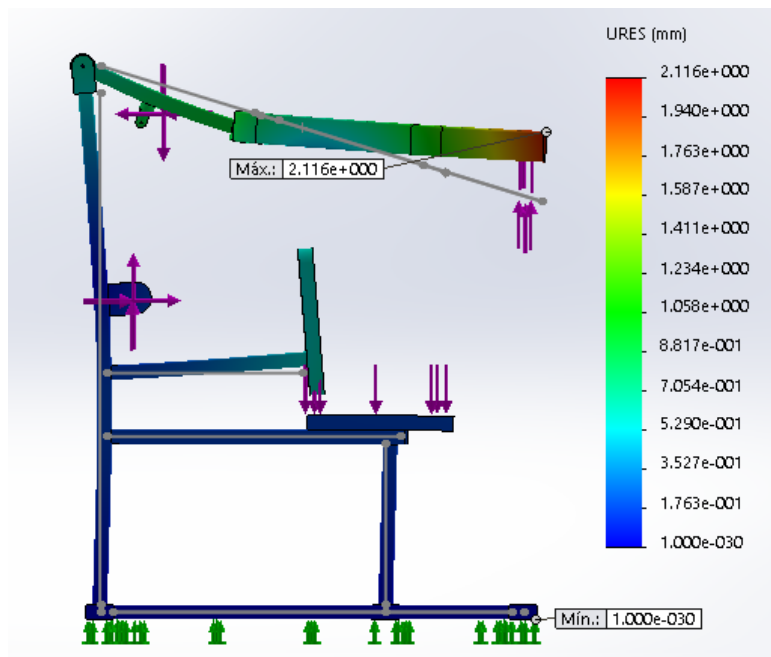


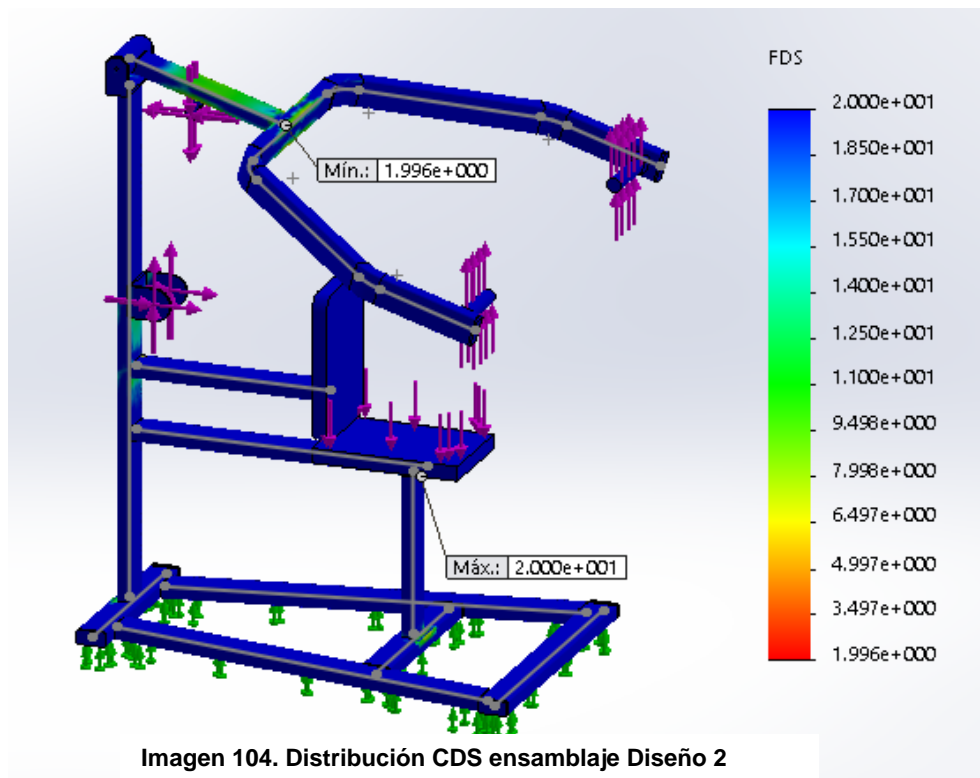
Imagen 103. Distribución de desplazamientos ensamblaje Diseño 2

# CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

## COEFICIENTES DE SEGURIDAD:

El coeficiente de seguridad es muy elevado en todo el conjunto, para que pueda visualizarse mejor, se aplicara un rango entre 0 y 20.

La zona en azul quiere decir que el coeficiente de seguridad será mayor a 20. Como era de esperar el menor coeficiente de seguridad estará en la unión entre los brazos y la barra soporte, ya que se trata del punto donde hay mayor tensión. Este coeficiente será de 2 y no cumple con la hipótesis supuesta en la cual se decía que debía ser mayor a 3, por lo tanto se debe realizar una mejora.



## COMPROBADOR DEL PASADOR:

Del mismo modo que en el diseño 1 el diámetro elegido de pasador se trataba de 5 mm, con un coeficiente de seguridad mínimo de 3 y siendo el mismo material.

Zona del límite de tensión	
<input type="text" value="19.6"/>	<input type="text" value="mm^2"/>
Resistencia del pasador	
<input type="text" value="275"/>	<input type="text" value="N/mm^2 (MPa)"/>
Factor de seguridad	
<input type="text" value="3"/>	

Imagen 105. Propiedades pasador Diseño 2

## CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

Nombre de estudio: CON DESAHOGO

Conector: Todos los pasadores    Unidades: SI

Tipo de conector: Pasador

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante	Conector
Fuerza cortante (N)	28.49	298.71	0	300.07	Conector tipo Pasador-1
Fuerza axial (N)	0	0	133.11	133.11	Conector tipo Pasador-1
Momento flector (N.m)	-1.8097	0.27391	0	1.8303	Conector tipo Pasador-1
Torsor (N.m)	0	0	0	0	Conector tipo Pasador-1
Fuerza cortante (N)	30.26	296.18	0	297.72	Conector tipo Pasador-2
Fuerza axial (N)	0	0	-134.91	134.91	Conector tipo Pasador-2
Momento flector (N.m)	1.9183	-0.22886	0	1.9319	Conector tipo Pasador-2
Torsor (N.m)	0	0	-0	0	Conector tipo Pasador-2

**Imagen 106. Tabla resultados pasadores Diseño 2**

Según la tabla de la imagen 106, el pasador no estaría bien dimensionado, esto es debido a lo que se ha comentado anteriormente en el pasador del diseño 1, a diferencia que en este diseño, el pasador está sometido a un momento flector de 1,932 Newton por metro. Posteriormente se realizará una mejora del pasador para que cumpla los requisitos.



## 8. MEJORAS EN LOS ENSAMBLAJES.

Una vez se ha realizado la simulación e interpretado los resultados, se procederá a mejorar las partes de las maquinas en las que se han obtenido tensiones y desplazamientos máximos o no han cumplido con las exigencias mínimas.

### 8.1 Mejoras en el diseño 1.

#### 8.1.1 Modificación del pasador.

En el cálculo analítico se ha supuesto que el pasador fallaba por cortadura, pero gracias a SolidWorks, nos damos cuenta de que si lo dimensionamos con la hipótesis de que falla a cortadura no estará bien dimensionado. Esto es debido que la longitud del pasador es de 140 mm y el espesor de la pared es de 5 mm, produciéndose antes la rotura por flexión que por cortadura.

Con ayuda de SolidWorks se ha obtenido que el momento flector al que está sometido el pasador sea de 4.783 Newton por metro, y debe tener un coeficiente de seguridad de 3.

A continuación se dimensionará el pasador suponiendo que falla a flexión:

$$\sigma_{max} = \frac{\sigma_f}{CS} = \frac{275}{3} = 91,6 \frac{N}{mm^2}.$$

$$W_f = \frac{\pi d^4 / 64}{d/2} = \frac{\pi d^3}{32}$$

$$\sigma_{max} = \frac{M_f}{W_f} \quad W_f = \frac{4783}{91,6} = 52,2 \text{ mm}^3$$


d= 8.1 milímetros como mínimo

Como se puede observar debido a flexión se necesita más diámetro para que el pasador no rompa. El diámetro que se ha tomado para que cumpla los requisitos es de 9 milímetros y su área es de  $63.6 \text{ mm}^2$

A continuación se remodelará las piezas a las que afecta el cambio de diámetro del pasador y se procederá a una nueva simulación.

# CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

Zona del límite de tensión

 63.6 mm<sup>2</sup>

Resistencia del pasador

275 N/mm<sup>2</sup> (MPa)

Factor de seguridad

3

Imagen 107. Propiedades modificadas pasadores Diseño 1

Una vez se ha vuelto a realizar el cálculo analítico y se ha realizado la simulación, los resultados de SolidWorks Simulation nos indican que el nuevo pasador se ha dimensionado correctamente.

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante	Conector
Fuerza cortante (N)	129,04	348,74	0	371,85	Conector tipo Pasador-7
Fuerza axial (N)	0	0	-180,78	180,78	Conector tipo Pasador-7
Momento flector (N.m)	0,45527	1,0904	0	1,1816	Conector tipo Pasador-7
Torsor (N.m)	0	0	-0	0	Conector tipo Pasador-7
Fuerza cortante (N)	123,58	359,41	0	380,06	Conector tipo Pasador-8
Fuerza axial (N)	0	0	180,28	180,28	Conector tipo Pasador-8
Momento flector (N.m)	-0,06095	-1,0607	0	1,0624	Conector tipo Pasador-8
Torsor (N.m)	0	0	0	0	Conector tipo Pasador-8

Imagen 108. Tabla resultados pasadores Diseño 1

## 8.1.2 Reducción del máximo desplazamiento.

El máximo desplazamiento del ensamblaje se produce en el extremo de los brazos, a continuación se añadirá al conjunto una barra que rigidice la estructura y así se disminuyan los desplazamientos en dicho punto.

Esta barra tendrá las mismas características que el resto de barras y se posicionará horizontalmente entre las patas y el soporte inferior del cilindro hidráulico quedando el conjunto de la siguiente manera:



Imagen 109. Mejora ensamblaje

## CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

A continuación se va a realizar una nueva simulación con la nueva barra y se diferenciará entre los datos anteriores y los nuevos datos.

### DESPLAZAMIENTOS (mm)

El principal objetivo de esta mejora se trata de reducir el máximo desplazamiento, como se puede observar en las imágenes 110 y 111, el máximo desplazamiento en el extremo de los brazos se ha reducido de 3,6 milímetros a 3,1 milímetros. También se puede ver en las respectivas imágenes como los desplazamientos en la parte superior del pilar se han mejorado.

Antes:

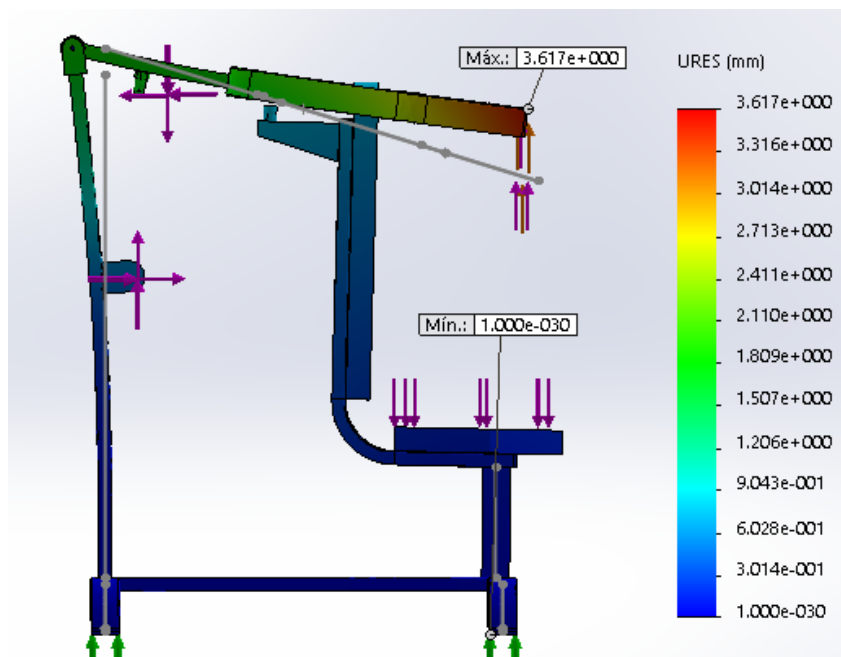


Imagen 110. Distribución de desplazamiento sin barra rigidizadora

# CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

Después:

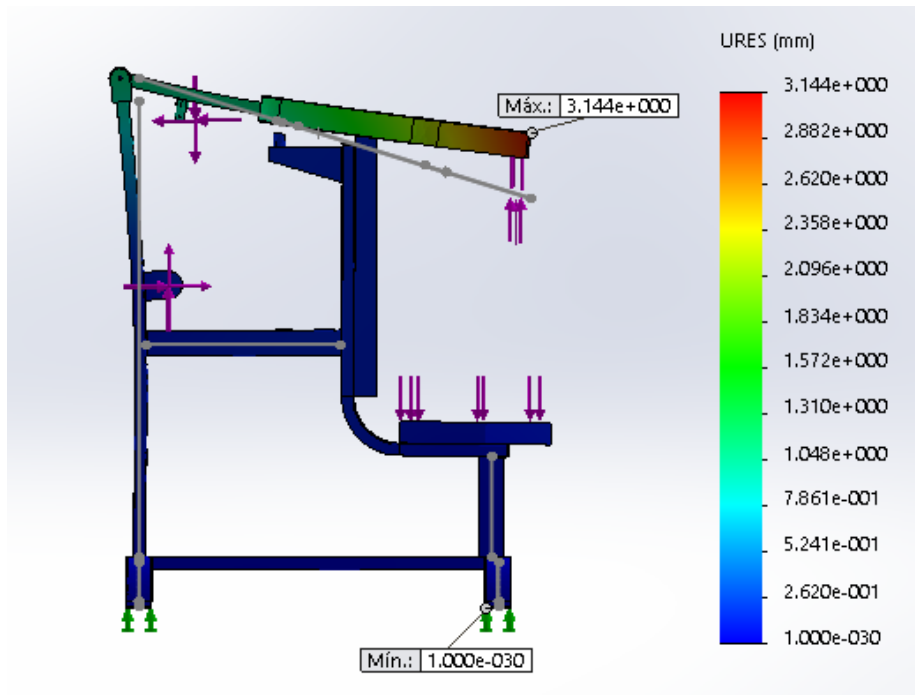


Imagen 111. Distribución de desplazamiento con barra rigidizadora

## TENSIONES (MPa)

A continuación se mostrara en la imagen 112 las tensiones a las que está sometida la máquina con el cambio que se ha realizado:

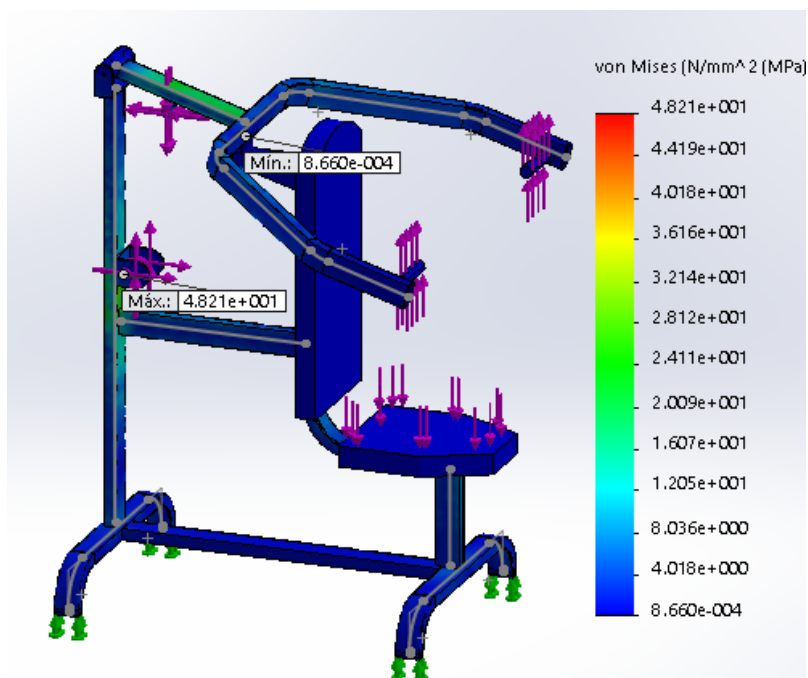


Imagen 112. Distribución de tensiones con barra rigidizadora

# CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

Se observa que la tensión ha aumentado a 48 MPa habiendo antes una tensión máxima de 33 MPa en la unión del soporte del cilindro hidráulico con el pilar, esto es debido a que la nueva barra introducida genera más esfuerzos al pilar para poder rigidizar el conjunto. Pero esta tensión está muy lejos de sobrepasar el límite elástico de 275 MPa que tiene nuestro material utilizado, por lo tanto damos como correcta la modificación.

## PASADOR

Los cambios ocasionados en el pasador serán mínimos y seguirán cumpliendo las exigencias con el diámetro elegido de 9 milímetros.

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante	Conector
Fuerza cortante (N)	124.46	379.35	0	399.25	Conector tipo Pasador-7
Fuerza axial (N)	0	0	-168.34	168.34	Conector tipo Pasador-7
Momento flector (N.m)	-0.3234	0.82233	0	0.88364	Conector tipo Pasador-7
Torsor (N.m)	0	0	-0	0	Conector tipo Pasador-7
Fuerza cortante (N)	120.22	329.96	0	351.17	Conector tipo Pasador-8
Fuerza axial (N)	0	0	168.15	168.15	Conector tipo Pasador-8
Momento flector (N.m)	-0.48988	-1.1098	0	1.2131	Conector tipo Pasador-8
Torsor (N.m)	0	0	0	0	Conector tipo Pasador-8

Imagen 113. Tabla resultados pasadores con barra rigidizadora

## 8.2 Mejoras en el diseño 2

### 8.2.1 Modificación del pasador

Igual que en el diseño 1 hay que volver a dimensionar el pasador del diseño 2 suponiendo que falla a flexión en lugar de suponer el fallo por cortadura, cuyo diámetro elegido eran 5 milímetros.

SolidWorks en el aparatado anterior nos facilitaba que el pasador esté sometido a un momento flector de 1.931 Newton por metro. A continuación se realizará el nuevo dimensionamiento.

$$\sigma_{max} = \frac{\sigma_f}{CS} = \frac{275}{3} = 91,6 \frac{N}{mm^2}$$

$$W_f = \frac{\pi d^4 / 64}{d/2} = \frac{\pi d^3}{32}$$

$$\sigma_{max} = \frac{M_f}{W_f} \quad W_f = \frac{1932}{91,6} = 19,97 \text{ mm}^3$$

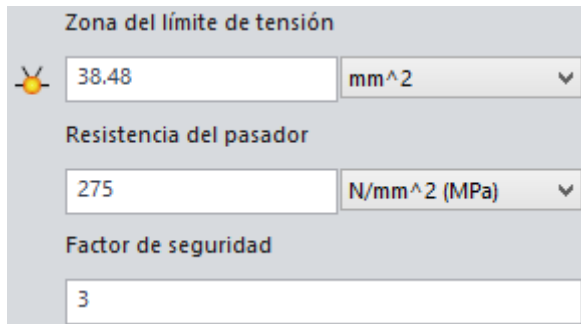
d= 5,98 mm como mínimo

## CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

Para asegurar que el nuevo diámetro del pasador cumple, se elegirá un diámetro de pasador de 7 milímetros cuya área será  $38,48\text{mm}^2$

Se procederá a remodelar las piezas que sufren cambios debido al nuevo diámetro del pasador y se realizará una nueva simulación para ver si cumple el nuevo pasador.

Los nuevos datos introducidos del pasador en SolidWorks son los siguientes:



Zona del límite de tensión

38.48 mm<sup>2</sup>

Resistencia del pasador

275 N/mm<sup>2</sup> (MPa)

Factor de seguridad

3

Imagen 114. Propiedades modificadas pasadores Diseño 2

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante	Conector
Fuerza cortante (N)	29.455	299.49	0	300.94	Conector tipo Pasador-1
Fuerza axial (N)	0	0	147.93	147.93	Conector tipo Pasador-1
Momento flector (N.m)	-2.4903	0.25101	0	2.503	Conector tipo Pasador-1
Torsor (N.m)	0	0	0	0	Conector tipo Pasador-1
Fuerza cortante (N)	30.649	296.19	0	297.77	Conector tipo Pasador-2
Fuerza axial (N)	0	0	-149.53	149.53	Conector tipo Pasador-2
Momento flector (N.m)	2.6017	-0.31354	0	2.6205	Conector tipo Pasador-2
Torsor (N.m)	0	0	-0	0	Conector tipo Pasador-2

Imagen 115. Tabla resultado de pasadores Diseño 2

La tabla en verde nos confirma que el nuevo dimensionamiento del pasador se ha realizado correctamente.

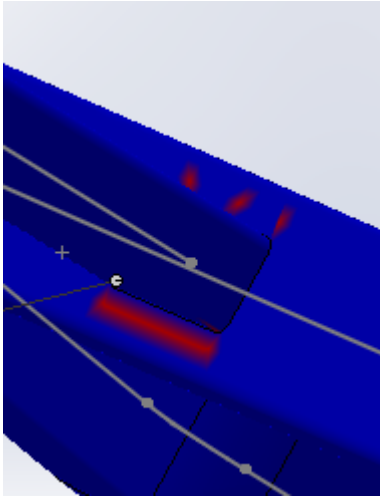
### 8.2.2 Reducción del concentrador de tensiones.

En este apartado se va a intentar reducir la zona afectada por el concentrador de tensiones que sufre el diseño 2, este punto se sitúa en la unión rígida de los brazos con el soporte de los brazos, y aparece una tensión máxima de 114 MPa. Para ello se crearan dos refuerzos en forma de cuña, hechos del mismo acero que el resto de la estructura y se colocaran tanto en la parte superior como en la inferior simétricamente. Posteriormente se simulará y se comprobará que la zona donde se produce la concentración de tensiones se ha reducido. Para visualizar correctamente esta zona, se analizará el coeficiente de seguridad en todo el conjunto, cuyas zonas con un coeficiente de seguridad

## CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

mayor que 3 se muestren de color azul, y las zonas donde el coeficiente de seguridad sea menor que 3, aparezcan de color rojo.

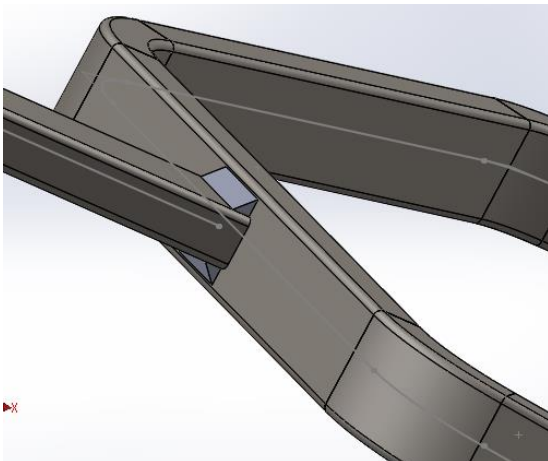
Primero se mostrará una imagen de la zona afectada cuando todavía no se ha aplicado la mejora:



**Imagen 116. Zona de concentración de tensiones**

Como se puede observar en la imagen 116 aparecen varias zonas en rojo, principalmente en la parte inferior de la unión, esto indica que en esa zona se produce la mayor concentración de tensiones.

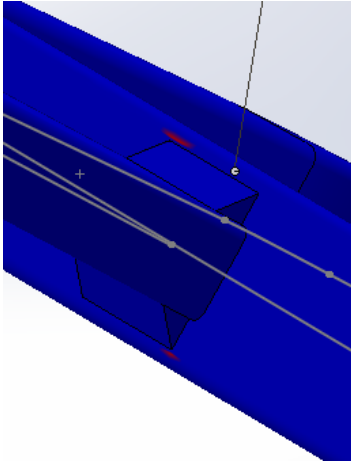
A continuación se mostrará una imagen de cómo se han posicionado los refuerzos en la unión donde se producía la concentración de tensiones.



**Imagen 117. Refuerzos**

Ahora ya se puede simular y analizar como actuaran estos refuerzos a la zona afectada.

## CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO



**Imagen 118. Zona de concentración de tensiones con refuerzos**

En la imagen 118, se muestra como se ha logrado eliminar mayoritariamente todas las zonas en rojo que se correspondían a los puntos donde estaban las mayores tensiones. Por lo tanto damos por buena esta mejora que se ha realizado al ensamblaje.



## 9. COMPARACIONES DE LOS DISEÑOS.

En este apartado se comparará diferentes aspectos entre los dos diseños de máquinas con cilindro hidráulico que anteriormente se han simulado una vez mejoradas. También se citarán las ventajas de cada diseño.

### 9.1 Comparación del dimensionamiento entre ambos diseños.

#### 9.1.1 Peso

El peso es un factor que se debe tener en cuenta a la hora de diseñar cualquier maquina o estructura. Una reducción de peso implica que se ha utilizado menos material y por lo tanto menos coste.

Para realizar este apartado se utilizará la herramienta SolidWorks, una vez se han asignado los materiales correspondientes a cada elemento de las máquinas, utilizaremos el comando propiedades físicas situado en la pestaña Herramientas.

#### Diseño1:

En este diseño todos los elementos como las barras, las tapetas, los pasadores, el cilindro y los soportes, son de acero S275JR.

Las gomas de respaldo y asiento se tratan de una espuma flexible de poliuretano.

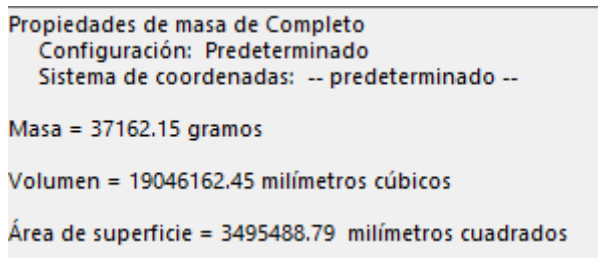


Imagen 119. Propiedades físicas Diseño 1

Como nos indica SolidWorks el peso de la estructura se trata de 37,1 Kg.

#### Diseño 2:

En este diseño también se ha construido todos los elementos con acero S275JR exceptuando el respaldo y el asiento que también se trata de espuma flexible de poliuretano.

## CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

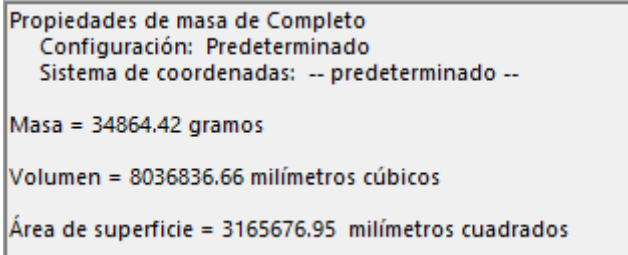


Imagen 120. Propiedades físicas diseño 2

Como se observa en las imágenes 119 y 120 el peso del diseño 2 es levemente más ligero, con un peso de 34,8 kg.

Aunque la diferencia de pesos entre ambos diseños es mínima, si solo tuviéramos en cuenta este aspecto, sería más conveniente el diseño 2 debido a su menor peso.

### 9.1.2 Altura, anchura y longitud.

A los usuarios que frecuentan los gimnasios, les interesa que el gimnasio tenga el mayor número de máquinas posibles, para poder realizar un amplio abanico de ejercicios. Por eso, las dimensiones de las maquinas son importantes, ya que una maquina con menos tamaño y mismo fin siempre será la elegida por el propietario del gimnasio.

DISEÑO	ALTURA(mm) MÁXIMA	ANCHURA(mm) MÁXIMA	LONGITUD(mm) MÁXIMA
1	1250	1046	980
2	1160	1046	925

Tabla 2. Comparación de dimensiones

Como se aprecia en la tabla 2 la diferencia de medidas es mínima, el diseño 1 tiene mayor altura debido a que la maquina se sostiene mediante 4 patas, que el diseño 2 no tiene, ya que su estabilidad se consigue con 5 barras apoyadas directamente en el suelo. La anchura máxima es la misma para ambos diseños, ya que esa anchura es la distancia entre las paredes exteriores de los brazos. Por último el diseño 1 tiene mayor longitud, siendo esta la distancia desde la parte trasera del pilar hasta la parte delantera del asiento. Por lo tanto la máquina con menores dimensiones se trataría del diseño 2.

## 9.2 Comparación de los resultados obtenidos en el cálculo estático entre ambos diseños.

### 9.2.1 Tensiones

En este apartado se comparará la tensión máxima y las tensiones en el pilar de ambos diseños una vez se han incluido las mejoras a las máquinas. También se comentará a que es debida la diferencia de tensiones entre ambos diseños

DISEÑO	TENSIÓN MÁXIMA(MPA)
1	48
2	100

Tabla 3. Comparación de máximas tensiones

El diseño 2 tiene la máxima tensión, esta tensión se encuentra situada en la unión entre los brazos palanca y el soporte de los brazos, y se sitúa en el concentrador de tensión que ya se ha intentado reducir al máximo anteriormente. Esto es debido a que el diseño 1 tiene un elemento donde apoyan los brazos, el cual se ha asignado en SolidWorks como apoyo sin penetración que hace que en el diseño 1 no se deforme demasiado en ese punto y por lo tanto no aparezca ese concentrador de tensiones. A continuación se mostrara la imagen 121 del elemento al que nos referimos:

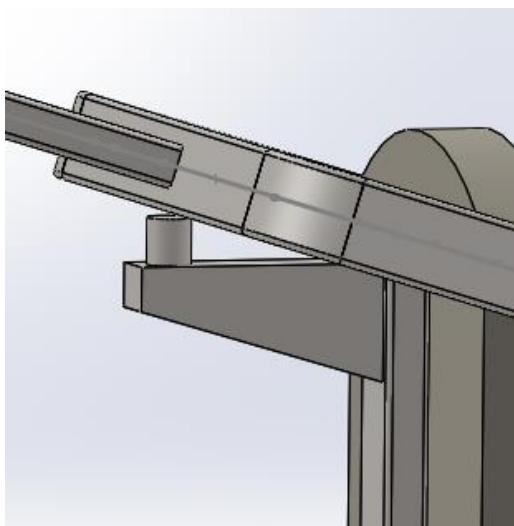


Imagen 121. Apoyo brazos

Por lo tanto la tensión máxima del diseño 1 es la mitad del diseño 2 y se sitúa en la unión entre el pilar y el soporte inferior del cilindro hidráulico, también se produce por un concentrador de tensiones.

# CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

Se van analizar los gráficos de tensiones a las que están sometidos los pilares de los dos diseños. Se cogerá el mismo punto de referencia para que la comparación se realice correctamente, este punto de referencia se trata de una arista de la cara exterior del pilar que se encuentra libre de uniones para evitar que aparezcan concentradores de tensiones.

## PILAR DISEÑO 1



Imagen 122. Distribución de tensiones pilar Diseño 1

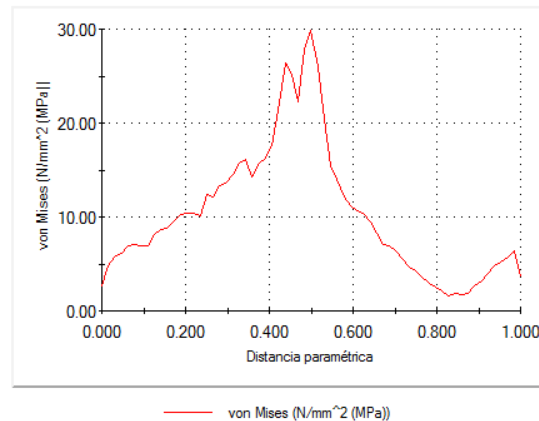


Imagen 123. Gráfico de tensiones pilar Diseño 1

Los dos picos que aparecen en el gráfico de la imagen 123, se tratan de las mayores tensiones dadas en la cara trasera del pilar del diseño 1, con un valor aproximado de 30 MPa, en la imagen 122 se puede observar donde están situadas esas tensiones, apareciendo de color verde las zonas de mayor tensión.

## PILAR DISEÑO 2

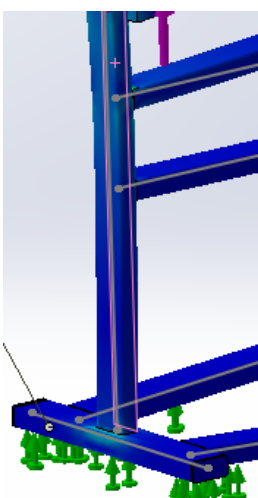


Imagen 124. Distribución de tensiones pilar Diseño 2

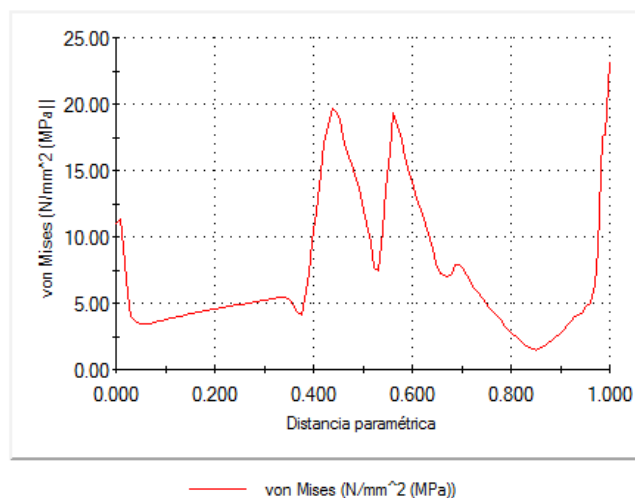


Imagen 125. Gráfico de tensiones pilar Diseño 2

## CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

En el diseño 2 también aparecen 2 picos máximos en la zona del pilar situada entre las dos barras horizontales, pero no es la parte del pilar que sufre las mayores tensiones.

La diferencia de los dos pilares se encuentra en que la tensión máxima del pilar del diseño 1 se produce en un punto situado entre el soporte inferior del cilindro y la barra añadida para rigidizar en el apartado de mejoras, por el contrario la máxima tensión en el pilar del diseño 2 se produce en la unión entre el pilar y la base alcanzando un valor próximo a 25 MPa. En la imagen 124 se observa de color azul claro la zona que está sometida a mayores tensiones.

Esto es debido a que la barra introducida en el diseño 1 en el apartado de mejoras reduce la tensión en el empotramiento inferior del pilar pero en cambio se aumentan las tensiones en la zona del pilar donde se une la barra rigidizadora. Si recordamos en el apartado 7.2 cuando se simulaba solamente el pilar, donde se situaba la fuerza del cilindro hasta el empotramiento había unas tensiones de 66 MPa aproximadamente.

### 9.2.2 Desplazamientos

En este apartado se comparará los desplazamientos máximos entre ambos diseños, seguidamente se particularizará en diferentes zonas.

DISEÑO	DESPLAZAMIENTO MÁXIMO (milímetros)
1	3,1
2	2,1

Tabla 4. Comparación de máximos desplazamientos

El máximo desplazamiento en ambos diseños como se puede observar en las imágenes 103 y 111 aparece en el extremo superior de los brazos palanca, dándose mayor desplazamiento en el diseño 1. Esto es debido a que el pilar del diseño 1 se desplaza más que el pilar del diseño 2. A continuación se mostrarán los gráficos de los desplazamientos en los pilares y en el conjunto de los brazos de ambos diseños y se comentarán las diferencias.

# CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

## DESPLAZAMIENTOS PILAR

Diseño 1:

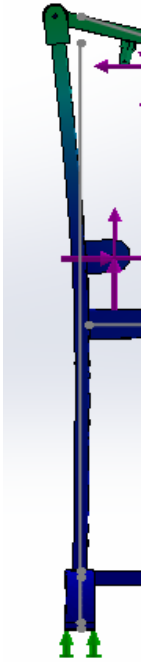


Imagen 126. Desplazamientos pilar  
Diseño 1

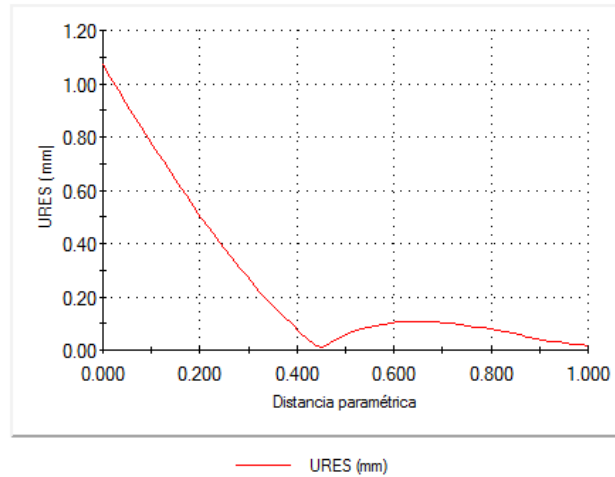


Imagen 127. Gráfico desplazamientos  
Diseño 1

Diseño 2:

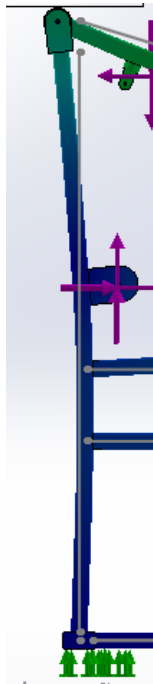


Imagen 128. Desplazamientos pilar  
Diseño 2

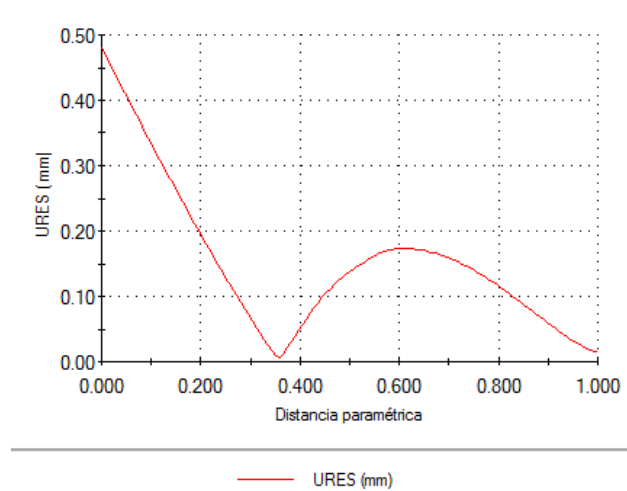


Imagen 129. Gráfico desplazamientos  
Diseño 2

# CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

Como se muestra en los gráficos, el extremo superior del pilar del diseño 1 sufre un desplazamiento de 1,1 milímetro a diferencia del diseño 2 que es menor a 0,5 milímetros, esto es debido también a la pieza anteriormente nombrada y descrita que sirve de apoyo a los brazos. En este caso el diseño 2 debido a que carece de esta pieza, el pilar se desplaza menos, pero en el punto de unión entre los brazos y el soporte de los brazos, los desplazamientos son mayores, a diferencia del diseño 1 que en esta unión los desplazamientos serán menores y el pilar se lleva la peor parte. A continuación para justificar lo dicho se mostrará un gráfico de desplazamientos en la barra soporte de los brazos.

## DESPALZAMIENTOS EN EL CONJUNTO DE BRAZOS

### DISEÑO 1

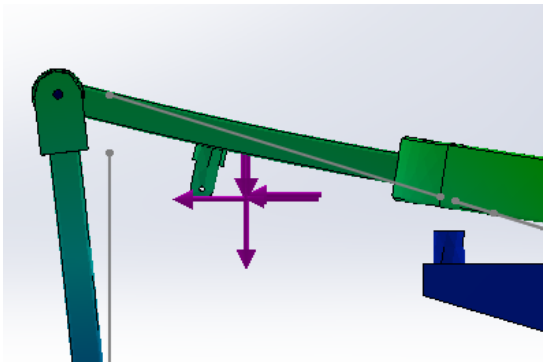


Imagen 130. Desplazamientos brazos Diseño 1

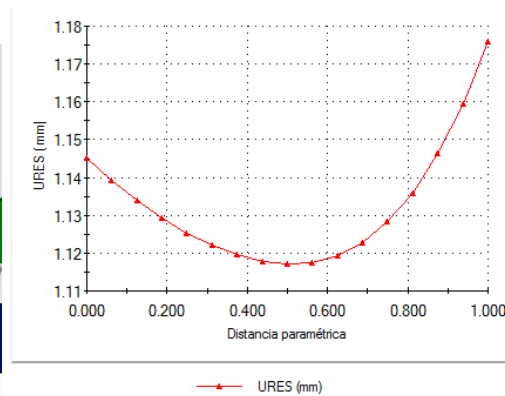


Imagen 131. Gráfico desplazamientos brazos Diseño 1

### DISEÑO 2

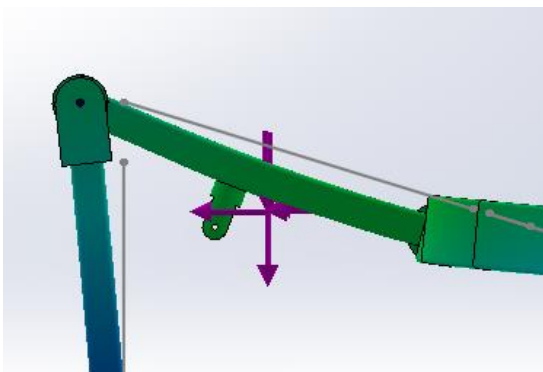


Imagen 132. Desplazamientos brazos Diseño 2

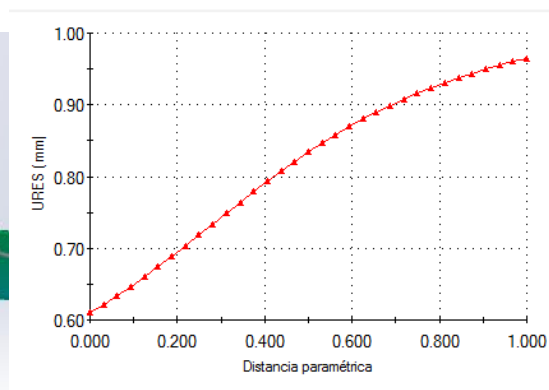


Imagen 133. Gráfico desplazamientos brazos Diseño 2

## CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

En estos dos gráficos se observa cómo afecta la pieza donde apoyan los brazos al desplazamiento de esta barra, aumentando mucho el desplazamiento en el diseño 2 y siendo mínimo en el diseño 1.

### 9.2.3 Coeficientes de seguridad mínimos.

DISEÑO	COEFICIENTE DE SEGURIDAD MÍNIMO	ZONA
1	4,9	Unión del pilar con el soporte inferior del cilindro hidráulico
2	2,54	Unión entre la barra soporte de brazos y los brazos.

**Tabla 5. Comparación coeficientes de seguridad mínimos.**

El ensamblaje del diseño 1 todo su conjunto cumple con la hipótesis de que el coeficiente de seguridad sea mayor que 3, sin embargo en el ensamblaje del diseño 2 hay una mínima zona anteriormente mostrada en el apartado 8.2.2 que no cumple con el requisito del coeficiente de seguridad mínimo.

### 9.2.4 Comparación de la base

En este apartado se va a comparar que base de ambos diseños es más estable, para ello se realizará una tabla en la cual se irán variando en SolidWorks el peso y la fuerza aplicada por el usuario, cogiendo casos extremos y averiguando en que base se produce antes el vuelco.

DISEÑO	PESO(N)	FUERZA EN CADA AGARRE(N)	VUELCO
1	600	85,9	NO
2	600	85,9	NO
1	600	200	NO
2	600	200	NO
1	1500	85,9	NO
2	1500	85,9	NO
1	1500	200	NO
2	1500	200	NO
1	2000	85,9	NO
2	2000	85,9	NO
1	200	85,9	NO
2	200	85,9	NO

**Tabla 6. Comprobación vuelco**



## CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

Se han comprobado casos extremos para ambos diseños y como se observa en la tabla no se producen en ningún caso vuelco, antes de volcar se produciría rotura del diseño. Por lo tanto no podemos decir que una base sea más estable que otra, ya que las dos son estables con cualquier peso o fuerza que se aplique.

### 9.2.5 Comparación entre el mismo diseño y dos posiciones diferentes

En esta comparación se trata de comparar el mismo diseño entre dos diferentes posiciones. La nueva posición a simular se dará cuando los brazos forman 90 grados con el pilar. Posteriormente se comprobará que la posición más desfavorable es la que se ha elegido a la hora del cálculo analítico. Bastará con comparar un solo diseño para corroborar los cálculos analíticos.

Para realizar estos cálculos se cogerán los datos de la tabla del apartado 5.1 en la posición 2. Lo único que cambiara respecto a la posición 1 a la hora de simularlo, será la inclinación de los brazos y por lo tanto la fuerza ejercida por el usuario.

#### Diseño 1.

Las hipótesis para realizar la simulación en SolidWorks son las siguientes:

- En los agarres se aplica una fuerza vertical de 75,9 N en cada uno.
- El peso de la persona se trata de 1176 N que se aplica en el asiento en dirección vertical.
- El cilindro ejerce una fuerza resultante de 980 N que se aplica en los dos puntos de unión.
- No se tendrá en cuenta el peso de la estructura.
- La estructura de los brazos va unido con el pilar mediante dos pasadores de 9 milímetros de diámetro.
- El resto de uniones entre barras se trata de unión rígida.
- La máquina se sujeta al suelo mediante geometría fija en las 4 patas.
- Coeficiente de seguridad debe ser mayor o igual a 3.

# CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

Tensiones:

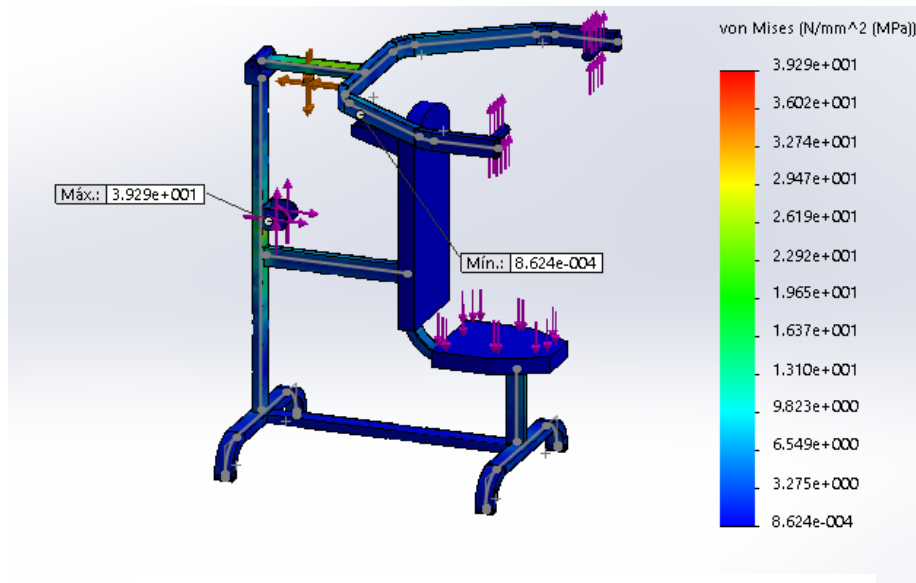


Imagen 134. Distribución de tensiones en la posición 2

La máxima tensión ahora se trata de 39 MPa situada en el mismo lugar que en la posición 1 y menor que los 48 MPa que se obtenían en dicha posición.

Desplazamientos:

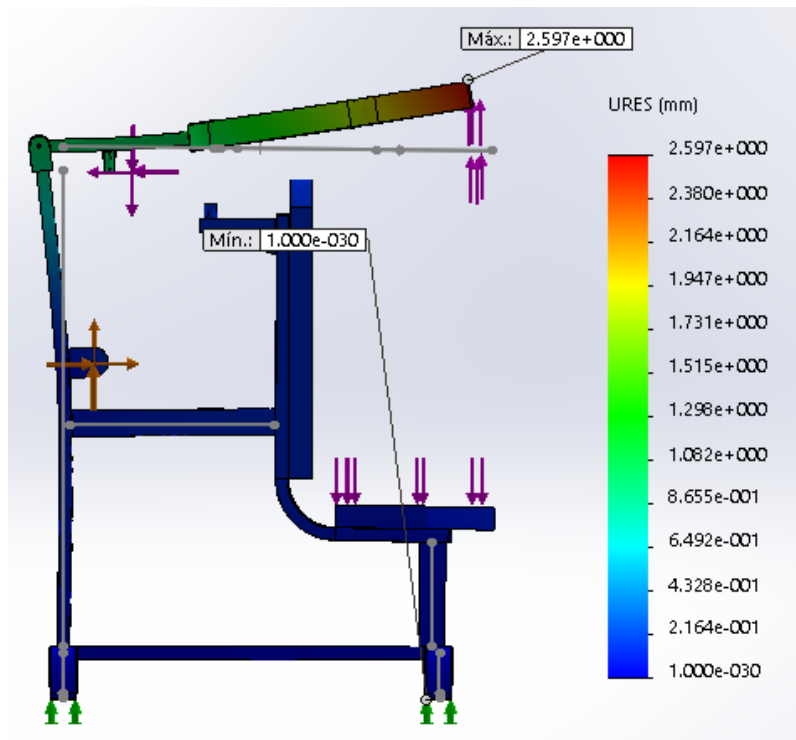


Imagen 135. Distribución de desplazamientos en la posición 2

## CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

El máximo desplazamiento se trata de 2,59 milímetros, menor a los 3,1 milímetros que se obtienen en la posición 1, ambos resultados dándose lugar en el extremo superior de los brazos.

Por lo tanto esta posición es menos desfavorable que la posición 1 y se corrobora que los cálculos analíticos en el apartado 5.1 se han hecho correctamente.

### 9.3 Ventajas de cada diseño.

En este apartado se realizará un resumen de los puntos anteriores indicando las ventajas de cada diseño.

#### Ventajas diseño 1:

- Su tensión máxima no es muy elevada.
- No se han necesitado refuerzos para disminuir concentradores de tensión.
- Cumple en todo el conjunto con el mínimo coeficiente de seguridad.

#### Ventajas diseño 2:

- Estructura más ligera.
- Ocupa menor espacio.
- El pilar está sometido a menores tensiones.
- Sus desplazamientos son menores.
- Necesita un diámetro de pasador menor.
- Sufre menores deformaciones.

## 10. CONCLUSIONES

El objeto de este proyecto es la descripción, modelado y análisis de las partes principales de una máquina de gimnasio con dos posibles diseños, tanto analíticamente, como con herramientas CAD/CAE.

Partiendo de máquinas ya existentes en diferentes gimnasios, se han elegido dos modelos concretos. Antes de realizar el modelado de las piezas que componen ambos diseños se ha realizado unos cálculos analíticos para conocer las fuerzas que actúan en los componentes principales y así poder averiguar la posición más desfavorable. Una vez conocida la posición más desfavorable se ha comprobado que las hipótesis fijadas cumplen con el mínimo coeficiente de seguridad y se ha dimensionado las piezas.

Una vez finalizado el estudio analítico y con ayuda de SolidWorks se ha modelado cada una de las piezas de ambos diseños a partir de las dimensiones obtenidas o las hipótesis fijadas anteriormente.

A la hora de realizar el análisis de los elementos en SolidWorks es necesario realizar una serie de suposiciones que tal vez no sean las correctas, lo que conlleva a la existencia de variaciones entre los resultados obtenidos analíticamente y los resultados obtenidos con SolidWorks. La interpretación y comprensión de dichas diferencias es objeto de análisis en el proyecto.

El modelado en tres dimensiones de ambos diseños con el programa SolidWorks, ha permitido realizar el análisis de tensiones de Von Mises, desplazamientos y factor de seguridad. Gracias a la herramienta Simulación del programa, nos ha permitido averiguar las zonas sometidas a mayores tensiones. En este proyecto se ha trabajado de manera que ninguna parte fundamental de las maquinas tenga un coeficiente de seguridad inferior a 3.

Realizando en cada diseño una primera simulación para analizar la estabilidad se verifica que no existe vuelco. La segunda simulación sirve para corroborar que todos los componentes cumplen con los criterios mínimos de resistencia. Para aquellos elementos que no cumplan dichos requisitos se les ha realizado las modificaciones o mejoras que han sido necesarias. Una vez hechas estas mejoras se han sometido a un nuevo estudio para verificar que cumplen los requisitos fijados.

Para asegurar de que todos los componentes de los ensamblajes tienen suficiente resistencia para soportar cualquier esfuerzo que pudiera aplicarse, se ha realizado otra simulación en una posición diferente a las anteriores.

Finalmente se ha hecho una comparación entre los dos diseños donde hacemos uso de toda la información obtenida a lo largo del proyecto y es

## CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

donde comprendemos el comportamiento de ambos diseños. Para ello ha sido necesario comparar tanto sus piezas particulares como sus resultados.

Se puede concluir que el estudio de estos dos diseños ha resultado en un dimensionamiento correcto y que los esfuerzos que soporta cada elemento están dentro de los límites permitidos.

Como conclusión final decir, que hoy día gracias a los programas como SolidWorks podemos corroborar que en el momento de realizar un proyecto cuyo fin sea diseñar una máquina, no solo es necesario un cálculo analítico sino, que además es necesario complementar dichos cálculos con herramientas de simulación para poder conocer el comportamiento real de la máquina.

## 11. BIBLIOGRAFIA.

### 11.1 Apuntes.

- Asignatura criterios de diseño de máquinas.
- Análisis de piezas y ensamblajes asistido por ordenador.

### 11.2 Páginas web.

[http://www.livestrong.com/es/especificaciones-cilindros-hidraulicos-info\\_13757/](http://www.livestrong.com/es/especificaciones-cilindros-hidraulicos-info_13757/)

<http://ocw.upm.es/fisica-aplicada/fisica-i/contenidos/Clases/EstSRMood.pdf>

[http://www.marcombo.com/Descargas/9788426714589-SolidWorks/descarga\\_primer\\_capitulo\\_libro\\_solidworks.pdf](http://www.marcombo.com/Descargas/9788426714589-SolidWorks/descarga_primer_capitulo_libro_solidworks.pdf)

[http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lim/jimenez\\_p\\_a/capitulo2.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/jimenez_p_a/capitulo2.pdf)

[http://www.equidesa.com/fitness/sgt\\_introduccion.html](http://www.equidesa.com/fitness/sgt_introduccion.html)

<http://www.sisa1.com.mx/pdf/Acero%20SISA%204340R.pdf>

[http://www.laservalencia.com/descargas/TABLA\\_COM\\_QUIMICA.pdf](http://www.laservalencia.com/descargas/TABLA_COM_QUIMICA.pdf)

### 11.3 Normativas.

<http://www.csd.gob.es/csd/estaticos/inst-dep/otras-esp-tecnicas/normalizacion-en-inst-y-equip-dep.pdf>

- UNE-EN 957-2:2003
- UNE-EN 957-5:2009

# CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

## 12. ANEXOS

### 12.1 Información del acero S275JR

#### COMPOSICIÓN QUÍMICA

Valores expresados en %

Norma EN	C	Si	Mn	P	S
S 235JR	≤ 0,17	≤ 0,03	≤ 1,40	≤ 0,020	≤ 0,020
S275JR	≤ 0,18	≤ 0,03	≤ 1,50	≤ 0,035	≤ 0,035
S355j2 + N	≤ 0,20	≤ 0,03	≤ 1,60	≤ 0,040	≤ 0,040

#### CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

Norma EN	Dureza HB	Re (N/mm <sup>2</sup> )	Rm (N/mm <sup>2</sup> )	A (%)	APLICACIONES
S 235JR	-	≥ 235	340 - 480	> 25	Corte Láser, por su bajo contenido en Si, planitud y acabado Superficial.
S275JR	120 - 170	≥ 225	400 - 560	> 20	Construcción de maquinaria, estructuras, calderería, carrocerías, puentes, depósitos...
S355j2 + N	130 - 185	≥ 325	480 - 630	> 22	Corte Láser, por su bajo contenido en Si, planitud y acabado Superficial.
CORTEN	160 - 190	≥ 355	490	> 20	Corrosión en ambientes urbanos industriales.
F114/C45	175 - 220	≥ 315	600 - 750	> 17	Moldes y portamoldes, construcción de herramientas, grandes estructuras, agricultura...
BRINELL 400	360 - 420	Factor Antidesgaste		75	Machacadoras, molinos, refuerzos de palas cargadoras, cuchillas, canteras, volquetes...
BRINELL 500	440 - 520	Factor Antidesgaste		85	Cribas, cintas transportadoras, minería, canteras, cajas de camiones, lavaderos...
13% Mn	180 - 230	Factor Antidesgaste		100	Recubrimientos de molinos y trituradoras, maquinaria de granallado, minería, cerámica...
S500MC	-	≥ 500	550 - 700	> 14	Vehículos ferroviarios, material de obra pública y agrícola, grúas y brazos elevadores...
S690Q	-	≥ 690	750 - 950	> 16	Grúas, estructuras soldadas, ventiladores industriales...
AISI 304	190	230	540-720	45	Industria alimentaria, cubertería, menaje.
AISI 316L	200	240	530-670	45	Industrias químicas
AISI 310	200	205	515-700	40	Hornos, aplicaciones altas temperaturas.
5754	50	100	220	-	Fabricación de recipientes a presión para la producción y almacenaje de gases licuados.
6082	70	130	215	-	Moldes industria del calzado. Moldes de botellas de plástico por soplado.

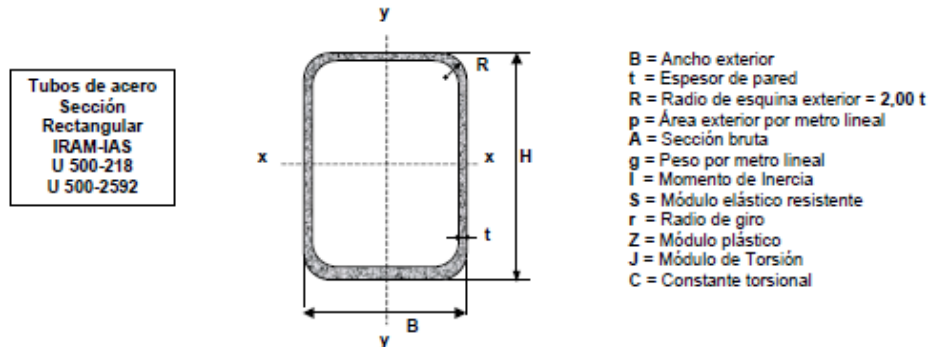
## CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

Norma EN	SOLDADURA	PLEGADO	MECANIZADO
S 235JR	✓	✓	✓
S275JR	✓	✓	✓
S355j2 + N	✓	✓	✓
CORTEN	✓	✓	✓
F114/C45	✓	✗	✓
BRINELL 400	✓	✓	✓
BRINELL 500	✓	✗	✓
13% Mn	✗	✗	✗
S500MC	✓	✓	✓
S690Q	✓	✓	✓
AISI 304			
AISI 316L			
AISI 310			
S754	✓	✓	✓
6082	✓	✓	✓



# CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD/CAE DE UNA MÁQUINA HIDRÁULICA DE GIMNASIO

## 12.2 Propiedades físicas del acero S275JR



B	H	t	p	Ag	g	I <sub>x</sub>	S <sub>x</sub>	r <sub>x</sub>	Z <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	S <sub>y</sub>	r <sub>y</sub>	Z <sub>y</sub>	J	C
[mm]	[mm]	[mm]	[m <sup>2</sup> /m]	[cm <sup>2</sup> ]	[Kg/m]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]
10	20	0.70	0.058	0.388	0.304	0.193	0.193	0.708	0.244	0.065	0.130	0.409	0.150	0.156	0.250
		0.90	0.057	0.487	0.382	0.234	0.234	0.694	0.301	0.078	0.156	0.400	0.184	0.189	0.310
15	25	0.90	0.077	0.667	0.523	0.547	0.438	0.906	0.542	0.247	0.329	0.609	0.381	0.539	0.609
		1.25	0.076	0.897	0.704	0.706	0.565	0.887	0.713	0.315	0.420	0.593	0.499	0.698	0.809
20	30	0.90	0.097	0.847	0.665	1.052	0.701	1.115	0.851	0.563	0.563	0.815	0.644	1.147	0.998
		1.25	0.096	1.147	0.901	1.378	0.919	1.096	1.132	0.733	0.733	0.799	0.856	1.512	1.340
		1.60	0.095	1.432	1.124	1.662	1.108	1.077	1.388	0.878	0.878	0.783	1.046	1.832	1.656

Reglamento CIRSOC 301-EL / 302-EL

- 38 -

Tablas de Perfiles

B	H	t	p	Ag	g	I <sub>x</sub>	S <sub>x</sub>	r <sub>x</sub>	Z <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	S <sub>y</sub>	r <sub>y</sub>	Z <sub>y</sub>	J	C
[mm]	[mm]	[mm]	[m <sup>2</sup> /m]	[cm <sup>2</sup> ]	[Kg/m]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]
20	40	0.90	0.117	1.027	0.806	2.129	1.064	1.440	1.319	0.727	0.727	0.841	0.816	1.718	1.341
		1.25	0.116	1.397	1.097	2.817	1.408	1.420	1.769	0.953	0.953	0.826	1.090	2.276	1.809
		1.60	0.115	1.752	1.375	3.431	1.716	1.400	2.183	1.149	1.149	0.810	1.341	2.773	2.245
30	40	1.25	0.136	1.647	1.293	3.755	1.878	1.510	2.253	2.412	1.608	1.210	1.851	4.572	2.778
		1.60	0.135	2.072	1.626	4.611	2.306	1.492	2.798	2.952	1.968	1.194	2.296	5.646	3.474
		2.00	0.133	2.537	1.992	5.491	2.746	1.471	3.376	3.504	2.336	1.175	2.768	6.762	4.225
30	50	1.25	0.156	1.897	1.489	6.439	2.576	1.842	3.139	2.928	1.952	1.242	2.211	6.309	3.496
		1.60	0.155	2.392	1.877	7.950	3.180	1.823	3.914	3.598	2.398	1.226	2.751	7.816	4.383
		2.00	0.153	2.937	2.306	9.529	3.812	1.801	4.744	4.288	2.859	1.208	3.328	9.398	5.345
		2.50	0.151	3.589	2.817	11.291	4.516	1.774	5.703	5.045	3.363	1.186	3.989	11.168	6.471
30	60	1.60	0.175	2.712	2.129	12.484	4.161	2.146	5.189	4.243	2.829	1.251	3.205	10.081	5.292
		2.00	0.173	3.337	2.620	15.035	5.012	2.123	6.313	5.072	3.381	1.233	3.888	12.150	6.465
		2.50	0.171	4.089	3.210	17.923	5.974	2.094	7.622	5.990	3.993	1.210	4.677	14.484	7.846
30	70	1.60	0.195	3.032	2.380	18.373	5.249	2.462	6.625	4.888	3.259	1.270	3.660	12.411	6.200
		2.00	0.193	3.737	2.934	22.208	6.345	2.438	8.081	5.856	3.904	1.252	4.448	14.983	7.585
		2.50	0.191	4.589	3.602	26.597	7.599	2.407	9.792	6.935	4.624	1.229	5.364	17.900	9.221
40	50	1.60	0.175	2.712	2.129	9.824	3.930	1.903	4.688	6.970	3.485	1.603	4.027	12.667	5.932
		2.00	0.173	3.337	2.620	11.833	4.733	1.883	5.704	8.379	4.190	1.585	4.896	15.343	7.265
		2.50	0.171	4.089	3.210	14.111	5.644	1.858	6.890	9.987	4.983	1.561	5.909	18.412	8.846
40	60	1.60	0.195	3.032	2.380	15.212	5.071	2.240	6.124	8.150	4.075	1.640	4.641	16.552	7.160
		2.00	0.193	3.737	2.934	18.399	6.133	2.219	7.473	9.823	4.912	1.621	5.656	20.098	8.785
		2.50	0.191	4.589	3.602	22.055	7.352	2.192	9.060	11.725	5.862	1.598	6.846	24.197	10.721
		3.20	0.189	5.727	4.495	26.589	8.863	2.155	11.100	14.050	7.025	1.566	8.369	29.311	13.251

Reglamento CIRSOC 301-EL / 302-EL

- 39 -

Tablas de Perfiles